



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN GAYA TARIK HANGER
PADA JEMBATAN PELENGKUNG BAJA
DENGAN METODE PENGUKURAN FREKUENSI**

SKRIPSI

Oleh

HENDRI NOVIALDI
(0906605611)

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK EKSTENSI SIPIL
DEPOK
2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN GAYA TARIK HANGER
PADA JEMBATAN PELENGKUNG BAJA
DENGAN METODE PENGUKURAN FREKUENSI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Oleh

HENDRI NOVALDI
(0906605611)

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK EKSTENSI SIPIL
DEPOK
2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hendri Novialdi

NPM : 0906605611

Tanda Tangan : 

Tanggal : 5 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Hendri Novialdi
NPM : 0906605611
Program Studi : Teknik Ekstensi Sipil
Judul Skripsi : Pengukuran Gaya Tarik Hanger Pada Jembatan
Pelengkung Baja Dengan Metode Pengukuran
Frekuensi

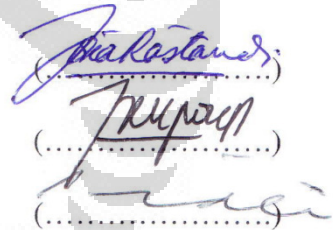
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana S1 pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Dewan Penguji

Pembimbing : Dr. Ing Josia Irwan Rastandi, MT

Penguji : Dr. Ir. Heru Purnomo

Penguji : Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng



(.....)
(.....)
(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Juli 2012

KATA PENGANTAR



Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr-Ing Josia I. Rastandi, ST, MT, IPU selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Purnomo dan Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng selaku dosen penguji sidang skripsi;
3. Orang Tua yang telah memberikan doa, perhatian, dan kasih sayangnya.
4. Mira Nofrita yang telah memberikan semangat dan dukungannya.
5. Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia atas pengajaran dan segala bantuannya selama kegiatan perkuliahan
6. Seluruh sahabat khususnya Mahasiswa Program Pendidikan Sarjana Ekstensi Angkatan 2009 yang telah memberikan bantuan serta dukungan semangat dan doa untuk kelancaran penyusunan skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 5 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Hendri Novialdi
NPM : 0906605611
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

“Pengukuran Gaya Tarik Hanger Pada Jembatan Pelengkung Baja Dengan Metode Pengukuran Frekuensi”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : 5 Juli 2012

Yang menyatakan



Hendri Novialdi

ABSTRACT

Nama : HENDRI NOVIALDI
Program studi : S1 Ekstensi Teknik Sipil
Judul : Pengukuran Gaya Tarik Hanger pada Jembatan Pelengkung Baja dengan Metode Pengukuran Frekuensi

Kabel/Hanger merupakan elemen yang sangat krusial pada keamanan jembatan dengan kabel bergantung, itu keakuratan perhitungan gaya tarik hanger memiliki peranan penting dalam tahap konstruksi dan perawatan. peristiwa runtuhnya jembatan Mahakam II akibat kesalahan pada pengencangan hanger merupakan pelajaran yang sangat berharga untuk struktur jembatan dimasa mendatang. Skripsi ini membahas tentang pengukuran gaya tarik hanger pada jembatan pelengkung baja di lapangan dengan metode pengukuran frekuensi, dan percobaan laboratorium untuk mengetahui validasi hasil pengukuran, serta pemodelan struktur dengan dan tanpa tahapan konstruksi untuk mengetahui gaya tarik rencana hanger.

Dari hasil pengukuran, gaya tarik hanger tidak terdistribusi merata. Hanger ujung/ujung yang pendek menerima gaya yang paling besar sedangkan hanger yang tengah menerima gaya yang lebih kecil. Percobaan laboratorium menunjukkan *string theory* lebih tepat digunakan pada hanger yang pendek, dari percobaan ini juga didapatkan *breaking load* dari hanger lebih besar 1.28 kali *breaking load* rencana. Pemodelan struktur dengan program Midas Civil distribusi hanger yang cukup merata baik untuk pemodelan dengan tahapan konstruksi dan tanpa tahapan konstruksi

Jika gaya tarik hasil dibandingkan dengan *breaking load* rencana sebesar 1631 kN dan percobaan sebesar 2094 kN ada beberapa hanger yang perlu diganti terutama pada hanger ujung, karena didapatkan *safety factor* lebih kecil dari 3.

Tarik Hanger, jembatan pelengkung baja, Frekuensi

Nama : HENDRI NOVIALDI
Program studi : S1 Ekstensi Teknik Sipil
Judul : *Estimation Hanger Tension Force On Arch Steel Bridge
By Frequency Measurement*

Since Cables/hangers are a crucial element of cable supported bridges, the accuracy estimation tension of tension force is of major importance on both construction and maintenance. The collapse of Mahakam II bridge caused improper hanger retightening, it's become a good priceless lesson for us for future structure. In this final project present a field study estimation tension force on steel arch bridge with frequency identification method, experimental study in laboratorium for validation the estimation, and modelling the bridge with dan without construction stage to identify hangers design tension force.

The result of estimation hanger tension force not distribute properly. Hanger at end of bridge have a bigger tension force than hanger at middle of bridge. Experimental study shows string theory more accurate for shorter hanger and breaking load is 1.28 times form design breaking load. From Modelling with Midas Civil shows the hanger distributed properly along the bridge for both model.

If the estimation result compare with design (1631 kN) and experimental breaking load (2094 kN), hanger no. 1, 2, 17, 18, 18 for upstream and hanger no. 2 and 10 for downstream must be replaced, because safety factor less than 3.

Keyword :
Hanger tension, Steel Arch bridge, frequency

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud Dan Tujuan.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Metode Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pendahuluan.....	6
2.1.1 Jenis jembatan.....	6
2.1.2 Terminology	7
2.2 Jembatan pelengkung.....	8
2.2.1 Jembatan Chaotianmen.....	8
2.2.2 Jembatan Lupu.....	9
2.3 Getaran bebas.....	11
2.3.1 Getaran bebas tanpa redaman	11
2.3.2 Getaran bebas dengan redaman	12
2.4 Kabel dinamik dengan kekakuan axial lentur	14
2.5 Metode pengukuran gaya tarik pada kabel.....	18
2.5.1 Pengukuran langsung tegangan pada <i>tension jacks</i>	18
2.5.2 Pemasangan <i>load cells</i> atau pengukur regangan pada kabel.....	18
2.5.3 Pengukuran perpanjangan kabel	19

2.5.4	Survey topografi	19
2.5.5	Metode vibrasi	20
2.6	Perkiraan gaya tarik kabel dengan Metode vibrasi	20
2.7	Pengolahan sinyal digital	22
2.7.1	Sinyal	22
2.7.2	Analisa frekuensi sinyal.....	23
2.7.3	Fourier transform.....	24
2.7.4	Discrete Fourier Transform (DFT)	25
2.7.5	Fast Fourier Transform (FFT).....	26
3.	METODELOGI PENELITIAN	27
3.1	Data geometri jembatan	27
3.1.1	Geometri jembatan.....	27
3.1.2	Dimensi penampang	27
3.1.3	Panjang hanger.....	28
3.1.4	Sifat mekanik material struktur.....	29
3.2	Pengukuran Kecepatan dan percepatan <i>hanger</i>	29
3.2.1	Pengukuran Kecepatan pada <i>hanger</i>	30
3.2.2	Pengukuran percepatan <i>hanger</i>	30
3.3	Pengukuran frekuensi alami <i>hanger</i> di Laboratorium.....	30
3.4	Frekuensi <i>hanger</i>	31
3.5	Gaya tarik <i>hanger</i>	32
3.6	Pemodelan Struktur.....	32
3.6.1	Pemodelan struktur dengan tahapan konstruksi.....	33
3.6.2	Pembebanan Jembatan.....	41
3.7	Metodelogi penelitian.....	43
4.	PEMBAHASAN	44
4.1	Pengukuran hanger di lapangan	44
4.1.1	Peralatan	44
4.1.2	Proses Pengujian.....	46
4.1.3	Hasil pengukuran	47
4.1.4	Frekuensi hanger.....	50
4.1.5	Gaya tarik hanger.....	57
4.2	Percobaan pengukuran frekuensi hanger di laboratorium.....	69
4.2.1	Proses pengujian frekuensi	69
4.2.2	Hasil pengujian	71
4.2.3	Gaya ultimate hanger	73

4.2.4	Analisa gaya tarik hasil pengukuran	74
4.3	Gaya tarik hanger dari pemodelan struktur	75
4.3.1	Pemodelan tanpa tahapan konstruksi	75
4.3.2	Pemodelan dengan tahapan konstruksi	76
4.4	Analisa Hasil	76
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	82
5.1	Kesimpulan	82
5.2	Saran.....	83

DAFTAR REFERENSI

LAMPIRAN A Hasil Pengukuran Kecepatan Hanger Arah Hulu

LAMPIRAN B Hasil Pengukuran Kecepatan Hanger Arah Hilir

LAMPIRAN C Hasil Pengukuran Percepatan Hanger Arah Hulu

LAMPIRAN D Hasil Pengukuran Percepatan Hanger Arah Hilir

LAMPIRAN E Hasil Pengujian Percepatan Hanger di Laboratorium



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Jembatan Chaotianmen	9
Tabel 2.2 Data Jembatan Lupu	10
Tabel 3.1 Dimensi Penampang member jembatan.....	27
Tabel 3.2 Panjang hanger desain dan aktual.....	28
Tabel 3.3 Sifat mekanik baja struktural	29
Tabel 3.4 Sifat mekanik <i>hanger</i>	29
Tabel 3.5 Tahapan konstruksi jembatan	33
Tabel 4.1 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hulu arah melintang jembatan dari pengukuran kecepatan hanger.....	53
Tabel 4.2 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hulu arah memanjang jembatan dari pengukuran kecepatan hanger.....	53
Tabel 4.3 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hilir arah melintang jembatan dari pengukuran kecepatan hanger.....	54
Tabel 4.4 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hilir arah memanjang jembatan dari pengukuran kecepatan hanger.....	54
Tabel 4.5 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hulu arah melintang jembatan dari pengukuran percepatan hanger	55
Tabel 4.6 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hulu arah memanjang jembatan dari pengukuran percepatan hanger	55
Tabel 4.7 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hilir arah melintang jembatan dari pengukuran percepatan hanger	56
Tabel 4.8 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hilir arah memanjang jembatan dari pengukuran percepatan hanger	56
Tabel 4.9 Gaya tarik hanger hulu arah melintang jembatan berdasarkan <i>string theory</i> dari pengukuran kecepatan hanger.....	58
Tabel 4.10 Gaya tarik hanger hulu arah memanjang jembatan berdasarkan <i>string theory</i> dari pengukuran kecepatan hanger	58
Tabel 4.11 Gaya tarik hanger hilir arah melintang jembatan berdasarkan <i>string theory</i> dari pengukuran kecepatan hanger.....	59
Tabel 4.12 Gaya tarik hanger hilir arah memanjang jembatan berdasarkan <i>string theory</i> dari pengukuran kecepatan hanger	59
Tabel 4.13 Gaya tarik hanger hulu arah melintang jembatan berdasarkan <i>string theory</i> dari pengukuran percepatan hanger	60
Tabel 4.14 Gaya tarik hanger hulu arah memanjang jembatan berdasarkan <i>string theory</i> dari pengukuran percepatan hanger	60

Tabel 4.15 Gaya tarik hanger hilir arah melintang jembatan berdasarkan <i>string theory</i> dari pengukuran percepatan hanger	61
Tabel 4.16 Gaya tarik hanger hilir arah memanjang jembatan berdasarkan <i>string theory</i> dari pengukuran percepatan hanger	61
Tabel 4.17 Gaya tarik hanger hulu arah melintang jembatan berdasarkan <i>Axially Loaded Beam</i> dari pengukuran kecepatan hanger	63
Tabel 4.18 Gaya tarik hanger hulu arah memanjang jembatan berdasarkan <i>Axially Loaded Beam</i> dari pengukuran kecepatan hanger	63
Tabel 4.19 Gaya tarik hanger hilir arah melintang jembatan berdasarkan <i>Axially Loaded Beam</i> dari pengukuran kecepatan hanger	64
Tabel 4.20 Gaya tarik hanger hilir arah memanjang jembatan berdasarkan <i>Axially Loaded Beam</i> dari pengukuran kecepatan hanger	64
Tabel 4.21 Gaya tarik hanger hulu arah melintang jembatan berdasarkan <i>Axially Loaded Beam</i> dari pengukuran percepatan hanger	65
Tabel 4.22 Gaya tarik hanger hulu arah memanjang jembatan berdasarkan <i>Axially Loaded Beam</i> dari pengukuran percepatan hanger	65
Tabel 4.23 Gaya tarik hanger hilir arah melintang jembatan berdasarkan <i>Axially Loaded Beam</i> dari pengukuran percepatan hanger	66
Tabel 4.24 Gaya tarik hanger hilir arah memanjang jembatan berdasarkan <i>Axially Loaded Beam</i> dari pengukuran percepatan hanger	66
Tabel 4.25 Hasil perhitungan gaya tarik hanger berdasarkan <i>String theory</i>	67
Tabel 4.26 Hasil perhitungan gaya tarik hanger berdasarkan <i>Axially loaded beam</i>	68
Tabel 4.27 Hasil pengukuran Frekuensi hanger	72
Tabel 4.28 Gaya tarik teoritis dari pengukuran Frekuensi hanger	72
Tabel 4.29 Gaya tarik hanger hasil pemodelan tanpa tahapan konstruksi	75
Tabel 4.30 Gaya tarik hanger hasil pemodelan dengan tahapan konstruksi	76
Tabel 4.31 Gaya tarik hanger hasil pengukuran	77
Tabel 4.32 Hasil perbandingan pengukuran dengan <i>axially loaded beam</i> dan <i>breaking load hanger</i>	81
Tabel 4.32 Hasil perbandingan pengukuran dengan <i>String theory</i> dan <i>breaking load hanger</i>	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pylon dan Kabel Utama Jembatan Mahakam II yang masih utuh (sumber; LPPM UGM)	1
Gambar 1.2 Alat sambungan/klem hanger jembatan Mahakan II yang patah (sumber; LPPM UGM)	2
Gambar 1.3 Jembatan pelengkung yang ditinjau	3
Gambar 2.1 Jembatan Chaotianmen (Sumber http://en.wikipedia.org)	9
Gambar 2.2 Jembatan Lupu (Sumber http://en.wikipedia.org)	10
Gambar 2.3 Komponen dasar getaran beban tanpa redaman	11
Gambar 2.4 Komponen dasar getaran beban dengan redaman	12
Gambar 2.5 Balok dengan beban aksial statik dan beban dinamik lateral: (a) lendutan balok akibat beban; (b) resultan gaya pada element kecil balok	14
Gambar 2.6 Pemasangan load cells pada strand	19
Gambar 2.7 Contoh centre-hole load cells dan pemasangannya	19
Gambar 2.8 Analisa dan warna putih sintetik menggunakan prisma kaca	24
Gambar 3.1 Geometri jembatan pelengkung dengan tower pemasangan	27
Gambar 3.2 ID member jembatan	28
Gambar 3.3 Proses pengukuran frekusensi hanger	29
Gambar 3.4 Setup pengukuran frekuensi hanger di laboratorium	30
Gambar 3.5 Hasil pengukuran kecepatan hanger	31
Gambar 3.6 FFT dari kecepatan hanger	31
Gambar 3.7 Hasil pengukuran Percepatan hanger	31
Gambar 3.8 FFT percepatan hanger	32
Gambar 3.9 Pemodelan struktur jembatan lengkap dengan Midas Civil 2012	33
Gambar 3.10. Diagram alir metodologi penelitian	43
Gambar 4.1 Alat pengukur kecepatan dan percepatan hanger	44
Gambar 4.2 Impact hammer	45
Gambar 4.3 Pemasangan geophone dan microtremor	46
Gambar 4.4 Pemberian gaya pada hanger	46
Gambar 4.5 Kecepatan hanger No. 10 hulu arah melintang jembatan	47
Gambar 4.6 Kecepatan hanger No. 10 hulu arah memanjang jembatan	47
Gambar 4.7 Kecepatan hanger No. 10 hilir arah melintang jembatan	48
Gambar 4.8 Kecepatan hanger No. 10 hilir arah memanjang jembatan	48

Gambar 4.9 Percepatan hanger No. 10 Hulu arah melintang jembatan	48
Gambar 4.10 Percepatan hanger No. 10 Hulu arah memanjang jembatan	49
Gambar 4.11 Percepatan hanger No. 10 Hilir arah memanjang jembatan.....	49
Gambar 4.12 Percepatan hanger No. 10 Hilir arah Memanjang jembatan	49
Gambar 4.13 FFT kecepatan hanger No. 10 hulu arah melintang jembatan.....	50
Gambar 4.14 FFT Kecepatan hanger No. 10 hulu arah memanjang jembatan	50
Gambar 4.15 FFT Kecepatan hanger No. 10 hilir arah melintang jembatan	51
Gambar 4.16 FFT Kecepatan hanger No. 10 hilir arah memanjang jembatan	51
Gambar 4.17 FFT Percepatan hanger No. 10 Hulu arah melintang jembatan	51
Gambar 4.18 FFT Percepatan hanger No. 10 Hulu arah memanjang jembatan	52
Gambar 4.19 FFT Percepatan hanger No. 10 Hilir arah memanjang jembatan.....	52
Gambar 4.20 FFT Percepatan hanger No. 10 Hulu arah memanjang jembatan	52
Gambar 4.21 Perbandingan hasil string theory dan axially loaded beam untuk hanger hulu no. 10	68
Gambar 4.22 Perbandingan hasil string theory dan axially loaded beam untuk hanger hilir no. 10.....	69
Gambar 4.23 Hanger yang telah terpasang pada alat uji tarik	70
Gambar 4.24 Pemasangan accelerometer	70
Gambar 4.25 Pemberian gaya pada hanger.....	71
Gambar 4.26 Pencatatan percepatan hanger	71
Gambar 4.27 Pencatatan percepatan hanger dengan gaya tarik 120 Ton	72
Gambar 4.28 Hasil FFT percepatan hanger untuk gaya tarik 120 Ton.....	72
Gambar 4.29 Hanger setelah putus	73
Gambar 4.30 Bagian hanger yang putus	74
Gambar 4.31 Grafik regangan dan tegangan hanger.....	74
Gambar 4.32 Gaya tarik hanger hulu hasil pengukuran dan pemodelan tanpa tahapan konstruksi.....	77
Gambar 4.33 Gaya tarik hanger hilir hasil pengukuran dan pemodelan tanpa tahapan konstruksi.....	78
Gambar 4.34 Gaya tarik hanger hulu hasil pengukuran dan pemodelan dengan tahapan konstruksi.....	78
Gambar 4.35 Gaya tarik hanger hilir hasil pengukuran dan pemodelan dengan tahapan konstruksi.....	79
Gambar 4.36 Grafik Perbandingan gaya tarik hanger percobaan dan teoritis untuk frekuensi pertama.....	80

BAB I PENDAHULUAN

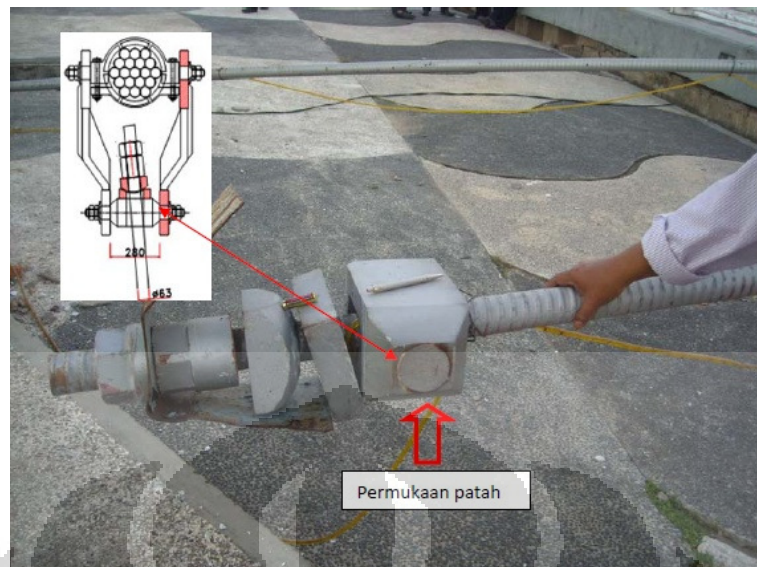
1.1 Latar Belakang

Pada hari Sabtu, tanggal 26 November 2011, telah terjadi peristiwa runtuhnya jembatan Mahakam II di Tengarong, kabupaten Kutai Kertanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Runtuhnya jembatan ini mengakibatkan terputusnya jalur penghubung kota Tengarong dengan kota Tenggarong seberang yang menuju Samarinda, Meyebabkan kerugian Miliaran Rupiah, dan menghilangkan banyak nyawa. Peristiwa ini tentunya menjadi pelajaran yang sangat berharga bagi kita untuk lebih berhati-hati dan tidak mengulangi kesalahan yang sama.

Jembatan Mahakam II merupakan Jembatan gantung (*suspension bridge*) dengan panjang bentang utama adalah 270 meter. Runtuhnya jembatan ini terjadi pada saat sedang dilakukannya perawatan jembatan, yaitu pengencangan baut dan hanger. Dari puing-puing reruntuhan jembatan dapat dilihat hampir semua alat sambungan pengantung/*hanger* lepas dan rusak, sedangkan hanger dan kabel utama masih terlihat utuh.



Gambar 1.1 Pylon dan Kabel Utama Jembatan Mahakam II yang masih utuh (sumber; *LPPM UGM*)



Gambar 1.2 Alat sambungan/klem hanger jembatan Mahakan II yang patah (sumber; LPPM UGM)

Berdasarkan kondisi di lapangan dan kronologis kejadian runtuhnya jembatan tersebut, hampir dapat dipastikan salah satu penyebab putusnya alat sambung *hanger* adalah proses pengencangan yang salah saat perawatan. Pengencangan *hanger* yang berlebihan akan menyebabkan tingginya gaya tarik awal pada hanger, sehingga beban terkonsentrasi pada hanger yang lebih tinggi gaya tarik awalnya ini. Jika gaya tarik yang terjadi pada hanger melebihi *breaking load* dari sambungan dan hanger, maka bagian terlemah dari keduanya akan putus. Selanjutnya beban yang ada terdistribusi ke *hanger* yang di sebelahnya, dan seterusnya sehingga terjadi keruntuhan secara menyeluruh pada jembatan.

Kabel/*hanger* adalah elemen yang sangat krusial dalam jembatan dengan pengantung dengan kabel/*hanger*, keakuratan perhitungan gaya tarik *hanger* merupakan hal yang sangat penting dalam pelaksanaan dan perawatan. Perbedaan gaya tarik awal *hanger* pada saat pengencangan dapat menyebabkan konsentrasi beban pada *hanger* yang lebih kaku (lebih besar gaya tarik awalnya). Sehingga dapat menyebabkan keruntuhan jembatan secara menyeluruh, seperti jembatan Mahakam II.

Untuk itu dalam penulisan skripsi diambil tema tentang pengukuran gaya tarik *hanger* jembatan pelengkung baja berdasarkan metode pengukuran

frekuensi. Jembatan pelengkung dengan panjang 120 m ini baru diresmikan beberapa bulan yang lalu dan juga merupakan jenis jembatan yang baru di Indonesia, sedangkan di luar negeri jembatan pelengkung ini banyak dijumpai dan telah mencapai bentang lebih dari 500 meter, Seperti Jembatan Chaotianmen dengan panjang 552 meter dan jembatan Lupu dengan panjang 550 di Cina.

Pengukuran gaya tarik kabel dapat dilakukan dengan beberapa metode, di antaranya, pengukuran langsung pada saat konstruksi, pemasangan *load cell*, pengukuran perpanjang kabel/*hanger* dan metode vibrasi atau pengukuran frekuensi. Metode pengukuran gaya tarik kabel/*hanger* dengan mengukur frekuensi dipilih karena merupakan metode yang paling mudah dan paling cepat pengerjaannya untuk pengecekan gaya tarik pada element kabel/*hanger* selama masa perawatan dan masa layannya. Dalam penulisan skripsi ini akan juga akan dilakukan pengukuran gaya tarik *hanger* di laboratorium untuk memvalidasi pengukuran yang dilakukan di lapangan serta pemodelan untuk mengetahui gaya tarik rencana pada *hanger*.



Gambar 1.3 Jembatan pelengkung yang ditinjau

1.2 Maksud Dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari penulisan ini adalah menganalisa gaya tarik yang terjadi pada *hanger*, berupa :

1. Pengukuran percepatan dan kecepatan yang ada pada *hanger* jembatan.
2. Perhitungan frekuensi *hanger* jembatan.
3. Perhitungan gaya tarik *hanger* jembatan.
4. Percobaan di laboratorium untuk verifikasi hasil pengukuran.
5. Pemodelan struktur untuk mengetahui gaya tarik rencana *hanger* jembatan.

1.3 Batasan Masalah

1. Pelaksanaan pengukuran frekuensi *hanger* menggunakan 2 alat: *Velocimeter* (Geophone) dan *Accelerometer* (Microtremor).
2. Pengukuran frekuensi *hanger* dilakukan tanpa menutup lalu lintas kendaraan
3. Sifat mekanis *hanger* diasumsikan sama dengan spesifikasi teknis dari *Shop drawing* kontraktor.
4. Geometri *hanger* di lapangan didasarkan hasil pengukuran panjang *hanger* aktual oleh kontraktor.
5. Geometri, dimensi penampang, serta sifat mekanis penampang jembatan untuk pemodelan di asumsikan sama dengan *Shop drawing* dan spesifikasi teknis kontraktor.

1.4 Metode Penelitian

Penulisan skripsi ini melalui tahapan – tahapan kerja sebagai berikut :

1. Pengumpulan data – data yang diperlukan.
2. Penelusuran literatur, yaitu dasar – dasar teori vibrasi kabel, dari buku-buku, jurnal, tugas akhir, dan dari dosen pembimbing.
3. Pengukuran kecepatan dan percepatan pada *hanger*.
4. Perhitungan frekuensi alami dari tiap *mode* kabel.
5. Perhitungan gaya tarik yang terjadi pada kabel.
6. Percobaan di laboratorium verifikasi hasil pengukuran aktual di lapangan.

7. Pemodelan struktur untuk mengetahui gaya tarik rencana hanger.
8. Analisa dan kesimpulan, pada tahapan ini dilakukan perbandingan hasil pengukuran di lapangan, percobaan di laboratorium dan hasil pemodelan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi mengenai pengukuran gaya tarik *hanger* pada jembatan pelengkung baja dengan metode vibrasi antara lain :

1. Pendahuluan, membahas mengenai latar belakang masalah, permasalahan yang ada, batasan masalah, maksud dan tujuan, serta sistematika penulisan dari skripsi ini,
2. Tinjauan Pustaka, membahas tentang teori-teori dasar kabel/*hanger* dinamik.
3. Metode Penelitian, membahas mengenai metode yang digunakan untuk gaya tarik pada kabel dengan metode vibrasi.
4. Pembahasan, Membahas gaya tarik *hanger* yang diukur di lapangan dan laboratorium, serta pemodelan.
5. Penutup, berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan tulisan skripsi ini

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Bab ini meninjau tentang literatur yang berhubungan dengan skripsi ini, sehingga dapat memberikan pengertian yang lebih lengkap terhadap jembatan, kabel dinamik, pengukuran frekuensi dan perhitungan gaya tarik hanger.

2.1.1 Jenis jembatan

Pengertian jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, selat, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang jalan dan sebagainya.

Jenis dibagi jembatan berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi dan tipe strukturnya, berdasarkan fungsinya jembatan dibedakan sebagai berikut :

1. Jembatan jalan raya (*highway bridge*)
2. Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*)
3. Jembatan pejalan kaki atau penyeberangan (*pedestrian bridge*)

Berdasarkan lokasinya, jembatan dibedakan sebagai berikut :

1. Jembatan di atas sungai atau danau,
2. Jembatan di atas lembah,
3. Jembatan di atas jalan yang ada (*fly over*)
4. Jembatan di atas saluran irigasi
5. Jembatan di dermaga (*jetty*)

Berdasarkan bahan konstruksinya, jembatan dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain :

1. Jembatan kayu (*log bridge*)
2. Jembatan beton (*concrete bridge*)
3. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)
4. Jembatan baja (*steel bridge*)
5. Jembatan komposit (*composite bridge*)

Berdasarkan tipe strukturnya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain “

1. Jembatan plat (*slab bridge*)
2. Jembatan gelagar (*girder bridge*)
3. Jembatan rangka (*truss bridge*)
4. Jembatan pelengkung (*arch bridge*)
5. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)
6. Jembatan gantung (*suspension bridge*)

2.1.2 Terminology

Seperti profesi lainnya dalam rekayasa Jembatan mempunyai istilah dan bahasa yang unik yang harus diketahui untuk menciptakan pengertian yang sama dalam diskusi, berikut istilah-istilah yang biasa digunakan dalam jembatan.

1. *Superstructure*, setiap komponen dari jembatan yang terletak di atas perletakan jembatan. Komponen dari *superstructure* terdiri dari
 - a. *Wearing surface*, bagian dari potongan melintang jembatan yang dilalui oleh kendaraan. Biasanya terbuat dari bahan aspal dengan tebal 50 sampai 100 mm.
 - b. *Deck*, Perpanjangan dari jalan yang melewati jembatan, sebagai contoh *Deck* jembatan plat beton bertulang. Fungsi utama dari deck adalah untuk mendistribusikan beban sepanjang jembatan secara transversal ke rangka atau sistem struktur lainnya.
 - c. *Primary members*, *Primary members* mendistribusikan beban ke arah longitudinal jembatan dan biasanya dibuat dengan prinsip menahan lentur. *Primary member* yang berbentuk balok biasanya disebut *stringer* atau *girder*.
 - d. *Secondary members*, *secondary members* adalah pengaku antara *primary members* yang direncanakan untuk menahan deformasi kearah melintang dari rangka *superstructure* dan membantu mendistribusikan beban vertikal antar *stringer*.
2. *Substructure*. *Substructure* terdiri dari semua elemen yang dibutuhkan untuk mendukung *superstructure*. Bagian dari *substructure* terdiri dari

- a. **Abutment**, *Abutments* adalah dinding penahanan tanah yang mendukung *superstructure* pada awal dan akhir jembatan.
- b. **Piers**, *Piers* adalah struktur yang mendukung *superstructure* pada bagian tengah antara *abutment*.
- c. **Bearings**, *Bearings* adalah sistem mekanik untuk mendistribusikan beban vertikal dan *superstructure* ke *substructure*.
- d. **Pedestals**, *Pedestal* adalah kolom pendek pada *abutment* yang secara langsung menahan *Primary member* dari *superstructure*
- e. **Backwall**, *Backwall* adalah komponen utama dari *abutment* yang bekerja sebagai penahan tanah pada masing-masing jalan pendekat.
- f. **Wingwall**, *wingwall* adalah dinding bagian samping dari *backwall* *abutment* yang berfungsi mengekang tanah dibelakang *abutment*

2.2 Jembatan pelengkung

Jembatan pelengkung merupakan jembatan dengan dinding penahan/rangka berbentuk kurva lengkung pada ujung – ujungnya. Jembatan pelengkung mentransfer berat sendiri dan beban menjadi gaya horizontal yang ditahan oleh ujung – ujung *abutment*nya.

Jembatan pelengkung ikat adalah jembatan pelengkung yang gaya horizontal ke arah luar dari pelengkung atau bagian atas jembatan ditahan oleh gaya tarik dari bagian bawah jembatan (*tie-rods* atau rantai jembatan), lebih besar dari *abutment* atau fondasi jembatan. Gaya gravitasi dari rantai jembatan ditahan oleh batang tarik (*hanger*) yang diikatkan ke bagian atas jembatan.

Berikut adalah dua jembatan pelengkung baja terpanjang di dunia ditentukan oleh panjang bentang utamanya :

2.2.1 Jembatan Chaotianmen

Jembatan Chaotianmen adalah jembatan untuk kereta api dan kendaraan yang melewati sungai Yangtze di kota Chongqing, China. Jembatan yang ini dibuka pada 29 April 2009 merupakan jembatan pelengkung terpanjang di dunia. Jembatan pelengkung rangka baja dengan balok pengikat mempunyai bentang utama 552 m dan panjang total 1.741 m. Jembatan ini mempunyai 6 lajur 2 arah

dan trottoar pada masing – masing pada lantai atas, dan rel ganda pada lajur tengah dan 2 lajur kendaraan pada masing – masing sisinya pada lantai bawah.

Tabel 2.1 Data Jembatan Chaotianmen

Official name	Chaotianmen Bridge
Carries	Trains, Motor vehicles, Pedestrians
Crosses	Yangtze and Jialing Rivers
Locale	Chongqing, China
Design	Arch bridge
Total length	1,741 m (5,712 ft)
Width	36.5 m (120 ft)
Height	142 m (466 ft)
Longest span	552 m (1,811 ft)
Construction begin	December 2004
Construction end	29 April 2009
Opened	30 April 2009

(Sumber, <http://en.wikipedia.org>)



Gambar 2.1 Jembatan Chaotianmen (Sumber <http://en.wikipedia.org>)

2.2.2 Jembatan Lupu

Jembatan Lupu adalah jembatan pelengkung yang melewati sungai Huangpu di Shanghai, China, menghubungkan kota Luwan dan Pudong. Jembatan ini merupakan Jembatan pelengkung ke dua terpanjang di dunia setelah Jembatan Chaotianmen di Chongqing. Jembatan lupu mempunyai panjang total 3900 m,

dengan panjang bentang utama 550 m dan berada di atas 32 m di atas sungai Huangpu.

Tabel 2.2 Data Jembatan Lupu

Carries	6 lanes of South-North Elevated Road, 2 pedestrian walkways
Crosses	Huangpu River
Locale	Shanghai, People's Republic of China
Design	Through arch
Material	Steel
Total length	3,900 m (12,795 ft)
Width	28.7 m (94 ft)
Height	100 m (328 ft)
Longest span	550 m (1,804 ft)
Clearance below	46 m (151 ft)
Construction begin	October 2000
Opened	June 28, 2003

(Sumber, <http://en.wikipedia.org>)



Gambar 2.2 Jembatan Lupu (Sumber <http://en.wikipedia.org>)

2.3 Getaran bebas

Getaran/Vibrasi adalah suatu gerak bolak – balik di sekitar titik kesetimbangan. Kesetimbangan merupakan keadaan dimana suatu benda berada di posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran terdiri dari dua jenis yaitu :

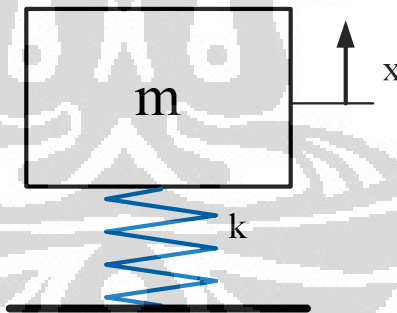
1. Getaran bebas, terjadi bila sistem mekanis dimulai dengan gaya awal, lalu dibiarkan bergetar secara bebas.
2. Getaran paksa terjadi bila gaya bolak balik diterapkan pada sistem mekanis.

2.3.1 Getaran bebas tanpa redaman

Pada model yang sederhana redaman dapat diabaikan dan tidak ada gaya luar yang mempengaruhi masa, dalam keadaan ini gaya yang berlaku pada pegas F_s sebanding dengan besarnya regangan, sesuai dengan hukum Hooke dapat ditulis secara matematis :

$$F_s = -kx \quad 2-1$$

dengan k adalah konstanta pegas



Gambar 2.3 Komponen dasar getaran beban tanpa redaman

sesuai dengan hukum Newton kedua gaya ditimbulkan sebanding dengan percepatan masa :

$$\sum F = ma = m\ddot{x} = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad 2-2$$

Karena $F = F_s$, maka :

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad 2-3$$

Bila kita menganggap bahwa getaran sistem diberi regangan sejauh A kemudian dilepaskan, sehingga persamaanya dengan memberikan gerakan masa dapat ditulis sebagai berikut :

$$x(t) = A \cos(2\pi f_n t) \quad 2-4$$

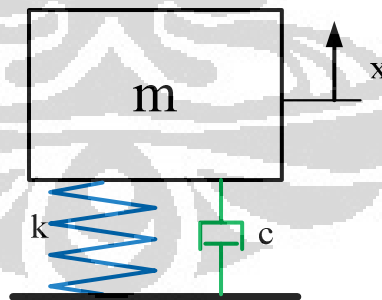
Solusi ini menyatakan bahwa masa akan bergerak secara harmonis sederhana A dan frekuensi f_n , nilai f_n adalah suatu besaran yang yang terpenting dalam getaran, dan dinamakan frekuensi alami tak teredam. f_n di definisikan sebagai :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 2-5$$

2.3.2 Getaran bebas dengan redaman

Bila redaman diperhitungkan, maka gaya peredam yang berlaku pada peredam juga berlaku pada masa selain gaya yang disebabkan peregangan pegas. Bila masa bergerak dalam *fluida* maka akan mendapatkan peredaman karena kekentalan fluida. Gaya akibat kekentalan ini sebanding dengan kecepatan benda. Konstanta akibat kekentalan ini dinamakan koefisien redaman c .

$$F_d = -cv = -c\dot{x} = -c \frac{dx}{dt} \quad 2-6$$



Gambar 2.4 Komponen dasar getaran beban dengan redaman

Dengan menjumlahkan semua gaya yang berlaku pada benda didapatkan persamaan :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad 2-7$$

Penyelesaian persamaan ini tergantung dari besarnya redaman, bila redaman kecil, sistem akan tetap bergetar, namun pada akhirnya akan berhenti. Keadaan ini disebut kurang redam. Bila redaman diperbesar hingga mencapai titik redaman kritisi yaitu titik saat sistem tak lagi bergetar. Nilai koefisien redaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis pada sistem adalah :

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad 2-8$$

Untuk menentukan jumlah redaman pada sistem digunakan nisbah yang dinamakan nisbah redaman, nisbah ini adalah perbandingan antara redaman sebenarnya terhadap redaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis, persamaan untuk nisbah redaman (ζ) adalah:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad 2-9$$

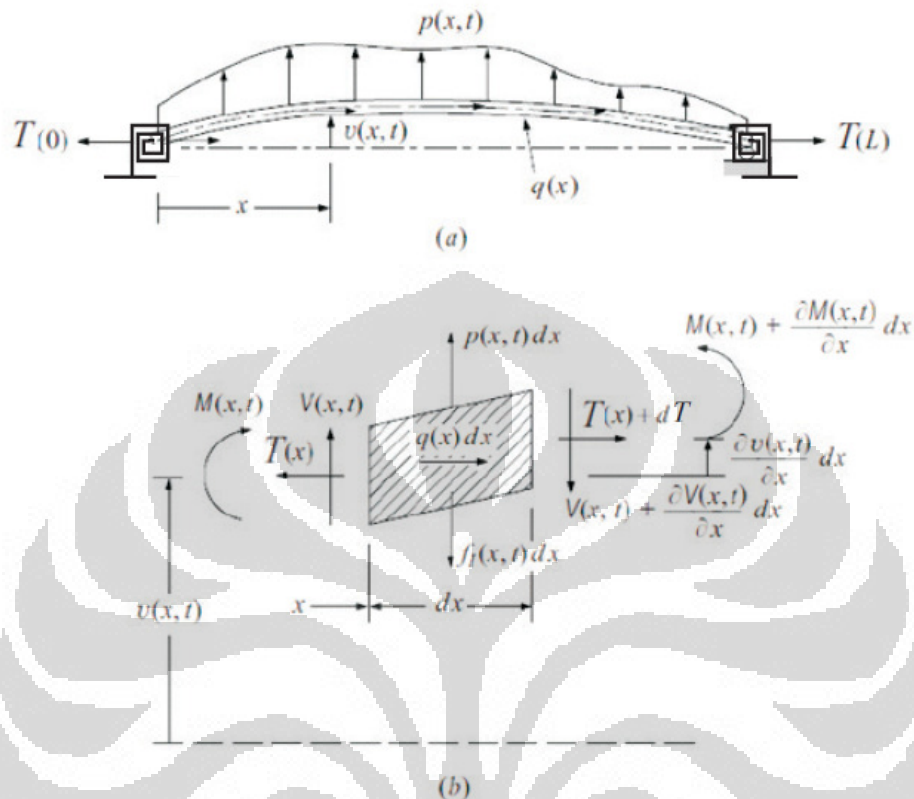
Solusi sistem kurang redam pada model masa pegas peredam adalah :

$$x(t) = X e^{-\zeta \omega_n t} \cos(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_n t - \phi), \omega_n = 2\pi f_n \quad 2-10$$

Nilai X adalah amplitudo awal, dari persamaan di atas dapat dilihat bahawa faktor eksponensial menentukan seberapa cepat sistem teredam, semakain besar nisbah redaman , semakin cepat sistem teredam ke titik nol, Frekuensi alami tak redam f_d ditentukan dengan persamaan

$$f_d = \sqrt{1-\zeta^2} f_n \quad 2-11$$

2.4 Kabel dinamik dengan kekakuan axial lentur



Gambar 2.5 Balok dengan beban aksial statik dan beban dinamik lateral: (a) lendutan balok akibat beban; (b) resultan gaya pada element kecil balok

Persamaan diferensial dari getaran bebas kabel lurus berdasarkan *Clough* dan *Penzein* ^[8] adalah :

$$EIu^4(x)y(t) - Tu^2(x)y(t) + mu(x)\ddot{y}(t) = 0 \quad 2-12$$

Diman EI adalah kekakuan lentur dari kebel, T adalah gaya tarik yang bekerja pada kabel dan m adalah masa jenis kabel persatuan panjang. Dengan mensubtitusi $y(t) = e^{i\omega t}$ dan persamaan di atas pada sederhanakan menjadi :

$$EIu^4(x) - T^2u^2(x) + m\omega^2u(x) = 0 \quad 2-13$$

Modal shape dari kabel didapatkan dalam bentuk :

$$u(x) = D_1 \sin(\delta x) + D_2 \cos(\delta x) + D_3 \sinh(\varepsilon x) + D_4 \cosh(\varepsilon x) \quad 2-14$$

$$\delta = \sqrt{\sqrt{a^4 + g^4} + g^2} \quad 2-15$$

$$\varepsilon = \sqrt{\sqrt{a^4 + g^4} - g^2} \quad 2-16$$

$$a^4 = \frac{m\omega^2}{EI} \quad 2-17$$

$$g^2 = -\frac{T}{2EI} \quad 2-18$$

Boundary condition dari angkur kabel didapatkan dari konstanta rotasi pegas dengan konstanta K_A dan K_B yang bekerja pada ujung kabel, derajat kekakuan dari perletakan dapat di wakilkkan dengan parameter tanpa dimensi k_A dan k_B yang ditentukan sebagai berikut :

$$k_A = \frac{K_A L}{K_A L + \pi^4 EI} ; \text{ maka } \frac{K_A}{EI} = \frac{\pi^4}{L} \frac{k_A}{(1-k_A)} \quad 2-19$$

$$k_B = \frac{K_B L}{K_B L + \pi^4 EI} ; \text{ maka } \frac{K_B}{EI} = \frac{\pi^4}{L} \frac{k_B}{(1-k_B)} \quad 2-20$$

Dimana L adalah panjang dari kabel, boundary condition digunakan untuk menentukan D_1 dan D_4 dari persamaan 2-14 adalah :

$$u_0 = 0 \text{ maka } D_2 + D_4 = 0 \quad 2-21$$

$$u_L = 0, \text{ maka } D_1 \sin(\delta L) + D_2 \cos(\delta L) + D_3 \sinh(\varepsilon L) + D_4 \cosh(\varepsilon L) = 0 \quad 2-22$$

$$Ku_0^1 = EIu_0^2, \text{ maka } \pi^4 k_A (\delta D_1 + \varepsilon D_3) + L(1-k_A)(\delta^2 D_2 - \varepsilon^2 D_4) = 0 \quad 2-23$$

$$Ku_L^1 = -EIu_L^2, \text{ maka } \pi^4 k_B \left(\delta D_1 \cos(\delta L) - \delta D_2 \cos(\delta L) + \dots + \varepsilon D_3 \cosh(\varepsilon L) + \varepsilon D_4 \sinh(\varepsilon L) \right) + \dots + L(1-k_B) \left(-\delta D_1 \cos(\delta L) - \delta D_2 \cos(\delta L) + \dots + \varepsilon^2 D_3 \sinh(\varepsilon L) + \varepsilon^2 D_4 \cosh(\varepsilon L) \right) = 0 \quad 2-24$$

Frekuensi alami didapatkan dari determinan *boundari condition* sama dengan nol :

$$\det \begin{pmatrix} 0 & \sin(\delta L) & \pi^4 k_A \delta & \pi^4 k_B \delta \cos(\delta L) - L(1-k_B) \delta^2 \sin(\delta L) \\ 1 & \cos(\delta L) & L(1-k_A) \delta^2 & -\pi^4 k_B \delta \sin(\delta L) - L(1-k_B) \delta^2 \cos(\delta L) \\ 0 & \sinh(\varepsilon L) & \pi^4 k_A \varepsilon & \pi^4 k_B \delta \cosh(\varepsilon L) + L(1-k_B) \varepsilon^2 \sin(\varepsilon L) \\ 1 & \cosh(\varepsilon L) & -L(1-k_A) \varepsilon^2 & \pi^4 k_B \delta \sinh(\varepsilon L) + L(1-k_B) \varepsilon^2 \sin(\varepsilon L) \end{pmatrix}^{-T} \quad 2-25$$

Persamaan 2-24 diperluas dan di bagi dengan $\cosh(\varepsilon L)$ sehingga menjadi :

$$\begin{aligned} & \pi^4 L(k_A + k_B - 2k_A k_B)(\delta^2 + \varepsilon^2) [\varepsilon \sin(\delta L) - \delta \cos(\delta L) \tanh(\varepsilon L)] \\ & + \dots + [L^2(1-k_A - k_B + k_A k_B)(\delta^2 + \varepsilon^2) - \pi^8 k_A k_B (\delta^2 - \varepsilon^2)] \\ & \sin(\delta L) \tanh(\varepsilon L) + \dots + 2\pi^8 k_A k_B \delta_\varepsilon [\operatorname{sech}(\varepsilon L) - \cos(\delta L)] = 0 \end{aligned} \quad 2-26$$

Parameter εL didapatkan dari persamaan :

$$\varepsilon L \geq \sqrt{n^2 \pi^2 + 1/\beta} \quad 2-27$$

Dimana,

$$\beta = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{EI}{N}} \quad 2-28$$

β adalah bentuk kekakuan lentur dari kabel tanpa dimensi. Parameter β adalah inverse dari ξ . Kondisi kesetimbangan pada persamaan 2-26 hanya didapat bila kedua kabel berupa sendi ($k_A = k_B = 0$), sedangkan kekakuan lentur ($\beta < 0.03$) dengan asumsi :

$$\tanh(\varepsilon L) = 1 \quad 2-29$$

$$\operatorname{sech}(\varepsilon L) = 0 \quad 2-30$$

Dengan asumsi ini persamaan 2-25 menjadi :

$$\begin{aligned} & \pi^4 L(k_A + k_B - 2k_A k_B)(\delta^2 + \varepsilon^2) [\varepsilon \sin(\delta L) - \delta \cos(\delta L)] \\ & - 2\pi^8 k_A k_B \delta_\varepsilon \cos(\delta L) + \dots + \left[L^2(1-k_A - k_B + k_A k_B)(\delta^2 + \varepsilon^2) \right. \\ & \left. - \pi^8 k_A k_B (\delta^2 - \varepsilon^2) \right] \sin(\delta L) = 0 \end{aligned} \quad 2-31$$

Persamaan di atas dirubah menjadi bentuk :

$$A \sin(\delta L) + B \cos(\delta L) = 0 \quad 2-32$$

Dimana :

$$A = \pi^8 k_A k_B (\delta^2 - \varepsilon^2) - L^2 (1 - k_A - k_B + k_A k_B) (\delta^2 + \varepsilon^2) - \pi^4 L (k_A + k_B - 2k_A k_B) (\delta^2 + \varepsilon^2) \varepsilon \quad 2-33$$

$$B = 2\pi^8 k_A k_B \delta \varepsilon + \pi^4 L (k_A + k_B - 2k_A k_B) (\delta^2 + \varepsilon^2) \delta \quad 2-34$$

Persamaan 2-31 dapat juga diekspresikan dengan persamaan :

$$\rho \sin(\delta L + \theta) \quad 2-35$$

dimana,

$$\rho = \sqrt{A^2 + B^2} \quad 2-36$$

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{B}{A}\right) \quad 2-37$$

$$\delta L + \theta = n\pi \text{ dengan } n = 0, 1, 2, \dots, \infty \quad 2-38$$

Nilai dari ω_n frekuensi alami dari *mode-n* kabel dapat didapatkan dari parameter δ dalam persamaan 2-37 (menggunakan persamaan 2-14, 2-15, 2-16, dan 2-17), disamping itu θ_n juga merupakan fungsi dari ω_n melalui δ dan ε berdasarkan persamaan 2-36, 2-32, 2-33, 2-14, 2-15, 2-16, dan 2-17. Sehingga ω_n dapat diekspresikan dengan persamaan berikut :

$$\omega_n = 2\pi f_n = \frac{(n\pi - \theta_n)}{L} \sqrt{\frac{T}{m}} \sqrt{1 + \beta^2 (n\pi - \theta_n)^2} \quad 2-39$$

Persamaan 2-38 merupakan persamaan untuk frekuensi alami dalam bentuk θ_n yang dapat ditentukan dengan metode iterasi, parameter θ_n menjadi nol jika kedua ujung kabel berupa sendi ($k_A = k_B = 0$), sehingga tidak perlu iterasi pada kasus ini. Untuk $k_A \neq 0$ dan $k_B \neq 0$, iterasi dimulai dari iterasi persamaan 2-39 dengan $\theta_n = 0$, iterasi diulang sampai akurasi yang diinginkan tercapai. Untuk ujung – ujung kabel sendi maka persamaan 2-39 menjadi :

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{m} + \frac{EI}{mL^2}} (n\pi)^2 \quad 2-40$$

Untuk perhitungan gaya tarik hanger/kabel dapat ditentukan dengan memisahkan variabel T, sehingga persamaan 2-40 menjadi :

$$T = 4mL^2 \left[\left(\frac{f_n}{n} \right)^2 - \left(\frac{n^2 \pi^2}{4mL^4} \right) EI \right] \quad 2-41$$

Jika gaya pengaruh kekakuan lentur di abaikan maka, $EI = 0$, maka gaya tarik hanger/kabel dapat dihitung dengan persamaan :

$$T = 4mL^2 \left(\frac{f_n}{n} \right)^2 \quad 2-42$$

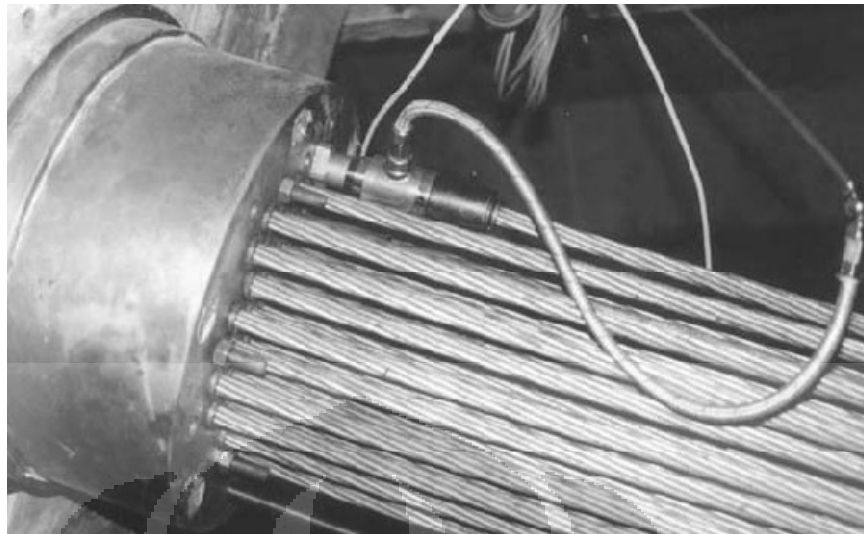
2.5 Metode pengukuran gaya tarik pada kabel

2.5.1 Pengukuran langsung tegangan pada *tension jacks*.

Metode ini dikerjakan selama proses konstruksi jembatan yang ada pengukuran lansung saat pemasangan kabel. Untuk memperoleh keakuratan yang baik alat *hydraulic jack* harus terkalibrasi dengan baik.

2.5.2 Pemasangan *load cells* atau pengukur regangan pada kabel

Cara praktis pengukuran tegangan dengan load cells dapat dilihat pada gambar 2.5 dan 2.6. *Load cells* dipasang pada satu atau gabungan beberapa strand, atau menempelkan load cells pada satu kabel yang diangkur diantara dua plat penumpu. Tujuannya adalah mengukur deformasi dari kabel. Kekurangan dari penggunaan *load cells* adalah dibutuhkannya banyak sensor untuk mengukur gaya kabel, yang harus tetap terpasang pada struktur dan harus dikalibrasi dengan baik, serta waktu yang dibutuhkan untuk menempelkan *load cells* dengan baik



Gambar 2.6 Pemasangan *load cells* pada *strand*



Gambar 2.7 Contoh *centre-hole* load cells dan pemasangannya

2.5.3 Pengukuran perpanjangan kabel

Pengukuran perpanjangan kabel dari ujung – ujung yang diangkur dapat digunakan untuk memperkirakan deformasi dari kabel, sehingga gaya tarik kabel dapat ditentukan. Deformasi dari kabel diperkirakan 1/1000, perpanjangannya kira-kira 0,2 mm untuk setiap 0,2 m panjang segment. Jadi, jika dibutuhkan ketelitian 5% maka pengukuran harus dibuat dengan akurasi 0,01 mm. Keakuratan ini sangat sulit dilaksanakan di lapangan.

2.5.4 Survey topografi

Perkiraan gaya tarik kabel dengan cara survey topografi sangat sulit dilakukan selama konstruksi dan tidak akurat jika gaya tarik kabel kecil.

2.5.5 Metode vibrasi

Perhitungan tidak langsung gaya tarik kabel melalui frekuensi alami kabel berdasarkan *Vibrating chord theory* dan balok yang dibebani dengan gaya aksial. Secara tipikal prosedur dari metode vibrasi adalah sebagai berikut :

1. Respons dari *hanger*/kabel terhadap waktu dikumpulkan oleh *data logger* akibat beban dari *impact hammer* atau beban tak tentu dari kendaraan/angin
2. Frekuensi alami dan nomor modal di analisa dari data yang dikumpulkan.
3. Gaya tarik *hanger* ditentukan dengan pendekatan analisa numerik dalam bentuk frekuensi alami dan gaya tarik *hanger*/kabel.

Metode untuk perkiraan/perhitungan gaya tarik *hanger*/kabel dijelaskan pada bab selanjutnya.

2.6 Perkiraan gaya tarik kabel dengan Metode vibrasi

Hubungan antara frekuensi dan gaya tarik kabel dapat dikategorikan menjadi empat metode berdasarkan pengaruh kelengkungan dan kekakuan kabel. Untuk metode pertama adalah metode *string theory*, dengan mengabaikan pengaruh kelengkungan dan kekakuan lentur dari kabel, gaya tarik kabel dapat ditentukan sebagai berikut :

$$T = 4mL^2 \left(\frac{f_n}{n} \right)^2 \quad 2-43$$

Dimana T , m , L dan f_n berurutan merupakan gaya tarik kabel, kerapatan masa, panjang, n th frekuensi alami kable. Gaya tarik kabel dapat ditentukan dengan mudah dengan mencari nilai *variable* pada persamaan di atas. Tetapi rumus sederhana ini hanya dapat digunakan pada satu kabel yang lurus. Meskipun diragukan keakuratannya untuk kabel dengan kelengkungan tinggi, kabel kekakuan lentur yang tinggi, dan system dengan pengantung ganda (*double hanger*), persamaan di atas dapat digunakan untuk pendekatan awal untuk pengukuran gaya tarik pada kabel.

Berdasarkan rumus frekuensi untuk balok yang dibebani dengan gaya aksial dan memperhitungkan efek dari kekakuan lentur, tetapi mengabaikan efek kelengkungan kabel :

$$\left(\frac{f_n}{n}\right)^2 = \left(\frac{1}{4mL^2}\right)T + \left(\frac{n^2\pi^2}{4mL^4}\right)EI \quad 2-44$$

Dimana EI merupakan kekakuan lentur dari kabel,. Untuk kabel dengan dengan memperhitungkan kelengkungan kabel tanpa kekakuan lentur digunakan *modern cable theory* (Triantafyllou dan Grinfogel, 1986) :

$$\sin(\gamma) \left[\gamma \left(\frac{4\lambda^2}{\lambda_1^2} - 1 \right) \cos(\gamma) + \sin(\gamma) \right] - \frac{49}{64} \frac{\varepsilon^2}{1 + \left(\frac{l}{h}\right)^2} \cos(2\gamma) = 0 \quad 2-45$$

Dimana, $\gamma = (\omega_n L_s / 2) \sqrt{m/T_a}$; $T_a = H / \cos(\theta)$; $\lambda_1^2 = (w L_s / T_a)^2 EA / T_a \cos^2(\theta)$; $\varepsilon = w L_s / T_a$; $\omega_n = 2\pi f_n$. Variabel H , w , EA , θ , h , l dan L_s adalah komponen horizontal dari gaya tarik, berat persatuan panjang, kekakuan aksial, sudut antara kabel terhadap arah horizontal, tinggi, bentang horizontal, panjang awal kabel tanpa tegangan, dengan mengetahui nilai frekuensi persamaan di atas dapat diselesaikan dengan metode *trial and error* untuk mendapatkan nilai komponen gaya tarik horizontal (Russel dan Lardner 1998).

Untuk menghitung efek dari kelengkungan dan kekakuan lentur kabel digunakan formula praktirs (Zui et al., 1996).

Untuk kasus kabel dengan kelengkungan kecil ($3 \leq \Gamma$),

$$T = 4m(f_1 L)^2 \left[1 - 2.2 \frac{C}{f_1} - 0.55 \left(\frac{C}{f_1} \right)^2 \right]; (17 \leq \xi_1) \quad 2-46$$

$$T = 4m(f_1 L)^2 \left[0.865 - 11.6 \left(\frac{C}{f_1} \right)^2 \right]; (6 \leq \xi_1 \leq 17) \quad 2-47$$

$$T = 4m(f_1 L)^2 \left[0.828 - 10.5 \left(\frac{C}{f_1} \right)^2 \right]; (0 \leq \xi_1 \leq 6) \quad 2-48$$

Untuk kasus kabel dengan kelengkungan kecil ($3 \geq \Gamma$),

$$T = \frac{4m}{n^2} (f_n L)^2 \left[1 - 2.2 \left(\frac{nC}{f_n} \right) \right]; (200 \leq \xi_1), (2 \leq n) \quad 2-49$$

Dimana,

$$C = \sqrt{(EI)/(mL^4)}; \xi_1 = \sqrt{T/EIL}; \Gamma = \sqrt{(\omega L)/(128EA\delta^3 \cos^5 \theta)} \left[\frac{0.31\xi_1 + 0.5}{0.31\xi_1 - 0.5} \right] \quad 2-50$$

δ adalah rasio kelengkungan kabel terhadap bentang. Untuk menentukan gaya tarik digunakan variable modal, kelengkungan kabel terhadap bentang, kekakuan lentur, kekakuan aksial

2.7 Pengolahan sinyal digital

2.7.1 Sinyal

Sinyal didefinisikan sebagai besaran fisik yang bervariasi terhadap waktu, ruang dan satu variabel atau variabel lainnya. Secara matematik sinyal dapat berupa fungsi dari satu atau lebih variabel. Sebagai contoh :

$$s_1(t) = 5t \quad 2-51$$

$$s_2(t) = 20t^2 \quad 2-52$$

Persamaan di atas menggambarkan dua sinyal, satu dengan variabel linear dengan variabel independen t (waktu) dan kedua bervariasi kuadratik dengan t . contoh lainnya adalah :

$$s(x, y) = 3x + 2xy + 10y^2 \quad 2-53$$

Persamaan ini menggambarkan sinyal dari dua variabel independen x dan y yang mewakili dua kordinat spasial sinyal dalam bidang datar. Sinyal pada persamaan (2-19) (2-20) dan (2-21) merupakan signal yang secara akurat dapat ditentukan oleh persamaan dari variabel *independent*. Tapi, ada kasus dimana hubungan persamaan tidak diketahui dan sangat rumit. Sebagai contohnya adalah sinyal suara tidak dapat diekspresikan dengan sebuah persamaan. Pada umumnya, pada bagian sinyal suara diwakilkan oleh jumlah beberapa sinuoidal dari beberapa amplitudo dan frekuensi, seperti berikut :

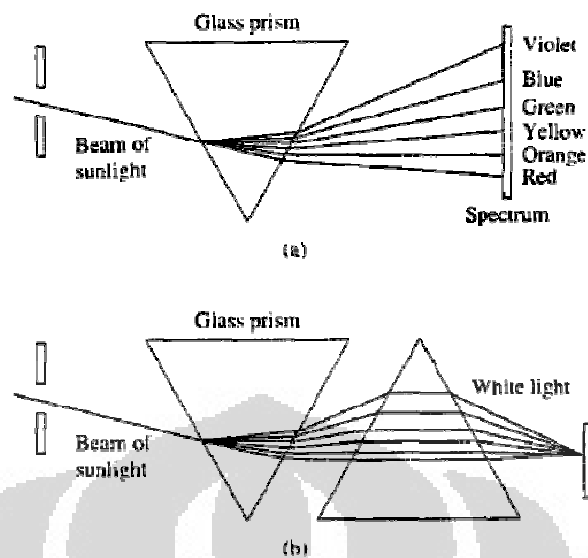
$$\sum_{i=1}^N A_i(t) \sin [2\pi F_i(t)t + \theta_i(t)] \quad 2-54$$

Dimana $\{A_i t\}$, $\{F_i(t)\}$, dan $\{\theta_i(t)\}$ yang merupakan gabungan (kemungkinan variasi waktu) amplitudo, frekuensi, dan fase, yang merupakan gelombang sinusoidal. Pada faktanya, satu cara untuk menginterpatasikan informasi isi pesan pada rentang sinyal adalah mengukur amplitudo, frekuensi, dan fase yang terdapat dalam sinyal.

2.7.2 Analisa frekuensi sinyal

Transformasi Fourier adalah salah satu alat matematika yang berguna untuk analisa dan perencanaan dari sistem LTI (*linear Time-Invariant*). Sinyal pada dasarnya merupakan gabungan dari beberapa jumlah komponen sinusoidal (*complex exponential*). Dengan proses penguraian sinyal dapat direpresentasikan menjadi bentuk frekuensi.

Sebagaimana diketahui prisma kaca dapat digunakan mengubah cahaya (sinar matahari) menjadi warna pelangi. Isaac Newton menggunakan bentuk spektrum untuk menggambarkan berkas yang berkelanjutan dari warna yang dihasilkan oleh prisma kaca. Untuk memahami fenomena ini, Newton meletakkan prisma kaca lainnya terbalik terhadap prisma pertama dan warna-warna tersebut berbaur menjadi putih. Sebagai mana ditunjukkan pada gambar 2.6. Dengan menahan satu atau dua warna yang mengenai prisma kedua maka gabungan warna tidak lagi putih. Kemudian Joseph Fraunhofer (1787-1826) melakukan pengukuran dari cahaya yang dihasilkan oleh matahari dan bintang-bintang, beberapa tahun kemudian Gustav Kirchoff dan Robert Bunsen menemukan bahwa tiap element jika dipanaskan hingga berpijar, radiasinya akan menghasilkan garis cahaya yang berbeda, sehingga masing-masing element kimia dapat diidentifikasi berdasarkan garis spektrum warnanya.



Gambar 2.8 Analisa dan warna putih sintetik menggunakan prisma kaca

Dari sifat fisik kita dapat mengetahui masing-masing warna yang cocok dengan frekuensi dari spektrum yang terlihat. Karena itu analisa dari cahaya menjadi warna adalah sebuah bentuk dari frekuensi analisis. Analisa frekuensi dari sinyal menempatkan resolusi sinyal ke komponen frekuensi (sinusoidal). Dibandingkan dengan cahaya sinyal merupakan fungsi dari waktu. Fungsi dari prisma kaca digantikan oleh analisis Fourier yaitu *Fourier series* dan *Fourier transform*. Pengabungan kembali dari komponen sinusoidal untuk merekonstruksi sinyal asal merupakan *Fourier synthesis*.

2.7.3 Fourier transform

Fourier transform adalah operasi matematika yang diterapkan pada bidang fisika dan teknik yang mengexpresikan fungsi matematika waktu sebagai fungsi frekuensi atau spektrum frekuensi, fungsi waktu sering disebut *time domain*, frekuensi spektrum sering disebut *frequency domain*.

Fourier dapat ditulis dengan persamaan 2-55, ketika domain *input* merupakan fungsi waktu maka fungsi *output* merupakan frekuensi :

$$F(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

2-55

Jika variabel independent t merepresentasikan waktu (detik), *transform* variabel ω merepresentasikan frekuensi (Hertz), $f(x)$ dapat direkonstruksi dari $F(\omega)$ *invers transform* :

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{-j\omega t} d\omega \quad 2-56$$

2.7.4 Discrete Fourier Transform (DFT)

DFT merupakan variasi numerik dari fourier transform, khususnya pada nilai vektornya yang diberikan n input dengan besarnya $(f_0, f_1, f_2, \dots, f_{n-1})$. DFT menghasilkan besar frekuensi sebanyak n .

DFT ditentukan oleh persamaan :

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} \quad 2-57$$

Dimana, k digunakan untuk menentukan urutan domain frekuensi, dan n digunakan untuk menentukan urutan time-domain. N adalah panjang rangkaian yang akan ditransformasi.

Inverse dari DFT (IDFT) diberikan oleh persamaan berikut :

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] W_N^{-kn} \quad 2-58$$

Dimana W_N adalah :

$$W_N = e^{-j2\pi/N}$$

DFT dapat dihitung dengan mudah dengan menggunakan persamaan matrik :

$$X_n = D_N x_n$$

$$x_n = \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ x(N-1) \end{bmatrix}, X_n = \begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ \cdot \\ \cdot \\ X(N-1) \end{bmatrix},$$

$$D_N = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_N^1 & W_N^2 & \dots & W_N^{(N-1)} \\ 1 & W_N^2 & W_N^4 & \dots & W_N^{2(N-1)} \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & W_N^{(N-1)} & W_N^{2(N-1)} & \dots & W_N^{(N-1)(N-1)} \end{bmatrix} \quad 2-59$$

2.7.5 Fast Fourier Transform (FFT)

DFT memisahkan tiap urutan nilai menjadi nilai dengan frekuensi yang berbeda, hal ini sangat berguna dalam berbagai bidang, tapi menghitung DFT secara langsung membutuhkan waktu yang lama sehingga tidak praktis. FFT adalah suatu cara untuk menghitung DFT dengan hasil yang sama tetapi lebih cepat. Menhitung DFT secara langsung akan membutuhkan operasi deret aritmatika sebanyak $O(N^2)$, sementara FFT dapat menghitung dengan hasil yang sama hanya membutuhkan operasi sebanyak $O(N \log N)$. perbedaaan kecepatan ini menjadi hal yang penting jika banyak data ratusan atau ribuan. FFT diterapkan dalam beragam bidang, mulai dari pengolahan sinyal digital, memecahkan persamaan differensial parsial, dan untuk algoritma untuk mengalikan bilangan bulat besar.

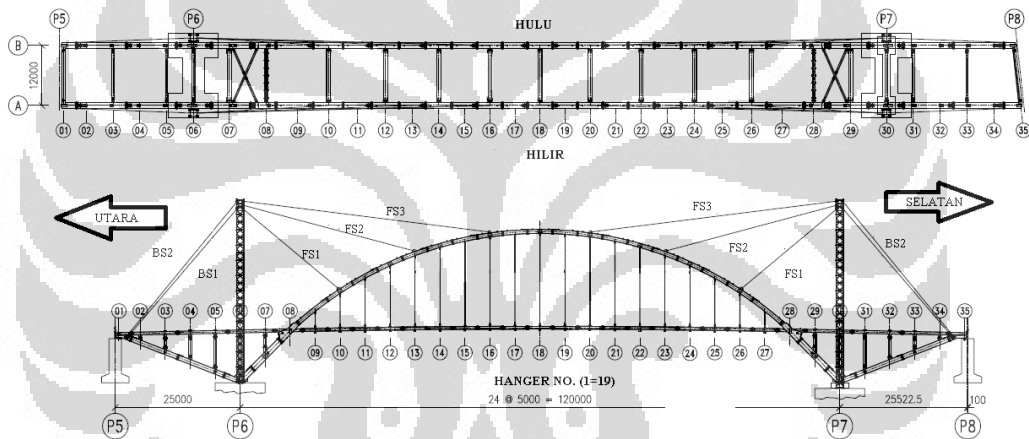
BAB III

METODELOGI PENELITIAN

Dalam penulisan skripsi ini akan pengukuran gaya tarik *hanger* di lapangan dengan metode pengukuran frekuensi, dan percobaan laboratorium untuk verifikasi hasil pengukuran di lapangan, serta pemodelan struktur untuk mengetahui gaya rencana hanger.

3.1 Data geometri jembatan

3.1.1 Geometri jembatan

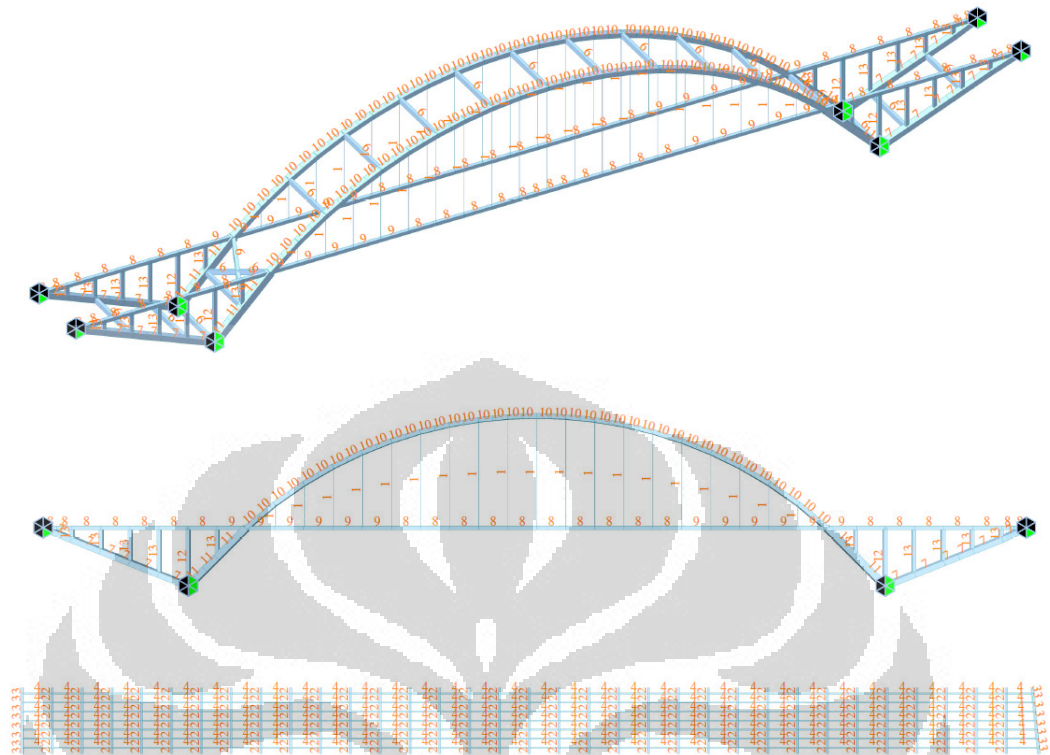


Gambar 3.1 Geometri jembatan pelengkung dengan *tower* pemasangan

3.1.2 Dimensi penampang

Tabel 3.1 Dimensi Penampang member jembatan

ID	Name	Shape	Size1 (mm)	Size2 (mm)	Size3 (mm)	Size4 (mm)	Size5 (mm)	Size6 (mm)	Area (mm ²)	Ixx (mm ⁴)	Iyy (mm ⁴)
1	Hanger	SOLID ROUND	65	0	0	0	0	0	3318.3072	1752481.01	876240.506
2	Cross Girder1	I SECTION	950	350	12	18	350	18	23568	1897632	3500057744
3	Cross Girder2	BOX SECTION	600	460	10	18	0	18	27840	1648836779	1701774720
4	Stringer1	I SECTION	450	200	8	12	200	12	8208	305152	281809584
5	Stringer2	I SECTION	250	125	6	9	125	9	3642	78102	38929334
6	Diafragma	BOX SECTION	800	600	10	16	0	16	34560	3712196983	3705733120
7	Section A	BOX SECTION	950	1220	12	24	0	24	80208	1.9628E+10	1.4024E+10
8	Section B	BOX SECTION	600	620	12	18	0	18	35856	3043691070	2249494848
9	Section C	BOX SECTION	600	620	12	24	0	24	43008	3344881180	2806235136
10	Section D	BOX SECTION	800	1220	18	24	0	24	85632	1.8671E+10	1.0094E+10
11	Section E	BOX SECTION	1200	1220	18	24	0	24	100032	3.4625E+10	2.4836E+10
12	Section F	BOX SECTION	600	620	10	18	0	18	33600	2737337847	2189692800
13	Section G	BOX SECTION	600	420	10	18	0	18	26400	1406299505	1579795200



Gambar 3.2 ID member jembatan

3.1.3 Panjang hanger

Tabel 3.2 Panjang hanger desain dan aktual

Hanger No.	Panjang Hanger (m)		Hanger No.	Panjang Hanger (m)	
	Aktual			Aktual	
	Hulu	Hilir		Hulu	Hilir
1	2.711	2.690	11	17.693	17.687
2	6.200	6.204	12	17.166	17.202
3	9.133	9.134	13	16.346	16.339
4	11.615	11.581	14	15.184	15.169
5	13.621	13.570	15	13.624	13.600
6	15.225	15.130	16	11.620	11.590
7	16.472	16.309	17	9.180	9.148
8	17.292	17.152	18	6.228	6.229
9	17.738	17.666	19	2.690	2.705
10	17.892	17.862			

3.1.4 Sifat mekanik material struktur

Sifat mekanik material struktur di dapatkan dari *shop drawing* kontraktor

Tabel 3.3 Sifat mekanik baja struktural

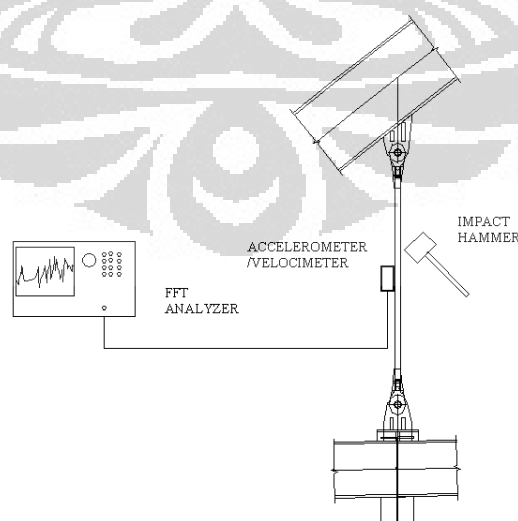
Baja mutu	JIS G 3106 SM 490 YB
Tegangan leleh	295 Mpa
Tegangan putus	490 Mpa
Modulus Elastis	200500 Mpa
Berat jenis	78.5 kN/m ³

Tabel 3.4 Sifat mekanik *hanger*

Baja mutu	Grade 460
Tegangan leleh	460 MPa
Tegangan putus	610 MPa
Modulus Elastis	210000 Mpa
Berat jenis	78.5 KN/m ³

3.2 Pengukuran Kecepatan dan percepatan *hanger*

Untuk pengukuran vibrasi *hanger* *velocimeter* dan *accelerometer* diikatkan pada *hanger*. *Hanger* di pukul dengan palu karet untuk memberikan gaya sehingga menyebabkan getaran bebas pada *hanger*. Untuk proses pelaksanaan pengukuran kecepatan dan percepatan *hanger* dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Proses pengukuran frekuensi *hanger*

3.2.1 Pengukuran Kecepatan pada *hanger*

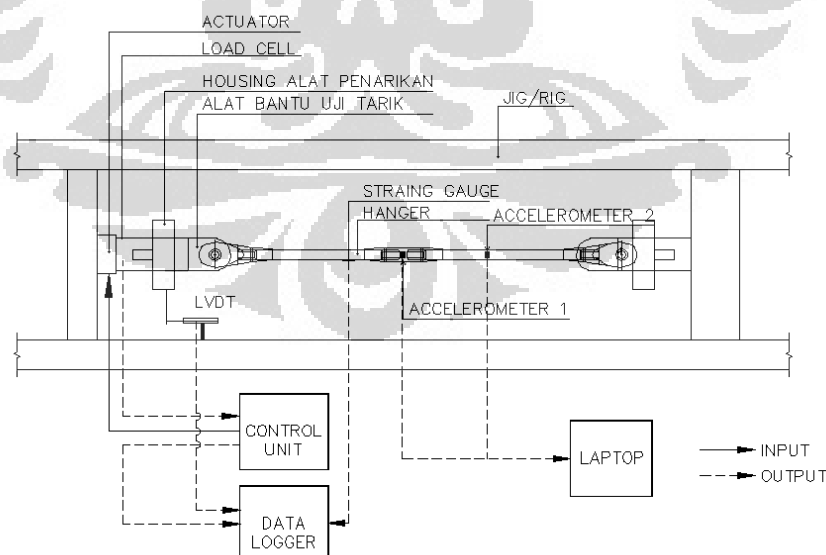
Pengukuran kecepatan pada *hanger* menggunakan alat geophone dari Goble Rausche Likins and Associates, Inc. Dari hasil pengukuran Geophone didapat 1000 sample/detik dengan lama pengukuran 20 detik. Pengukuran dilakukan pada 2 arah yaitu arah memanjang dan melintang jembatan.

3.2.2 Pengukuran percepatan *hanger*

Pengukuran percepatan menggunakan alat MR2002 dari Syscom Instrument SA. Dari accelerometer didapat 800 sampel/detik dengan lama pengukuran 2 menit. Pengukuran dilakukan pada 2 arah yaitu arah memanjang dan melintang jembatan.

3.3 Pengukuran frekuensi alami *hanger* di Laboratorium

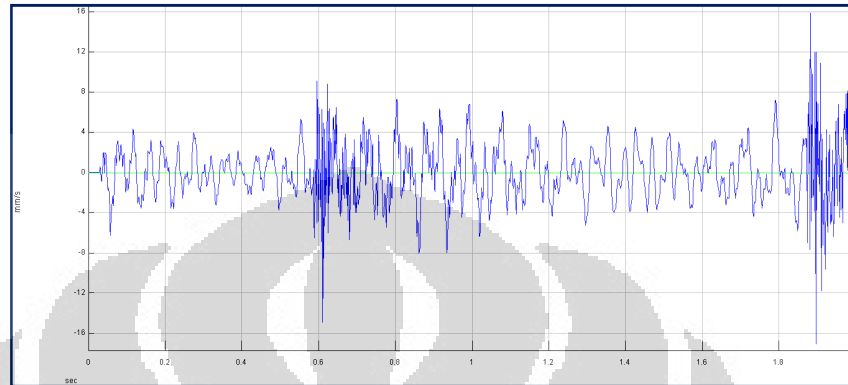
Pada dasarnya pengukuran gaya frekuensi *hanger* di laboratorium sama dengan di lapangan hanya saja di laboratorium gaya tarik yang bekerja pada *hanger* telah di ketahui sebelumnya, sehingga nantinya dapat dibandingkan dengan gaya tarik hasil perhitungan dengan metode numerik.



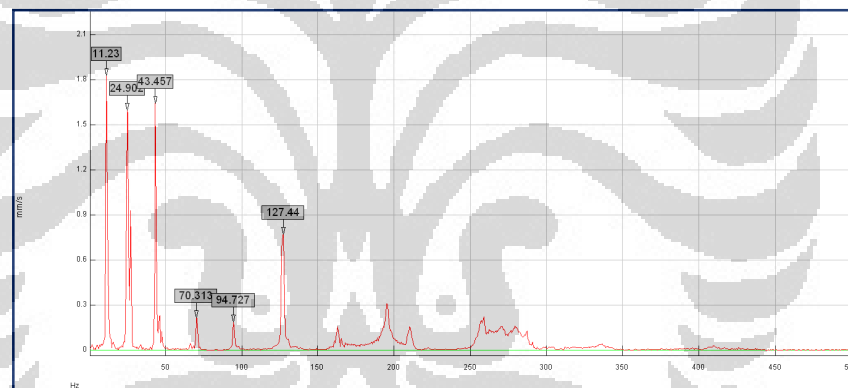
Gambar 3.4 *Setup* pengukuran frekuensi hanger di laboratorium

3.4 Frekuensi *hanger*

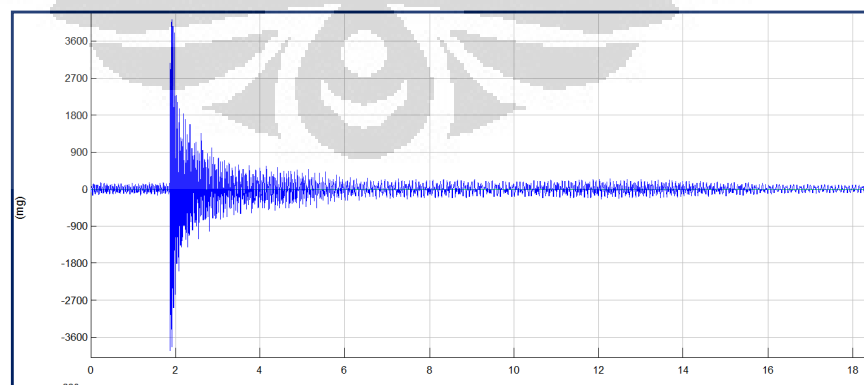
Dari hasil pengukuran kecepatan dan percepatan *hanger* dengan menggunakan algoritma FFT didapat frekuensi alami tiap *hanger*.



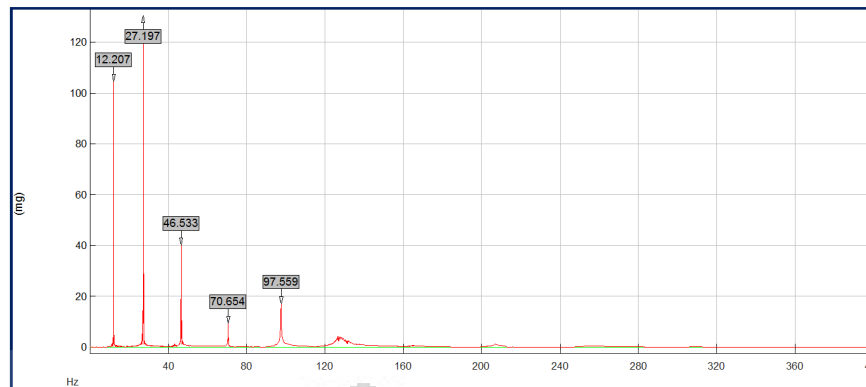
Gambar 3.5 Hasil pengukuran kecepatan hanger



Gambar 3.6 FFT dari kecepatan hanger



Gambar 3.7 Hasil pengukuran Percepatan hanger



Gambar 3.8 FFT percepatan hanger

3.5 Gaya tarik *hanger*

Dalam perhitungan gaya tarik yang terjadi pada *hanger* dilakukan dengan dua metode yang telah di bahas pada bab sebelumnya, untuk yang pertama menggunakan persamaan yang sederhana berdasarkan *vibrating chord theory* gaya tarik pada pada kabel dapat diketahui :

$$T = 4mL^2 \left(\frac{f_n}{n} \right)^2 \quad 3-1$$

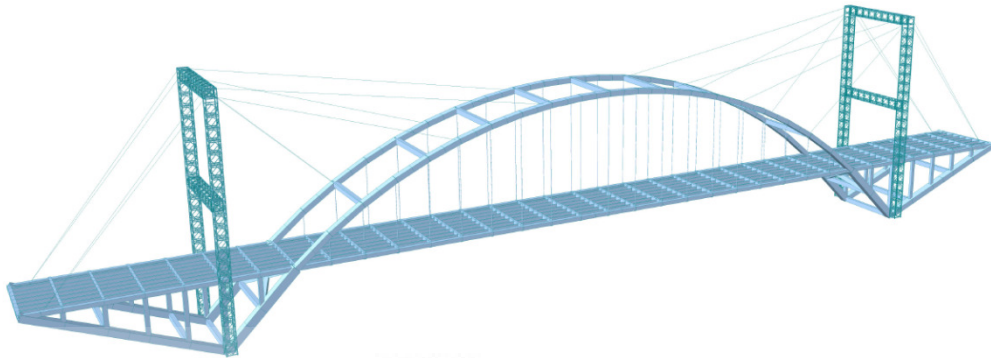
Dimana T , m , L dan f_n berurutan merupakan gaya tarik kabel, kerapatan masa, panjang, n th frekuensi alami *hanger*.

Kedua adalah teori *axial loaded beam* dengan memperhatikan kekakuan lentur *hanger* gaya tarik *hanger* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$T = 4mL^2 \left[\left(\frac{f_n}{n} \right)^2 - \left(\frac{n^2 \pi^2}{4mL^4} \right) EI \right] \quad 3-2$$

3.6 Pemodelan Struktur

Dalam pemodelan struktur dilakukan dengan memperhatikan tahapan konstruksi dan tanpa memperhatikan tahapan konstruksi.



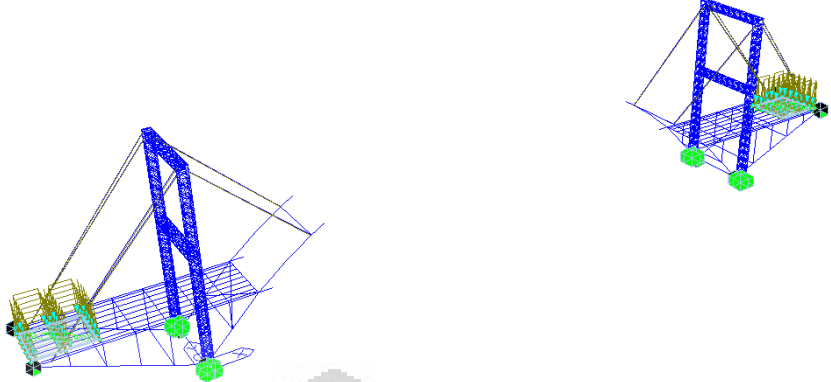
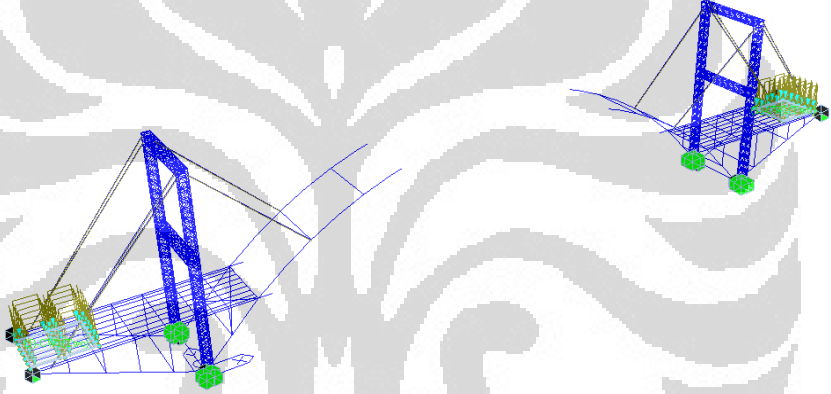
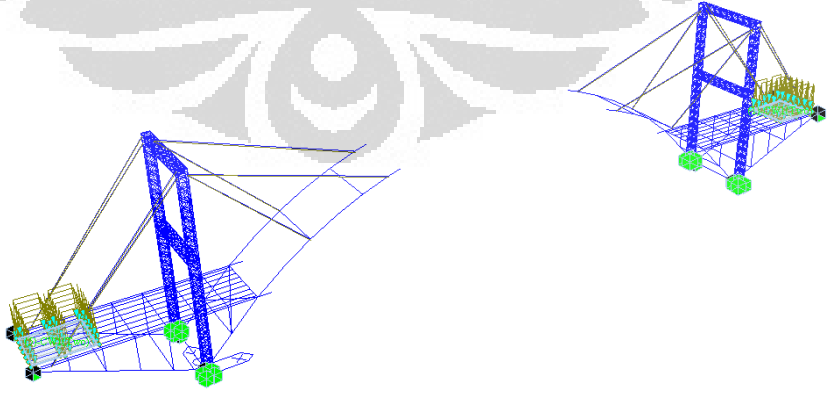
Gambar 3.9 Pemodelan struktur jembatan lengkap dengan Midas Civil 2012

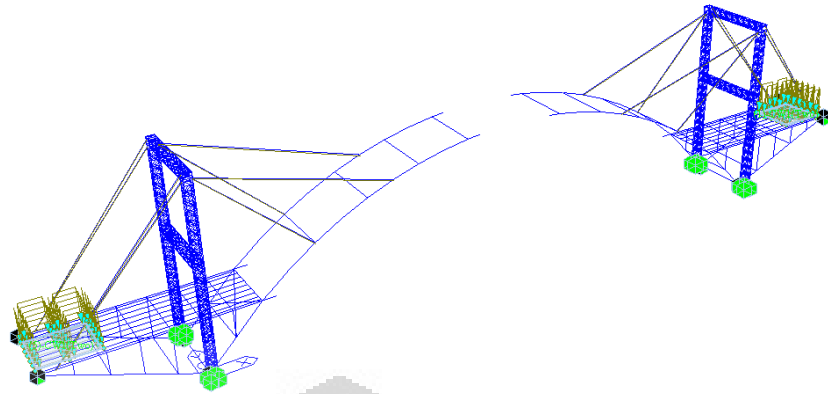
3.6.1 Pemodelan struktur dengan tahapan konstruksi

Struktur dimodelkan dengan Midas Civil 2012 dengan memasukkan tahapan konstruksi, tahapan konstruksi ini dilakukan berdasarkan laporan pelaksanaan kontraktor. Adapun tahapan konstruksi jembatan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.5 Tahapan konstruksi jembatan

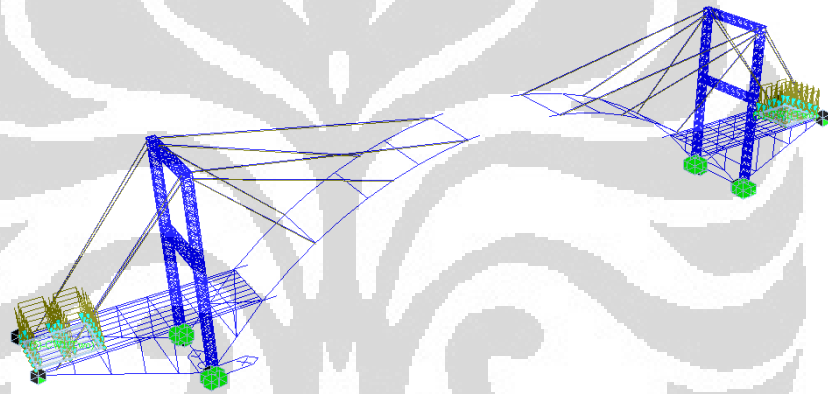
TAHAP I
<ul style="list-style-type: none"> - Beban berat sendiri struktur - Beban counter weight (CW) diletakkan di sayap (2 segmen) sebesar 65Ton - Gaya kabel penggantung BS1 dan BS2 = 0


<p style="text-align: center;">Tahap 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analisa terhadap berat sendiri struktur - Beban counter weight (CW) = 65Ton - Aplikasi gaya kabel penggantung BS1 dan BS2, untuk FS1 = 0

<p style="text-align: center;">Tahap 3</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analisa terhadap berat sendiri struktur - Beban counter weight (CW) = 65Ton - Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1

<p style="text-align: center;">TAHAP 3</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analisa terhadap berat sendiri struktur - Beban counter weight (CW) = 65Ton - Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2



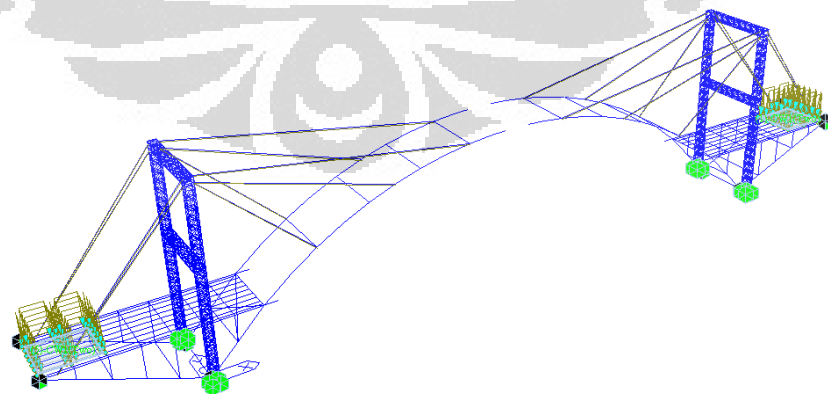
Tahap 5

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2



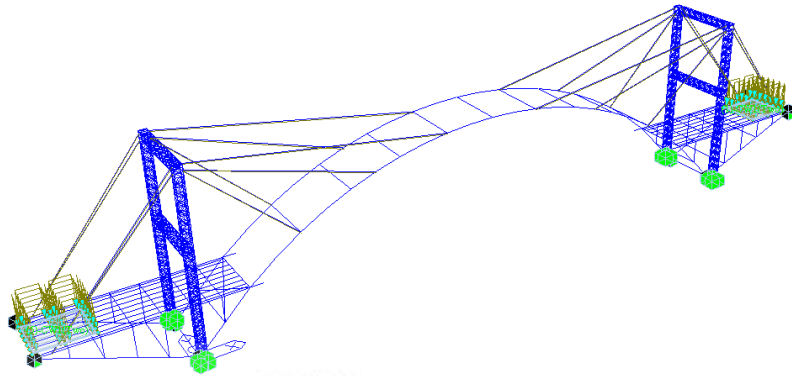
Tahap 6

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3



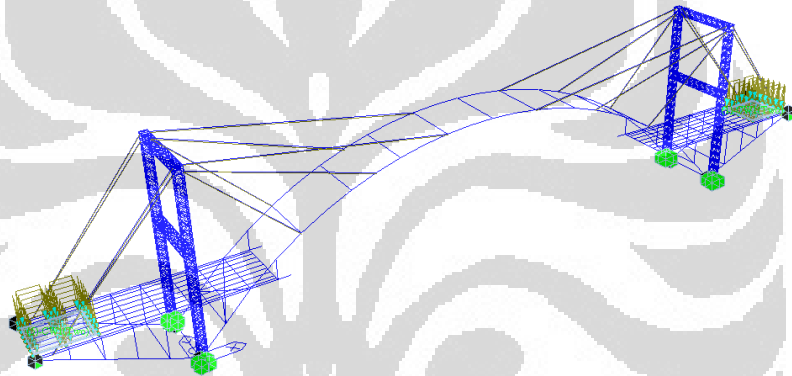
Tahap 7

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3



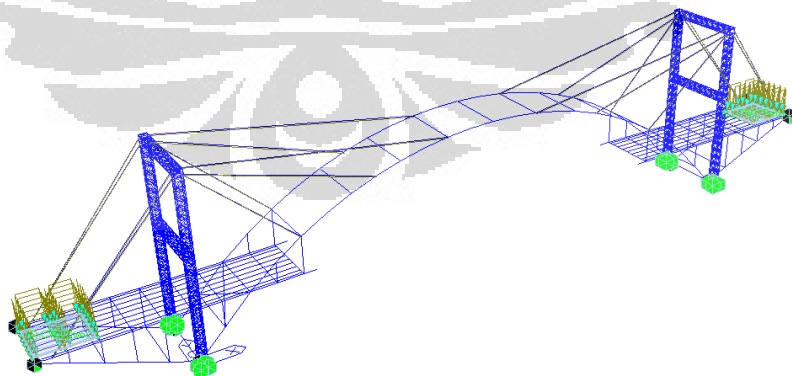
Tahap 8

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3



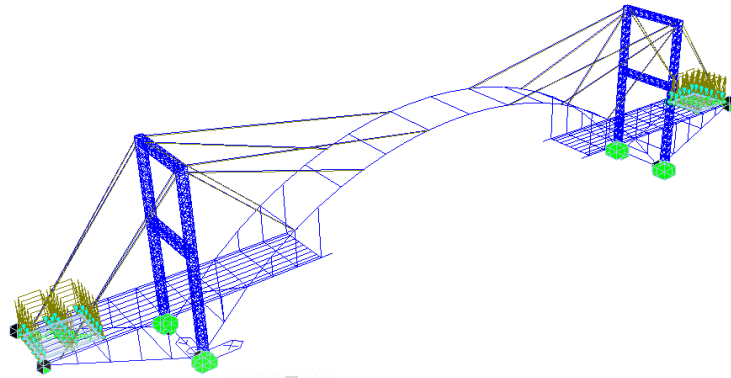
Tahap 9A

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 1 dan 19



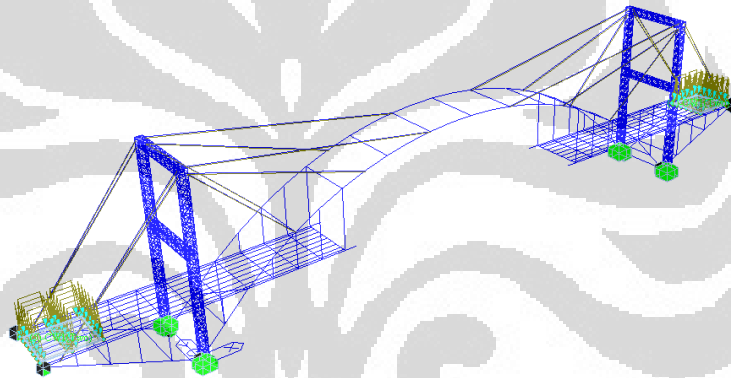
Tahap 9B

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 2 dan 18



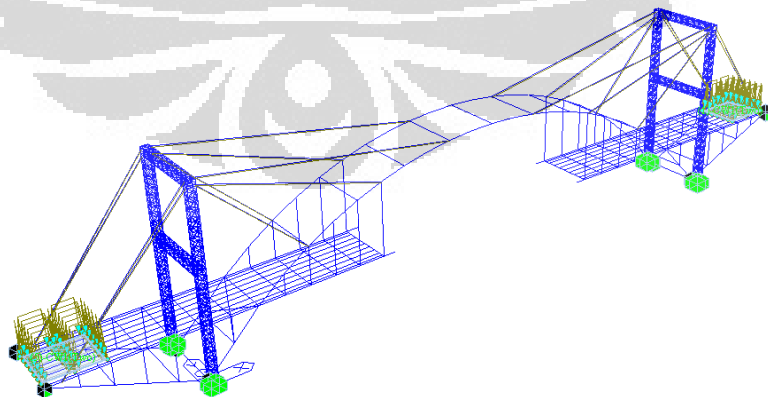
Tahap 9C

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 3 dan 17



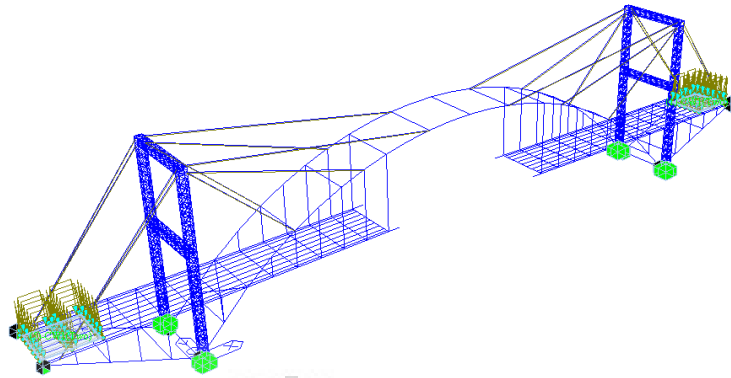
Tahap 9D

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 4 dan 16



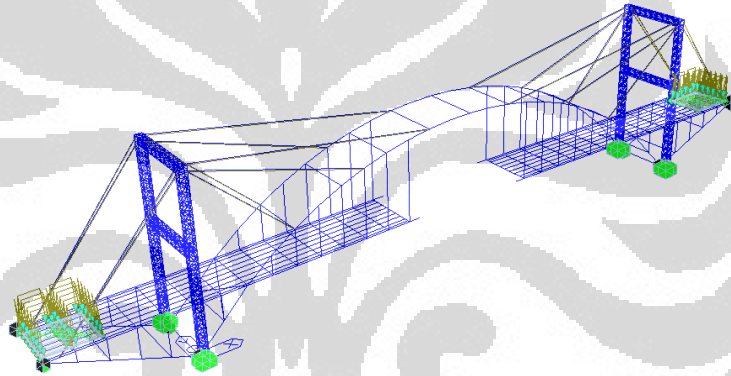
Tahap 9E

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 4 dan 16



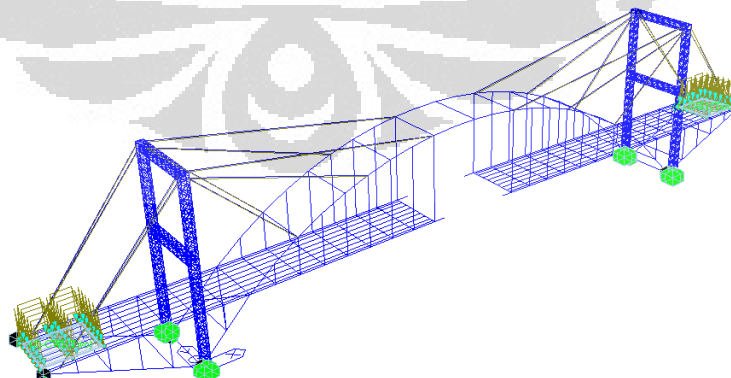
Tahap 9F

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 5 dan 15



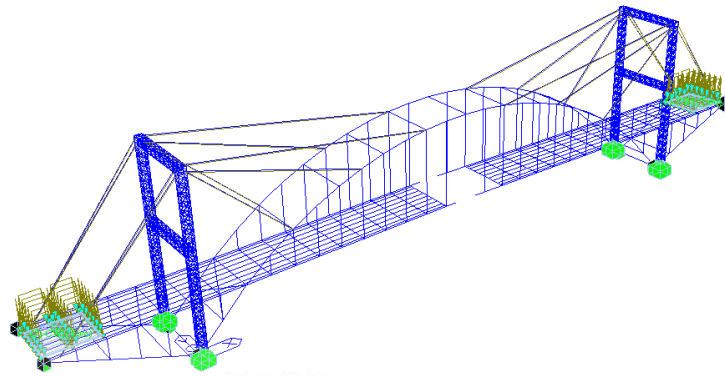
Tahap 9G

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 6 dan 14



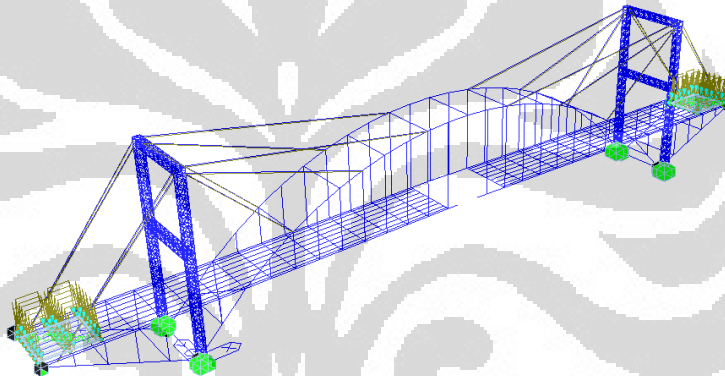
Tahap 9H

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 7 dan 13



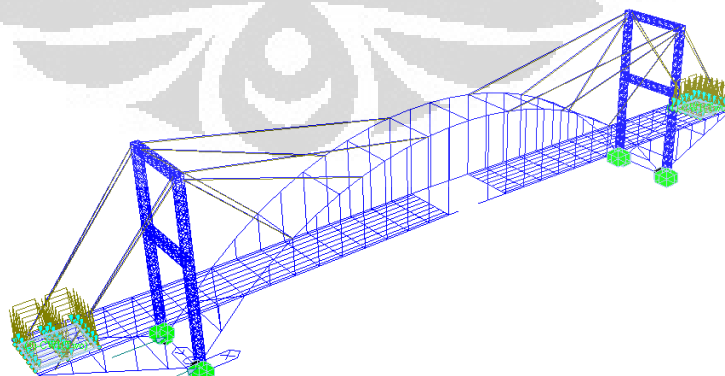
Tahap 9I

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 8 dan 12



Tahap 9J

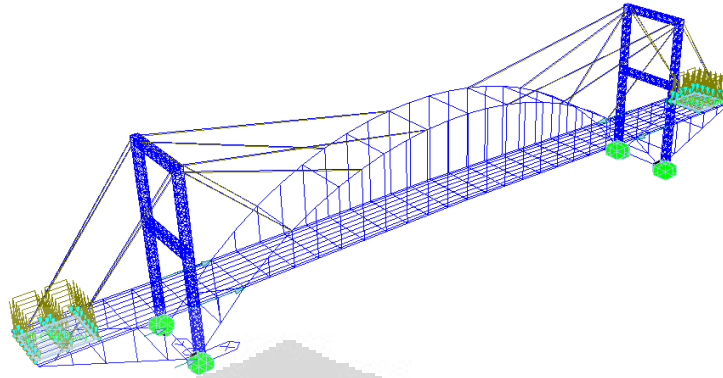
- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Pemasangan hanger 9 dan 11
- Stoper lepas dan tumpuan bergeser dan bagian ekor terangkat



Tahap 10

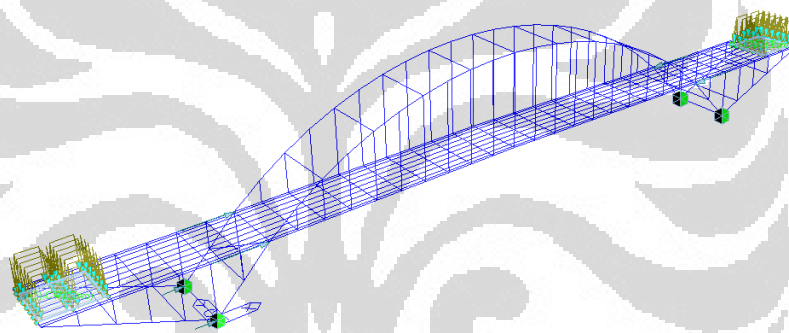
- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3

- Jacking force pada tumpuan sehingga bergeser ke posisi semula



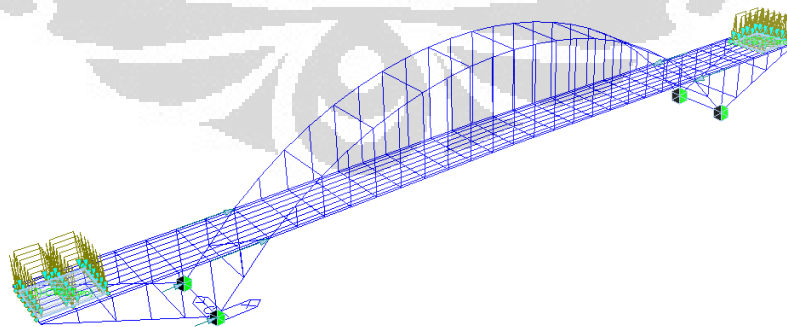
Tahap 11

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Aplikasi gaya kabel penggantung BS1, BS2 dan FS1, FS2, FS3
- Stressing tiebeam



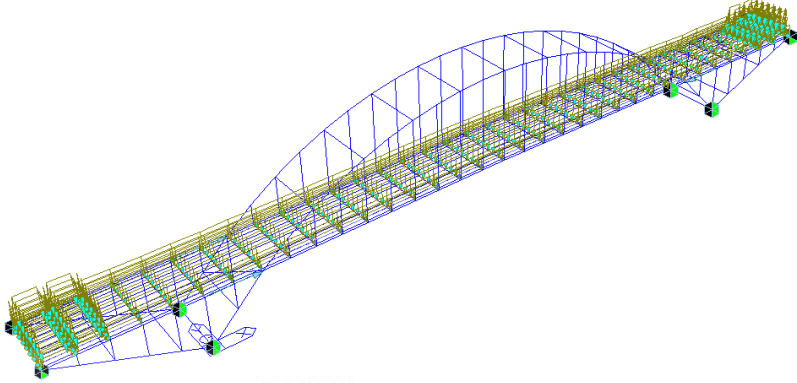
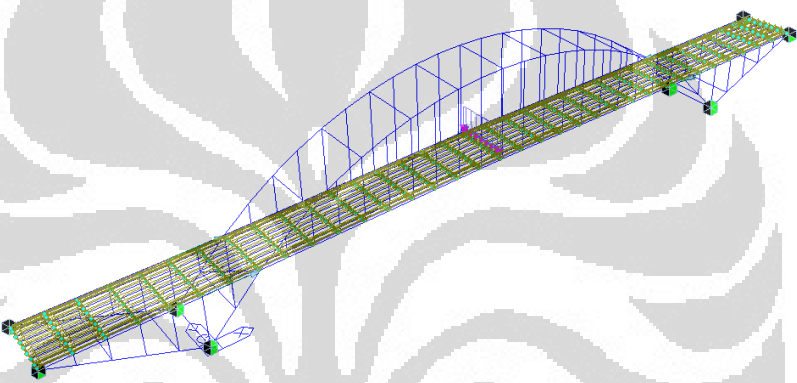
Tahap 12

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Beban counter weight (CW) = 65Ton
- Tower penggantung berikut kabel penggantung dilepas



Tahap 13

- Analisa terhadap berat sendiri struktur
- Pengecoran CW permanen 220 Ton/sisi pada ujung-ujung jembatan


<p style="text-align: center;">Tahap 14</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analisa terhadap berat sendiri struktur - Pengecoran lantai jembatan (24 kN/m³) dan aspal (22 kN/m³)

<p style="text-align: center;">Tahap 15</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analisa terhadap berat sendiri struktur - Aplikasi beban hidup sesuai BMS/SNI

3.6.2 Pembebanan Jembatan

Pembebanan jembatan didasarkan pada beban layan, hasil dari pembebanan digunakan untuk menghitung gaya tarik hanger.

1. Berat sendiri jembatan

Berat sendiri adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan element struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. berat sendiri dari elemen struktural seperti pelengkung, hanger, *stringer*, diaphragma, *cross girder* dihitung otomatis oleh program MIDAS. berat sendiri dari struktur yang tidak termasuk element struktural adalah adalah trotoar dan lantai jembatan, sehingga harus dimasukkan terpisah.

a) Beban lantai dan trotoar

No.	Element	Dimensi		w	q
		t (m)	l (m)	(KN/m3)	(KN/m2)
1	Lantai jembatan	0.3	10.6	24	7.2
2	Trotoar	0.2	1.8	22	4.4

b) Railing

No.	Element	Dimensi		w	q
		t (m)	l (m)	(KN/m3)	(KN/m2)
1	Pipa railing	-	-	-	1.25

2. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan (*superimposed dead load*), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan element non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan.

No.	Element	Dimensi		w	q
		t (m)	l (m)	(KN/m3)	(KN/m2)
1	Lapisan aspal + Overlay	0.1	-	22	2.2
2	Genangan air	0.05	-	9.8	0.49

3. Beban lajur "D" (TD)

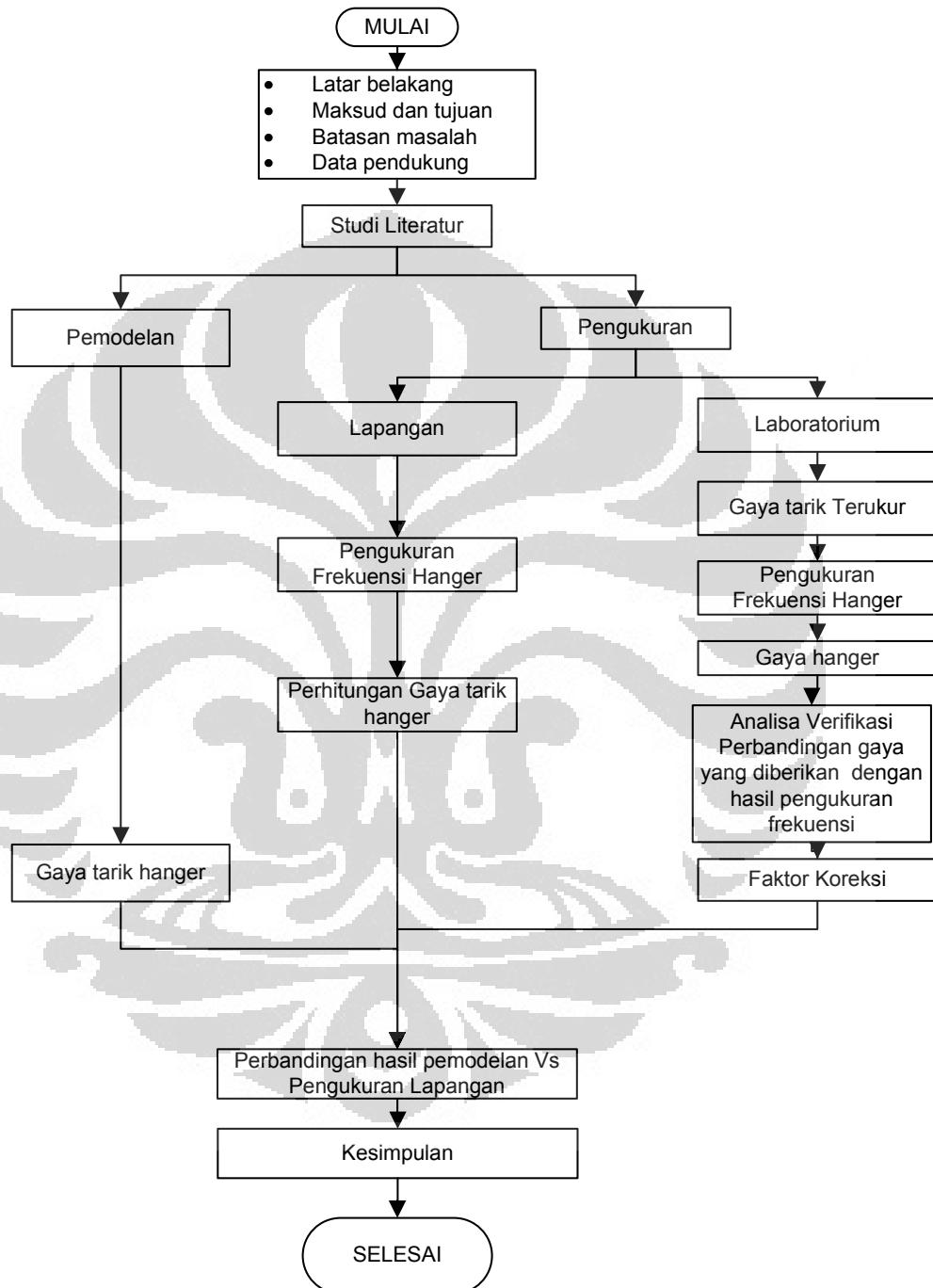
beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata (Uniform distributed load) UDL, dan beban garis (*Knife Edge Load*) KEL. UDL mempunyai intensitas q yang besarnya tergantung pada panjang L yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus.

$$\text{untuk } L > 30 \text{ m, } q = 9 \times (0.5 + 15 / L) = 90 \times (0.5 + 15 / 170) = 5.294 \text{ kN/m}^2 \text{ KEL}$$

mempunyai intensitas = 49 KN/m, faktor beban dinamis (*Dinamic Load allowance*) untuk KEL di ambil 0.3 ($L > 90 \text{ m}$)

3.7 Metodologi penelitian

Secara singkat metode penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut :



Gambar 3.10. Diagram alir metodologi penelitian

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran hanger di lapangan

Pengukuran semua hanger di lapangan dilakukan dengan dua alat yang berbeda pada arah memanjang dan melintang jembatan, dari hasil pengukuran ini didapat kecepatan dan percepatan dari masing – masing hanger, dari hasil pengukuran kecepatan dan percepatan ini didapatkan frekuensi alami hanger untuk tiap-tiap nomor modal. Dari persamaan 3-2 gaya tarik hanger dihitung untuk tiap-tiap nomor modal.

4.1.1 Peralatan

4.1.1.1 *Geophone* dan *microtremor*

Alat utama yang digunakan adalah *geophone* dan *microtremor* yang masing-masing berfungsi untuk mengukur kecepatan dan percepatan hanger, seperti yang terlihat pada gambar berikut :



a . Geophone



b. Microtremor

Gambar 4.1 Alat pengukur kecepatan dan percepatan hanger

4.1.1.2 Impact hammer

Berupa palu karet untuk memberikan gaya pada hanger agar bergetar secara bebas.



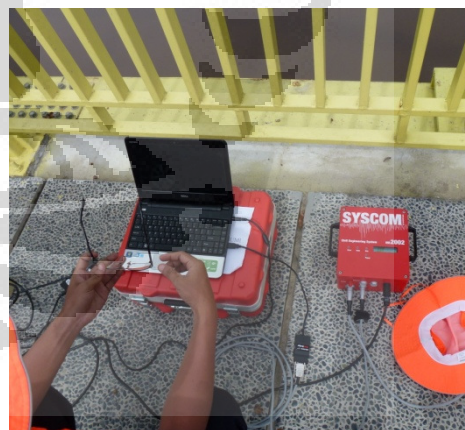
Gambar 4.2 Impact hammer

4.1.1.3 PC atau laptop

PC atau Laptop Berfungsi untuk mencatat dan menyimpan data dari Geophone dan Microtremor.



a. PC



b. Notebook

4.1.2 Proses Pengujian

4.1.2.1 Pemasangan geophone dan microtremor



Gambar 4.3 Pemasangan geophone dan microtremor

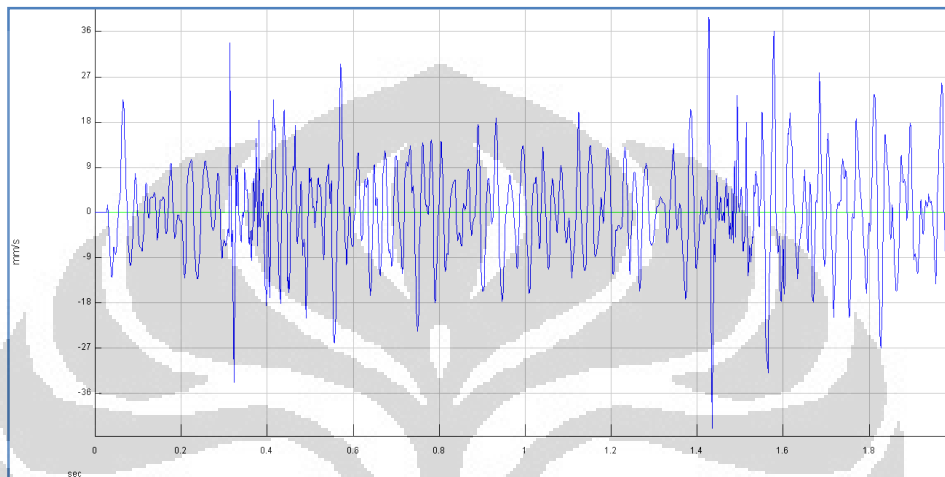
4.1.2.2 pemberian gaya pada hanger



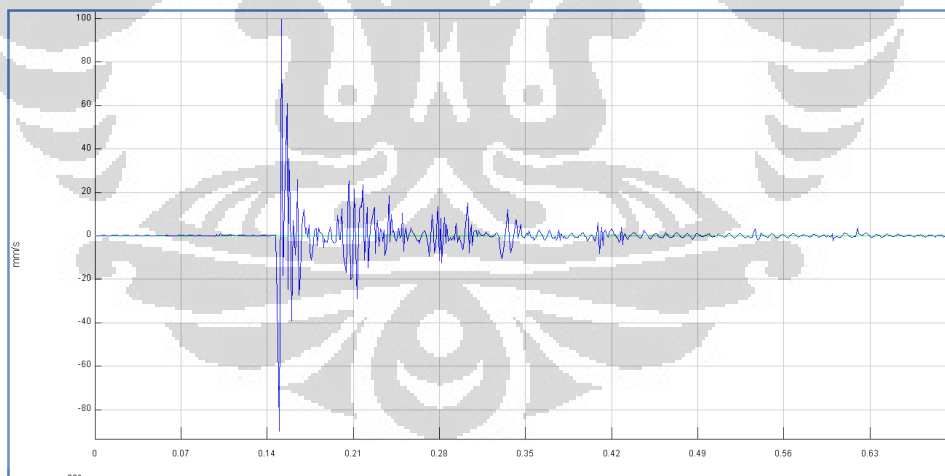
Gambar 4.4 Pemberian gaya pada hanger

4.1.3 Hasil pengukuran

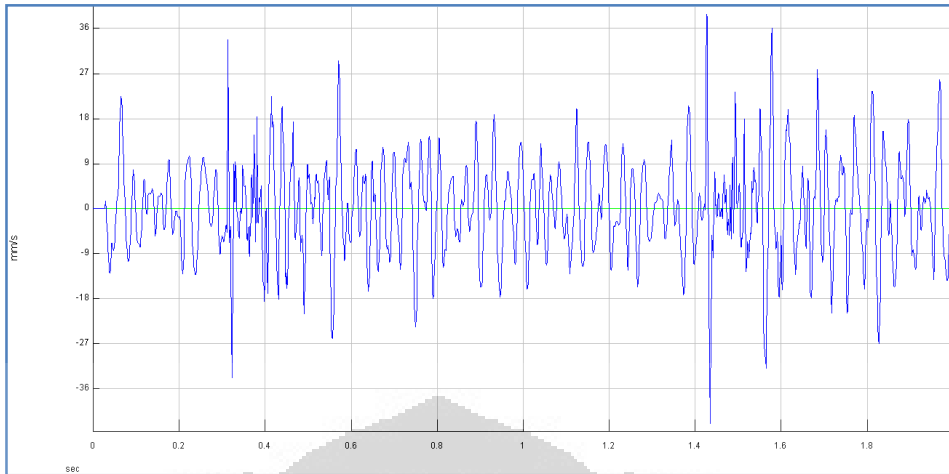
Pengukuran kecepatan dan percepatan semua hanger jembatan menggunakan alat *Geophone* dan *Microtremor*. Berikut adalah salah satu contoh hasil pengukuran kecepatan dan percepatan hanger yaitu hanger 10 hulu dan hilir. Untuk kecepatan dan percepatan hanger lainnya dapat dilihat pada lampiran A.



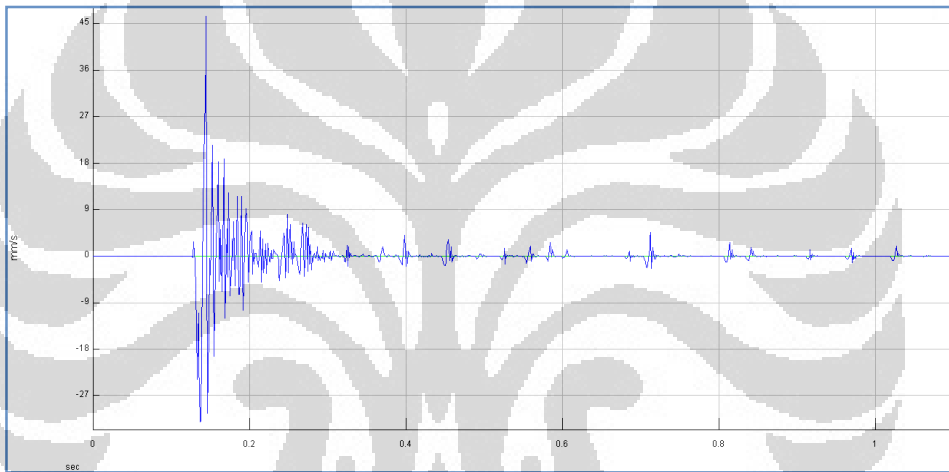
Gambar 4.5 Kecepatan hanger No. 10 hulu arah melintang jembatan



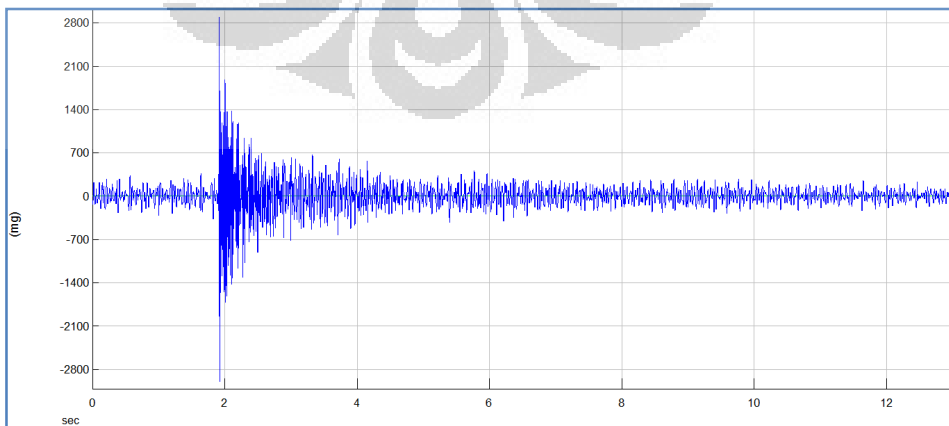
Gambar 4.6 Kecepatan hanger No. 10 hulu arah memanjang jembatan



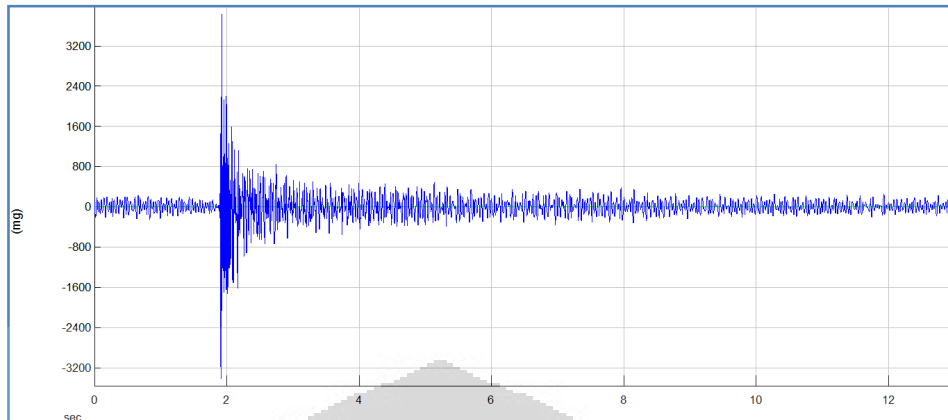
Gambar 4.7 Kecepatan hanger No. 10 hilir arah melintang jembatan



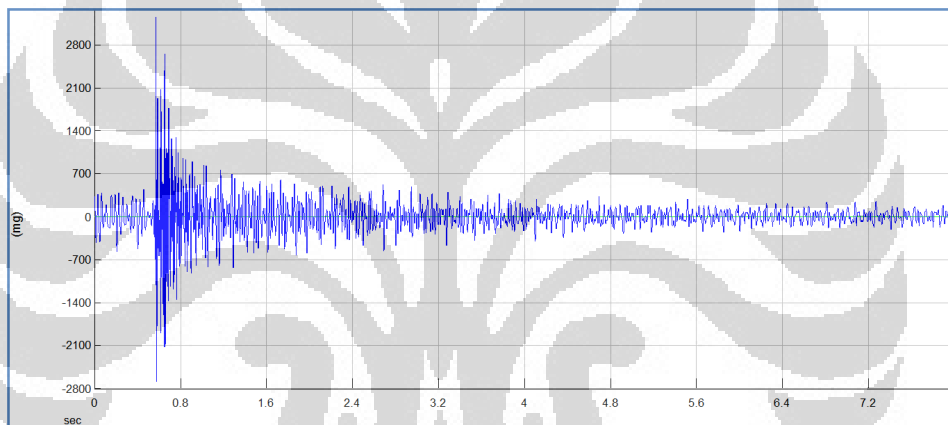
Gambar 4.8 Kecepatan hanger No. 10 hilir arah memanjang jembatan



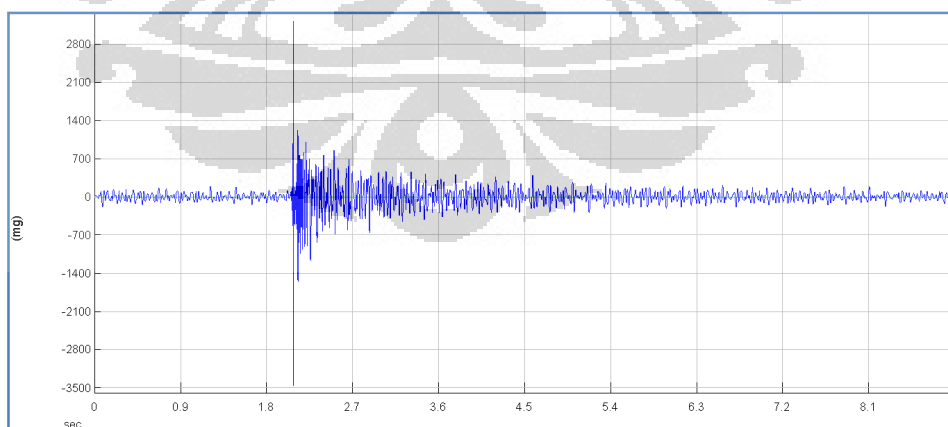
Gambar 4.9 Percepatan hanger No. 10 Hulu arah melintang jembatan



Gambar 4.10 Percepatan hanger No. 10 Hulu arah memanjang jembatan



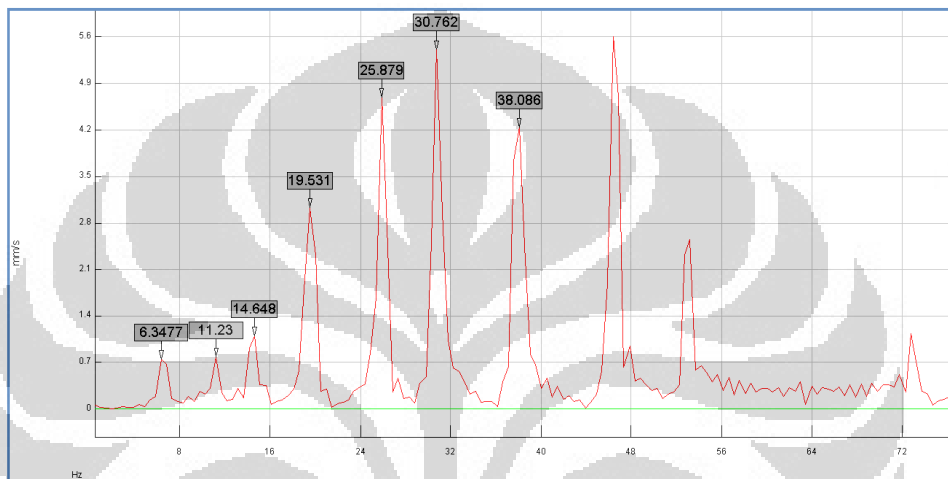
Gambar 4.11 Percepatan hanger No. 10 Hilir arah memanjang jembatan



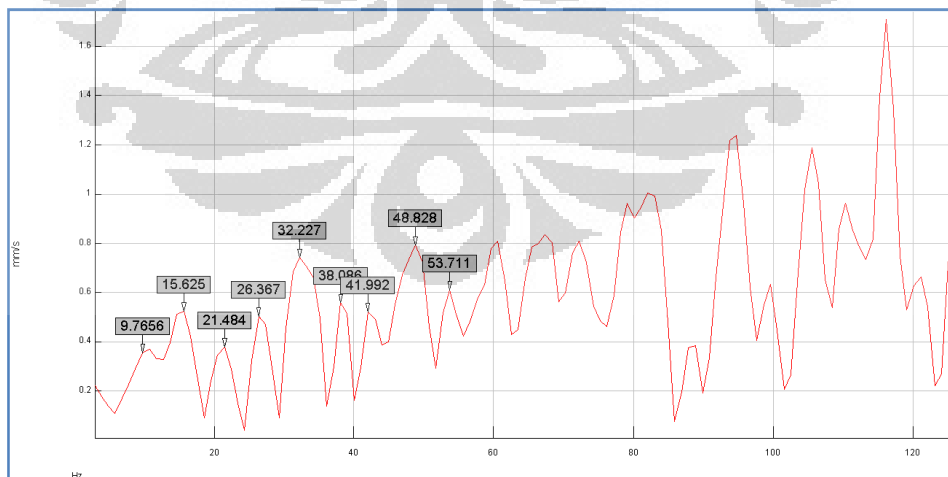
Gambar 4.12 Percepatan hanger No. 10 Hilir arah Memanjang jembatan

4.1.4 Frekuensi hanger

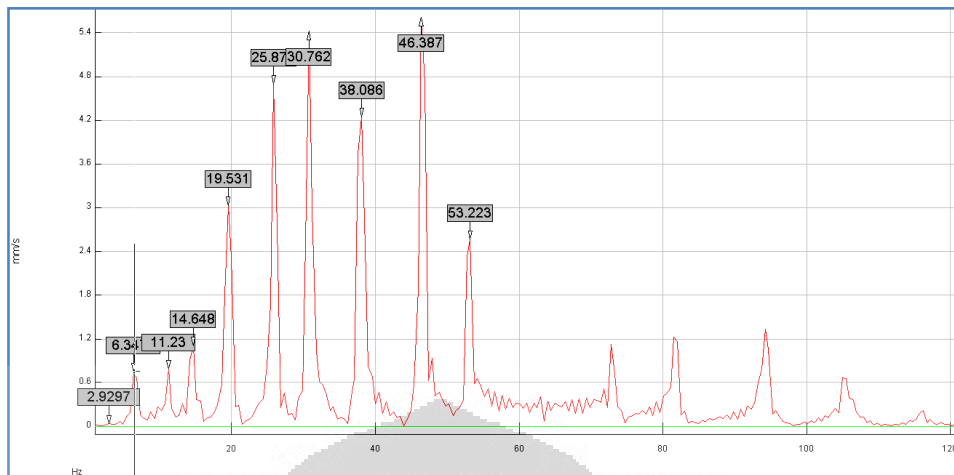
Hasil pengukuran kecepatan dan percepatan hanger diubah dalam bentuk frekuensi dengan menggunakan algoritama FFT sehingga didapatkan frekuensi alami untuk tiap modalnya, Berikut adalah salah satu contoh hasil FFT kecepatan dan percepatan hanger yaitu hanger 10 hulu dan hilir. Untuk FFT kecepatan dan percepatan hanger lainnya dapat dilihat pada lampiran A.



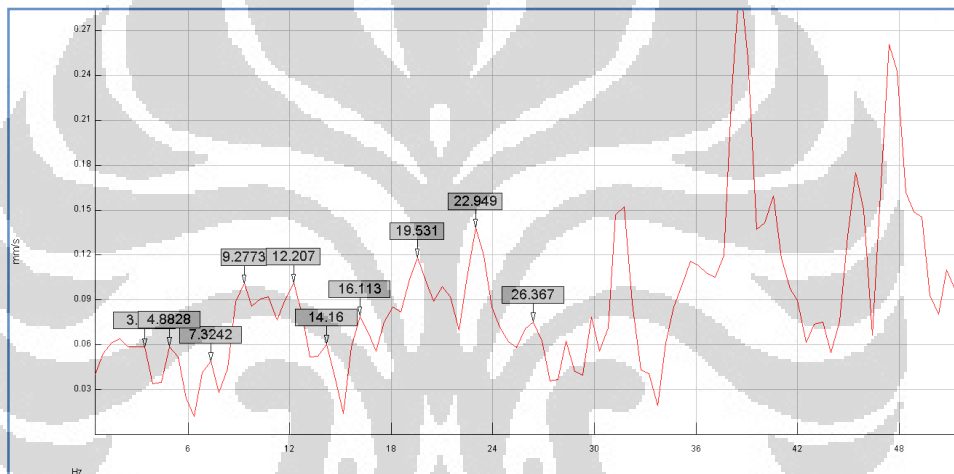
Gambar 4.13 FFT kecepatan hanger No. 10 hulu arah melintang jembatan



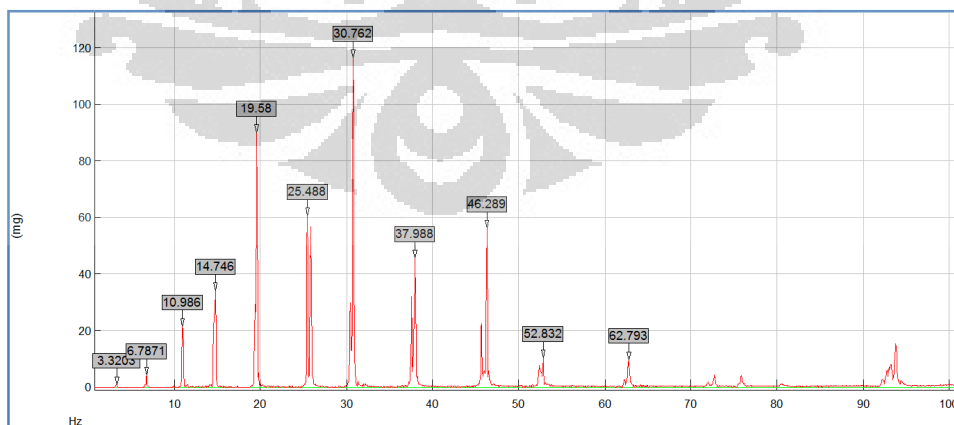
Gambar 4.14 FFT Kecepatan hanger No. 10 hulu arah memanjang jembatan



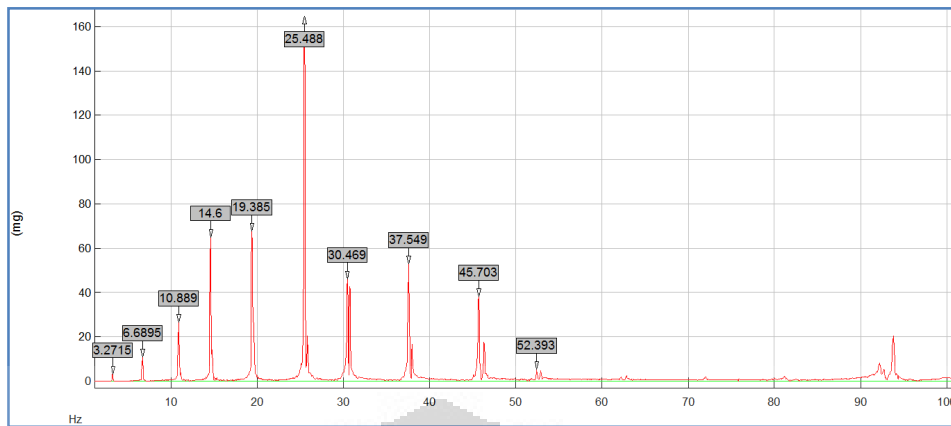
Gambar 4.15 FFT Kecepatan hanger No. 10 hilir arah melintang jembatan



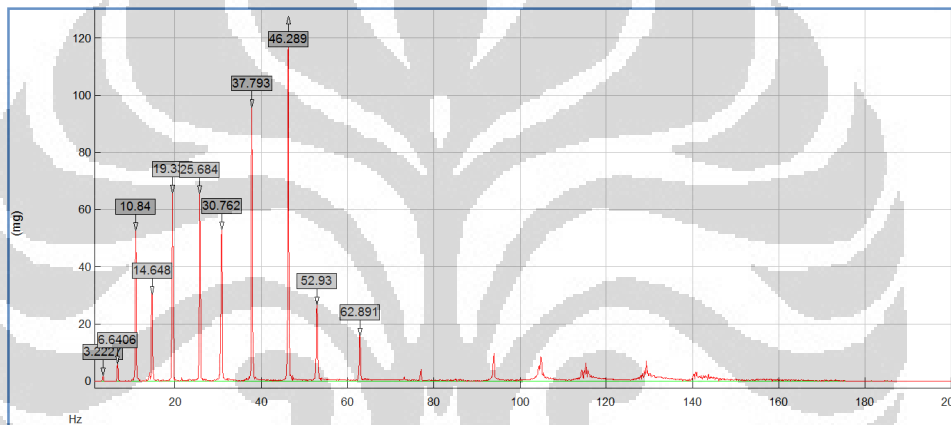
Gambar 4.16 FFT Kecepatan hanger No. 10 hilir arah memanjang jembatan



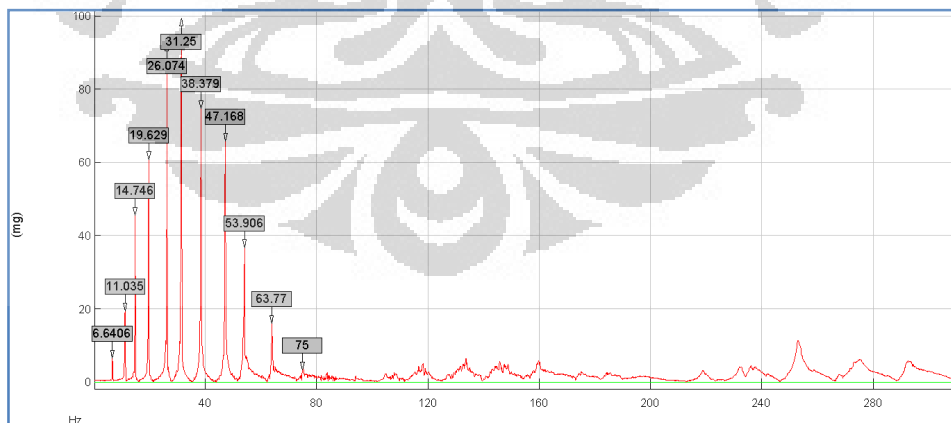
Gambar 4.17 FFT Percepatan hanger No. 10 Hulu arah melintang jembatan



Gambar 4.18 FFT Percepatan hanger No. 10 Hulu arah memanjang jembatan



Gambar 4.19 FFT Percepatan hanger No. 10 Hilir arah memanjang jembatan



Gambar 4.20 FFT Percepatan hanger No. 10 Hulu arah memanjang jembatan

Tabel 4.1 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hulu arah melintang jembatan dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Frekuensi hanger									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30.27									
2	13.67	26.79	49.81							
3	7.81	16.11	28.30	41.02	55.66					
4	3.91	8.79	13.18	20.02	26.86	35.16	45.90	55.15		
5	4.39	9.28	14.65	20.02	27.83	34.18				
6	2.44	5.37	8.79	12.21	18.07					
7	2.44	5.86	9.28	13.18	18.07	23.93	29.30	37.11	44.18	52.20
8	*	6.35	10.74	14.16	19.04	25.28	30.27	37.65	45.90	52.80
9	*	6.35	11.23	14.65	19.53	25.88	*	38.32	47.20	53.80
10	3.27	6.69	10.89	14.60	19.39	25.49	30.47	37.55	45.70	52.39
11	2.44	4.88	8.30	11.23	15.63	21.48	26.86	38.09	47.27	54.80
12	4.39	8.30	13.18	18.07	23.44	30.27	35.65	38.40		
13	1.95	3.42	6.84	10.25	14.16					
14	4.39	8.30	13.18	18.07	23.44	30.27	35.65			
15	3.91	8.79	13.67	20.51	27.34					
16	6.35	13.18	20.02	29.79	39.55					
17	6.35	13.67	24.41	37.11	50.78					
18	12.21	27.34	46.88	70.80	97.66					
19	45.90									
	*tidak terdeteksi									

Tabel 4.2 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hulu arah memanjang jembatan dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Frekuensi hanger									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	31.25	89.84								
2	16.60	29.30	46.88							
3	7.81	16.60	28.32	41.02	55.18					
4	5.86	12.01	17.58	27.34	37.60	49.32	63.18			
5	3.91	9.28	12.70	16.11	19.53					
6	3.91	6.84	8.79	12.21						
7	3.90	8.79	12.21	18.07	23.44	29.30	0.00			
8	*	4.88	7.81	10.25	11.72	13.67	16.63			
9	4.88	8.79	12.70	15.63	19.53	23.43				
10	*	*	9.77	15.63	21.48	26.37				
11	2.93	4.39	6.35	8.30	10.25	11.72				
12	5.37	11.72	17.58	23.93	30.76					
13	0.00	3.91	*	7.81	10.74					
14	0.00	9.77	*	19.53	0.00	33.20				
15	5.86	10.74	15.63	20.51	26.36	0.00				
16	3.91	8.30	14.16	18.07						
17	7.81	16.60	27.34	38.09						
18	11.23	24.90	43.57							
19	38.57	77.15	115.70	154.30						

Tabel 4.3 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hilir arah melintang jembatan dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Frekuensi hanger									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35.16	82.52								
2	13.67	29.79	50.78	76.71						
3	7.81	15.63	27.34	44.92	56.64					
4	5.37	11.23	18.07	26.86	36.62	48.34	61.52	75.68		
5	3.91	8.30	13.18	20.02	26.86	35.65	46.39	55.66		
6	3.91	8.79	13.67	18.56	25.88	31.74	41.50	49.81		
7	3.42	7.32	11.72	15.63	22.46	28.32	34.67			
8	2.93	5.37	9.28	13.18	18.07	23.93	37.11	44.92		
9	*	6.35	10.74	14.16	19.04	25.39	30.27	37.60	45.90	
10	2.93	6.34	11.23	14.65	19.53	25.87	30.76	38.09	46.39	53.22
11	3.42	6.84	10.74	14.65	19.53	25.88	30.76	33.12	40.86	47.79
12	1.95	3.91	6.35	9.87	13.67	19.53	24.41			
13	4.39	8.79	14.16	18.56	25.88	31.74	38.57			
14	3.42	7.81	12.21	17.58	24.41	20.27	39.55	47.85	62.30	
15	3.42	8.30	12.70	19.04	25.88	34.18				
16	5.37	12.21	18.56	28.32	38.09	49.81	62.01	-		
17	7.81	16.60	28.81	41.99	55.66	76.17				
18	12.70	29.30	49.81	74.22	101.56					
19	45.85									

Tabel 4.4 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hilir arah memanjang jembatan dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Frekuensi hanger									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35.156									
2	14.16	31.74	53.71							
3	7.81	15.63	27.34							
4	5.37	10.25	15.14							
5	4.88	8.79	12.21							
6	3.42	7.32	10.74	13.67	17.58					
7	2.93	6.84	9.28							
8	3.42	6.83	9.28	13.18	15.14	17.58	20.51	22.95		
9	*	*	9.77	12.70	15.63	19.53	23.44			
10	*	7.73	9.28	12.21	14.16	16.11	19.53			
11	*	6.84	10.74	16.60	21.48	0.00				
12	1.95	3.91	6.84	9.76	12.70	15.63				
13	4.88	*	*	19.53	0.00	32.23				
14	3.91	6.84	9.77	12.70	15.63	18.56				
15	2.90	6.84	9.77	13.10	16.60	20.02				
16	3.42	7.81	11.72	16.60	19.04	24.00	28.32			
17	11.72	19.53	29.30	41.99	55.66					
18	15.63	33.20	48.83	62.5	74.219					
19	47.85	83.98								

Tabel 4.5 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hulu arah melintang jembatan dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Frekuensi hanger									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29.88									
2	12.69	28.32	47.75	70.70						
3	7.81	16.60	28.22	40.63	54.88					
4	5.08	11.33	18.07	27.15	37.11	49.32	63.18			
5	3.69	8.37	12.94	19.46	26.42	34.74	44.90			
6	4.39	9.47	14.75	19.82	27.73	33.79	43.07	52.05	61.43	
7	2.34	6.07	8.59	12.11	17.58	22.95	28.91	37.70	44.73	
8	3.13	6.64	10.84	14.65	19.92	26.37	31.64	39.94	48.34	55.76
9	3.13	6.45	10.65	14.58	19.34	25.68	30.86	38.28	46.58	53.52
10	3.27	6.69	10.89	14.60	19.39	25.49	30.47	37.55	45.70	52.39
11	2.25	4.79	6.06	11.33	15.57	21.14	26.17	33.15	40.82	47.89
12	4.10	8.30	13.57	17.77	23.92	30.76	36.23			
13	1.56	3.81	6.93	10.35	15.63	21.09	27.54			
14	4.30	9.18	14.45	19.73						
15	3.86	8.89	13.77	20.75	28.17					
16	5.96	12.89	20.02	29.10	39.18					
17	6.54	14.26	26.59	38.18	52.83					
18	11.18	25.12	43.56							
19	39.06	87.01								

Tabel 4.6 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hulu arah memanjang jembatan dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Frekuensi hanger									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29.88	78.52								
2	13.72	29.93	50.24							
3	7.81	16.60	28.41	41.21	55.37					
4	4.98	11.04	17.58	26.37	35.84	47.66				
5	3.71	8.59	13.28	19.97	26.96	35.35				
6	4.39	9.38	14.65	19.82	27.83	33.46	43.36	51.66		
7	2.25	5.08	8.59	12.11	17.58	22.95	28.91	37.50		
8	3.13	6.54	10.74	14.55	19.82	25.98	31.25	39.56		
9	3.13	6.45	10.55	14.26	19.09	25.29	30.27	37.74	45.90	52.73
10	3.32	6.79	10.99	14.75	19.58	26.48	30.76	37.99		
11	2.25	4.88	8.25	11.52	15.97	21.63	26.51	33.45	41.46	
12	4.00	8.30	13.38	17.48	23.44	30.08	35.45	44.43	52.15	
13	1.56	3.81	6.93	10.35	15.43	20.70	26.95			
14	4.30	9.06	14.26	19.43	27.25	33.11	42.77	51.56	62.30	
15	3.61	8.79	13.67	20.40	27.54	36.13	46.58	58.25	72.70	
16	5.96	13.09	20.12	29.49	39.45	51.56	64.84			
17	6.25	13.87	24.61	36.62	50.68	69.43	87.21	108.01	130.96	
18	12.21	27.20	46.53	70.55	97.56					
19	45.51									

Tabel 4.7 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hilir arah melintang jembatan dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Frekuensi hanger									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35.35									
2	13.48	29.88	50.68	75.98						
3	7.81	16.60	28.32	41.21	55.27					
4	5.08	11.33	16.02	26.71	36.77	48.29	62.40			
5	3.71	8.41	13.18	19.97	27.05	35.45	46.14	55.71		
6	4.00	8.59	13.48	18.46	26.07	31.74	41.21	49.61	58.98	
7	3.42	7.23	11.82	15.92	22.17	28.22	34.67	43.95	51.37	
8	2.69	5.62	9.47	12.99	18.07	24.07	29.25	37.50	45.22	52.78
9	3.13	6.45	10.55	14.26	19.14	25.29	30.27	37.70	45.90	52.73
10	3.22	5.54	10.84	14.65	19.31	25.68	30.76	37.70	46.29	52.93
11	3.22	6.54	10.74	14.45	19.34	25.59	30.47	37.89	46.09	52.73
12	1.86	4.10	6.84	9.91	14.36	19.58				
13	4.20	8.84	14.01	18.06	25.49	31.64	36.33			
14	3.52	7.71	12.40	17.19	24.51	30.27	39.55	28.24		
15	3.52	8.11	12.60	19.04	25.88					
16	6.42	11.96	18.70	27.98	37.40					
17	8.00	16.85	28.76	41.75	56.16					
18	12.40	28.13	49.02	73.93	102.93					
19	46.48									

Tabel 4.8 Nomor modal dan frekuensi alami hanger hilir arah memanjang jembatan dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Frekuensi hanger									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35.55									
2	14.16	31.64	53.81	62.03						
3	7.81	16.60	28.32	40.72	54.88					
4	5.03	11.13	17.82	26.37	36.48	47.51	61.87			
5	3.76	8.64	13.43	20.31	27.69	36.28	47.27	57.13		
6	4.10	8.79	13.87	19.04	26.86	32.91	42.68	51.75	61.23	
7	3.37	7.18	11.62	15.67	21.88	27.73	34.18	43.31	50.88	
8	2.54	5.56	9.28	12.70	17.68	23.32	28.71	38.52	44.14	52.15
9	3.13	6.49	10.60	14.45	19.39	25.73	30.86	38.18	46.48	53.22
10	3.23	6.64	11.04	14.75	19.63	26.07	31.25	38.38	47.17	53.91
11	3.23	6.64	10.94	14.75	19.33	26.10	31.25	38.77	47.27	54.10
12	1.86	4.10	7.32	10.65	15.23	21.00	26.07	34.08		
13	4.25	8.84	14.11	18.65	25.68	31.93	38.62			
14	3.59	7.61	12.52	17.36	24.50	30.81	40.21	49.17		
15	3.61	8.30	12.99	19.63	26.76					
16	6.47	12.01	18.65	28.03	37.40					
17	7.91	16.90	28.52	41.11	55.57					
18	12.11	27.64	47.35	73.05	103.13					
19	46.88									

4.1.5 Gaya tarik hanger

Dengan menggunakan persamaan *string theory* tanpa pengaruh kekakuan lentur dan *axially loaded beam* dengan pengaruh kekakuan lentur masing – masing gaya hanger dihitung berdasarkan frekuensi dari tiap nomor modalnya.

4.1.5.1 String Theory

Gaya tarik hanger/kabel dapat berdasarkan string theory ditentukan dengan persamaan :

$$T = 4mL^2 \left(\frac{f_n}{n} \right)^2 \quad (4-1)$$

dimana :

L adalah panjang hanger ditentukan pada tabel 3.2

m adalah berat hanger persatuan panjang =26.05 kg/m

f_n adalah frekuensi hanger pada mode- n

n adalah nomor modal frekuensi hanger yang ditinjau

dari persamaan di atas dapat ditentukan gaya tarik hanger untuk tiap-tiap modal dari frekuensi terukur hanger. Berikut adalah tipikal perhitungan gaya tarik hanger dengan string theory. Tipikal perhitungan ini diambil dari hanger hulu no. 9 berdasarkan frekuensi alami pertama percepatan hanger arah melintang jembatan. Frekuensi alami pertama hanger f_1 adalah 3.13 Hz, berat hanger persatuan panjang 26.05 kg/m dan panjang hanger adalah 17738 mm. Maka gaya tarik berdasarkan string theory adalah :

$$T = 4mL^2 \left(\frac{f_n}{n} \right)^2 = 4 \times 26.05 \times \left(\frac{17738}{1000} \right)^2 \left(\frac{3.13}{1} \right)^2 = 320160 \text{ N} = 320.16 \text{ KN}$$

Untuk kesimpulan gaya tarik hanger berdasarkan string theory dapat dilihat pada tabel 4.9 sampai pada tabel 4.16.

Tabel 4.9 Gaya tarik hanger hulu arah melintang jembatan berdasarkan *string theory* dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	701.90									
2	748.58	718.28	1103.76							
3	530.43	564.08	773.36	913.77	1077.11					
4	335.15	443.20	482.61	610.80	734.12					
5	294.98	373.33	373.35	484.26	557.67	663.69	831.11	918.71		
6	466.43	519.70	575.82	605.03	748.38	783.81				
7	168.50	203.89	242.65	263.28	369.07					
8	185.69	267.40	297.93	338.45	406.72	495.40	545.71	670.34	750.73	848.90
9	*	330.17	420.25	410.84	475.55	581.99	613.17	726.13	852.72	913.97
10	*	336.02	467.42	447.32	509.13	620.55	*	765.34	917.46	965.50
11	194.41	194.41	249.71	257.09	318.52	418.19	480.06	739.25	899.76	979.50
12	592.93	528.88	592.97	626.30	674.66	781.61	796.13	707.40		
13	106.20	81.35	144.65	182.96	223.30	0.00	0.00	0.00		
14	463.90	413.79	463.93	490.01	527.84	611.52	622.88			
15	295.13	373.51	401.70	508.40	578.44					
16	566.86	611.33	626.51	780.04	880.27					
17	353.79	410.32	581.50	755.71	905.69					
18	602.26	755.49	986.75	1266.26	1541.78					
19	1588.32									
*tidak terdeteksi										

Tabel 4.10 Gaya tarik hanger hulu arah memanjang jembatan berdasarkan *string theory* dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	747.94	1545.55								
2	1103.81	859.33	977.72							
3	530.43	598.84	774.45	913.77	1058.31					
4	482.62	506.90	482.61	656.91	794.86	949.67	1145.30			
5	294.98	415.96	346.17	313.69	294.94					
6	368.50	282.16	207.31	224.94						
7	429.99	545.96	468.06	576.68	621.20	674.02				
8	*	185.69	211.28	204.73	171.14	161.76	175.73			
9	781.63	633.13	587.07	500.25	500.23	499.84				
10	*	*	353.46	508.99	615.85	644.18				
11	279.82	157.47	146.03	140.46	137.18	124.43				
12	885.74	1054.15	1054.09	1098.50	1162.17					
13	*	106.21	*	106.21	128.51					
14	*	572.65	*	572.71						
15	664.02	557.94	524.66	508.40	537.44					
16	214.89	242.34	313.42	287.10						
17	535.92	605.03	729.45	796.02						
18	509.71	626.58	852.66	*						
19	1121.86	1121.86	1121.44	1121.92						
*tidak terdeteksi										

Tabel 4.11 Gaya tarik hanger hilir arah melintang jembatan berdasarkan *string theory* dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	931.86	1283.54								
2	749.56	889.36	1148.96	1474.86						
3	530.52	530.52	722.11	1096.18	1115.43					
4	403.12	440.56	506.75	629.85	749.60	907.03	1079.42	1250.66		
5	292.86	330.52	370.57	480.65	553.51	677.19	842.59	928.94		
6	363.97	460.64	495.40	513.26	638.98	667.41	838.53	924.49		
7	323.76	371.66	422.88	422.86	559.24	617.40	679.74			
8	263.09	221.07	293.13	332.99	400.17	487.41	861.44	966.49		
9	*	327.58	416.93	407.52	471.70	582.37	608.21	718.27	845.75	
10	284.98	334.06	465.82	445.80	507.23	618.00	642.00	753.44	883.09	941.56
11	380.81	380.80	417.92	437.12	497.36	606.40	629.50	558.68	671.85	744.45
12	117.60	117.62	138.04	187.56	230.54	326.71	375.06			
13	537.19	537.20	619.72	598.57	745.19	778.34	844.70			
14	280.08	365.81	396.92	462.97	571.57	273.69	765.33	857.73	1148.74	
15	225.16	332.00	345.12	436.82	516.31	625.45				
16	403.75	521.37	535.39	701.55	812.04	964.35	1098.36			
17	532.19	600.82	804.08	960.95	1080.67	1405.32				
18	651.68	867.53	1114.30	1391.91	1668.04					
19	1602.87									
* tidak terdeteksi										

Tabel 4.12 Gaya tarik hanger hilir arah memanjang jembatan berdasarkan *string theory* dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	931.86									
2	804.03	1009.82	1285.37							
3	530.52	530.52	722.11							
4	403.12	367.31	355.75							
5	457.46	370.55	317.68							
6	278.66	319.89	305.82	278.66						
7	237.86	323.75	265.02							
8	358.10	357.47	293.13	332.99	280.93	263.09	263.09	252.24		
9	*	*	344.58	327.56	317.57	344.58	364.57			
10	*	496.90	317.91	309.60	266.62	239.75	258.79			
11	*	380.80	417.76	561.52	601.80					
12	117.60	117.60	160.08	183.42	198.77	209.10				
13	663.21	*	*	663.19	*	802.50				
14	365.82	280.07	254.03	241.48	234.12	229.27				
15	162.09	225.16	204.22	206.72	212.49	214.58				
16	163.51	213.55	213.56	241.10	203.01	223.93	229.08			
17	1197.48	831.52	831.55	960.95	1080.67					
18	987.05	1114.28	1071.01	987.05	890.82					
19	1745.75	1344.35								
* tidak terdeteksi										

Tabel 4.13 Gaya tarik hanger hulu arah melintang jembatan berdasarkan *string theory* dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	683.93									
2	665.50	802.97	1014.73	1251.20						
3	530.43	598.84	769.16	896.43	1047.10					
4	362.49	450.97	509.78	647.52	774.32	949.67	1145.30			
5	262.58	338.90	359.61	457.45	539.59	648.11	795.25			
6	466.43	541.83	583.55	593.13	743.12	765.98	914.21	1022.47	1125.10	
7	155.30	260.41	231.98	259.07	349.40	413.57	482.07	627.65	698.20	
8	304.24	343.45	406.75	417.78	494.59	601.64	636.53	776.56	898.76	968.71
9	320.16	340.48	412.78	435.57	490.30	600.74	637.14	750.67	878.25	938.93
10	357.01	373.16	439.46	444.40	501.39	602.18	631.98	734.82	860.18	915.66
11	164.55	186.72	132.94	261.50	316.45	405.02	455.95	560.19	670.97	748.15
12	516.37	528.88	628.57	606.15	702.87	807.06	822.47			
13	67.97	100.83	148.72	186.48	271.89	344.12	430.92			
14	443.52	505.62	557.54	584.26						
15	287.78	381.86	407.48	520.57	614.09					
16	499.23	584.46	626.51	744.68	863.84					
17	375.90	446.24	689.57	800.13	980.32					
18	505.36	637.70	851.96							
19	1150.49	1427.08								

Tabel 4.14 Gaya tarik hanger hulu arah memanjang jembatan berdasarkan *string theory* dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	683.93									
2	665.50	802.97	1014.73	1251.20						
3	530.43	598.84	769.16	896.43	1047.10					
4	362.49	450.97	509.78	647.52	774.32	949.67	1145.30			
5	262.58	338.90	359.61	457.45	539.59	648.11	795.25			
6	466.43	541.83	583.55	593.13	743.12	765.98	914.21	1022.47	1125.10	
7	155.30	260.41	231.98	259.07	349.40	413.57	482.07	627.65	698.20	
8	304.24	343.45	406.75	417.78	494.59	601.64	636.53	776.56	898.76	968.71
9	320.16	340.48	412.78	435.57	490.30	600.74	637.14	750.67	878.25	938.93
10	357.01	373.16	439.46	444.40	501.39	602.18	631.98	734.82	860.18	915.66
11	164.55	186.72	132.94	261.50	316.45	405.02	455.95	560.19	670.97	748.15
12	516.37	528.88	628.57	606.15	702.87	807.06	822.47			
13	67.97	100.83	148.72	186.48	271.89	344.12	430.92			
14	443.52	505.62	557.54	584.26						
15	287.78	381.86	407.48	520.57	614.09					
16	499.23	584.46	626.51	744.68	863.84					
17	375.90	446.24	689.57	800.13	980.32					
18	505.36	637.70	851.96							
19	1150.49	1427.08								

Tabel 4.15 Gaya tarik hanger hilir arah melintang jembatan berdasarkan *string theory* dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	683.93	1180.38								
2	753.95	896.98	1123.31							
3	530.43	598.84	779.38	922.48	1065.80					
4	348.69	427.94	482.61	610.80	722.26	886.81				
5	266.21	356.93	378.87	481.89	562.16	671.11				
6	466.43	530.71	575.82	593.01	748.38	750.96	926.69	1007.16		
7	142.62	182.25	231.98	259.07	349.40	413.57	482.07	621.17		
8	304.24	333.43	399.43	412.27	489.73	583.97	620.90	761.85		
9	320.16	340.48	405.21	416.55	478.00	582.59	613.17	729.76	852.64	911.69
10	367.67	384.14	447.32	453.33	511.53	649.71	644.20	752.14		
11	164.55	194.41	246.79	270.68	332.62	423.93	467.95	570.13	692.01	
12	492.21	528.78	610.64	586.33	674.54	771.57	787.40	947.18	1030.79	
13	67.97	100.96	148.72	186.48	265.15	331.48	412.77			
14	443.54	493.16	542.60	567.03	713.29	731.29	896.91	997.93	1151.05	
15	280.55	373.51	401.82	503.06	586.60	701.43	856.48	1025.39	1262.01	
16	499.23	602.28	632.60	764.77	875.92	1038.88	1207.22			
17	342.99	422.11	590.83	735.76	902.23	1175.87	1362.77	1600.53	1859.12	
18	602.26	747.39	972.40	1257.30	1538.72					
19	1561.24									

Tabel 4.16 Gaya tarik hanger hilir arah memanjang jembatan berdasarkan *string theory* dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)									
	Nomor modal									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	952.70									
2	804.03	1003.66	1290.06							
3	530.52	598.94	774.58	900.91	1047.15					
4	353.45	432.99	493.15	607.17	743.64	876.15	1091.45			
5	271.12	358.30	384.41	494.82	588.30	701.50	874.82	978.48		
6	401.27	460.64	509.63	540.61	688.14	717.61	886.56	998.22	1104.02	
7	314.56	356.94	415.84	425.52	530.44	592.11	660.74	812.26	885.67	
8	212.94	237.27	293.17	308.80	383.08	463.04	515.66	710.76	737.33	833.56
9	317.57	342.85	405.68	424.56	488.80	598.11	631.98	740.84	867.48	921.17
10	346.18	366.48	449.78	451.78	512.34	627.79	662.53	765.08	913.08	965.99
11	339.44	359.35	433.31	442.99	487.18	616.80	649.63	765.55	899.03	954.09
12	106.10	129.68	183.78	218.37	286.22	377.56	427.79	559.61		
13	501.97	543.19	615.44	604.84	734.00	787.98	846.85			
14	308.78	347.32	417.81	451.45	575.60	632.18	791.05	905.63		
15	251.63	332.00	361.24	464.12	551.98					
16	418.57	504.85	541.00	687.10	783.14					
17	545.58	622.22	787.81	921.14	1076.87					
18	592.81	772.01	1007.24	1348.29	1720.01					
19	1675.19	2271.99								

4.1.5.2 Axially Loaded Beam

Gaya tarik hanger/kabel dapat berdasarkan *axially loaded beam* ditentukan dengan persamaan :

$$T = 4mL^2 \left[\left(\frac{f_n}{n} \right)^2 - \left(\frac{n^2 \pi^2}{4mL^4} \right) EI \right] \quad (4-2)$$

dimana :

L adalah panjang hanger ditentukan pada tabel 3.2

m adalah berat hanger persatuan panjang = 26.05 kg/m

f_n adalah frekuensi hanger pada mode- n

n adalah nomor modal frekuensi hanger yang ditinjau

E adalah modulus elastis hanger = 210000 MPa

I adalah inersia dari hanger = $\frac{\pi}{64} \times d^4 = \frac{\pi}{64} \times 65^4 = 876240.506 \text{ mm}^4$

dari persamaan di atas dapat ditentukan gaya tarik hanger untuk tiap-tiap modal dari frekuensi terukur hanger. Berikut adalah tipikal perhitungan gaya tarik hanger dengan *axially loaded beam*. Tipikal perhitungan ini diambil dari hanger hulu no. 9 sama dengan string theory :

$$T = 4 \times 26.08 \times \left(\frac{17738}{1000} \right)^2 \left[\left(\frac{3.125}{1} \right)^2 - \left(\frac{1^2 \pi^2}{4 \times 26.08 \times \left(\frac{17738}{1000} \right)^4} \right) (210000 \times 10^6) \left(\frac{876240.51}{10^{12}} \right) \right]$$

$$T = 314395.277 \text{ N} = 314.4 \text{ kN}$$

Untuk kesimpulan gaya tarik hanger berdasarkan *axially loaded beam* dapat dilihat pada tabel 4.17 sampai pada tabel 4.24.

Tabel 4.17 Gaya tarik hanger hulu arah melintang jembatan berdasarkan *Axially Loaded Beam* dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)										Rerata	Deviasi
	Nomor modal											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	454.83										454.83	
2	701.33	529.28	678.50								636.37	93.44
3	508.66	476.99	577.39	565.39	532.76						532.24	41.07
4	321.69	389.35	361.46	395.42	397.59						373.10	32.17
5	285.20	334.18	285.25	327.64	312.95	311.30	351.47	292.24			312.53	24.25
6	458.60	488.36	505.31	479.68	552.51	501.77					497.71	31.68
7	161.81	177.11	182.40	156.19	201.73						175.85	18.02
8	179.62	243.10	243.27	241.26	254.87	276.73	248.09	281.60	258.73	241.50	246.88	27.72
9	*	307.09	368.31	318.49	331.25	374.20	330.34	356.72	385.19	336.77	345.37	26.83
10	*	313.32	416.36	356.56	367.31	416.33	*	402.28	457.95	398.21	391.04	44.28
11	188.61	171.20	197.50	164.26	173.49	209.33	195.78				185.74	16.47
12	586.76	504.23	537.50	527.69	520.57	559.73	494.13	312.95			505.45	83.23
13	99.41	54.16	83.48	74.21	53.38						72.93	19.67
14	456.02	382.28	393.04	363.97	330.91	327.93	236.89				355.86	67.99
15	285.34	334.38	313.64	351.86	333.85						323.81	25.41
16	553.41	557.53	505.45	564.83	544.00						545.04	23.38
17	332.24	324.11	387.54	410.89	366.91						364.34	36.61
18	555.44	568.21	565.37	517.16	371.30						515.50	83.15
19	1337.34										1337.34	

*tidak terdeteksi

Tabel 4.18 Gaya tarik hanger hulu arah memanjang jembatan berdasarkan *Axially Loaded Beam* dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)										Rerata	Deviasi
	Nomor modal											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	500.86	557.26									529.06	
2	1056.56	670.32	552.45								759.78	263.69
3	508.66	511.75	578.49	565.39	513.96						535.65	33.50
4	469.16	453.06	361.46	441.52	458.32	465.06	485.69				447.75	40.46
5	285.20	376.80	258.07	157.07	50.22						225.47	125.42
6	360.66	250.83	136.80	99.59							211.97	118.18
7	423.30	519.18	407.82	469.58	453.86	433.05					451.13	39.89
8	*	161.40	156.61								159.00	3.38
9	775.86	610.04									692.95	117.25
10	*		302.41	418.22	474.03	439.95					408.65	74.46
11	274.02	134.27	93.81								167.37	94.55
12	879.58	1029.50	998.62	999.89	1008.09						983.14	59.20
13	99.42	79.02									89.22	14.42
14	*	541.14	*	446.67		452.04					479.95	53.06
15	654.24	518.81	436.60	351.86	292.84						450.87	142.26
16	201.44	188.54	192.36	71.89							163.56	61.35
17	514.36	518.82	535.49	451.20							504.97	36.98
18	462.89	439.30	431.29								444.49	16.43
19	870.88										870.88	

*tidak terdeteksi

Tabel 4.19 Gaya tarik hanger hilir arah melintang jembatan berdasarkan *Axially Loaded Beam* dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)										Rerata	Deviasi
	Nomor modal											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	680.88	279.62									480.25	
2	702.37	700.61	724.25	719.83							711.77	12.02
3	508.75	443.44	526.18	747.85	571.17						559.48	114.86
4	389.58	386.40	384.87	413.18	411.05	419.52	415.86	383.98			400.56	15.61
5	283.00	291.07	281.81	322.85	306.96	322.16	359.34	297.77			308.12	26.08
6	356.04	428.91	424.00	386.33	440.65	381.81	449.80	416.76			410.54	32.49
7	316.93	344.34	361.43	313.61	388.54	371.58	345.16				348.80	27.52
8	256.92	196.37	237.57	234.22	245.83	265.17	558.94	571.39			320.80	152.22
9	*	304.30	364.56	314.41	326.23	372.88	323.08	345.85	374.41		340.72	27.53
10	279.29	311.29	414.59	354.72	364.93	413.08	363.07	389.14	422.02	372.33	368.44	45.80
11	375.00	357.58	365.67	344.23	352.23	397.41	345.04	187.14	201.63	163.92	308.99	87.93
12	111.47	93.07	82.80	89.36	77.11	105.77	74.33				90.56	14.03
13	530.39	509.99	558.49	489.72	575.12	533.44	511.37				529.79	29.52
14	272.18	334.23	325.88	336.68	374.24	326.14	378.56	352.56	309.37		334.43	32.62
15	215.35	292.72	256.76	279.73	270.85	272.00					264.57	26.84
16	390.23	467.29	413.70	485.21	474.03	477.60	435.84				449.13	36.43
17	510.49	514.01	608.76	613.71	538.12	624.04					568.19	52.93
18	604.87	680.32	693.06	643.03	497.92						623.84	78.37
19	1354.66										1354.66	

* tidak terdeteksi

Tabel 4.20 Gaya tarik hanger hilir arah memanjang jembatan berdasarkan *Axially Loaded Beam* dari pengukuran kecepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)										Rerata	Deviasi
	Nomor modal											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	680.88										680.88	
2	756.84	821.06	860.67								812.85	52.40
3	508.75	443.44	526.18								492.79	43.62
4	389.58	313.15	233.87								312.20	77.86
5	447.60	331.10	228.92								335.88	109.42
6	270.73	288.15	234.42	151.73	96.47						208.30	81.64
7	231.04	296.44	203.57								243.68	47.71
8	351.93	332.78	237.57	234.22	126.59	40.84					220.65	119.54
9	*	*	292.21	234.45	172.09	135.10					208.46	69.27
10	*	474.13	266.68	218.52	124.31						270.91	147.82
11	*	357.58	365.52	468.63	456.67						412.10	58.67
12	111.47	93.05	104.84	85.22	45.33						87.98	25.92
13	656.40	*	*	554.35	*	557.61					589.45	58.00
14	357.92	248.49									303.21	77.38
15	152.27	185.88	115.86								151.34	35.02
16	149.99	159.47	91.88	24.76							106.52	62.16
17	1175.77	744.72	636.23	613.71	538.12						741.71	253.66
18	940.25	927.06	649.77	238.18							688.82	328.93
19	1497.54										1497.54	

* tidak terdeteksi

Tabel 4.21 Gaya tarik hanger hulu arah melintang jembatan berdasarkan *Axially Loaded Beam* dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)										Rerata	Deviasi
	Nomor modal											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	436.86										436.86	
2	618.24	613.96	589.46	495.18							579.21	57.44
3	508.66	511.75	573.19	548.05	502.75						528.88	30.48
4	349.03	397.12	388.63	432.14	437.78	465.06	485.69				422.21	47.11
5	252.79	299.75	271.51	300.83	294.87	295.72	315.61				290.15	21.02
6	458.60	510.49	513.04	467.77	547.25	483.94	530.31	521.05	490.50		502.55	29.40
7	148.61	233.64	171.74	151.98	182.06	172.60	154.08	199.26	156.02		174.44	27.65
8	298.17	319.16	352.09	320.60	342.74	382.97	338.91	387.82	406.77	361.31	351.05	34.22
9	314.39	317.39	360.83	343.22	346.00	392.95	354.31	381.27	410.72	361.73	358.28	30.71
10	351.34	350.47	388.40	353.63	359.57	397.96	354.01	371.75	400.68	348.37	367.62	20.65
11	158.75	163.51	80.73	168.68	171.41	196.16	171.68	188.89	201.04	167.99	166.88	33.43
12	510.21	504.23	573.10	507.54	548.78	585.19	520.47				535.65	33.38
13	61.18	73.64	87.55	77.73	101.97	99.44	97.88				85.63	15.36
14	435.64	474.11	486.64	458.22							463.65	22.00
15	278.00	342.72	319.42	364.03	369.50						334.73	37.36
16	485.78	530.66	505.45	529.47	527.57						515.78	19.71
17	354.35	360.04	495.61	455.31	441.54						421.37	61.89
18	458.54	450.42	430.59								446.52	14.38
19	899.51										899.51	

Tabel 4.22 Gaya tarik hanger hulu arah memanjang jembatan berdasarkan *Axially Loaded Beam* dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)										Rerata	Deviasi
	Nomor modal											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	436.86	19.21									228.03	
2	706.70	707.98	698.04								704.24	5.40
3	508.66	511.75	583.42	574.10	521.45						539.87	35.96
4	335.23	374.10	361.46	395.42	385.73	402.20					375.69	24.64
5	256.42	317.77	290.77	325.27	317.45	318.72					304.40	26.37
6	458.60	499.37	505.31	467.65	552.51	468.91	542.79	505.75			500.11	34.59
7	135.93	155.48	171.74	151.98	182.06	172.60	154.08	192.78			164.58	18.48
8	298.17	309.14	344.77	315.09	337.88	365.31	323.27	373.12			333.34	26.76
9	314.39	317.39	353.26	324.19	333.70	374.80	330.34	360.36	385.11	334.49	342.80	24.35
10	362.00	361.45	396.27	362.56	369.71	445.49	366.23	389.08			381.60	28.99
11	158.75	171.20	194.57	177.85	187.58	215.07	183.67	198.83	222.08		189.96	20.25
12	486.04	504.13	555.17	487.72	520.46	549.70	485.40	552.73	531.57		519.21	29.50
13	61.18	73.78	87.55	77.73	95.23	86.80	79.74				80.29	11.05
14	435.66	461.65	471.70	440.99	516.36	447.70	510.91	493.77	512.98		476.86	32.41
15	270.77	334.38	313.76	346.52	342.00	349.21	377.07	399.22	469.51		355.83	55.95
16	485.78	548.47	511.54	549.56	539.65	554.65	548.13				533.97	25.62
17	321.43	335.90	396.87	390.94	363.45	400.02	306.76	221.25	113.47		316.68	94.85
18	555.44	560.11	551.03	508.20	368.24						508.60	81.16
19	1310.26										1310.26	

Tabel 4.23 Gaya tarik hanger hilir arah melintang jembatan berdasarkan *Axially Loaded Beam* dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)										Rerata	Deviasi	
	Nomor modal												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	691.30											691.30	
2	681.14	706.47	719.87	691.70								699.80	16.94
3	508.75	511.86	578.65	574.30	517.94							538.30	35.04
4	346.94	393.96	276.39	406.35	417.08	417.68	446.93					386.48	57.30
5	254.36	299.43	281.81	320.50	315.07	314.73	350.50	299.40				304.48	28.46
6	374.45	408.67	409.97	380.92	450.32	381.81	438.00	409.49	381.92			403.95	26.87
7	316.55	334.44	368.46	329.62	374.04	367.36	345.16	399.21	349.66			353.83	25.76
8	214.89	216.91	250.05	224.39	245.83	271.14	232.63	278.41	273.59	236.64		244.45	23.53
9	311.75	314.45	349.56	320.07	331.10	368.39	323.08	349.57	374.41	322.42		336.48	22.54
10	339.41	232.36	382.80	354.72	353.51	404.22	363.07	374.06	418.29	362.10		358.45	50.38
11	332.16	325.64	365.52	332.67	342.35	383.75	333.11	359.69	384.77	325.92		348.56	23.09
12	99.96	105.13	104.85	91.14	100.71	107.41						101.53	5.83
13	483.70	515.98	545.78	457.96	552.77	528.69	415.95					500.12	50.09
14	288.44	325.14	338.67	316.36	378.84	326.14	378.56					336.02	32.96
15	228.39	277.28	251.51	279.73	270.85							261.55	21.59
16	563.31	446.65	422.16	468.42	445.12							469.13	55.13
17	536.34	531.80	606.03	602.58	557.54							566.86	35.56
18	575.04	612.29	658.34	632.07	543.23							604.19	45.67
19	1399.15											1399.15	

Tabel 4.24 Gaya tarik hanger hilir arah memanjang jembatan berdasarkan *Axially Loaded Beam* dari pengukuran percepatan hanger

Hanger No.	Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)										Rerata	Deviasi	
	Nomor modal												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	701.72											701.72	
2	756.84	814.90	865.36									812.37	54.31
3	508.75	511.86	578.65	552.58	502.89							530.95	33.12
4	339.91	378.82	371.27	390.50	405.09	388.64	427.90					386.02	27.51
5	261.26	318.85	295.65	337.03	341.75	346.46	391.58	347.31				329.99	38.88
6	393.34	428.91	438.23	413.68	489.81	432.01	497.83	490.49	461.43			449.53	37.21
7	307.74	329.62	354.39	316.27	359.74	346.30	326.15	375.26	332.59			338.67	21.86
8	206.76	212.57	237.61	210.02	228.74	240.79	213.16	315.65	237.28	216.21		231.88	32.05
9	311.75	319.57	353.31	331.45	343.32	388.63	346.85	368.42	396.14	339.26		349.87	27.64
10	340.48	343.71	398.55	360.70	370.03	422.86	383.60	400.77	452.00	396.76		386.95	34.89
11	333.63	336.13	381.06	350.10	342.05	407.81	365.17	394.01	428.81	373.56		371.23	32.07
12	99.96	105.13	128.54	120.17	132.79	156.62	127.07	166.83				129.64	22.99
13	495.17	515.98	554.21	496.00	563.93	543.08	513.52					525.98	27.79
14	300.89	315.74	346.77	325.16	378.27	348.02	404.28	400.46				352.45	38.66
15	241.81	292.72	272.88	307.03	306.52							284.19	27.46
16	405.05	450.76	419.31	470.77	445.12							438.21	26.09
17	523.88	535.41	592.49	573.90	534.32							552.00	29.57
18	546.01	584.79	586.00	599.42	549.89							573.22	23.81
19	1426.98	1279.18										1353.08	

4.1.5.3 Analisa gaya tarik hasil pengukuran

Dari perhitungan gaya tarik hanger baik untuk kecepatan dan percepatan, pada pengukuran kecepatan dapat dilihat pada tabel 4.10 sampai tabel 4.20 bahwa ada beberapa bagian mode yang hilang atau tidak terdeteksi. Hal ini dapat menyebabkan ketidakakuratan hasil pengukuran karena kemungkinan adanya kesalahan dalam penentuan mode frekuensi hanger, maka hasil pengukuran yang diambil adalah hasil pengukuran percepatan hanger. Hasil rata-rata pengukuran hanger berdasarkan *String theory* ditunjukkan pada Tabel 4.25 sedangkan untuk pengukuran berdasarkan *axially loaded beam* ditunjukkan pada Tabel 4.26.

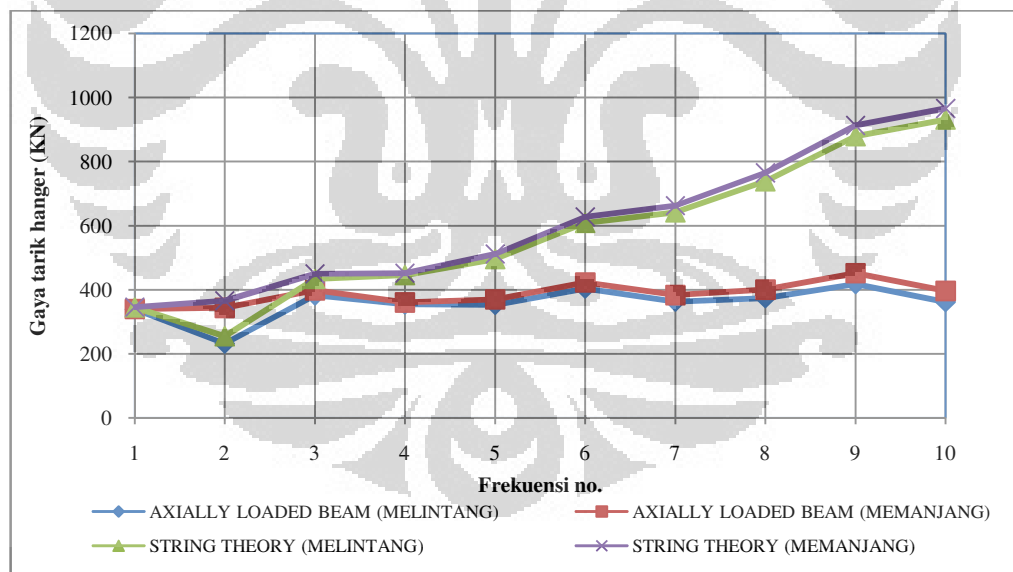
Perhitungan gaya tarik hanger dilakukan dengan *string theory* dan *axially loaded beam* dari hasil pengukuran percepatan hanger. Perbandingan perhitungan ini diambil untuk hanger dengan frekuensi yang lebih dari 5 agar gaya tarik tiap mode frekuensi hanger dapat dibandingkan. Hasil perhitungan dari *string theory* menunjukkan peningkatan gaya tarik hanger pada tiap mode hanger, sedangkan perhitungan gaya tarik hanger menunjukkan hasil perhitungan relatif merata untuk tiap mode frekuensi hanger. Perbandingan gaya tarik hanger untuk perhitungan *string theory* dan *axially loaded beam* dapat dilihat pada gambar 4.21 dan 4.22.

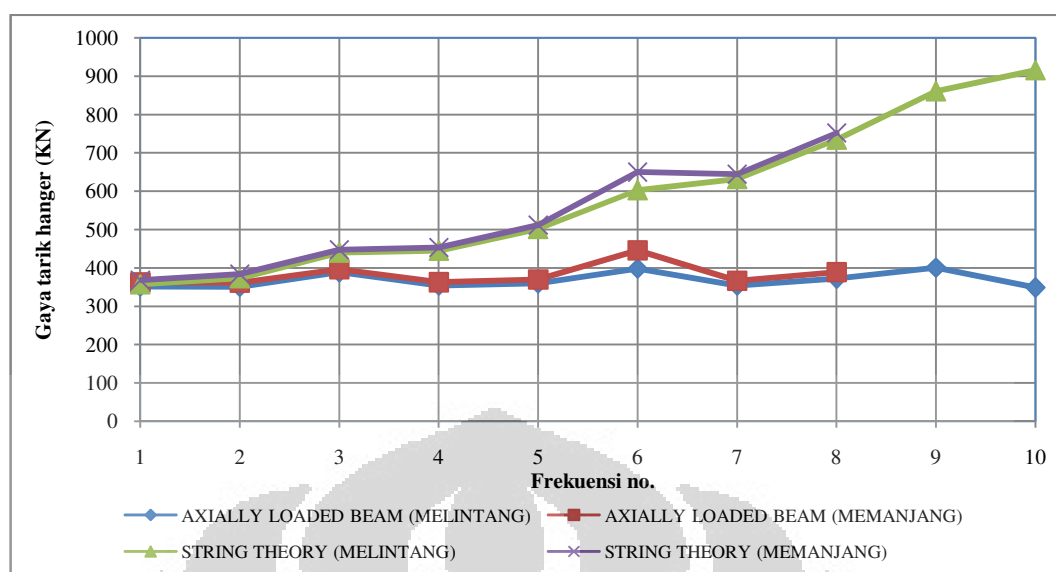
Tabel 4.25 Hasil perhitungan gaya tarik hanger berdasarkan *String theory*

Hulu			Hilir		
Melintang	Memanjang	Rerata	Melintang	Memanjang	Rerata
683.93	683.93	683.93	942.28	952.70	947.49
665.50	753.95	709.72	728.33	804.03	766.18
530.43	530.43	530.43	530.52	530.52	530.52
362.49	348.69	355.59	360.48	353.45	356.96
262.58	266.21	264.39	264.23	271.12	267.67
466.43	466.43	466.43	382.39	401.27	391.83
155.30	142.62	148.96	323.38	314.56	318.97
304.24	304.24	304.24	221.06	212.94	217.00
320.16	320.16	320.16	317.57	317.57	317.57
357.01	367.67	362.34	345.10	346.18	345.64
164.55	164.55	164.55	337.97	339.44	338.70
516.37	492.21	504.29	106.10	106.10	106.10
67.97	67.97	67.97	490.51	501.97	496.24
443.52	443.54	443.53	296.33	308.78	302.56
287.78	280.55	284.17	238.21	251.63	244.92
499.23	499.23	499.23	576.83	418.57	497.70
375.90	342.99	359.44	558.04	545.58	551.81
505.36	602.26	553.81	621.85	592.81	607.33
1150.49	1561.24	1355.86	1647.36	1675.19	1661.27

Tabel 4.26 Hasil perhitungan gaya tarik hanger berdasarkan *axially loaded beam*

Hanger No.	HULU (KN)				HILIR (KN)			
	Melintang	Memanjang	Rerata	Std Deviasi	Melintang	Memanjang	Rerata	Std Deviasi
1	436.86	436.86	436.86	0.00	691.30	701.72	696.51	7.37
2	579.21	704.24	632.80	78.27	699.80	812.37	756.08	68.90
3	528.88	539.87	534.38	31.96	538.30	530.95	534.62	32.38
4	422.21	375.69	400.74	44.11	386.48	386.02	386.25	43.18
5	290.15	304.40	296.73	23.78	304.48	329.99	317.23	35.45
6	502.55	500.11	501.40	30.94	403.95	449.53	426.74	39.26
7	174.44	164.58	169.80	23.61	353.83	338.67	346.25	24.45
8	351.05	333.34	343.18	31.57	244.45	231.88	238.16	28.12
9	358.28	342.80	350.54	28.12	336.48	349.87	343.18	25.49
10	367.62	381.60	373.83	24.96	358.45	386.95	372.70	44.64
11	166.88	189.96	177.81	29.68	348.56	371.23	359.90	29.58
12	535.65	519.21	526.40	31.32	101.53	129.64	115.59	22.49
13	85.63	80.29	82.96	13.15	500.12	525.98	513.05	41.17
14	463.65	476.86	472.80	29.35	336.02	352.45	344.24	35.84
15	334.73	355.83	348.29	49.66	261.55	284.19	272.87	26.17
16	515.78	533.97	526.39	24.23	469.13	438.21	453.67	43.81
17	421.37	359.34	385.18	56.71	566.86	552.00	559.43	31.81
18	446.52	543.69	502.05	55.26	604.19	573.22	588.71	38.02
19	899.51	1310.26	1104.88	290.44	1399.15	1353.08	1376.12	78.54

Gambar 4.21 Perbandingan hasil *string theory* dan *axially loaded beam* untuk hanger hulu no. 10



Gambar 4.22 Perbandingan hasil *string theory* dan *axially loaded beam* untuk hanger hilir no. 10

4.2 Percobaan pengukuran frekuensi hanger di laboratorium

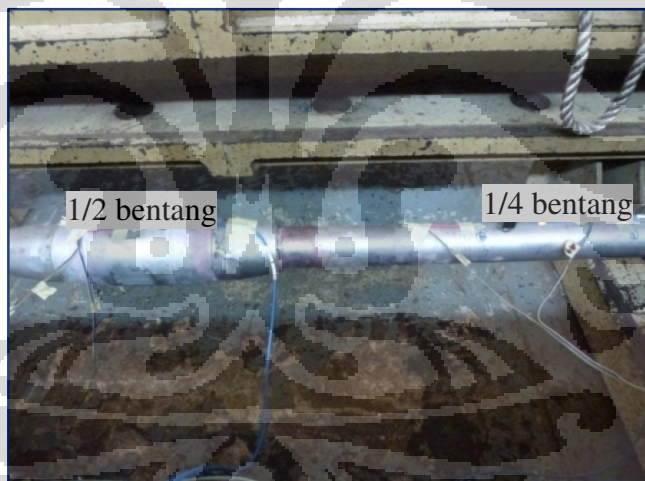
Proses pengujian ini dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi (LUK - BPPT). Percobaan pengujian frekuensi hanger dilakukan untuk memvalidasi hasil pengukuran hanger di lapangan, dalam proses ini hanger ditarik dengan gaya tertentu yang diketahui dan frekuensinya diukur. Dari hasil pengukuran frekuensi ini kemudian gaya tarik teroris dihitung dengan persamaan 2-30 dan 2-31, kemudian dibandingkan dengan gaya tarik terukur dari hanger. Dalam proses pengujian ini hanger akan ditarik sampai *breaking load*nya sehingga dapat diketahui gaya tarik ultimate yang dapat ditahan oleh hanger.

4.2.1 Proses pengujian frekuensi

Dalam proses pengujian tahapan pembebanan ini dilakukan dari beban dari 0 hingga 1200 KN dengan interval beban 50 dan 100 KN. Untuk tiap kenaikan beban percepatan hanger diukur dengan *accelerometer* yang diletakan pada tengah dan seperempat bentang, sedangkan untuk stimulus getaran digunakan palu karet. hasil percepatan ini direkam dan disimpan dalam *Notebook*. Adapun proses pengujian frekuensi hanger ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.23 Hanger yang telah terpasang pada alat uji tarik



Gambar 4.24 Pemasangan *accelerometer*



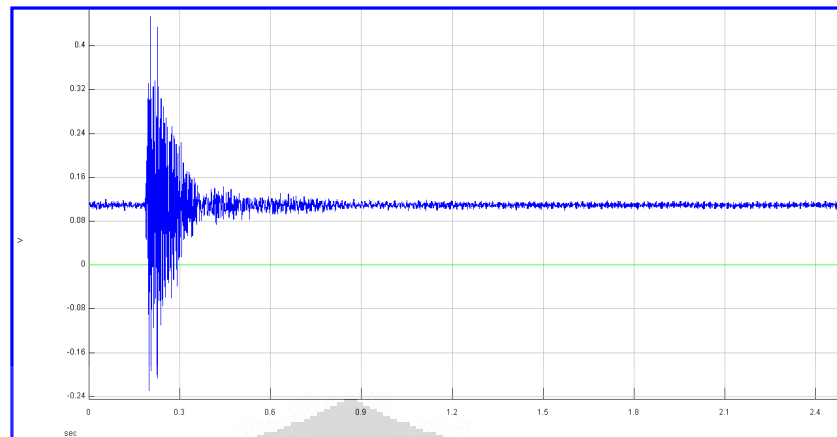
Gambar 4.25 Pemberian gaya pada hanger



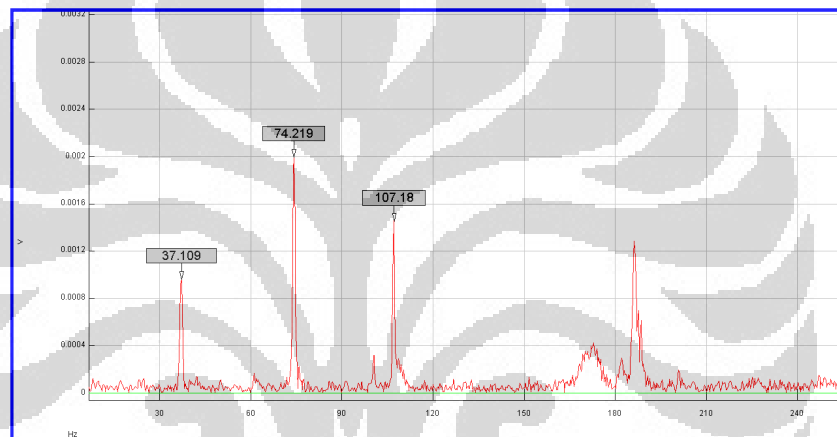
Gambar 4.26 Pencatatan percepatan hanger

4.2.2 Hasil pengujian

Dari hasil pengujian ini didapat percepatan (gambar 4.27) dan frekuensi hanger (gambar 4.28) dari masing-masing proses pembebanan. Untuk hasil frekuensi seluruh pengujian dapat dilihat pada tabel 4.26 dan tabel 4.27 gaya tarik teoritis dari masing – masing pengukuran.



Gambar 4.27 Pencatatan percepatan hanger dengan gaya tarik 120 Ton



Gambar 4.28 Hasil FFT percepatan hanger untuk gaya tarik 120 Ton

Tabel 4.27 Hasil pengukuran Frekuensi hanger

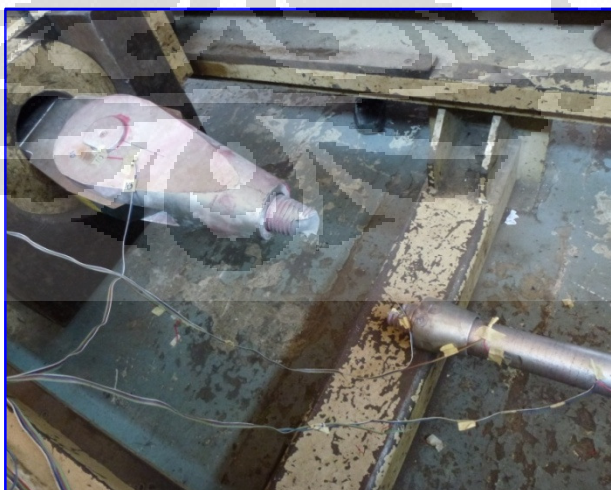
Gaya tarik percobaan	Frekuensi hanger		
	Nomor modal		
	1	2	3
0	21.48	45.90	69.34
200	22.95	48.83	73.24
250	24.41	51.76	77.15
300	25.39	53.23	84.47
350	26.37	54.69	85.45
400	26.86	56.15	86.91
450	27.34	56.64	87.89
500	28.32	58.59	89.84
600	30.27	63.48	92.77
700	31.25	65.92	96.19
800	32.23	67.38	98.63
900	33.20	69.34	100.59
1000	35.16	70.31	102.54
1100	36.13	72.27	105.47
1200	37.11	74.22	107.42

Tabel 4.28 Gaya tarik teoritis dari pengukuran Frekuensi hanger

Gaya tarik percobaan	Gaya tarik hanger tanpa pengaruh kekakuan lentur (KN)			Gaya tarik hanger dengan pengaruh kekakuan lentur (KN)		
	Nomor modal			Nomor modal		
	1	2	3	1	2	3
0	310.27	354.03	359.08	28.78	-771.96	-2174.40
200	354.03	400.67	400.67	72.53	-725.32	-2132.81
250	400.67	450.20	444.55	119.18	-675.79	-2088.93
300	433.38	476.23	532.98	151.89	-649.76	-2000.50
350	467.34	502.62	545.36	185.84	-623.37	-1988.12
400	484.80	529.89	564.22	203.30	-596.10	-1969.26
450	502.62	539.16	576.98	221.12	-586.83	-1956.50
500	539.14	576.98	602.91	257.64	-549.01	-1930.57
600	616.06	677.15	642.86	334.56	-448.84	-1890.62
700	656.47	730.23	691.10	374.97	-395.76	-1842.38
800	698.16	763.05	726.63	416.66	-362.94	-1806.85
900	741.09	807.93	755.75	459.59	-318.07	-1777.73
1000	830.83	830.85	785.34	549.33	-295.14	-1748.14
1100	877.65	877.65	830.86	596.15	-248.34	-1702.62
1200	925.70	925.73	861.87	644.21	-200.26	-1671.61

4.2.3 Gaya ultimate hanger

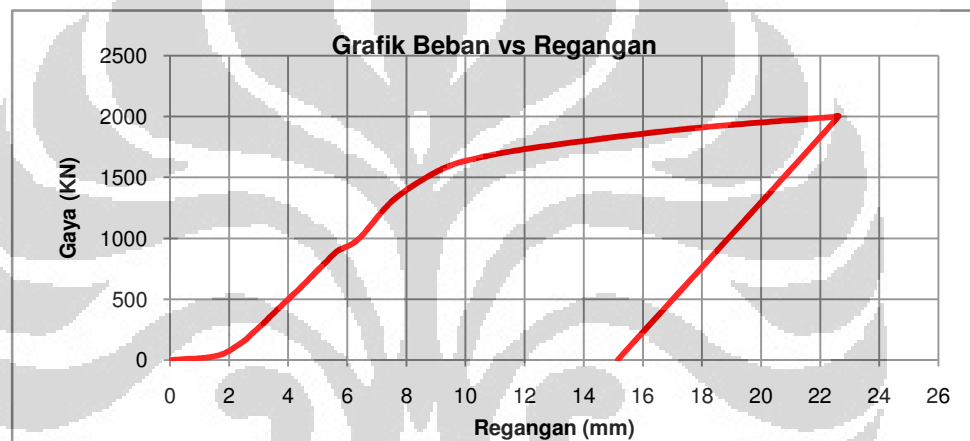
Pengujian tarik hanger dilakukan untuk mengetahui gaya yang dapat ditahan oleh hanger sampai putus, Dari pengujian tarik ini hanger didapatkan gaya ultimate yang dapat ditahan oleh hanger adalah 2009 KN. Untuk kurva tegangan regangan dari hanger dapat dilihat pada gambar 4.31.



Gambar 4.29 Hanger setelah putus



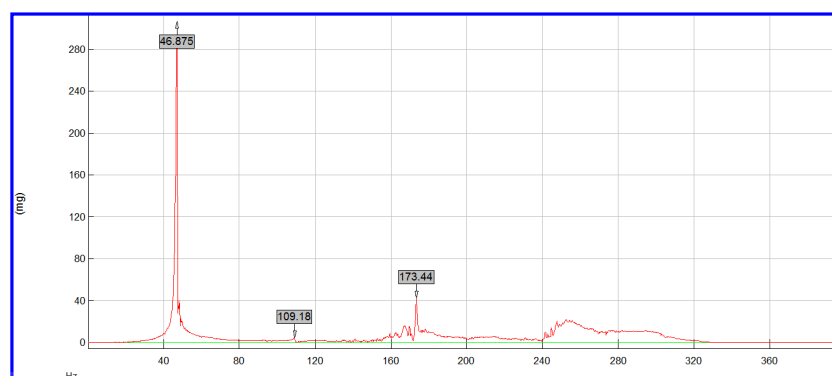
Gambar 4.30 Bagian hanger yang putus



Gambar 4.31 Grafik regangan dan tegangan hanger

4.2.4 Analisa gaya tarik hasil pengukuran

Dari percobaan gaya tarik hanger dapat dilihat bahwa gaya tarik putus hanger adalah 2094 KN hasil ini lebih besar 28% dari gaya tarik putus hanger secara teori. Hasil pengukuran frekuensi hanger ini menunjukkan hasil yang relatif sama untuk hanger yang pendek seperti frekuensi hanger no. 19 yang dapat dilihat pada gambar 4.32. Analisa gaya tarik teoritis hanger dapat dilihat pada tabel 4.27 bahwa untuk *string theory* percobaan hanger menghasilkan gaya tarik relatif sama karena frekuensi hanger mendekati linear sedangkan untuk gaya tarik teoritis untuk *axially loaded beam* besarnya gaya tarik untuk frekuensi kedua dan ketiga menghasilkan nilai negatif. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa gaya tarik yang dihasilkan oleh perhitungan dengan *string theory* lebih mendekati hasil percobaan.



Gambar 4.32 Hasil FFT percepatan arah melintang hanger no. 19 hilir

4.3 Gaya tarik hanger dari pemodelan struktur

4.3.1 Pemodelan tanpa tahapan konstruksi

Pemodelan tanpa tahapan konstruksi dilakukan dengan memodelkan struktur sesuai dengan gambar kerja, selanjutnya dari pemodelan ini dibebani dengan beban layanya. Dari hasil pemodelan ini didapat gaya tarik hanger sebagai berikut :

Tabel 4.29 Gaya tarik hanger hasil pemodelan tanpa tahapan konstruksi

Hanger No.	Gaya tarik hanger (KN)		
	Statik	Moving load	
		Max	Min
1	447.19	465.71	302.98
2	557.11	555.47	383.68
3	525.76	524.67	359.42
4	490.08	497.95	336.39
5	463.87	483.92	322.17
6	458.81	477.82	313.85
7	452.56	474.82	313.67
8	449.71	470.38	309.21
9	499.08	457.22	296.44
10	548.64	437.54	273.68
11	499.08	457.14	296.41
12	449.71	470.28	309.23
13	449.71	475.21	313.47
14	452.56	478.68	315.35
15	458.81	484.69	320.08
16	490.08	497.37	332.33
17	525.76	525.46	360.16
18	557.11	555.31	383.49
19	447.19	465.29	302.58

4.3.2 Pemodelan dengan tahapan konstruksi

Pemodelan dengan tahapan konstruksi dilakukan dengan memodelkan tahapan konstruksi di lapangan sesuai dengan laporan pelaksanaan struktur jembatan oleh kontraktor. Setelah selesai tahapan konstruksi (*post-construction stage*) struktur jembatan dibebani dengan beban layan struktur. Dari hasil pemodelan ini didapat gaya tarik hanger sebagai berikut :

Tabel 4.30 Gaya tarik hanger hasil pemodelan dengan tahapan konstruksi (KN)

Hanger No.	Hulu			Hilir		
	Statik	Moving load		Statik	Moving load	
		Max	Min		Max	Min
1	452.62	472.05	303.33	456.49	475.22	306.57
2	554.47	553.16	371.57	568.70	565.78	384.73
3	531.38	539.44	364.12	530.91	536.94	367.39
4	492.82	505.91	340.27	500.86	511.90	346.75
5	441.53	473.50	306.38	456.18	485.96	319.74
6	448.18	497.81	311.74	448.36	495.03	312.99
7	455.28	497.28	322.00	449.09	489.21	317.41
8	466.99	493.74	321.74	454.62	480.18	311.09
9	536.09	497.58	327.75	541.59	498.06	330.06
10	561.40	456.84	284.46	573.10	455.67	284.43
11	523.85	485.40	315.59	525.54	482.07	314.16
12	469.12	496.01	323.94	457.91	483.61	314.50
13	457.06	497.64	324.12	450.77	489.54	319.34
14	453.14	492.89	318.25	453.49	490.53	319.34
15	429.51	472.54	295.03	451.73	491.70	317.61
16	485.11	510.88	341.04	485.76	509.45	340.32
17	542.19	543.35	365.87	541.35	540.57	368.93
18	558.65	556.26	373.38	567.10	563.44	381.29
19	454.29	473.54	304.61	460.03	478.72	309.89

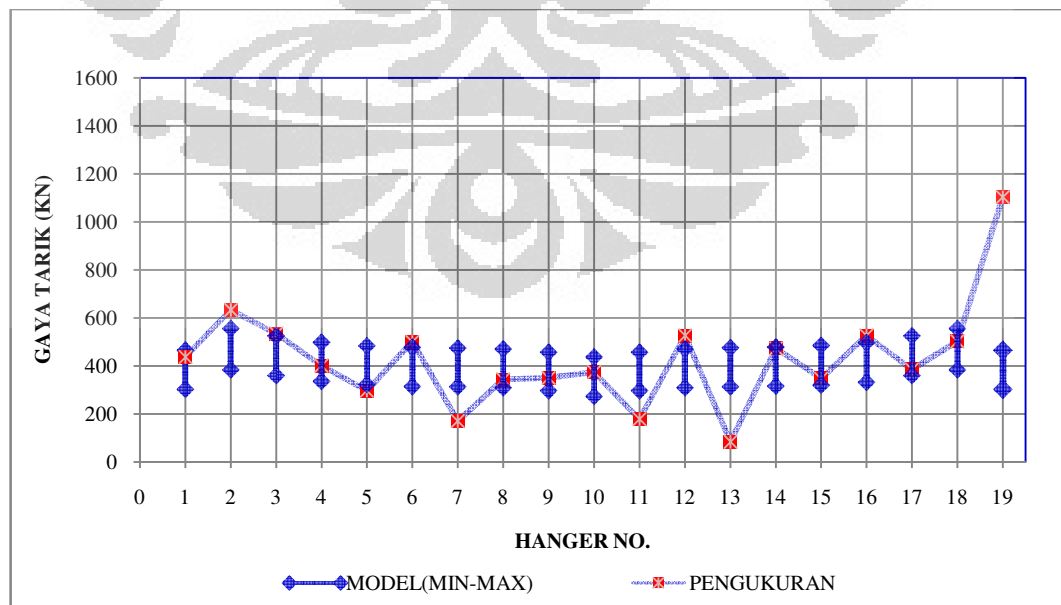
4.4 ANALISA HASIL

Dari hasil pengukuran dan pemodelan didapatkan gaya tarik hanger arah melintang dan memanjang. Hasil ini didapat dengan merata-ratakan hasil pengukuran frekuensi untuk arah melintang dan memanjang jembatan. Hasil dari rata-rata pengukuran ini dapat dilihat pada tabel 4.30. Berdasarkan gambar 4.33 sampai 4.36 dapat dilihat bahwa distribusi gaya tarik hanger hasil pemodelan merata sedangkan untuk hasil pengukuran pada bagian ujung-ujung jembatan menerima gaya lebih besar dibandingkan dengan hanger dibagian tengah. Dari hasil pemodelan didapatkan rentang gaya tarik hanger di antara distribusi gaya

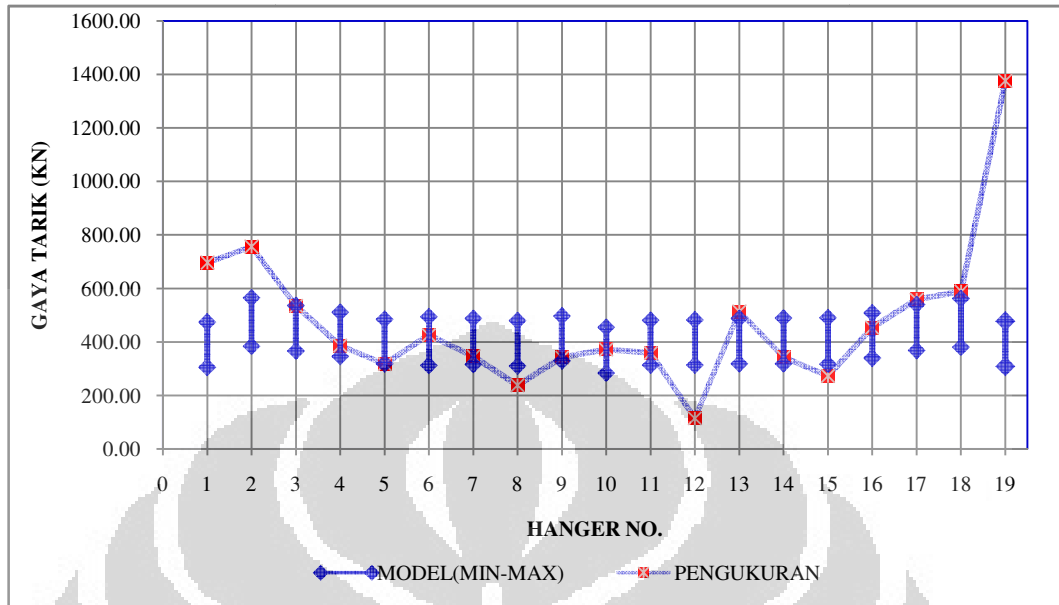
hanger yang cukup merata, Dengan pembebanan 30% *service load* didapatkan gaya tarik hanger dalam rentang 284.43 sampai 573.10 KN untuk pemodelan tanpa tahapan konstruksi 273.68 dan 555.47Ton. Untuk gaya tarik hanger hasil pengukuran didapatkan gaya tarik hanger terbesar 1376.12 KN untuk hanger no. 19 arah hilir dan 1104.88 KN untuk arah hulu

Tabel 4.31 Gaya tarik hanger hasil pengukuran

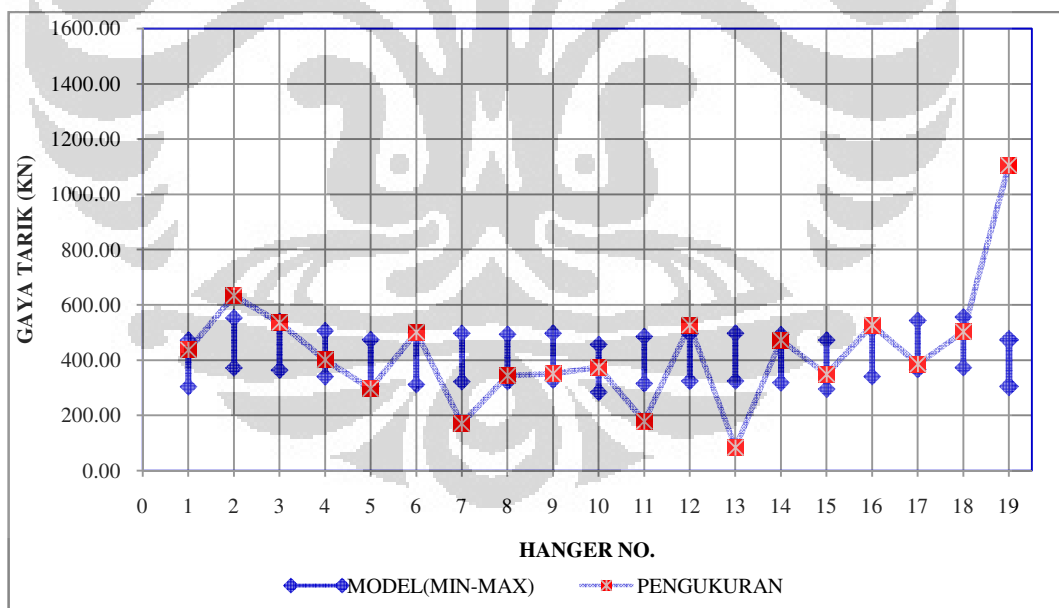
Hanger No.	HULU (KN)	HILIR (KN)
1	436.86	696.51
2	632.80	756.08
3	534.38	534.62
4	400.74	386.25
5	296.73	317.23
6	501.40	426.74
7	169.80	346.25
8	343.18	238.16
9	350.54	343.18
10	373.83	372.70
11	177.81	359.90
12	526.40	115.59
13	82.96	513.05
14	472.80	344.24
15	348.29	272.87
16	526.39	453.67
17	385.18	559.43
18	502.05	588.71
19	1104.88	1376.12



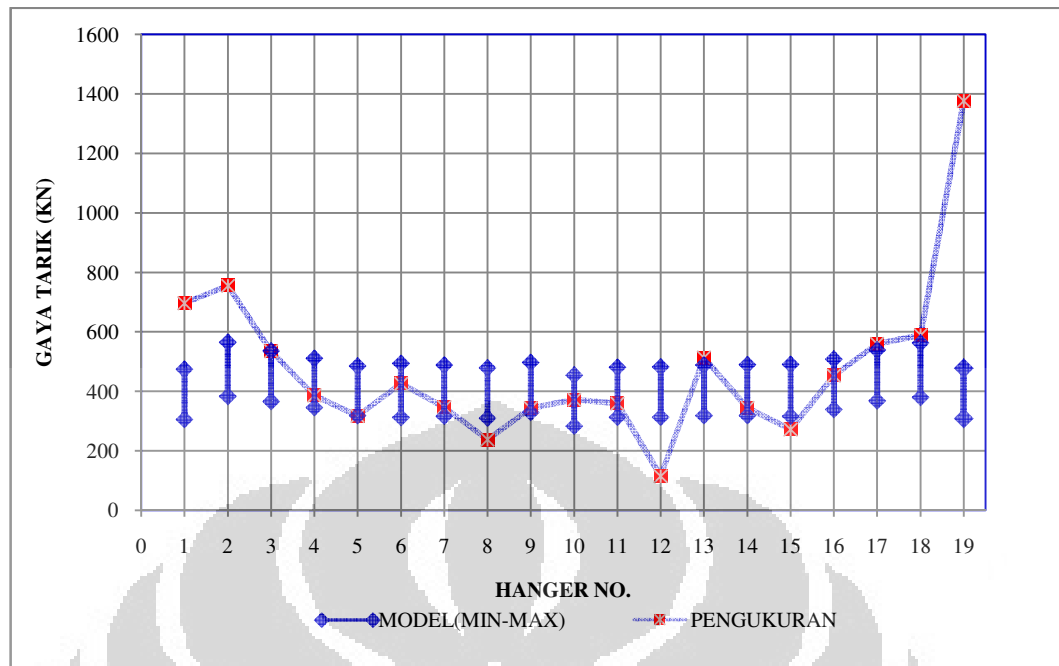
Gambar 4.33 Gaya tarik hanger hulu hasil pengukuran dan pemodelan tanpa tahapan konstruksi



Gambar 4.34 Gaya tarik hanger hilir hasil pengukuran dan pemodelan tanpa tahapan konstruksi

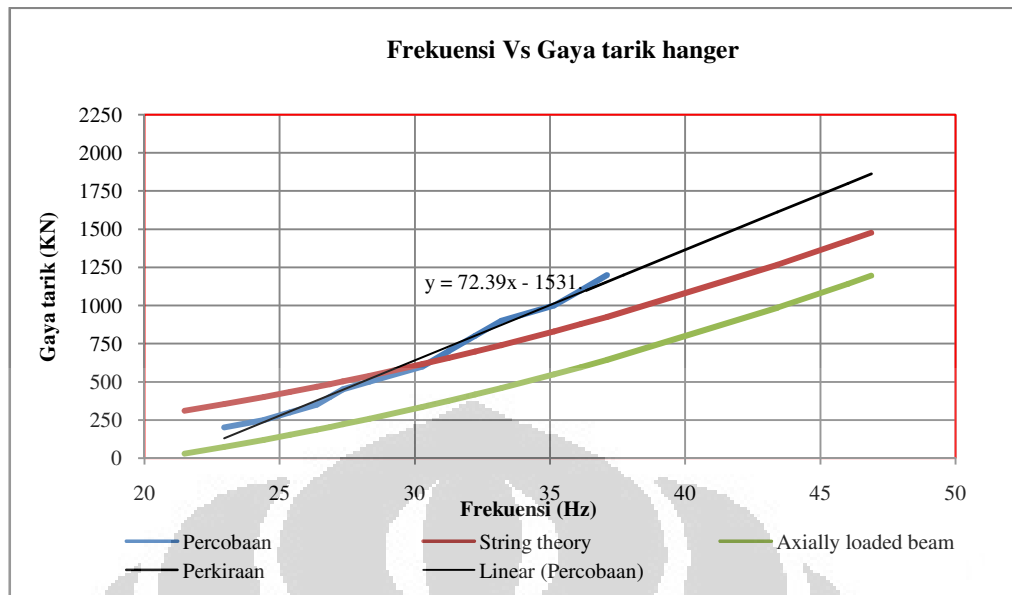


Gambar 4.35 Gaya tarik hanger hulu hasil pengukuran dan pemodelan dengan tahapan konstruksi



Gambar 4.36 Gaya tarik hanger hilir hasil pengukuran dan pemodelan dengan tahapan konstruksi

Pengujian gaya tarik hanger di laboratorium dilakukan untuk memverifikasi hasil pengukuran terutama pada hanger yang paling No. 19 arah hilir dengan gaya tarik hasil pengukuran 1376.12 KN, Hanger ditarik dengan interval 50 KN sampai gaya tarik 500 KN dan interval 100 KN dari 50 hingga 1200 KN. Sedangkan Untuk gaya yang lebih besar hasil dari pengujian gaya tarik ini akan diekstrapolasi sehingga frekuensinya dapat diperkirakan. Dari hasil ini pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.37 bahwa frekuensi pertama hasil pengukuran dengan gaya 1376.12 KN lebih besar dari hasil percobaan gaya tarik hanger. Gambar 4.37 dapat juga menyatakan secara empiris bahwa untuk frekuensi terukur lebih dari 32 Hz memberikah hasil gaya yang lebih besar dari tabel 4.31 baik menggunakan *string theory* atau axially loaded beam. Dengan mengambil frekuensi terukur untuk hanger no. 19 sebesar 46.88 dapat diperkirakan secara empirisi gaya tarik hanger adalah sebesar 1862.6 KN.



Gambar 4.37 Grafik Perbandingan gaya tarik hanger percobaan dan teoritis untuk frekuensi pertama.

Dari hasil percobaan gaya tarik hanger di laboratorium untuk hanger yang paling pendek dan mempunyai gaya tarik terbesar dari hasil pengukuran yaitu hanger no 1 dan 19 pada gambar 4.37. Dapat dilihat bahwa gaya tarik hanger yang dihitung berdasarkan string theory lebih mendekati dibandingkan dengan hasil yang dihitung berdasarkan axially loaded beam. Sehingga perhitungan yang lebih tepat pada hanger ini adalah berdasarkan hasil *string theory*.

Hasil pengukuran gaya tarik hanger selanjutnya dibandingkan dengan *breaking load* dari perencanaan dan hasil pengujian. *Breaking load* untuk rencana adalah 1631 KN, sedangkan hasil pengujian adalah 2094 KN. Dari perbandingan ini didapatkan *safety factor* untuk masing-masing hanger. Hasil perbandingan ini dapat dilihat pada tabel 4.32 berikut :

Tabel 4.32 Hasil perbandingan pengukuran dengan *axially loaded beam* dan *breaking load hanger*

Hanger No.	Pengukuran (KN)		SF terhadap rencana		SF terhadap pengujian	
	Hulu	Hilir	Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
1	436.86	696.51	3.73	2.34	4.79	3.01
2	632.80	756.08	2.58	2.16	3.31	2.77
3	534.38	534.62	3.05	3.05	3.92	3.92
4	400.74	386.25	4.07	4.22	5.23	5.42
5	296.73	317.23	5.50	5.14	7.06	6.60
6	501.40	426.74	3.25	3.82	4.18	4.91
7	169.80	346.25	9.61	4.71	12.33	6.05
8	343.18	238.16	4.75	6.85	6.10	8.79
9	350.54	343.18	4.65	4.75	5.97	6.10
10	373.83	372.70	4.36	4.38	5.60	5.62
11	177.81	359.90	9.17	4.53	11.78	5.82
12	526.40	115.59	3.10	14.11	3.98	18.12
13	82.96	513.05	19.66	3.18	25.24	4.08
14	472.80	344.24	3.45	4.74	4.43	6.08
15	348.29	272.87	4.68	5.98	6.01	7.67
16	526.39	453.67	3.10	3.60	3.98	4.62
17	385.18	559.43	4.23	2.92	5.44	3.74
18	502.05	588.71	3.25	2.77	4.17	3.56
19	1104.88	1376.12	1.48	1.19	1.90	1.52

Gaya tarik hanger hasil pengukuran pada tabel 4.32 merupakan hasil perhitungan berdasarkan *axially loaded beam*. Berdasarkan hasil percobaan untuk hanger yang pendek (Hanger no. 1 dan no 19) maka untuk perhitungan gaya tarik hanger ini lebih tepat menggunakan string theory sehingga gaya tarik hanger pada hanger ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.33 Hasil perbandingan pengukuran dengan *string theory* dan *breaking load hanger*

Hanger No.	Pengukuran (KN)		SF terhadap rencana		SF terhadap pengujian	
	Hulu	Hilir	Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
1	683.93	947.49	2.38	1.72	3.06	2.21
19	1355.86	1661.27	1.20	0.98	1.54	1.26

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari analisa pengukuran dan pengujian hanger serta pemodelan yang dilakukan telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil pengukuran, distribusi gaya hanger tidak merata. Hanger yang berada di bagian ujung menderita gaya tarik yang lebih besar, dibandingkan dengan gaya hanger yang berada bagian tengah bentang. Gaya tarik terbesar hanger terjadi pada hanger no. 19 arah hilir yaitu sebesar 1376.12 KN dan hulu sebesar 1104.88 KN.
2. Hasil pemodelan struktur dengan dan tanpa tahapan konstruksi didapatkan distribusi gaya hanger yang cukup merata, dari hasil pembebanan *full service* didapatkan gaya tarik hanger dalam rentang 299.1 sampai 566.1 KN untuk pemodelan tanpa tahapan konstruksi 288.4 dan 566.3 KN.
3. Berdasarkan hasil percobaan dengan hanger yang pendek (hanger no. 1 dan 19), maka gaya perhitungan gaya tarik yang lebih tepat untuk hanger ini adalah berdasarkan *string theory*. Hasil perhitungan dengan *string theory* ini menghasilkan gaya yang lebih besar dari perhitungan dengan *axially loaded beam* sehingga gaya tarik hanger no 1 dan 19 masing – masing pada arah hulu dan hilir adalah 683.93 kN, 1355.86 kN dan 947.49 kN, 1661.27 kN.
4. Gaya tarik perkiraan untuk hanger Hilir no 19 secara empiris gaya tarik hanger adalah sebesar 1862.6 KN. Hasil ini lebih besar dari perhitungan secara teoritis.
5. *Breaking load* yang didapat dari hasil pengujian adalah sebesar 2094 kN, sedangkan *breaking load* dari rencana hanger adalah 1631 KN. Sehingga dari pengujian tarik ini dapat dinyatakan terdapat *overstrength* sebesar 1.28.
6. Rasio gaya tarik hanger hasil pengukuran dan perhitungan dengan *axially loaded beam* maksimum terhadap *breaking load* rencana adalah 1.52, sedangkan untuk hasil pengukuran didapatkan rasio terendah adalah 1,19, rasio terbesar ini terdapat pada hanger no. 19.

7. Rasio hanger no. 1 dan no. 19 untuk arah hulu dan hilir dengan menggunakan perhitungan berdasarkan *string theory* terhadap breaking load rencana adalah 2.38, 1.2, 1.72 dan 0.98.
8. Jika *safety factor* hanger diambil sama dengan 3 agar tidak terjadi keruntuhan beruntun, maka gaya tarik hanger hulu no. 2 dan 9, dan pada hanger hilir no. 1, 2, 17, 18 dan 19 tidak memenuhi kriteria *safety factor*.

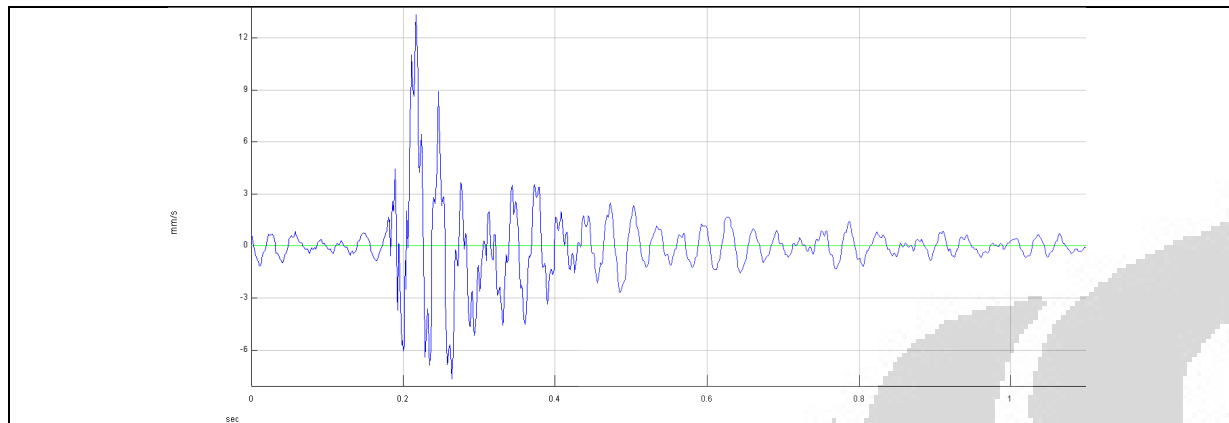
5.2 SARAN

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka disarankan beberapa hal berikut :

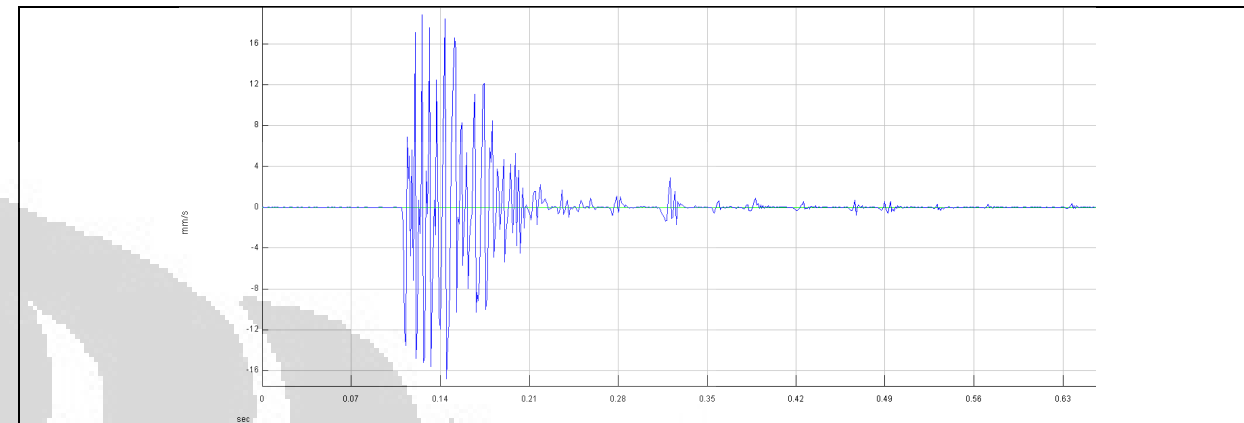
1. Dari hasil pengukuran didapatkan beberapa hanger dengan *safety factor* lebih kecil dari 3, 3 yaitu pada hanger hulu no. 2 dan 9, sedangkan pada hanger hilir No. 1, 2, 17, 18 dan 19 dengan diameter hanger yang lebih besar.
2. Dilakukan perkuatan sementara untuk hanger dengan *safety factor* lebih kecil dari 3, Untuk selanjutnya dilakukan penggantian hanger dengan diameter hanger yang lebih besar
3. Dilakukan pengencangan hanger kembali, sehingga distribusi hanger dapat menjadi merata.
4. Pengukuran hanger yang pendek dengan rasio kekakuan lentur besar, perlu diteliti lebih lanjut. Terutama untuk mensimulasikan kekakuan ujung dan kekakuan lentur hanger, karena dari hasil pengujian menunjukkan bahwa pengukuran gaya tarik hanger dengan metode pengukuran frekuensi menunjukkan hasil yang lebih rendah dari hasil rumus empiris.

DAFTAR REFERENSI

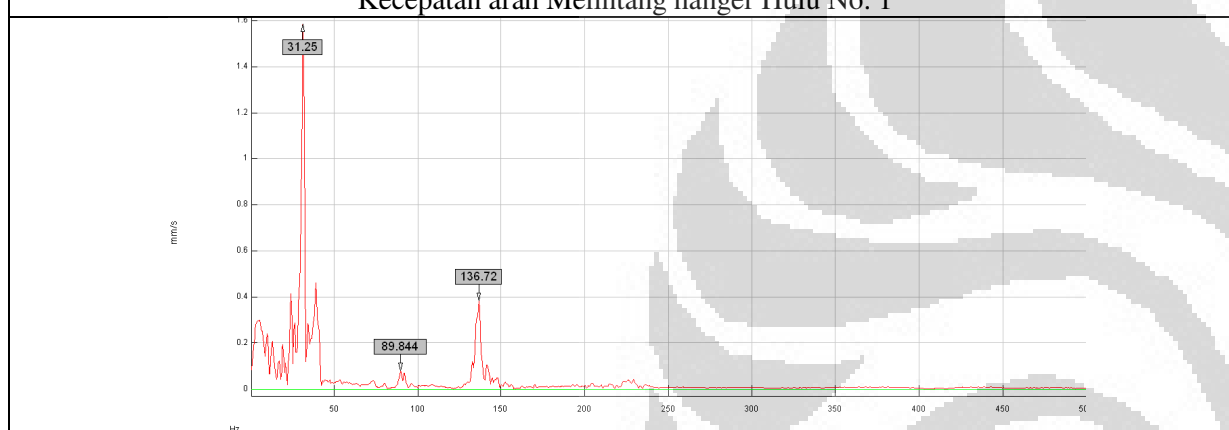
1. Byeong Hwa Kim, Taehyo Park, Hyunyang Shin and Tae-Yang Yoon (2007). *Comparative Study of the Tension Estimation Methods for Cable Supported Bridges*. Korea : Research Institute of Industrial Science & Technology
2. Caetano, Elsa d S. (2007). *Cable vibrations in cable-stayed bridges*. Zurich : International Association for Bridge and Structural Engineering.
3. Chopra, Anil K. (1995). *Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
4. H. M. Irvine, *Cable Structures*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1981
5. H. Zui, T. Shinke, Y.H. Namita, *Practical formulas for estimation of cable tension by vibration method*, *Journal of Structural Engineering*, ASCE 122 (6) (1996) 651–656.
6. J.C. Russell, T.J. Lardner, *Experimental determination of frequencies and tension for elastic cables*, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE 124 (10) (1998) 1067–1072.
7. Proakis, Jhon G. and Manokalis Dimitris G. (1996). *Digital signal processing. Principles, Algorithms, and Applications*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.
8. R.W. Clough, J. Penzien (1993), *Dynamics of Structures*, McGraw-Hill, New York.
9. T. Shimada, K. Kimoto, S. Narui, *Study on estimating tension of tied hanger rope of suspension bridge by vibration method*, *Proceedings of the JSCE* 404 (I-11) (1989) 455–458.
10. Triantafyllou, M.S. and Grinfogel, L. (1986). *Natural frequencies and modes of inclined cables*. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 112(1), pp. 139-148.
11. Tim Investigasi Runtuhnya Jembatan Kutai Kartanegara Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Gadjah Mada (2011), *investigasi runtuhnya jembatan Mahakam II Tenggarong Kabupaten Kutai Kertanegara - Propinsi Kalimantan Timur*.



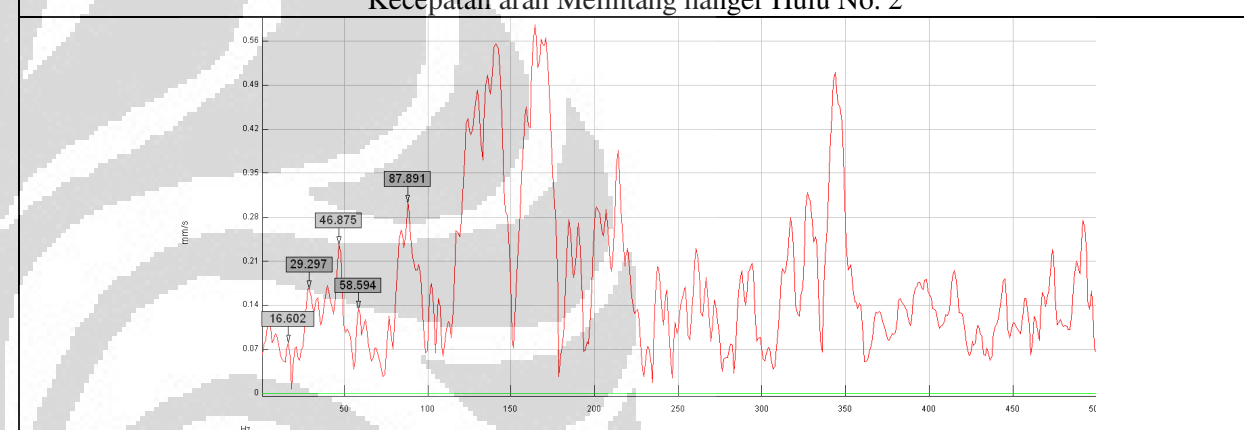
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 1



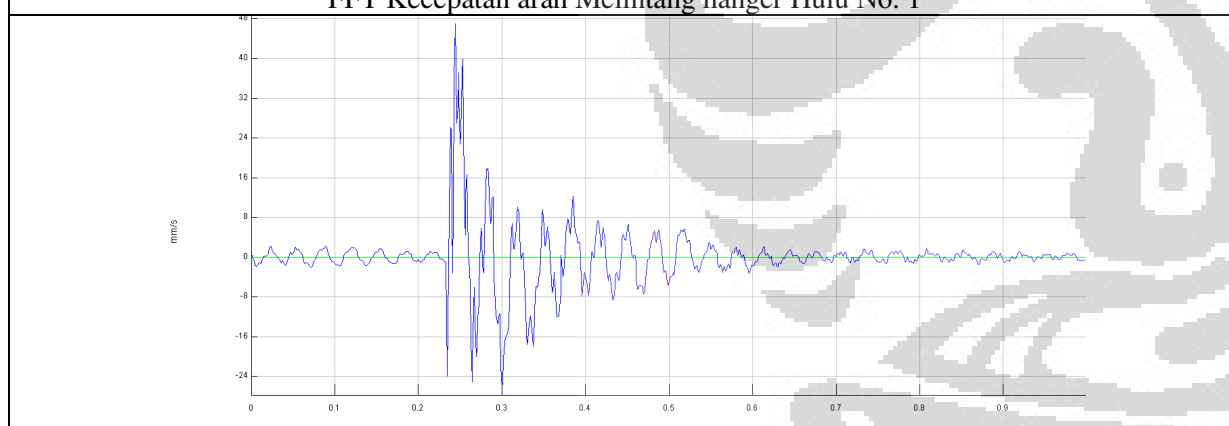
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 2



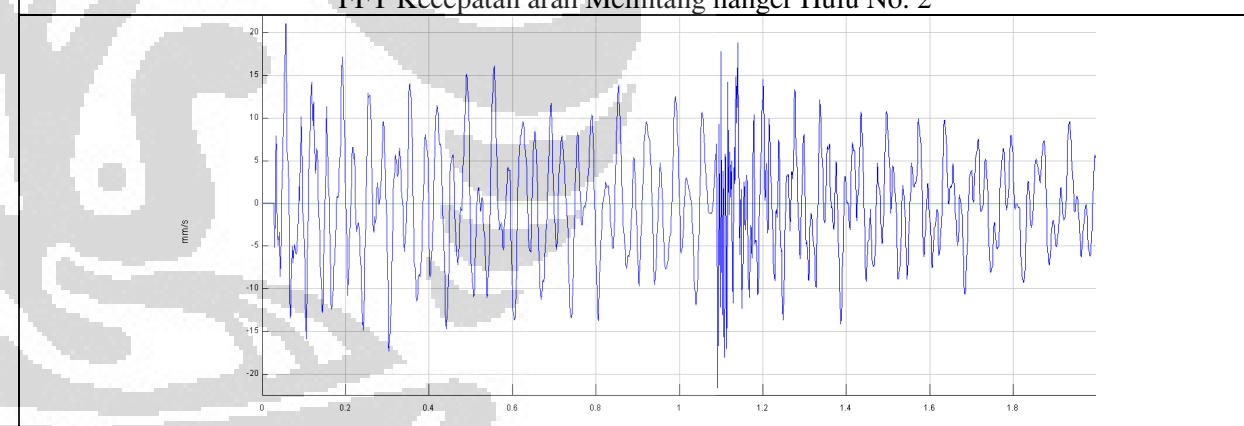
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 1



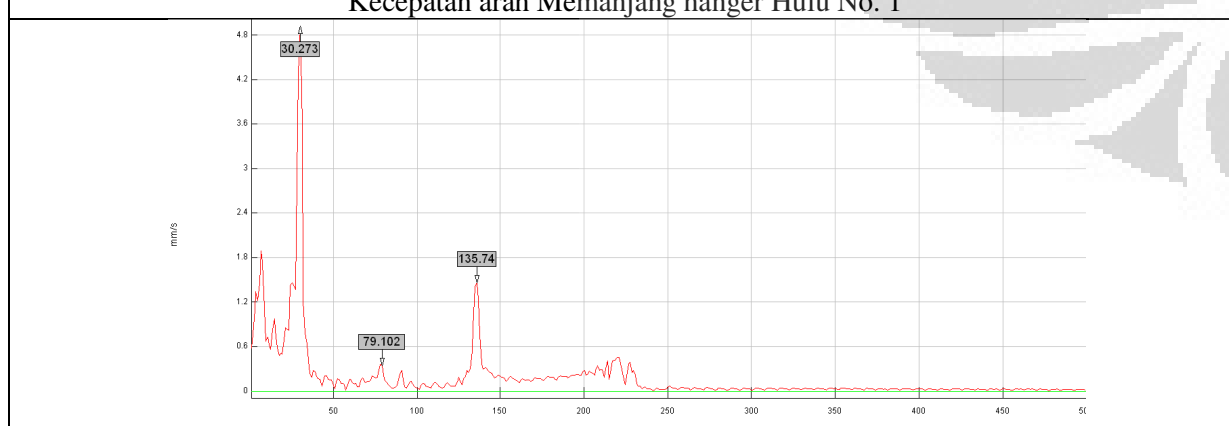
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 2



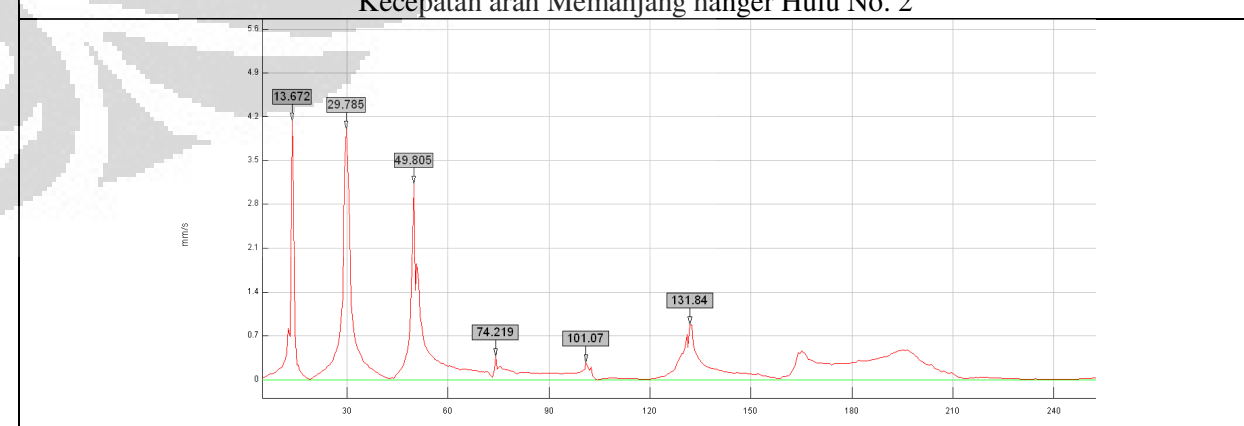
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 1



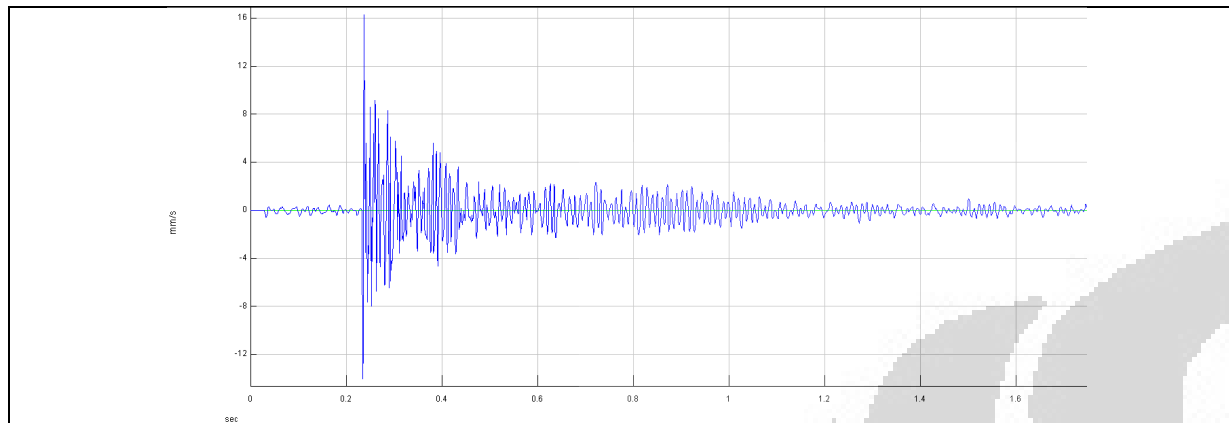
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 2



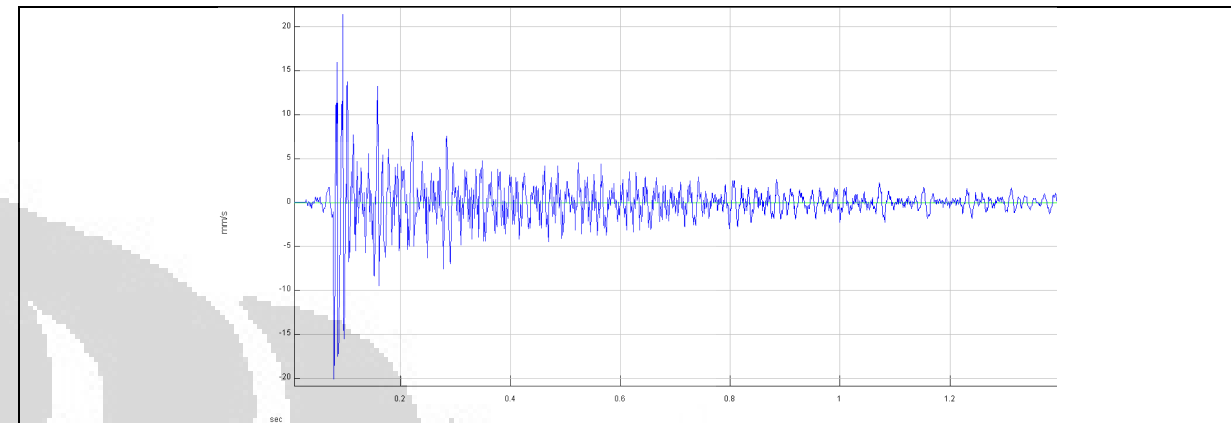
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 1



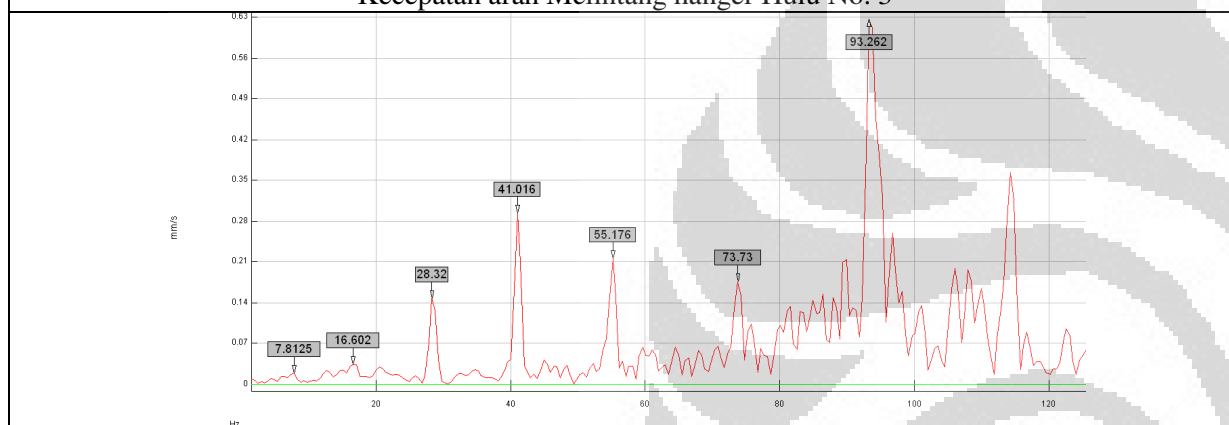
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 2



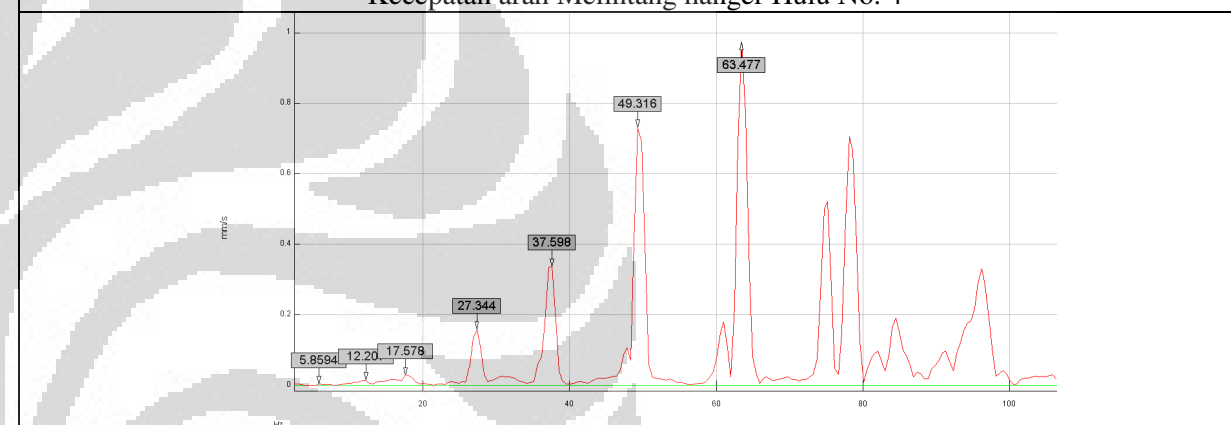
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 3



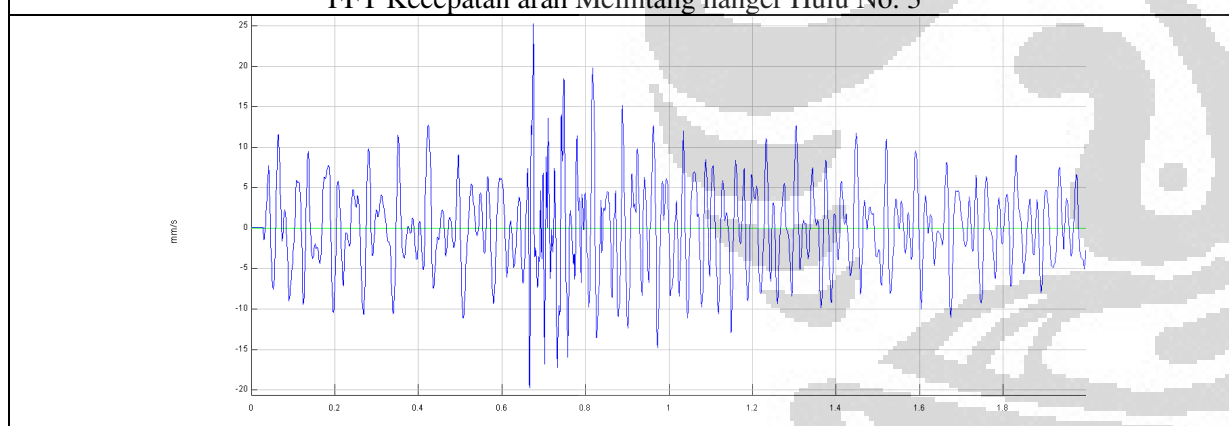
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 4



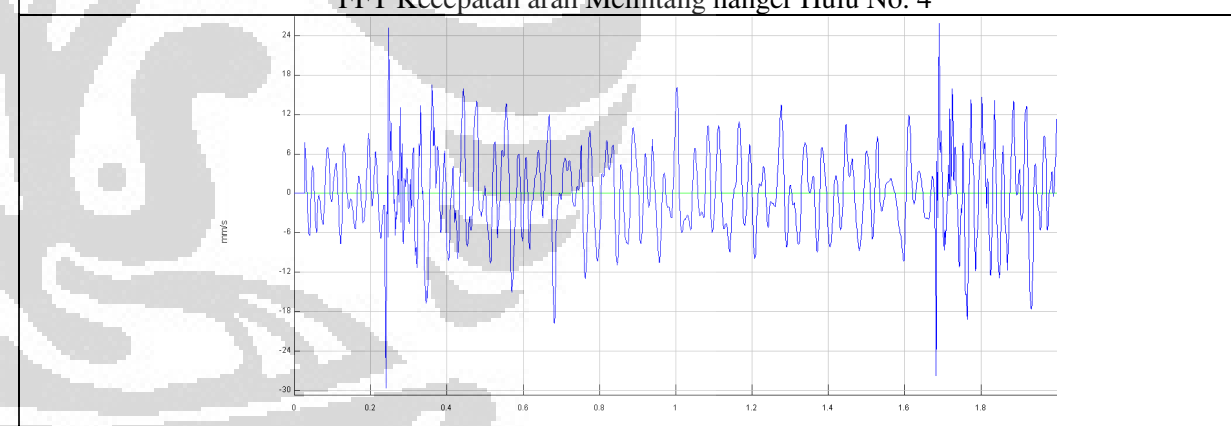
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 3



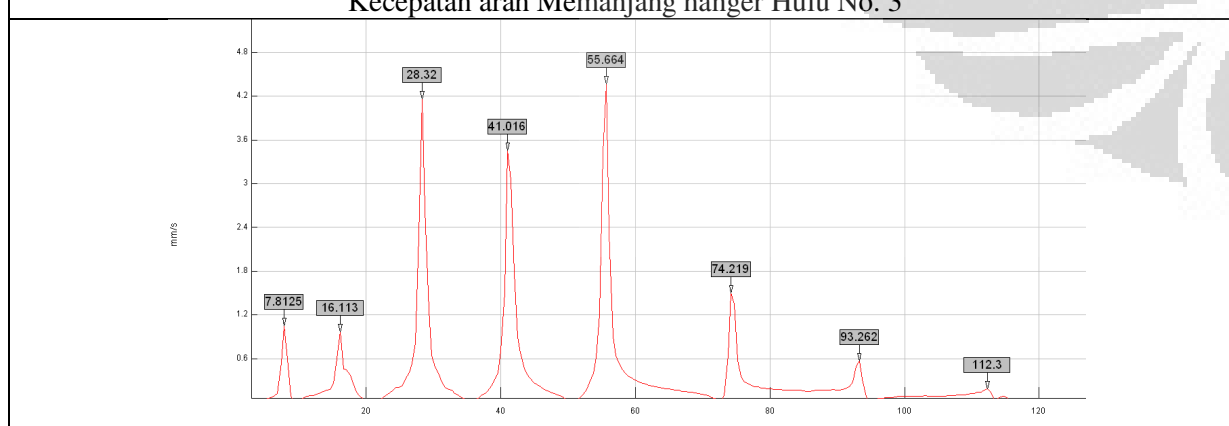
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 4



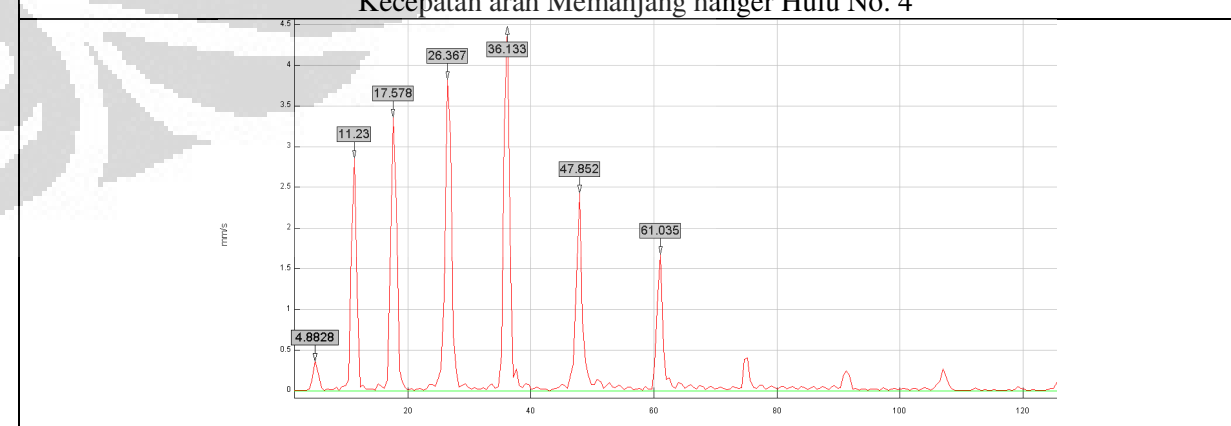
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 3



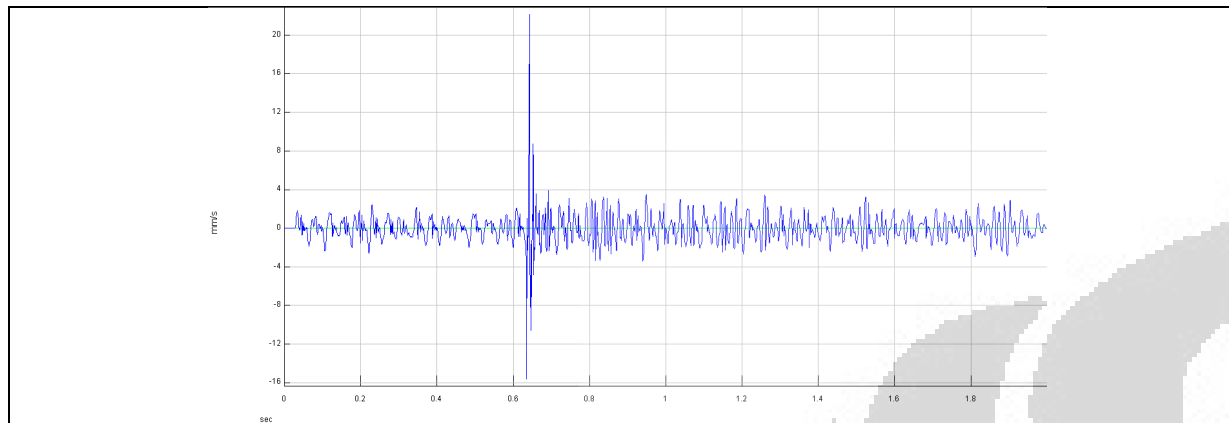
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 4



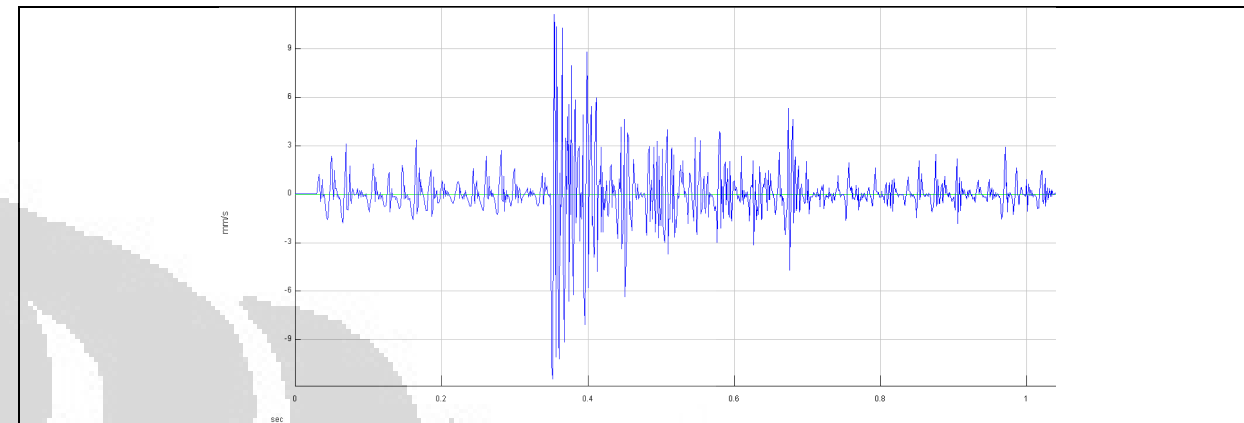
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 3



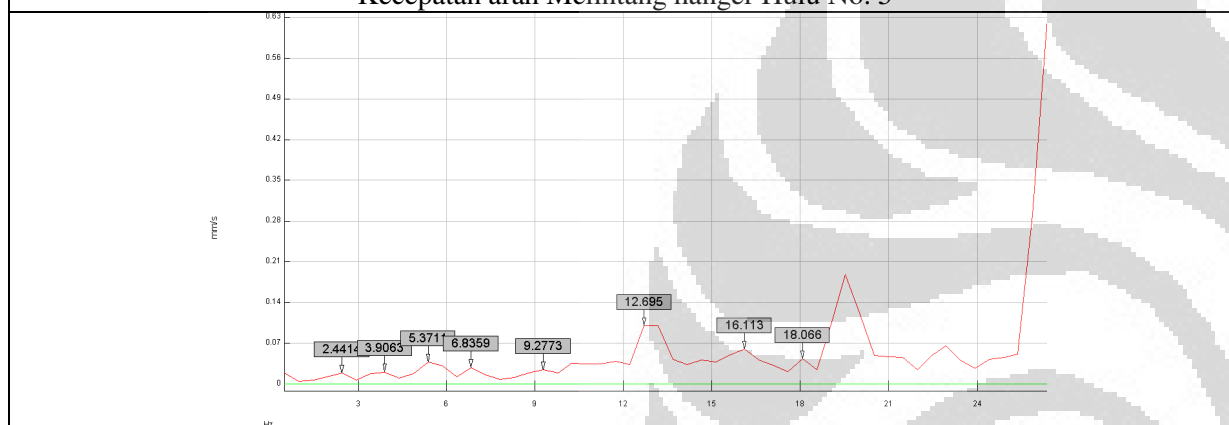
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 4



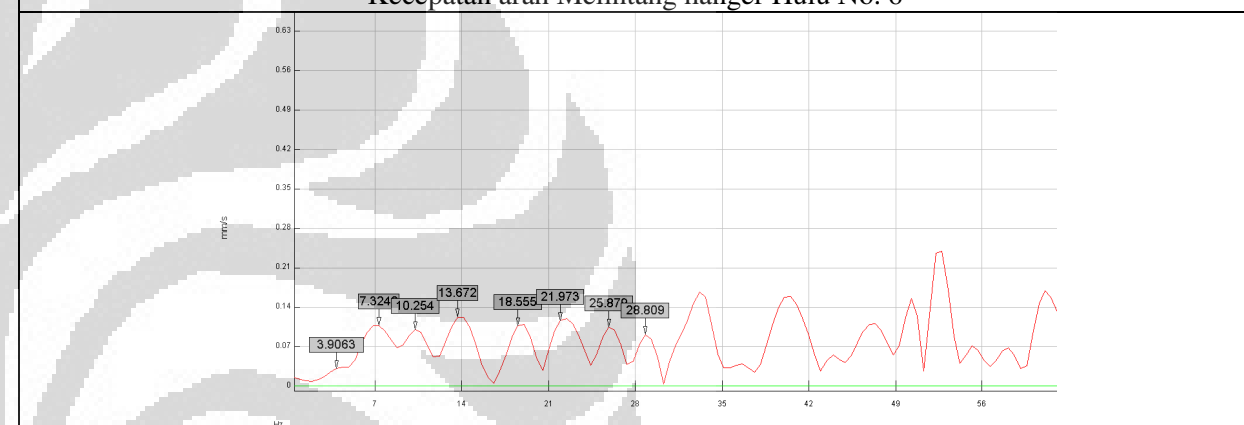
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 5



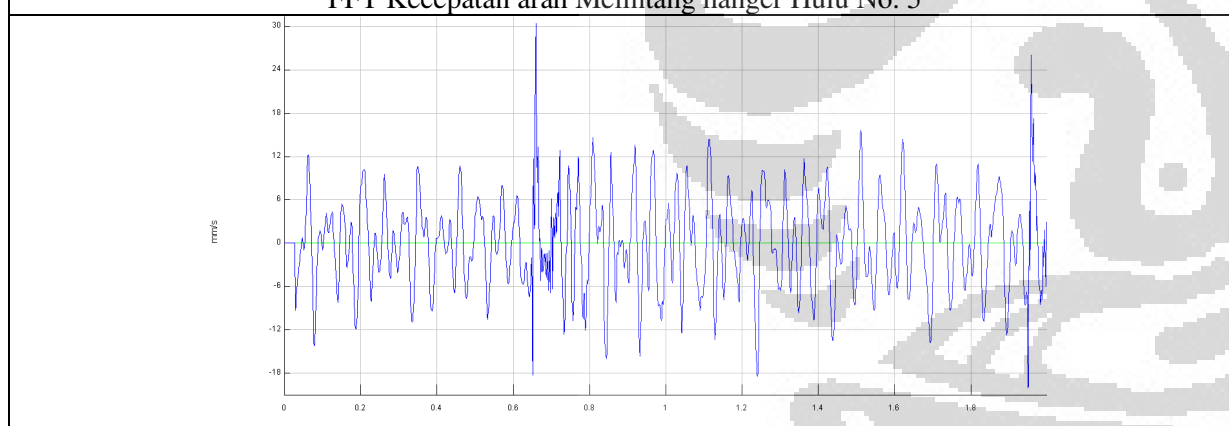
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 6



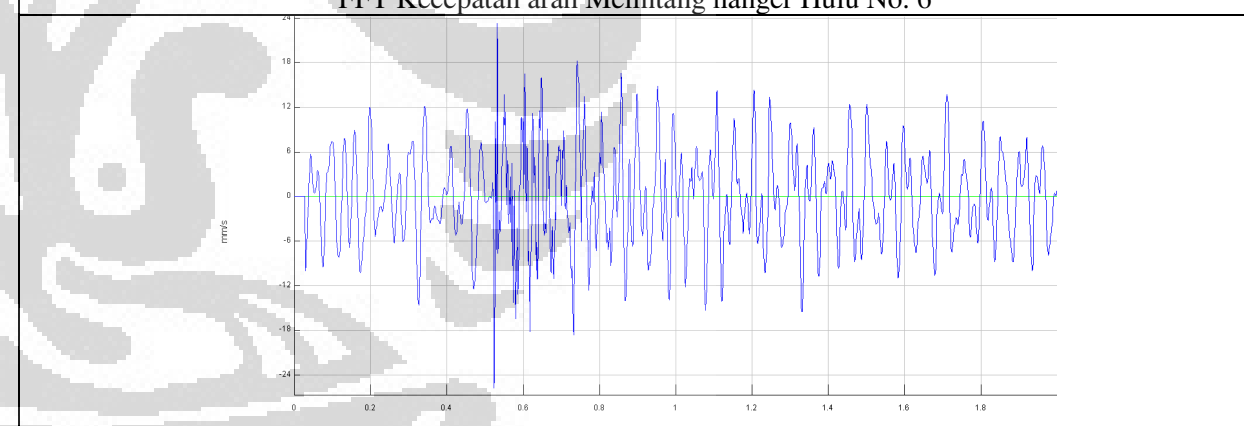
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 5



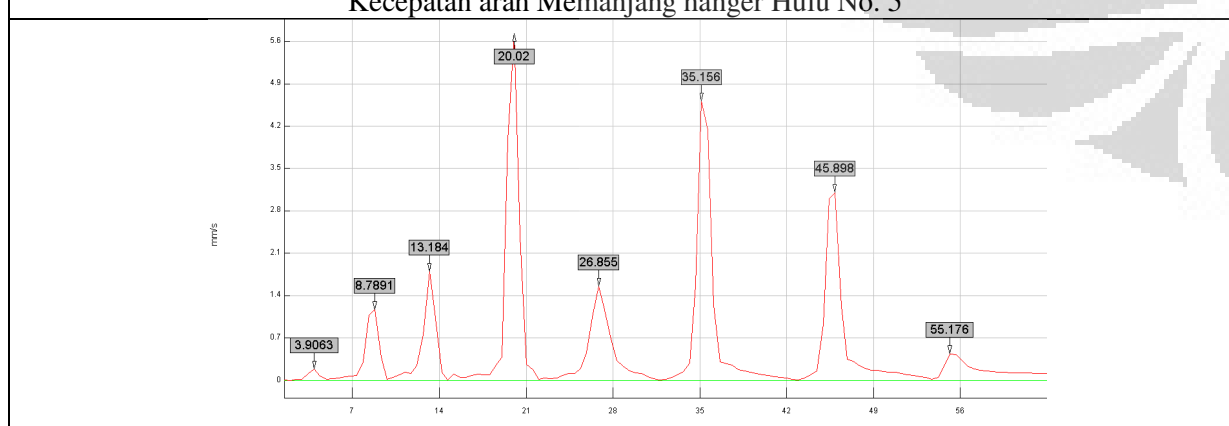
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 6



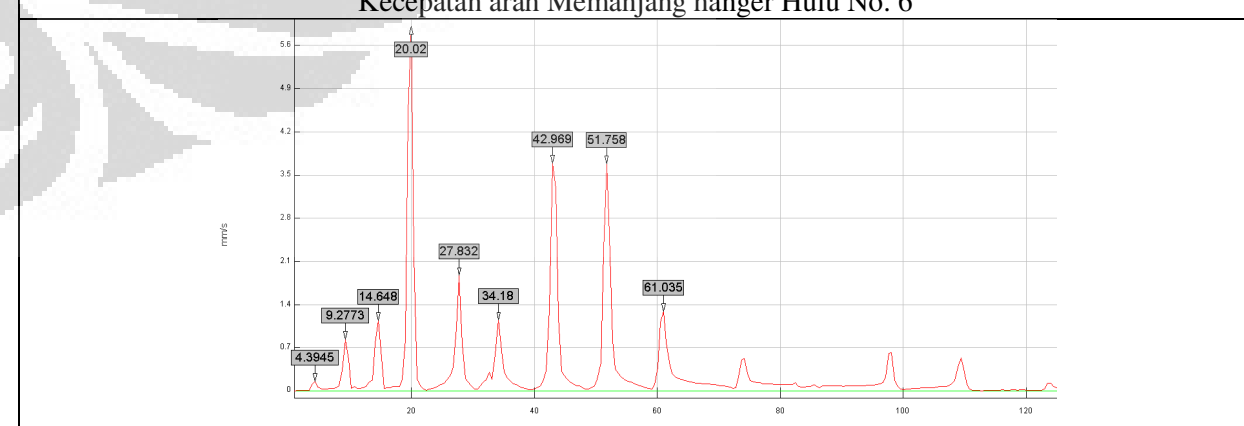
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 5



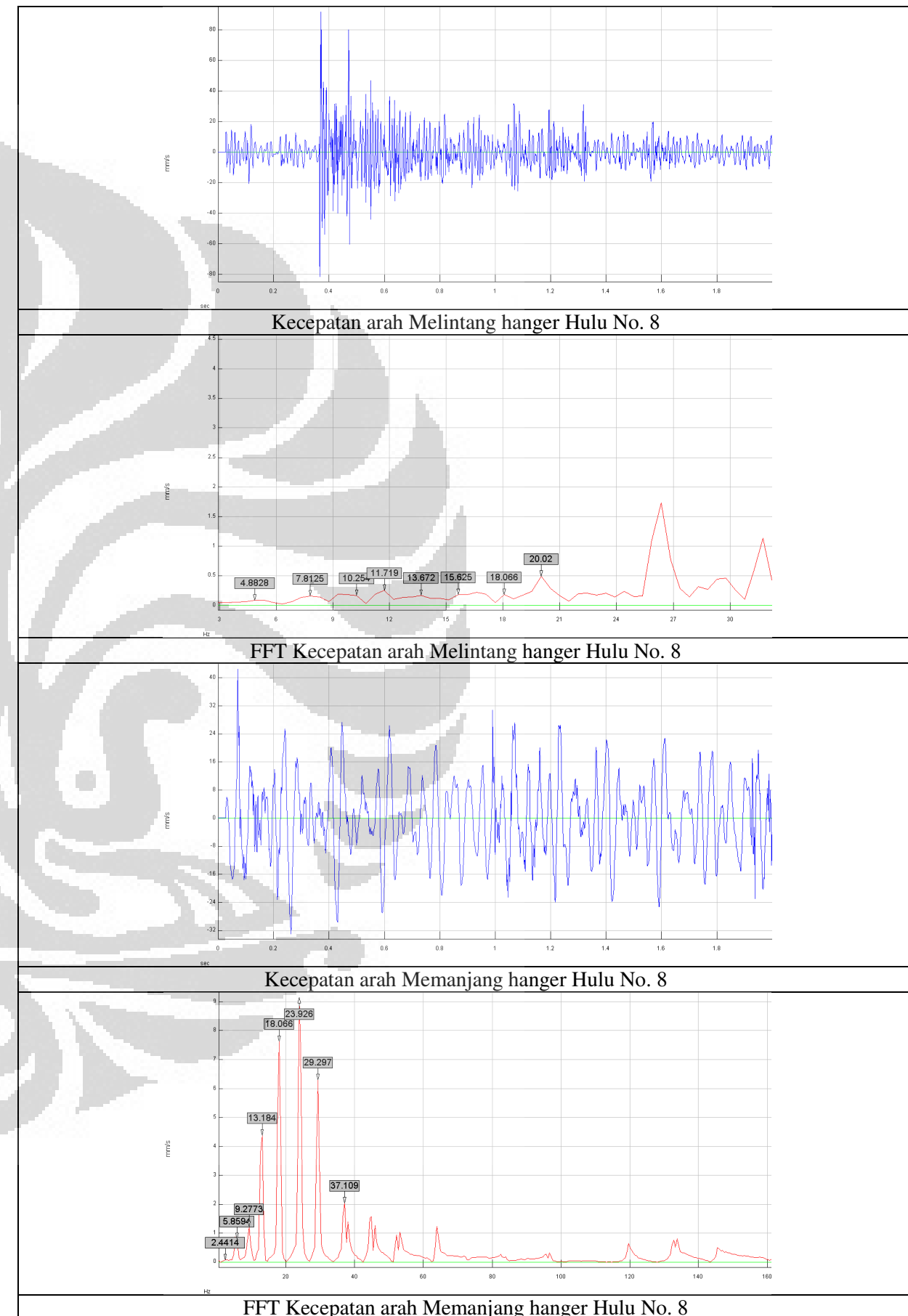
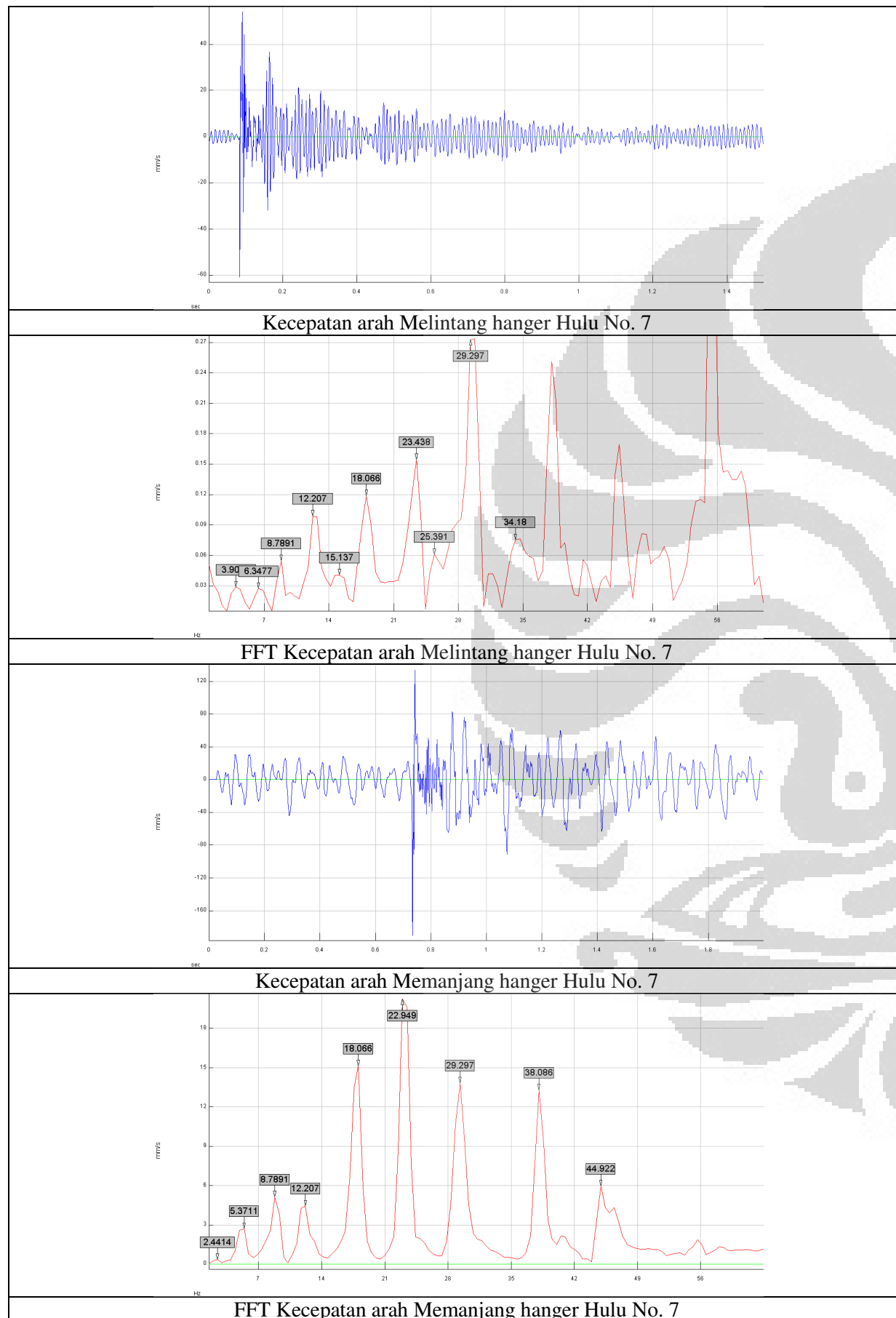
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 6

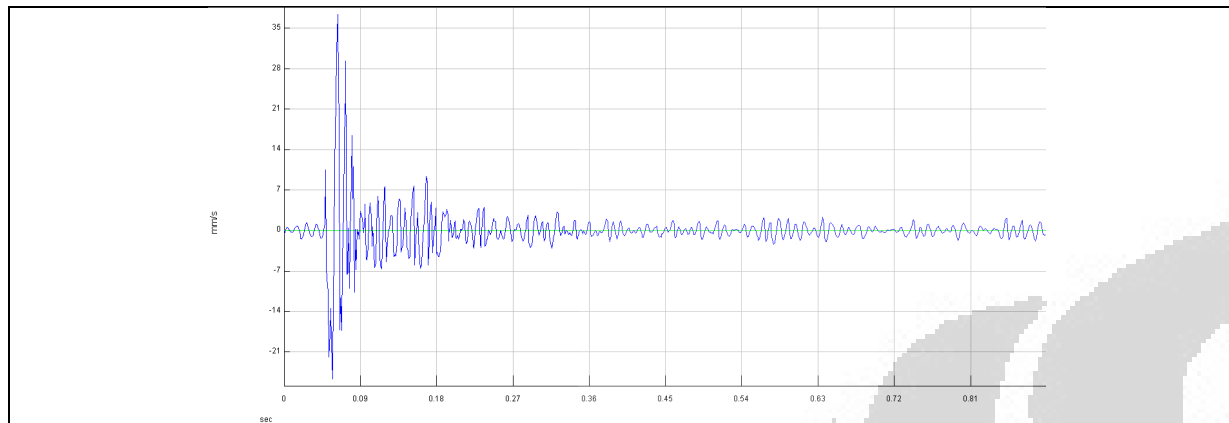


FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 5

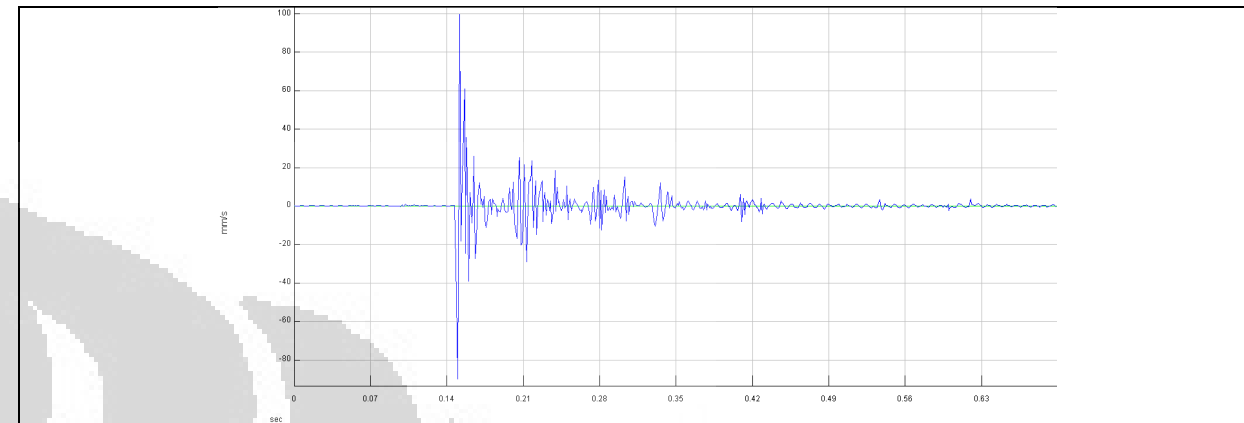


FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 6

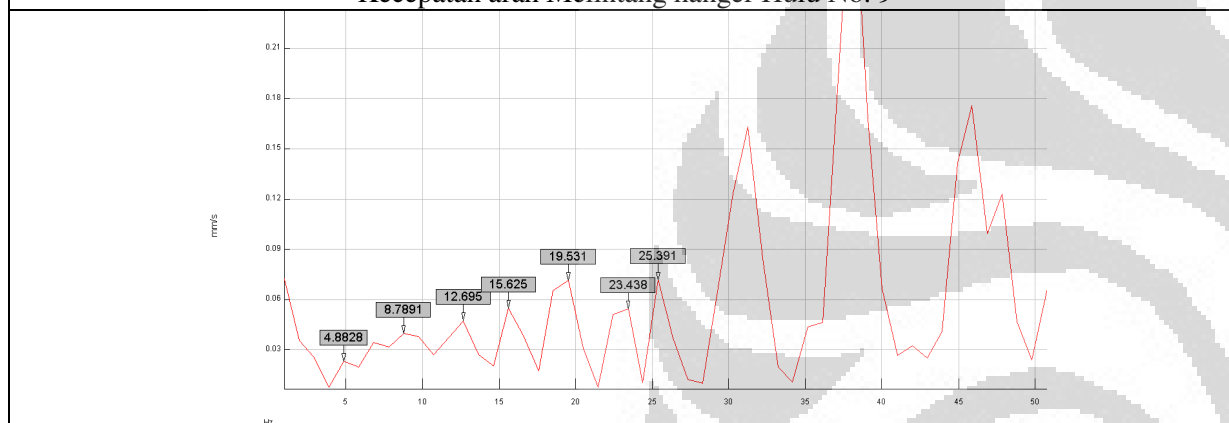




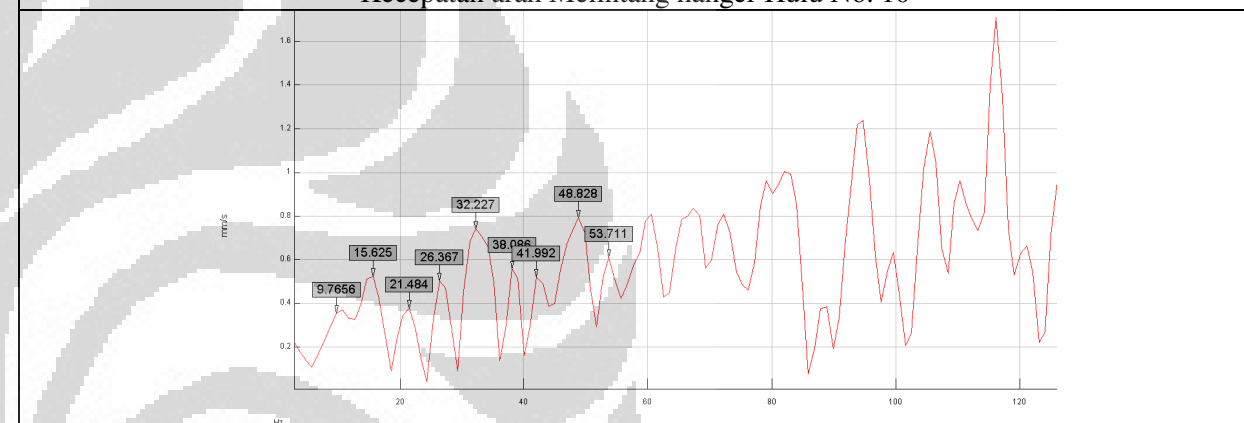
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 9



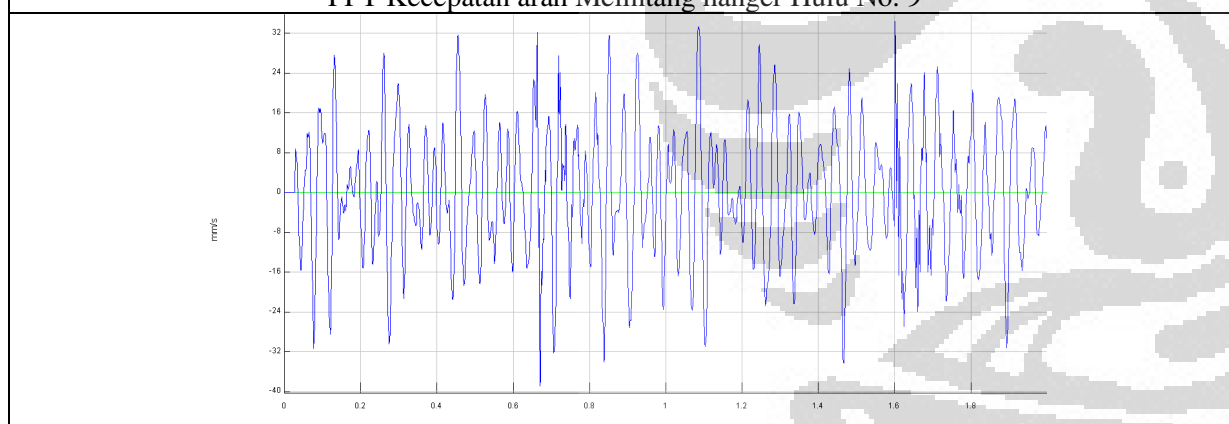
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 10



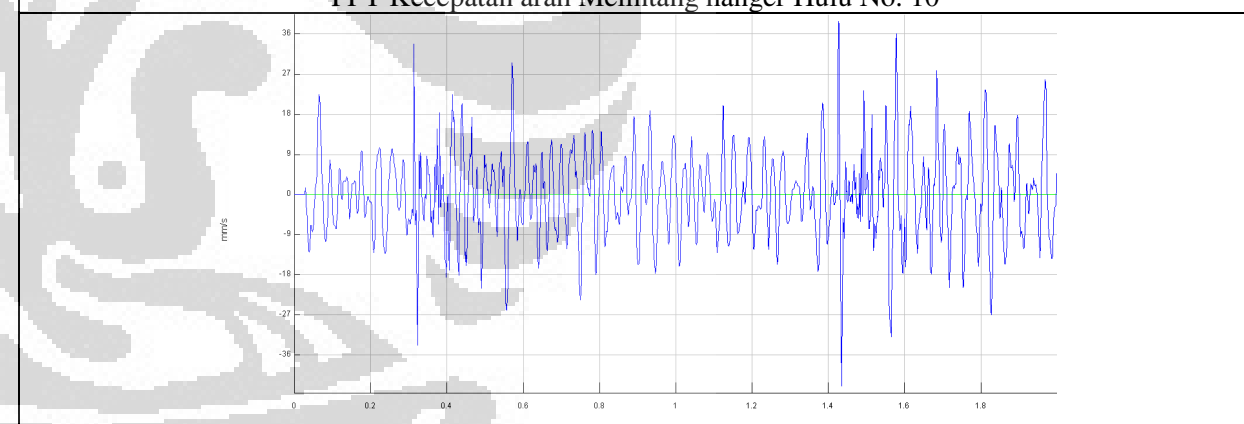
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 9



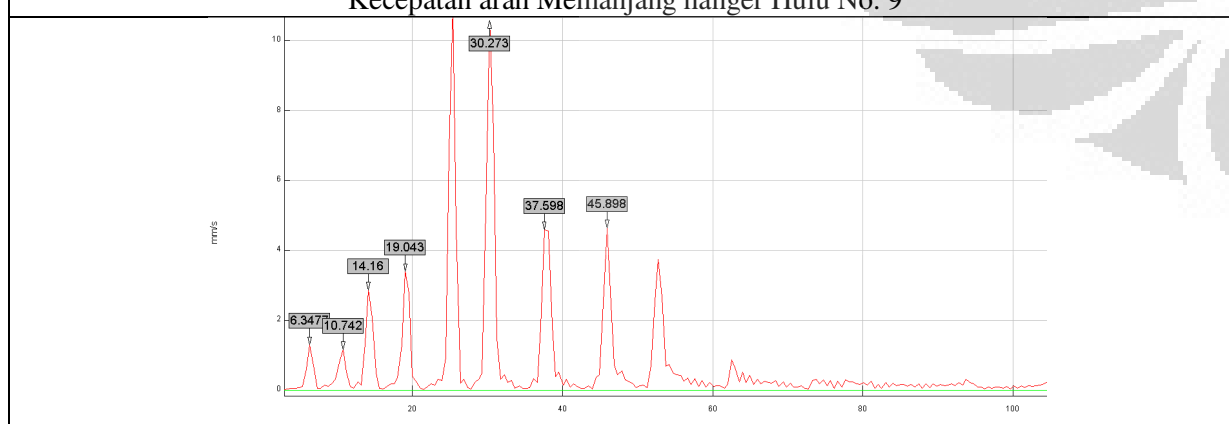
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 10



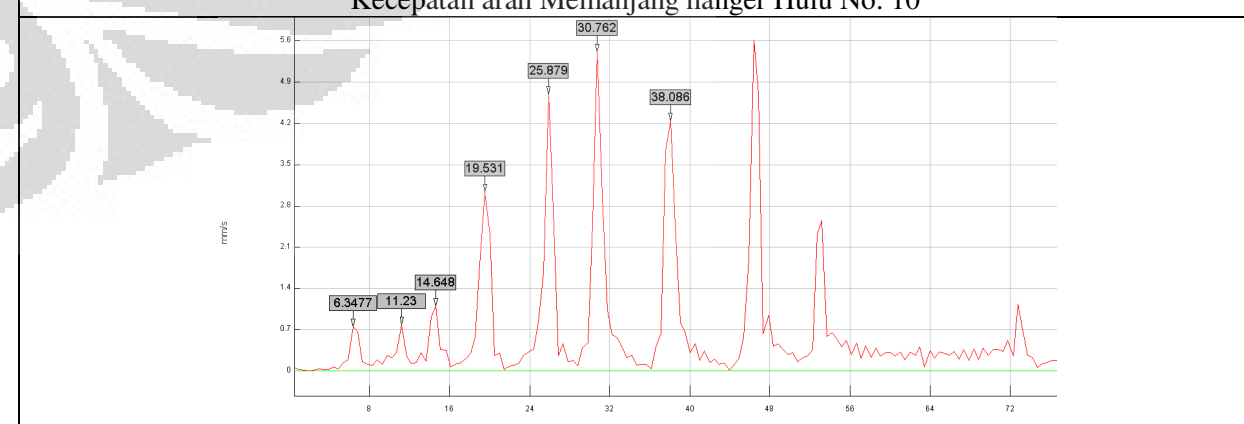
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 9



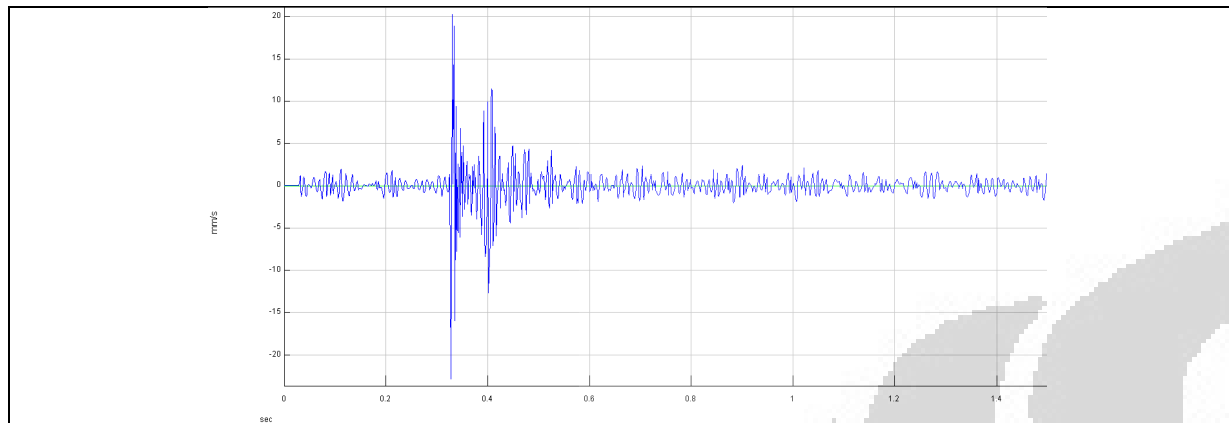
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 10



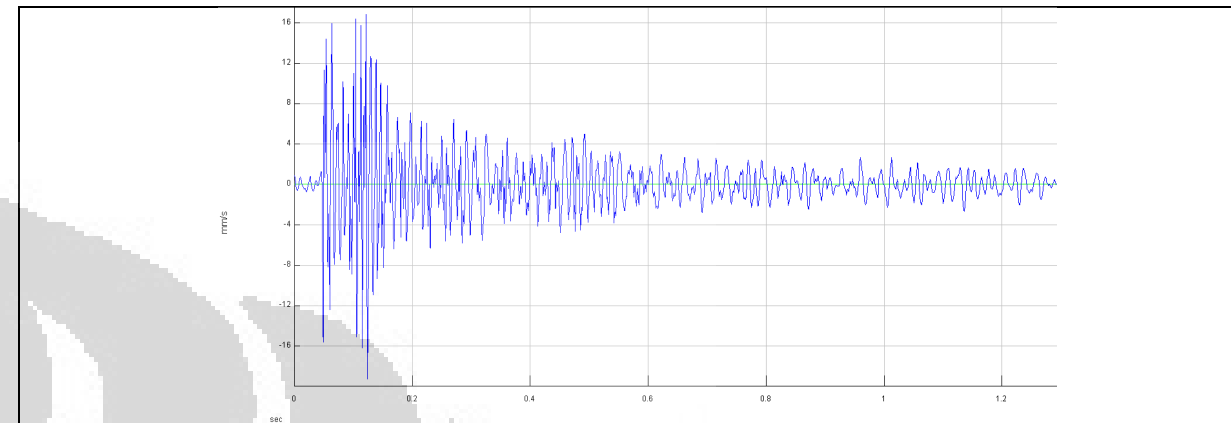
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 9



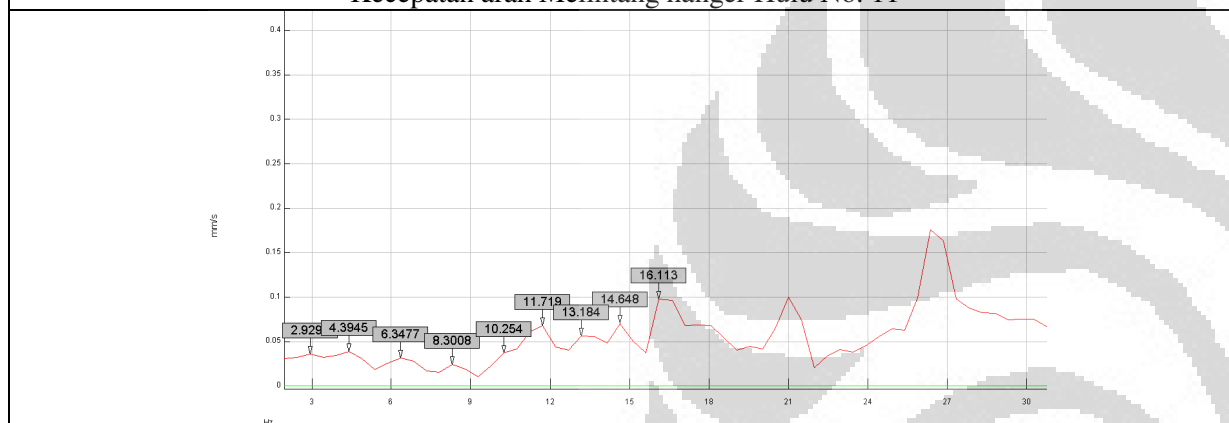
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 10



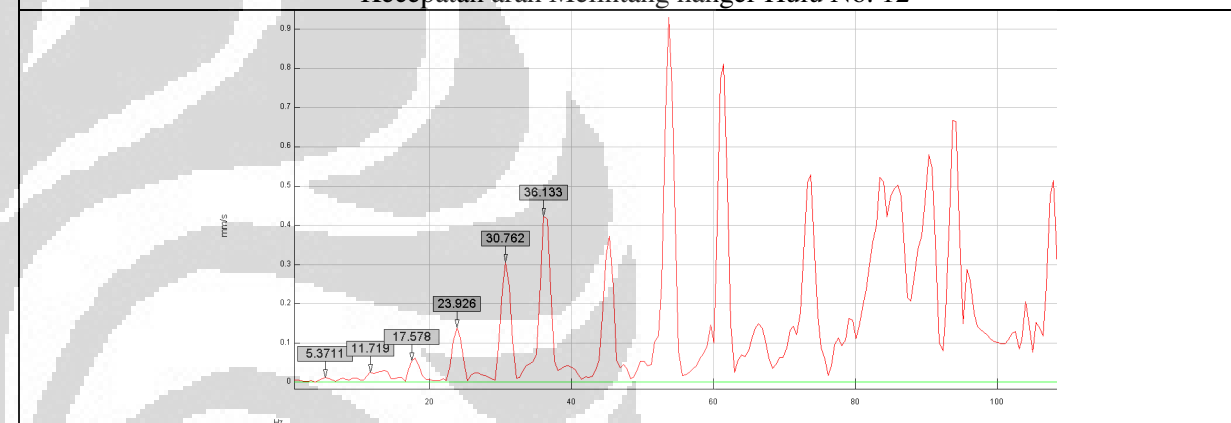
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 11



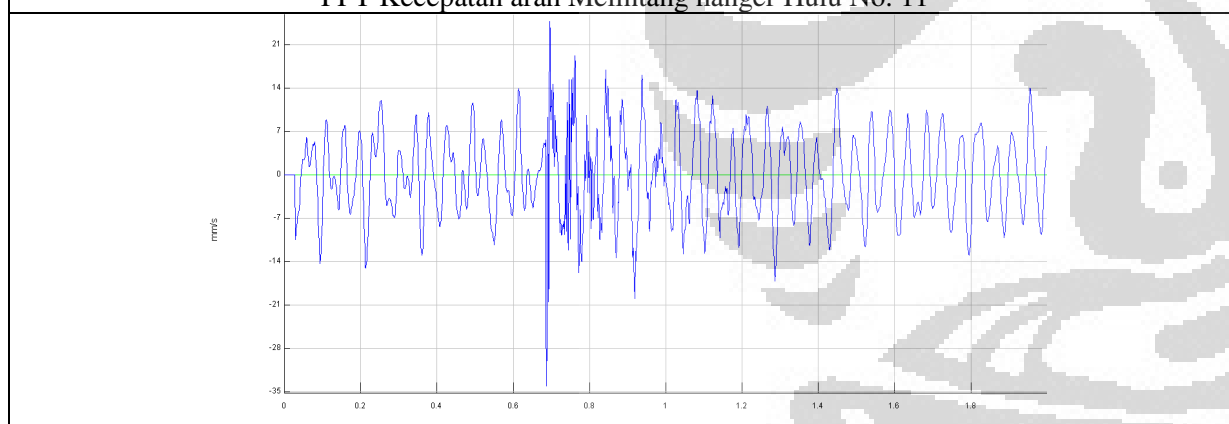
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 12



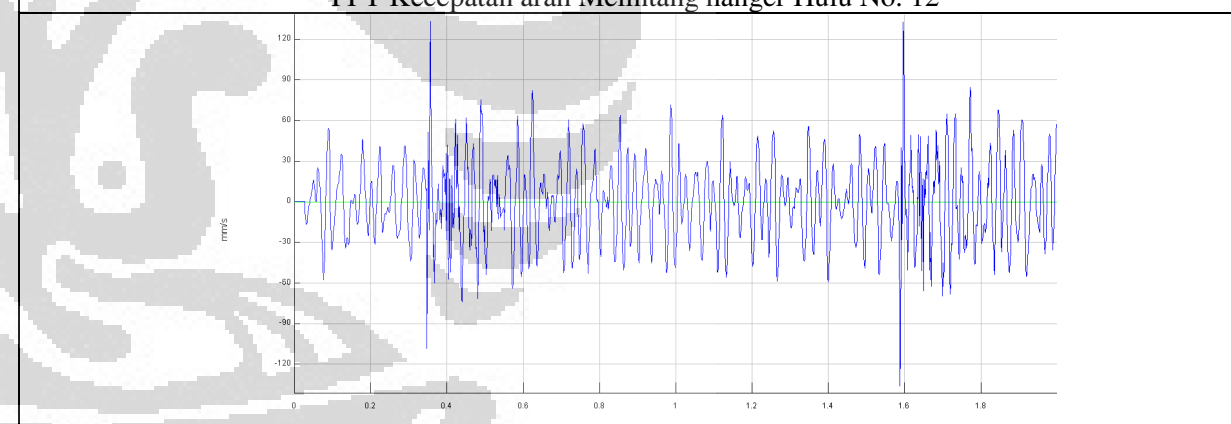
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 11



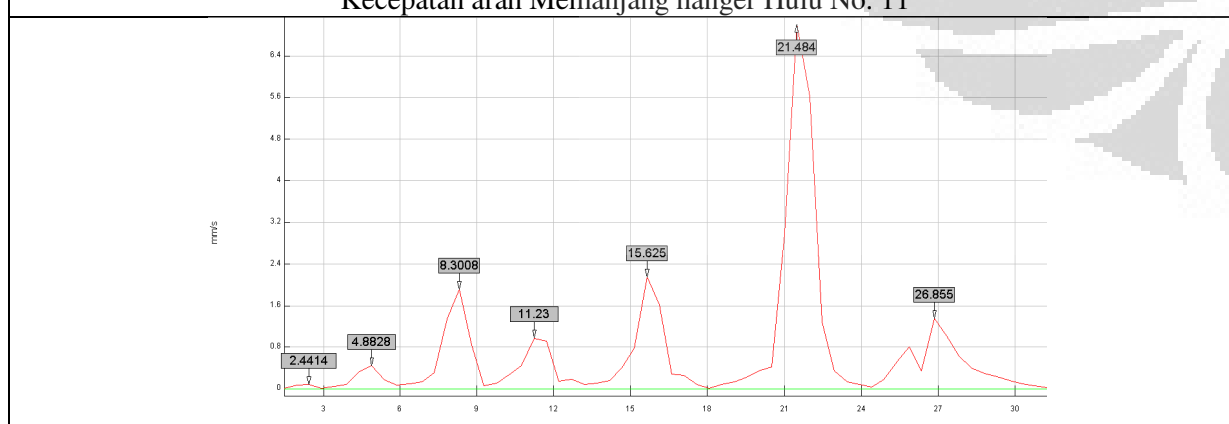
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 12



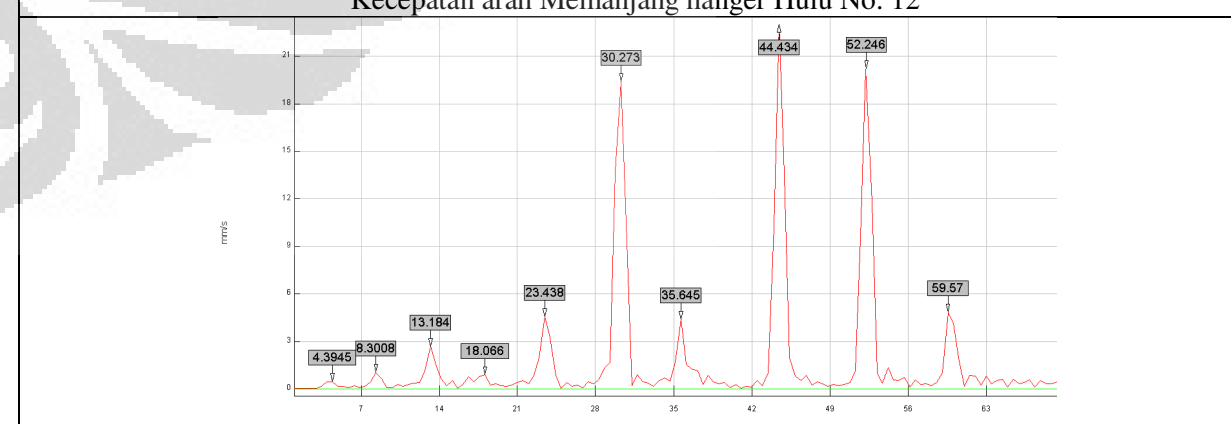
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 11



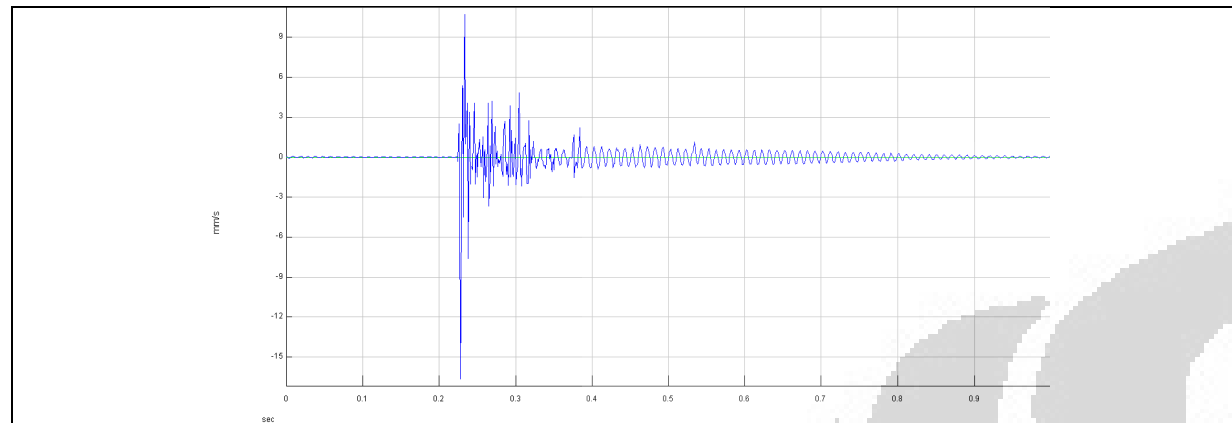
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 12



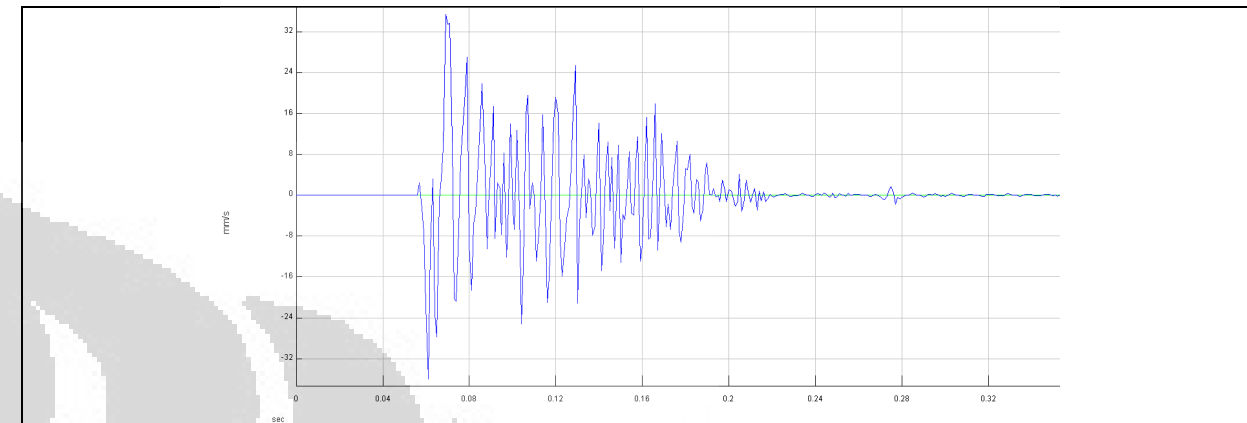
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 11



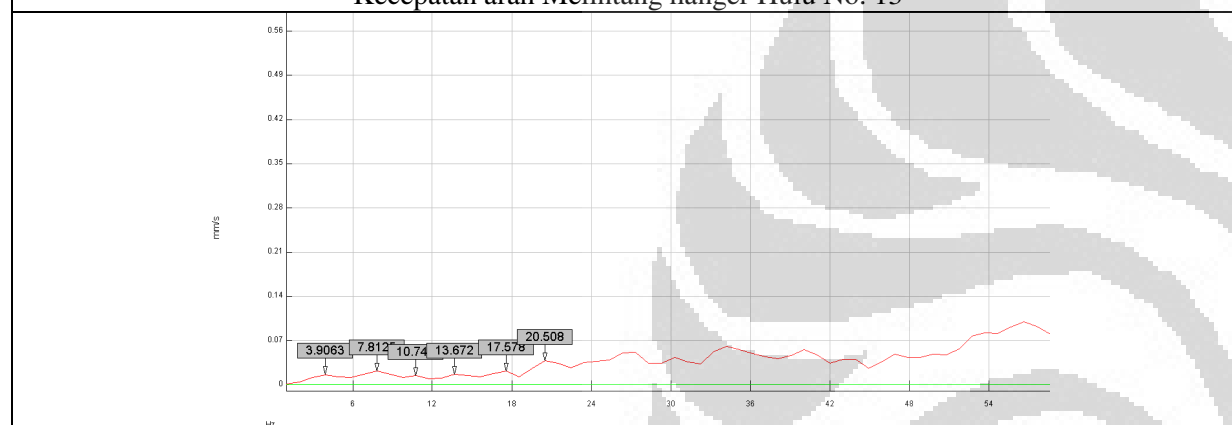
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 12



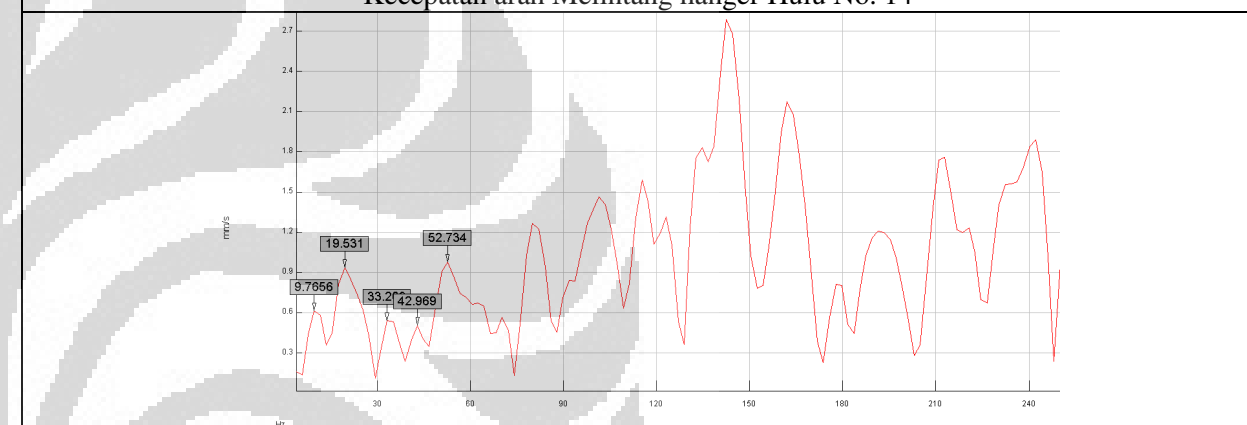
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 13



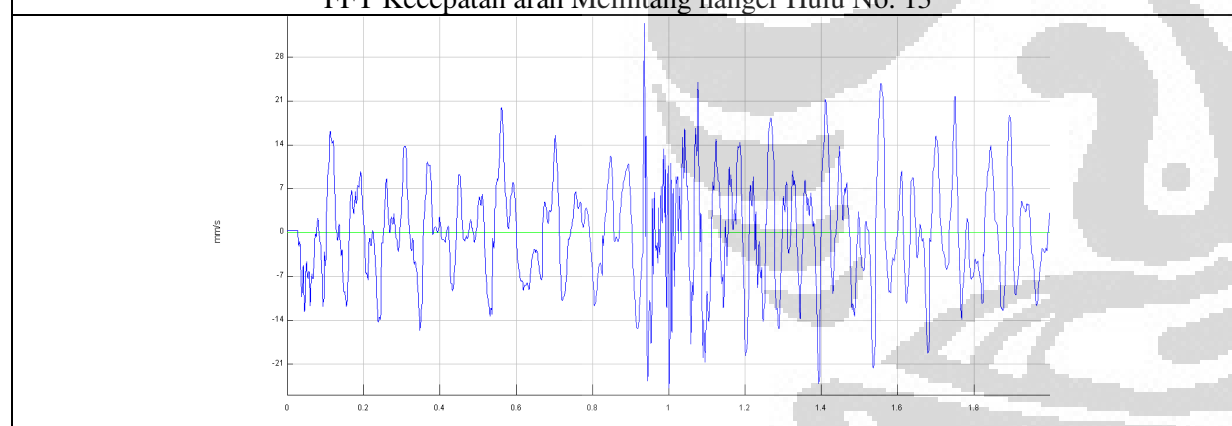
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 14



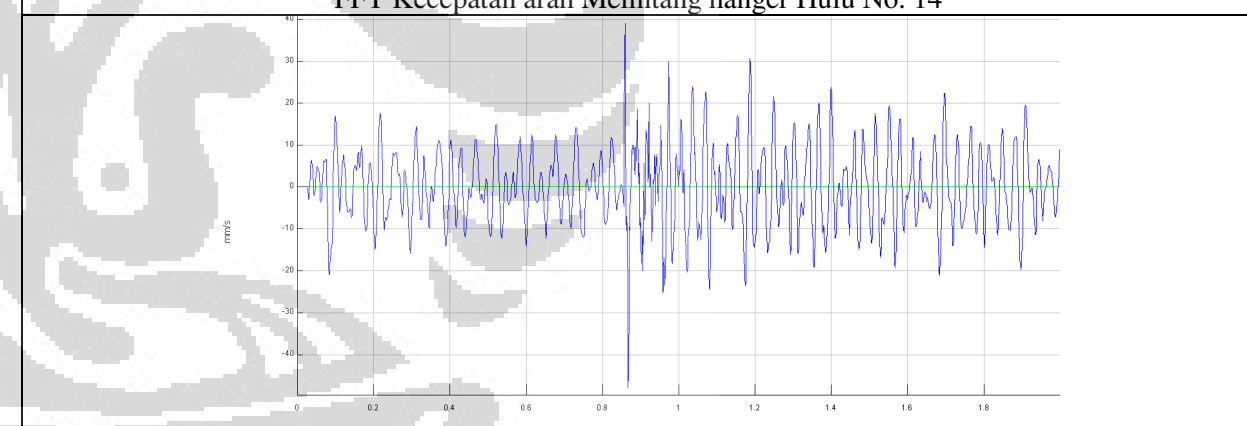
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 13



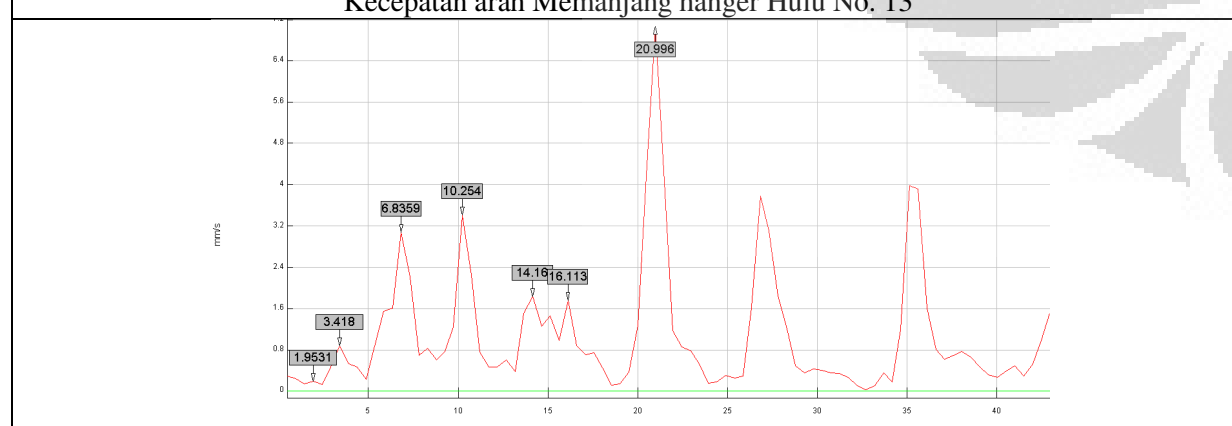
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 14



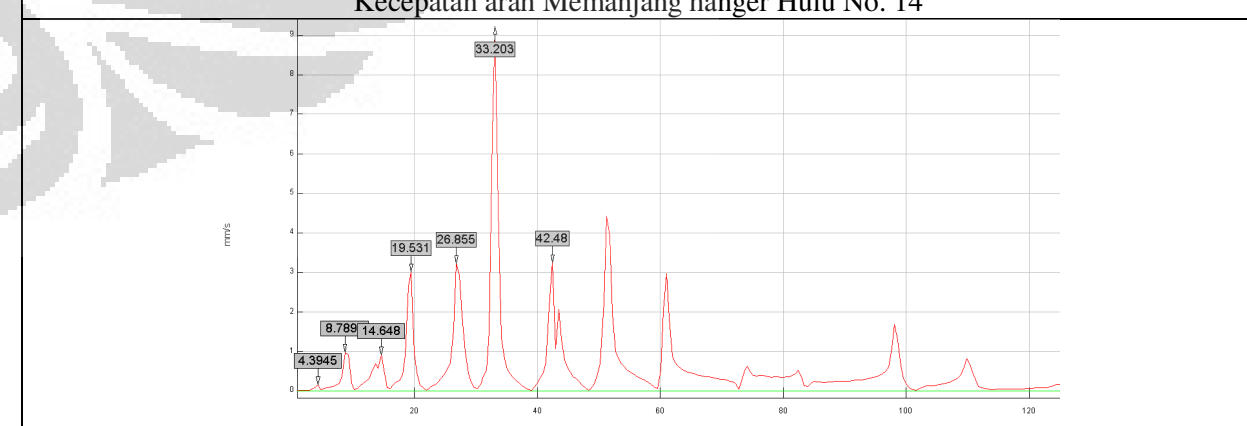
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 13



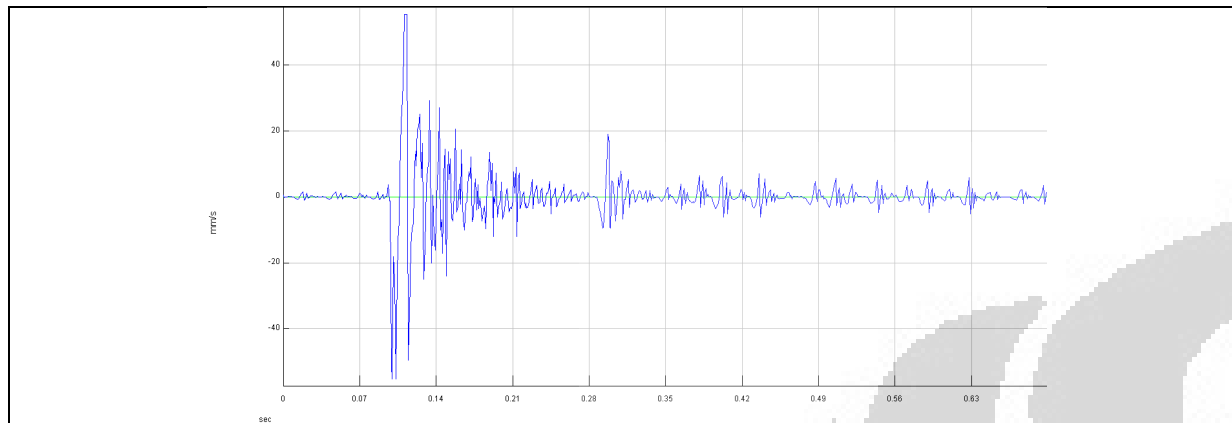
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 14



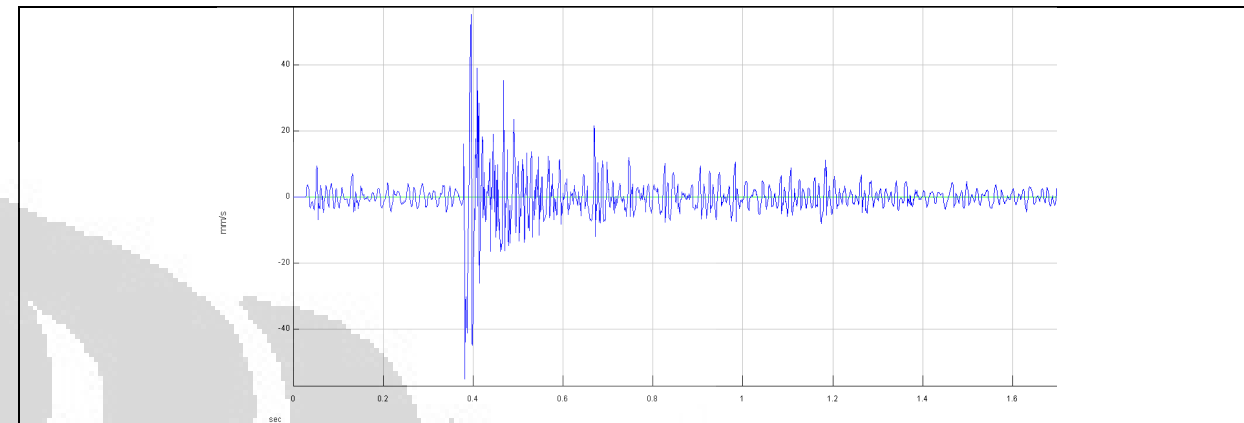
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 13



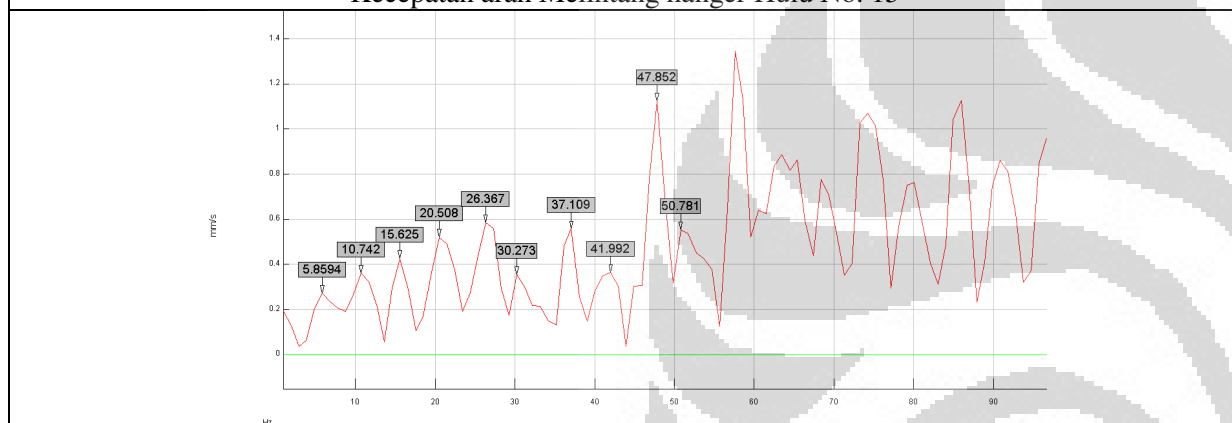
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 14



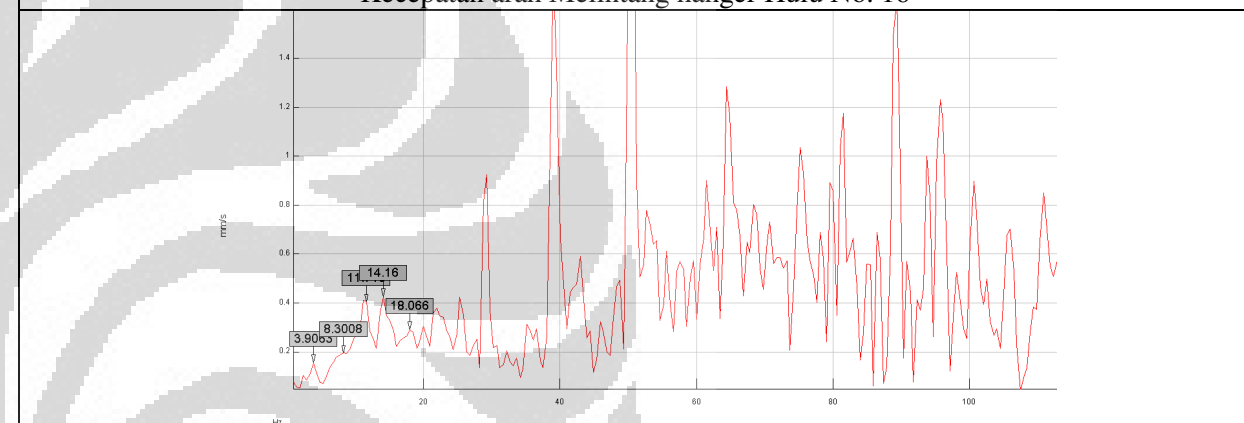
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 15



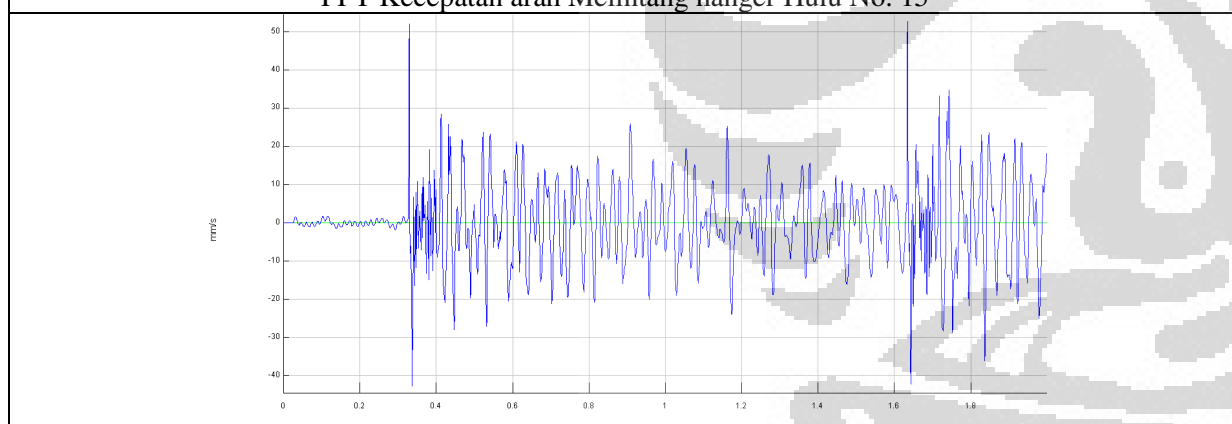
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 16



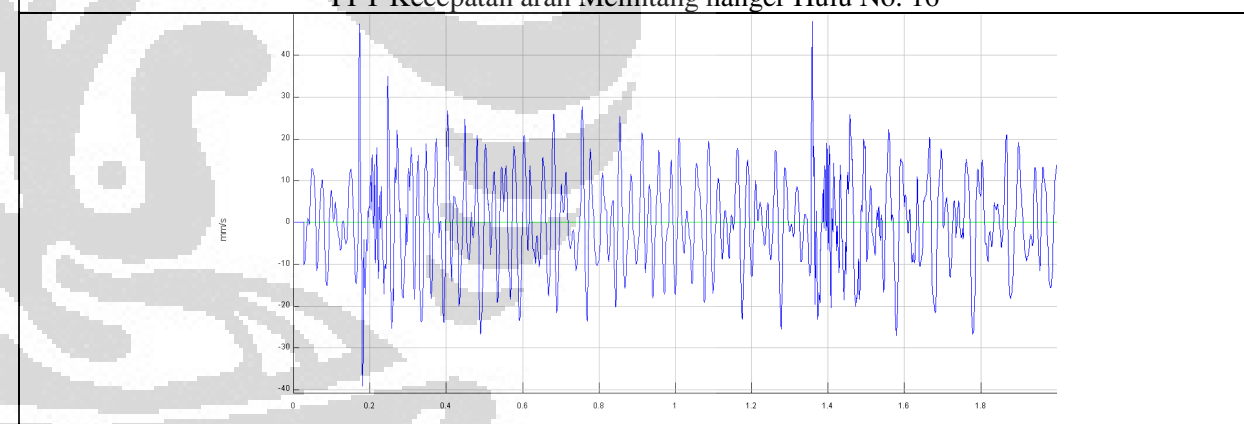
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 15



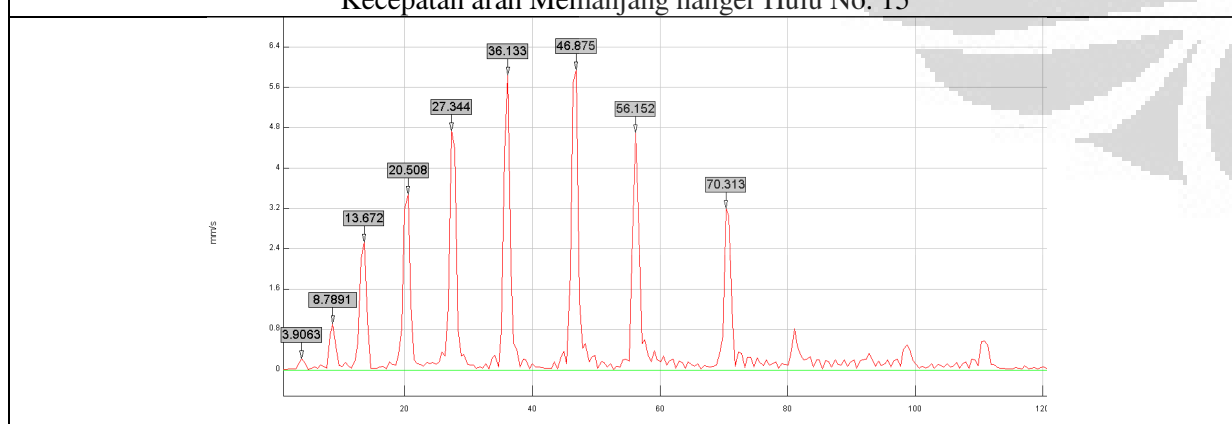
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 16



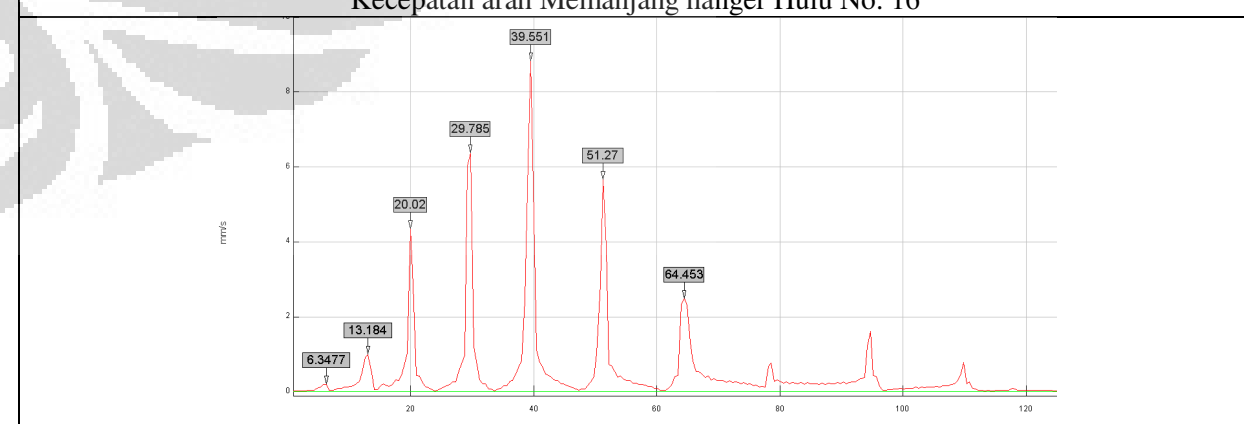
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 15



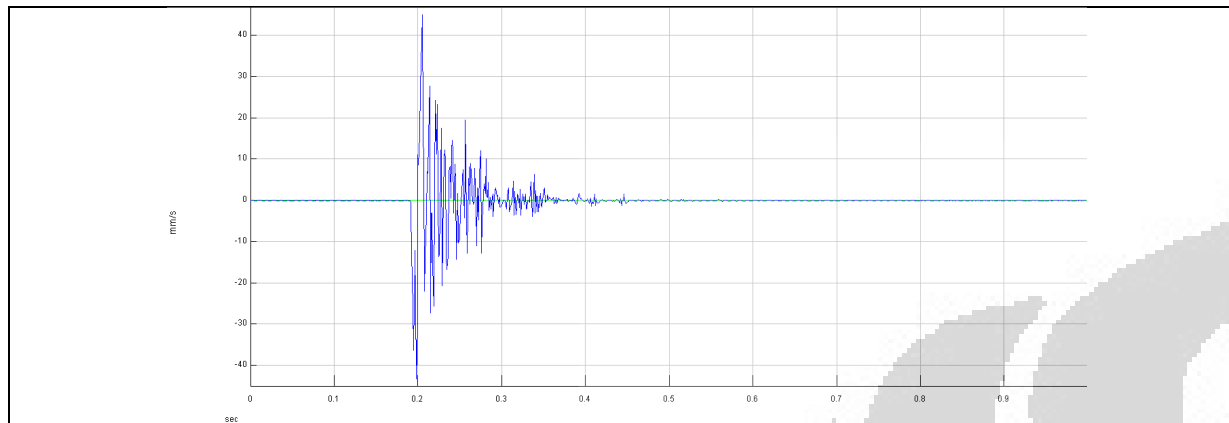
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 16



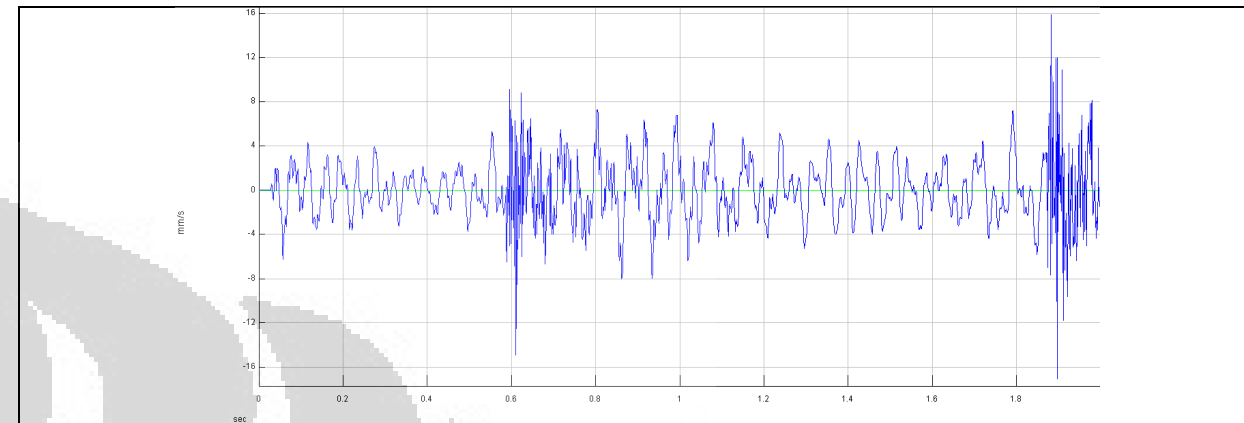
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 15



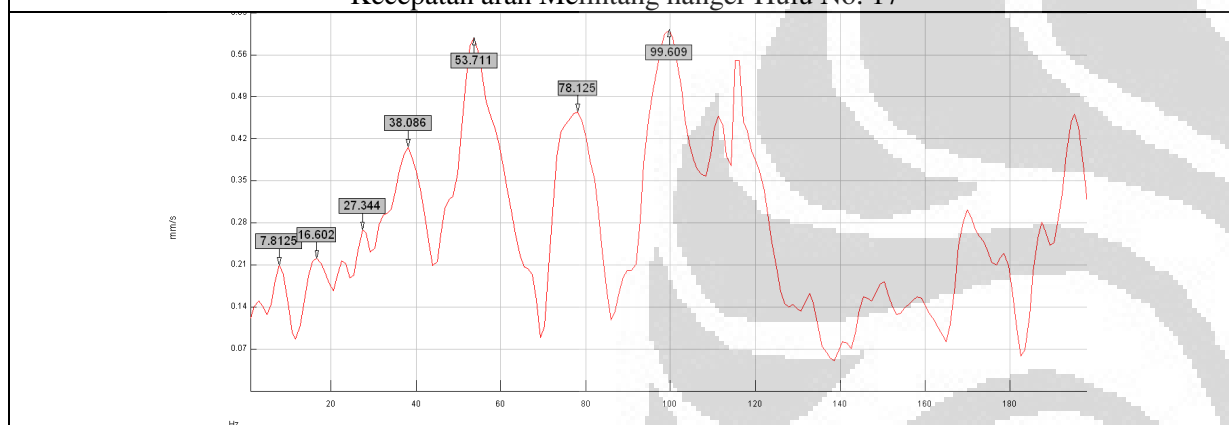
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 16



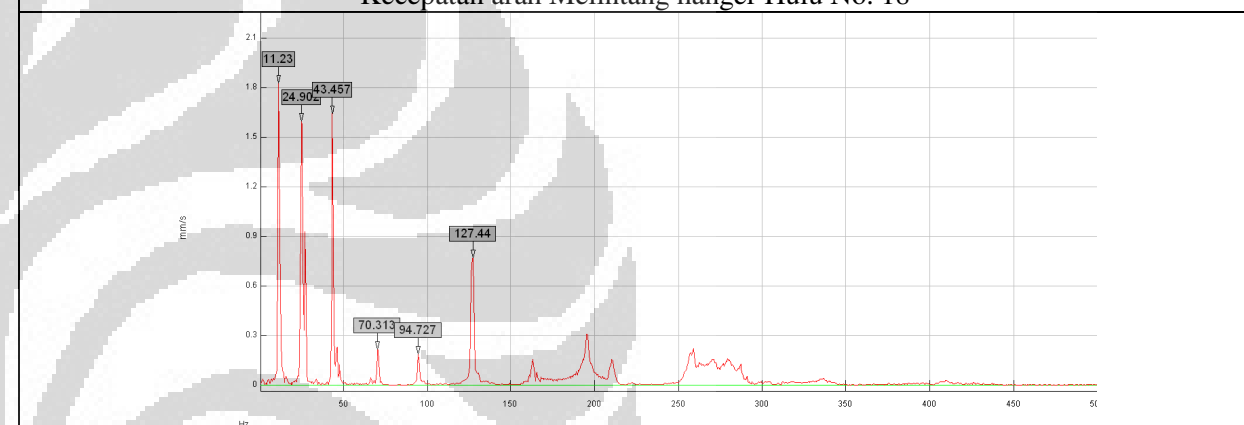
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 17



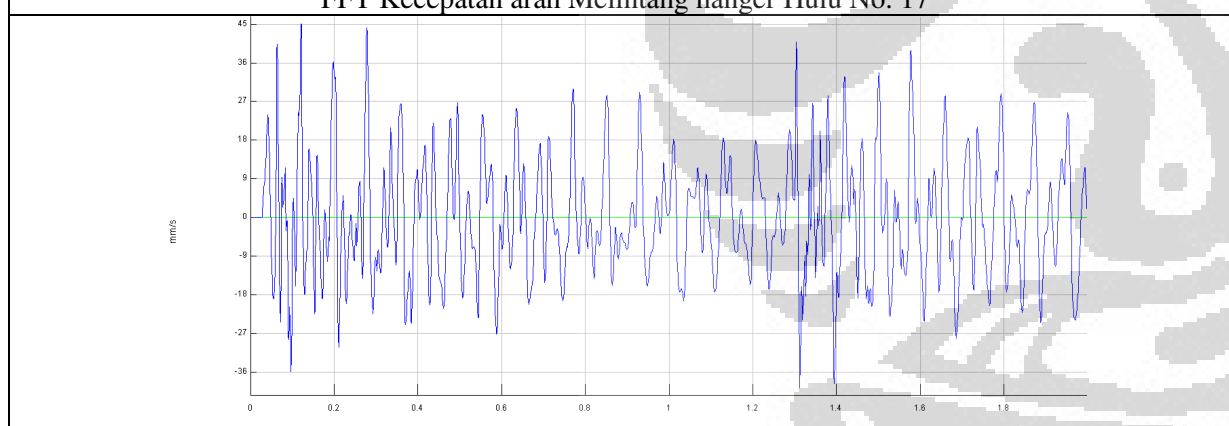
Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 18



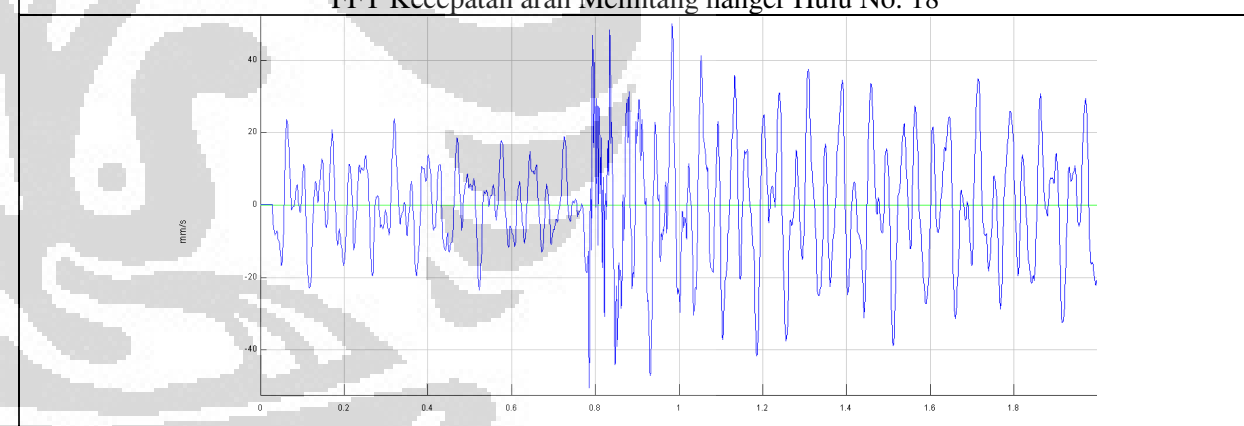
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 17



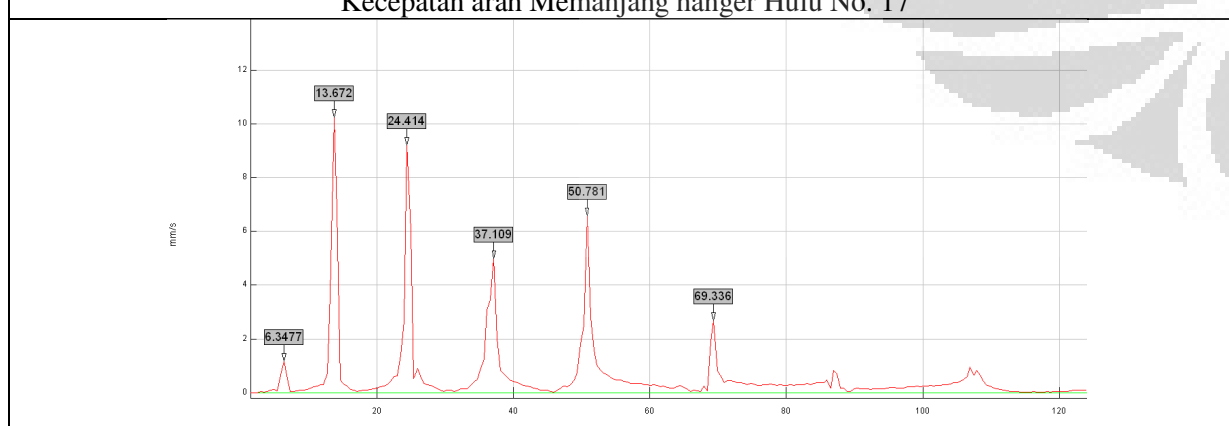
FFT Kecepatan arah Melintang hanger Hulu No. 18



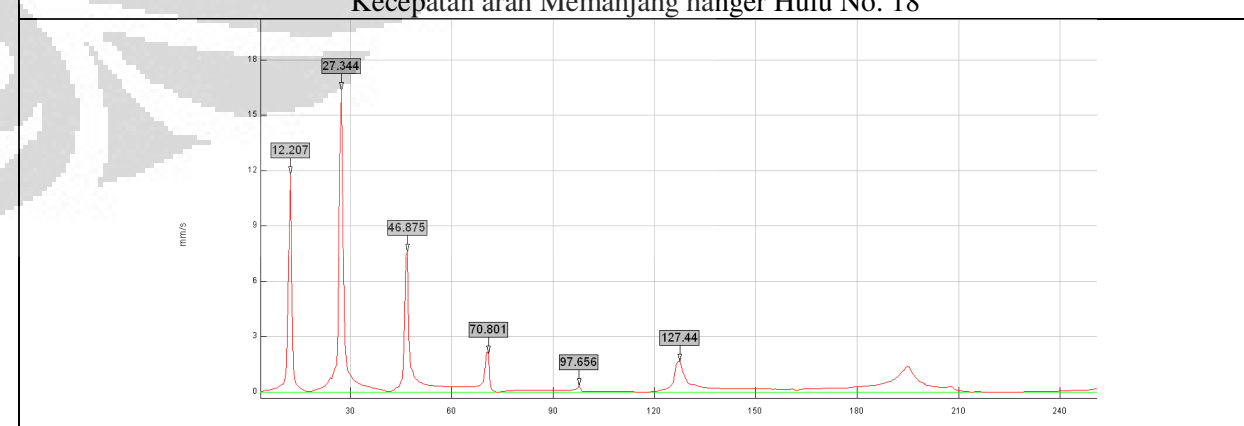
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 17



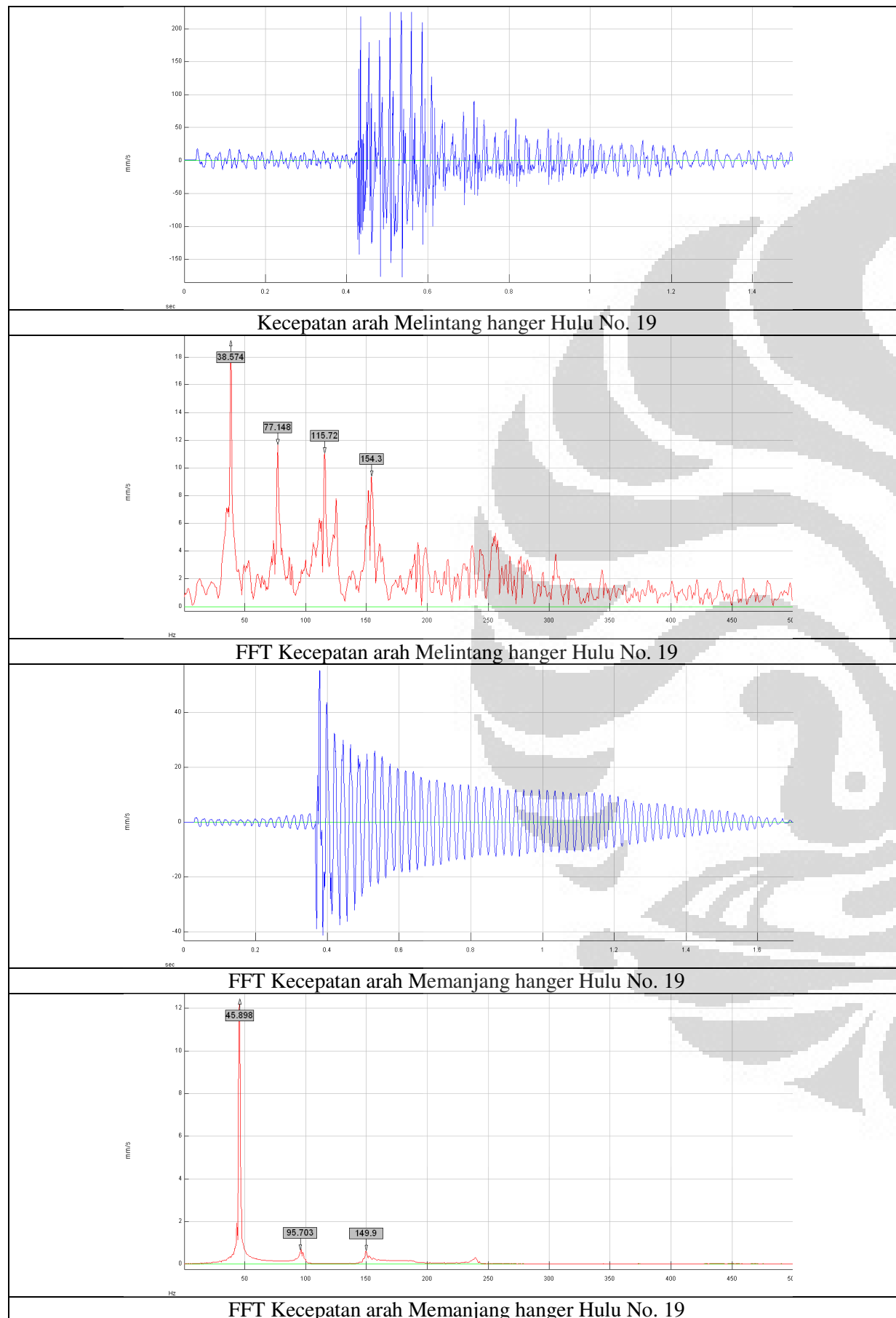
Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 18

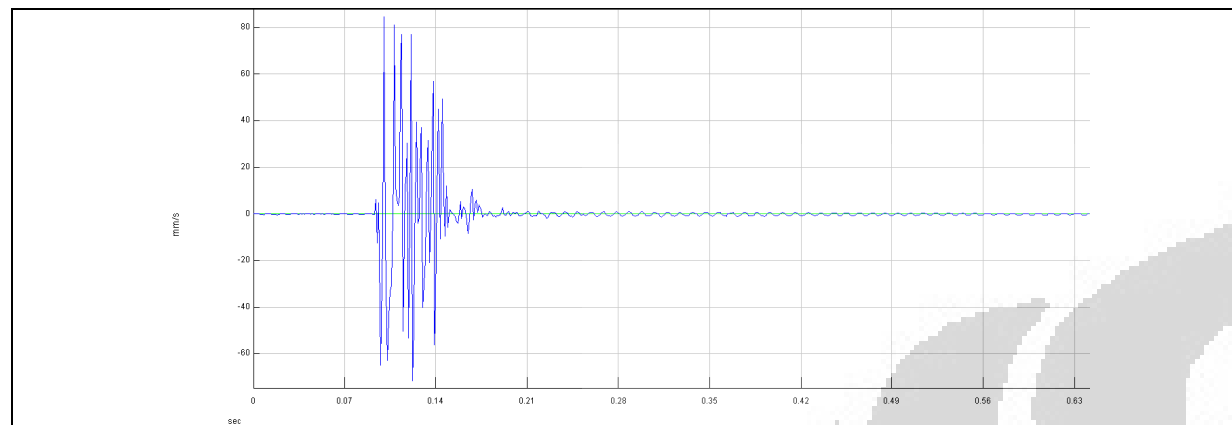


FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 17

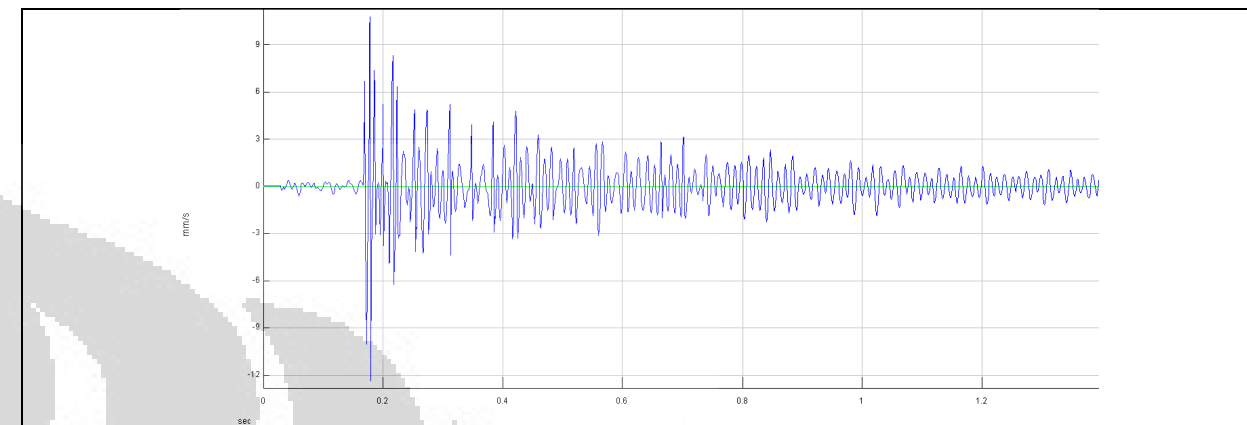


FFT Kecepatan arah Memanjang hanger Hulu No. 18

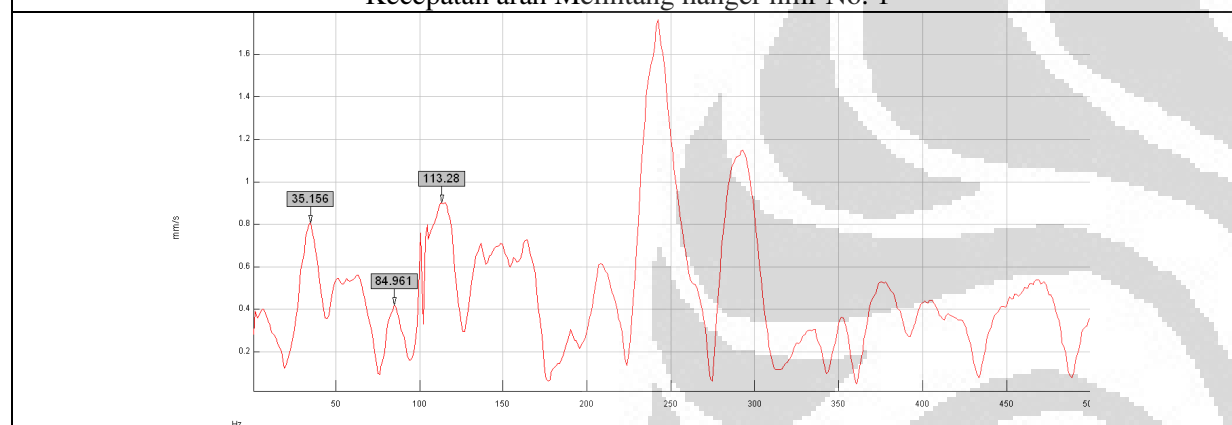




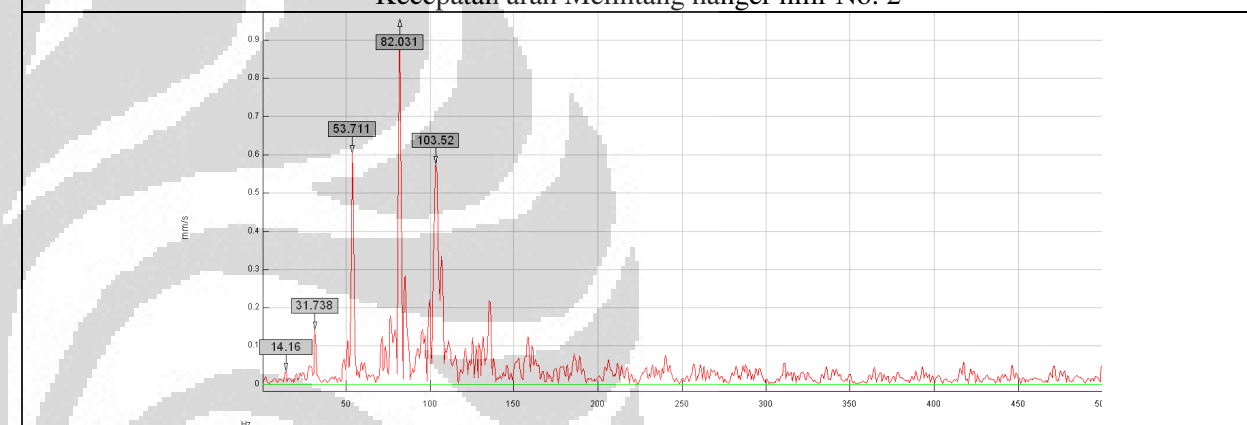
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 1



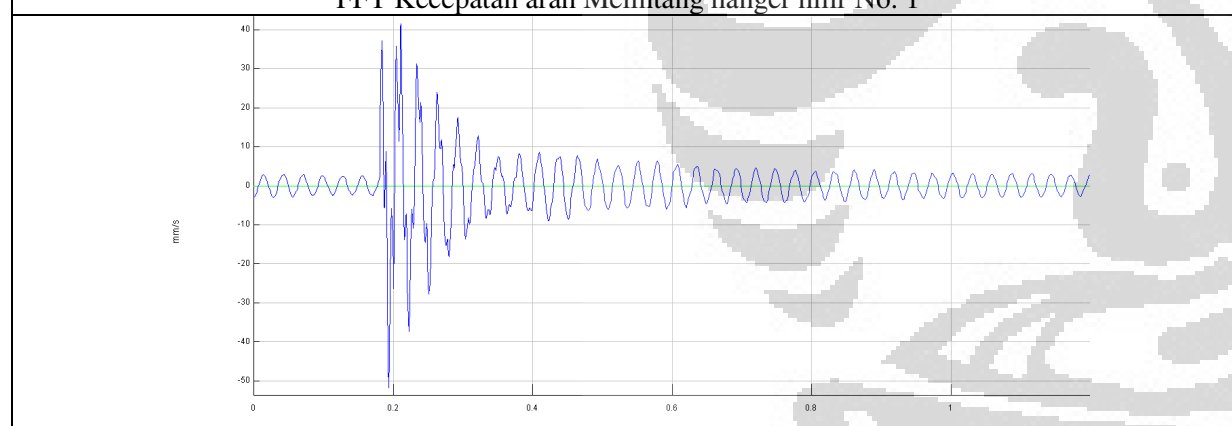
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 2



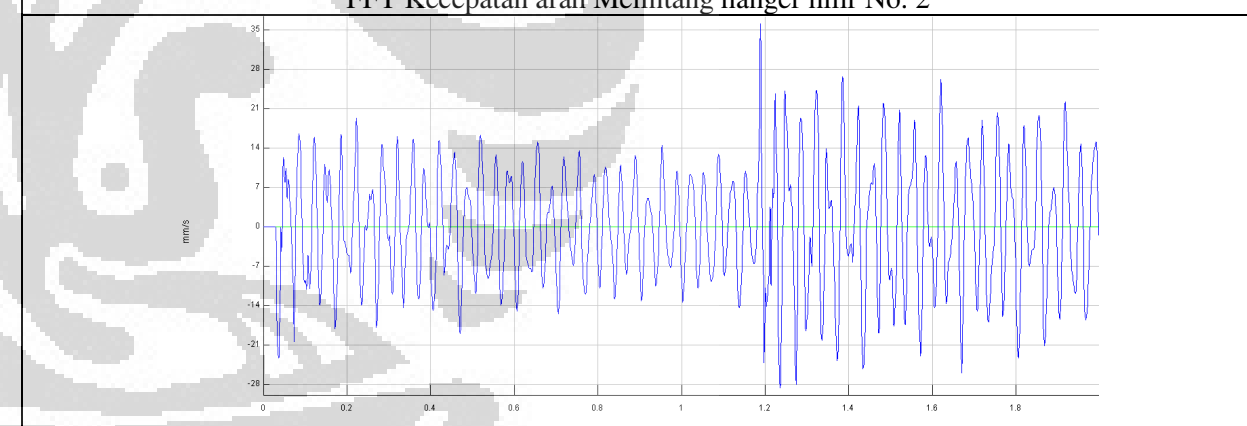
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 1



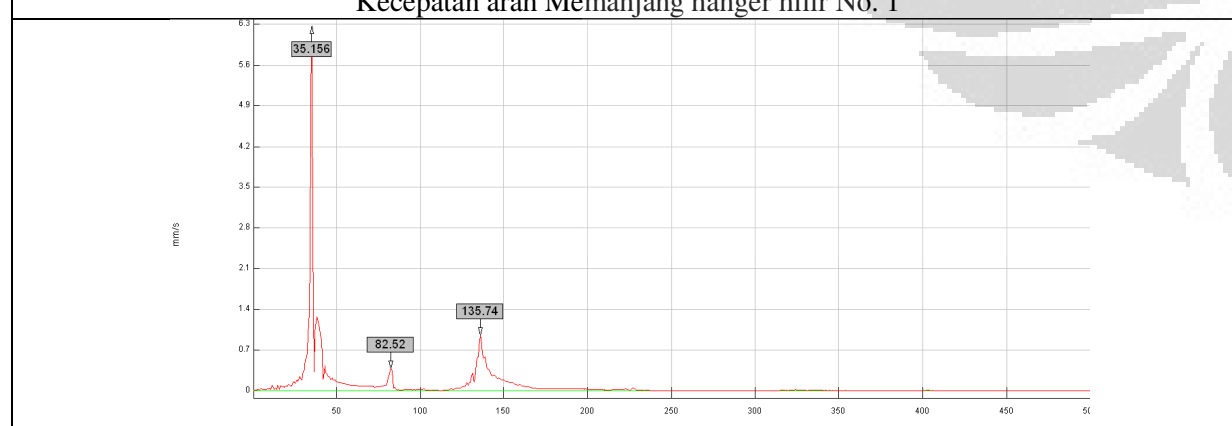
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 2



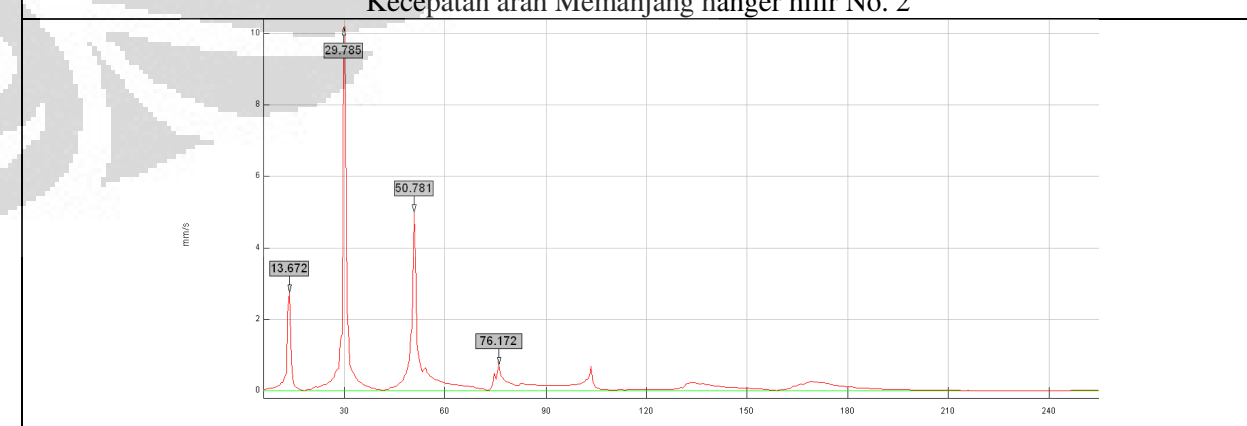
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 1



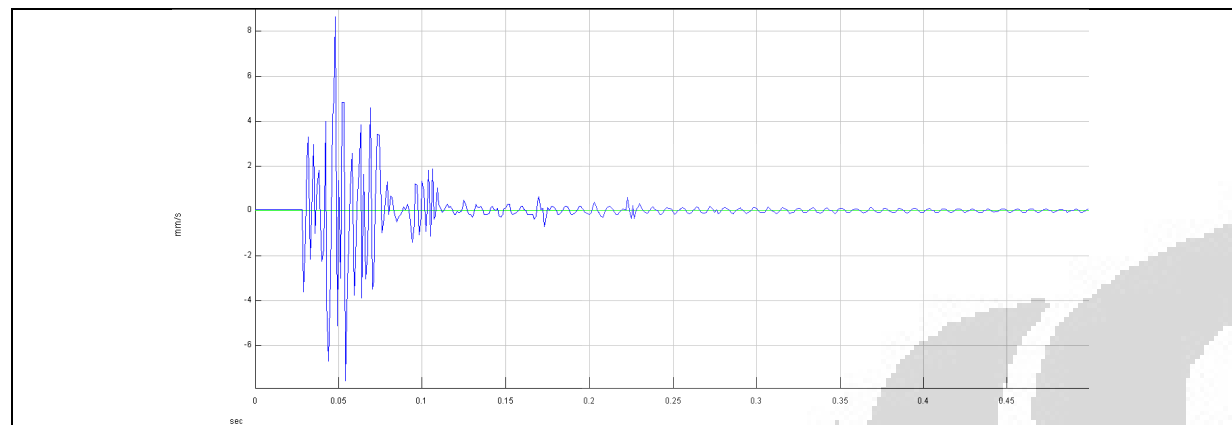
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 2



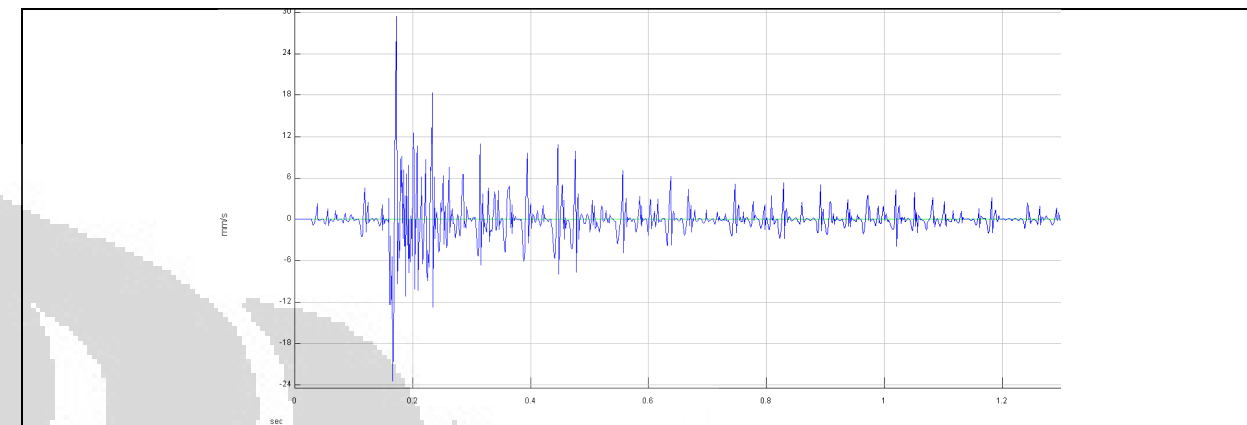
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 1



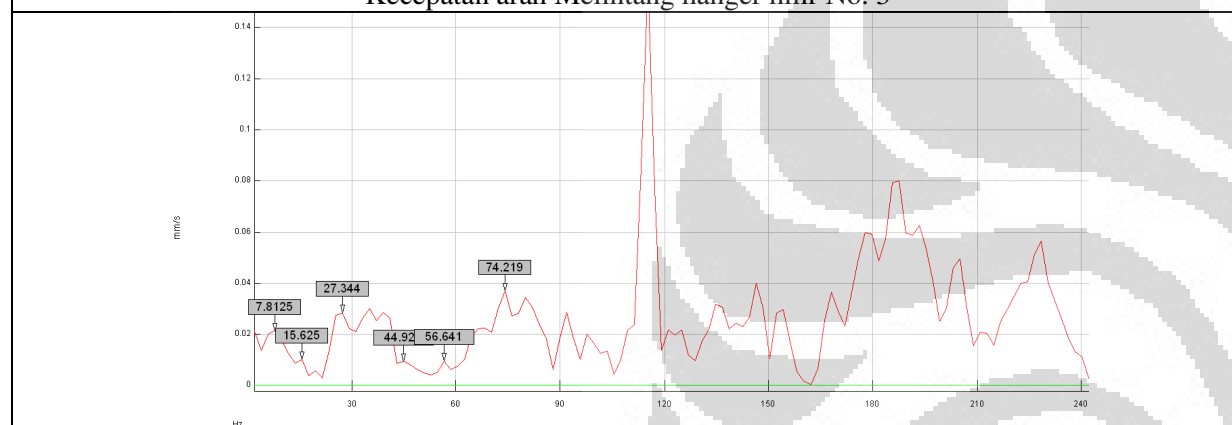
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 2



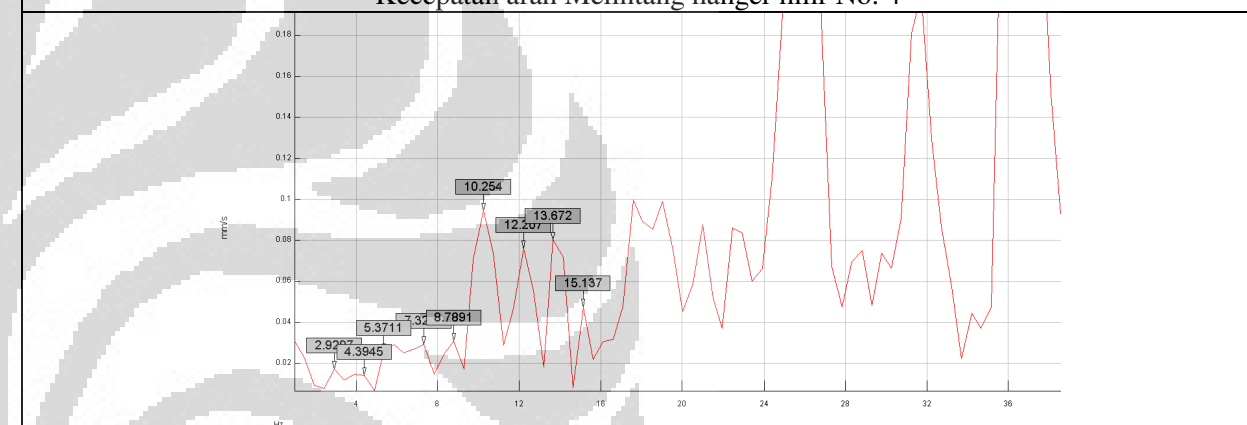
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 3



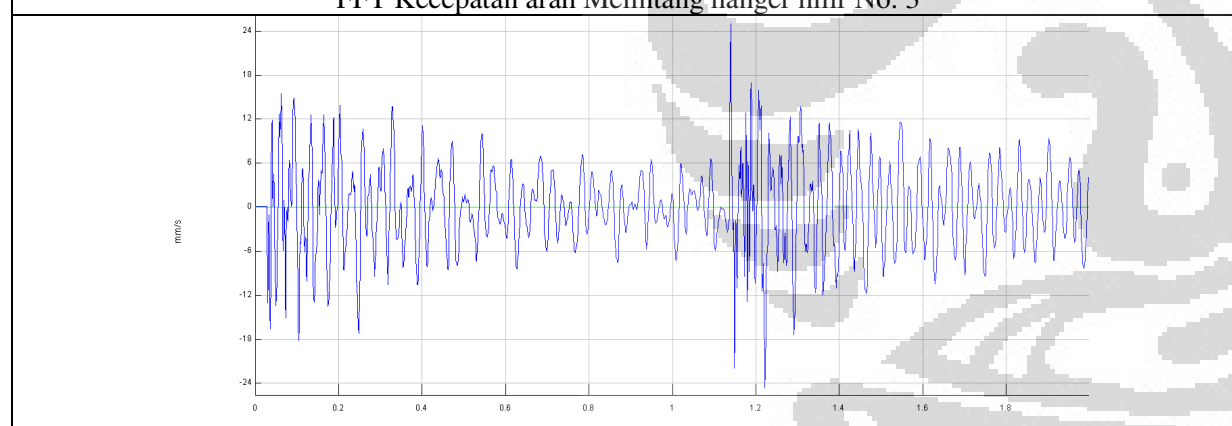
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 4



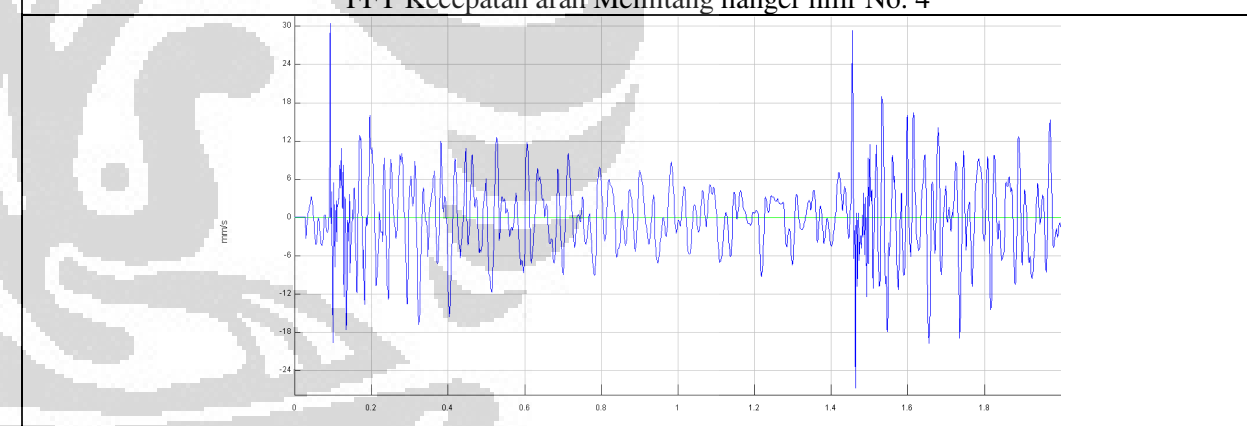
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 3



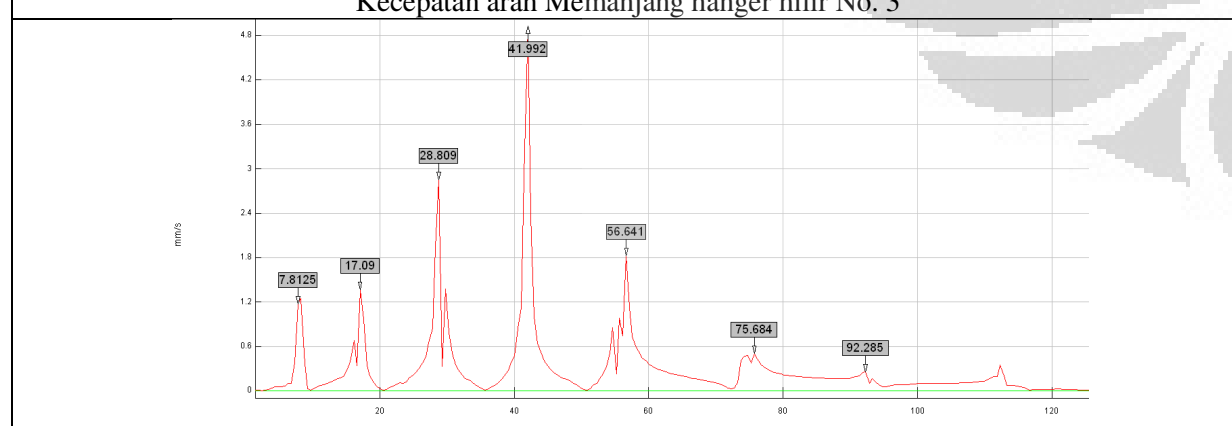
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 4



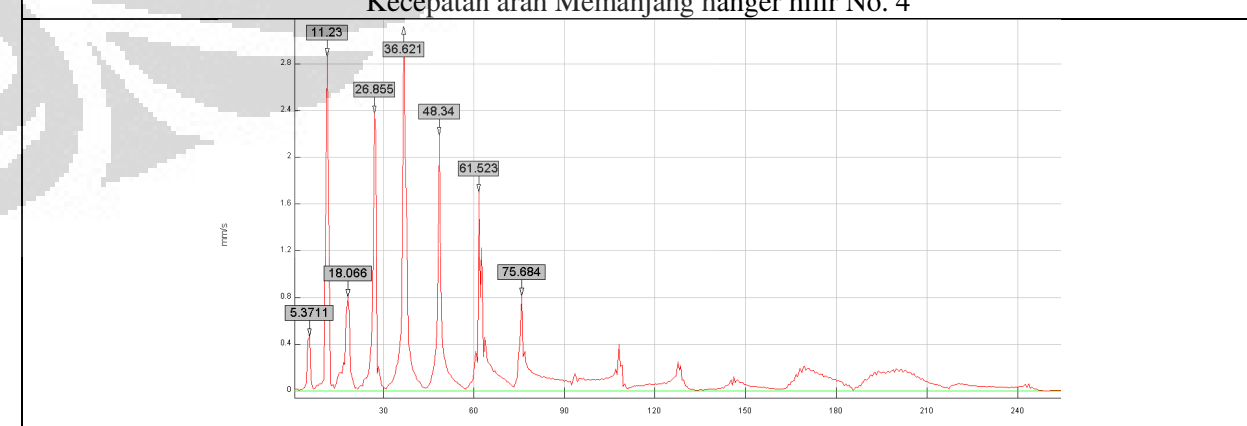
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 3



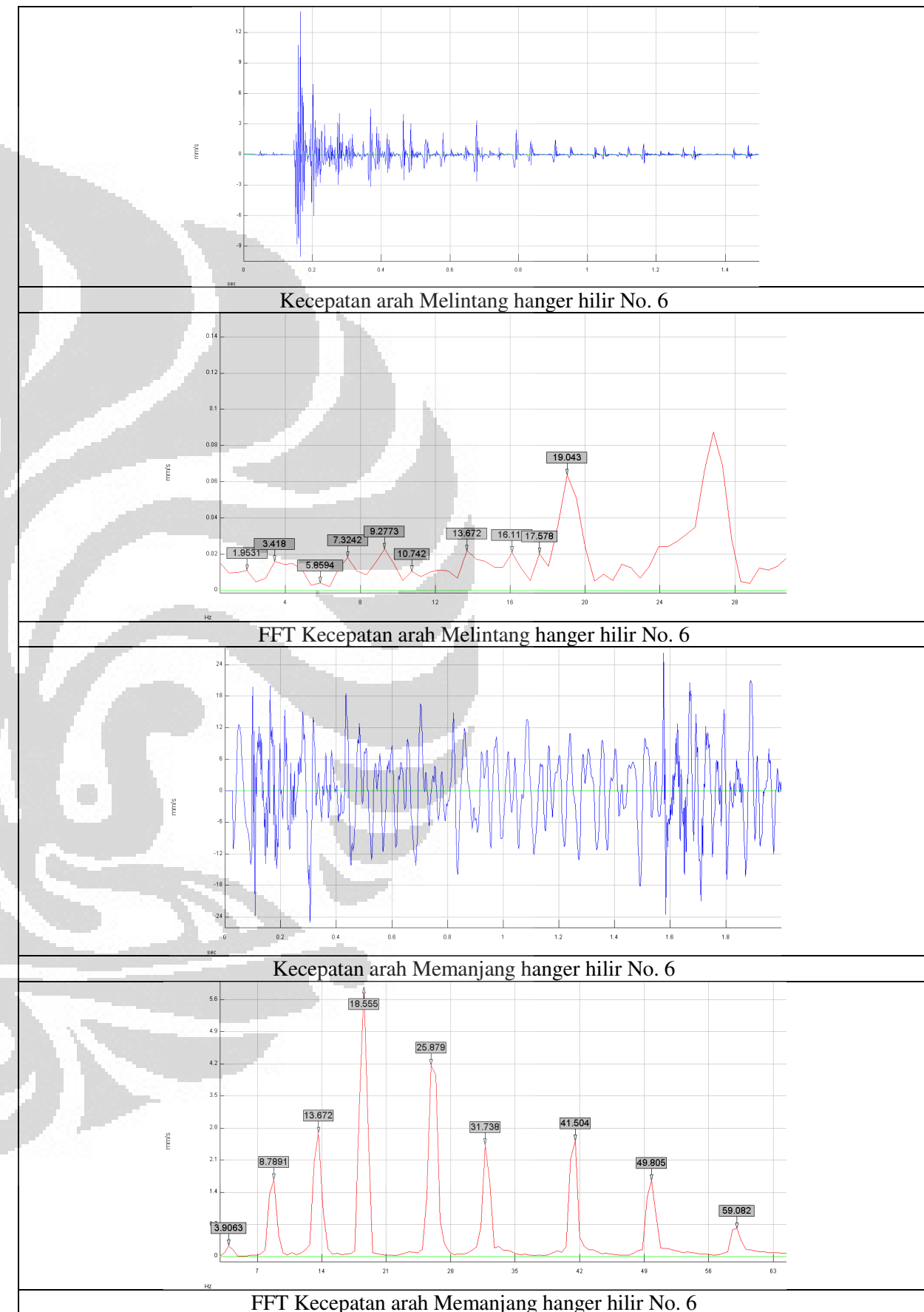
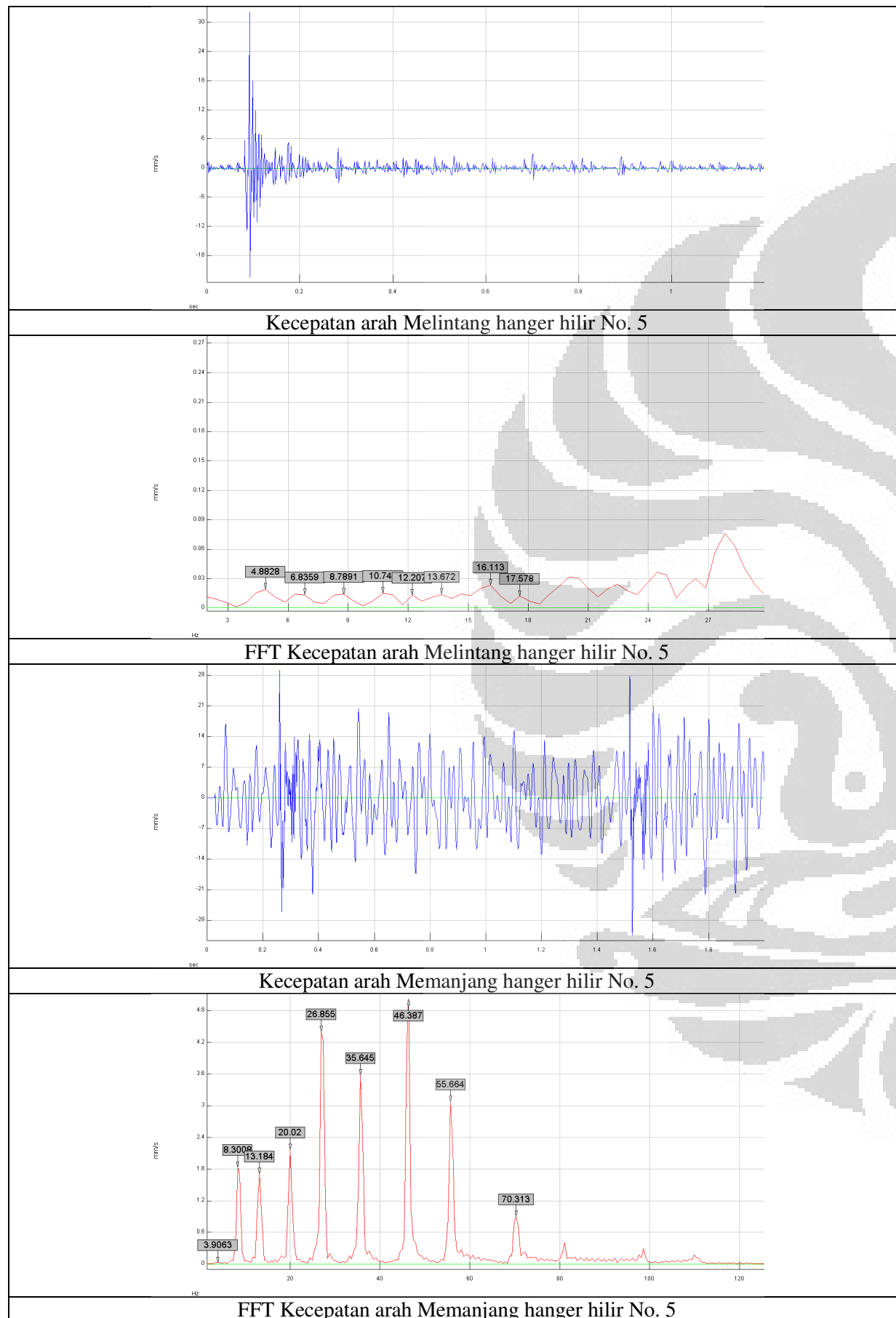
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 4

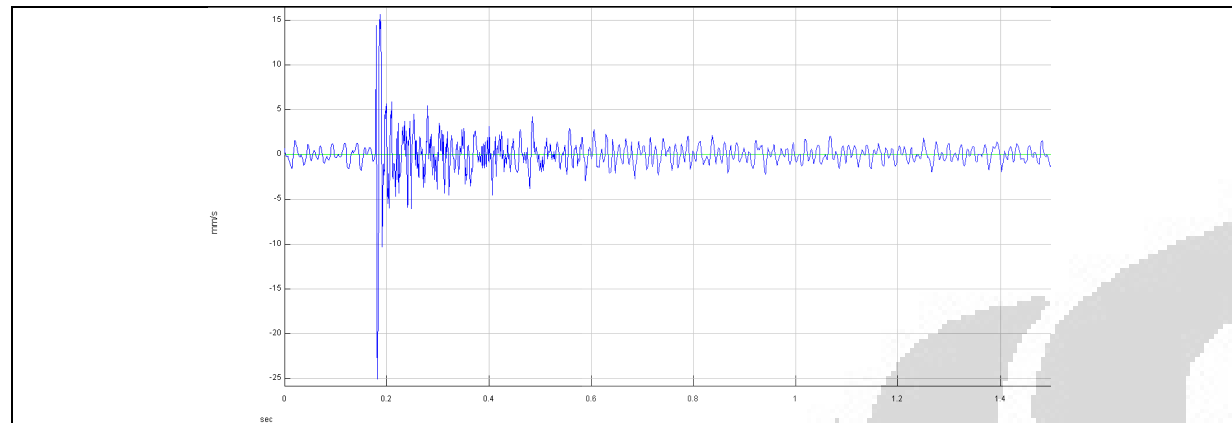


FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 3

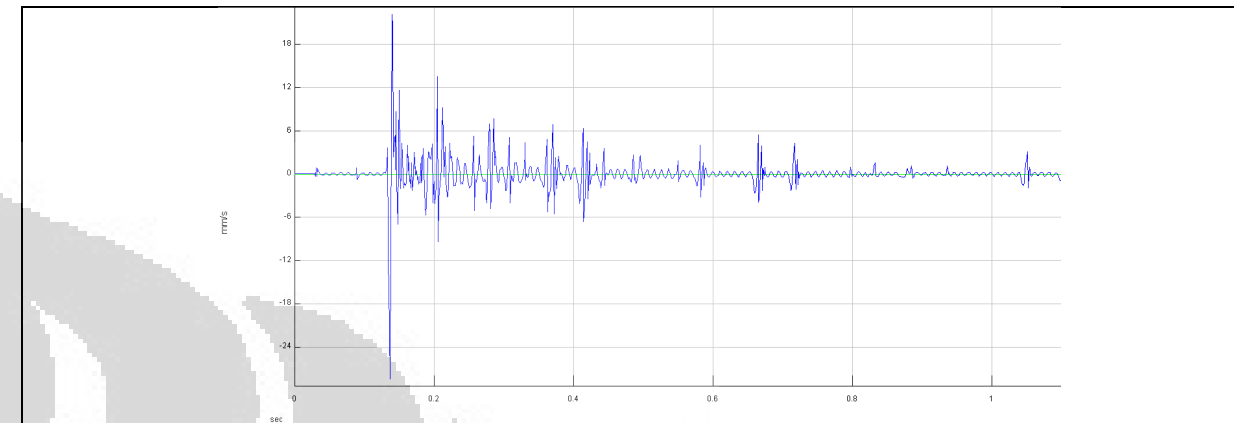


FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 4

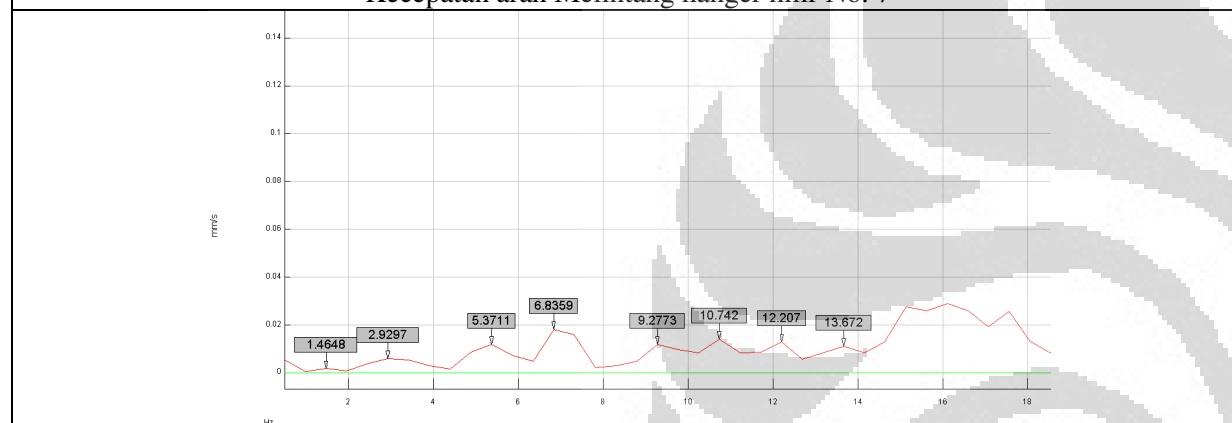




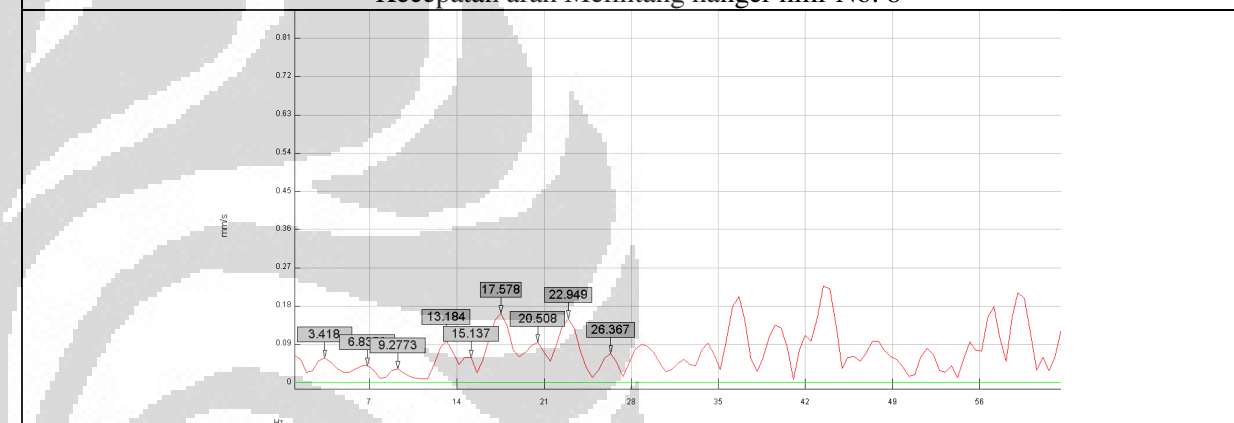
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 7



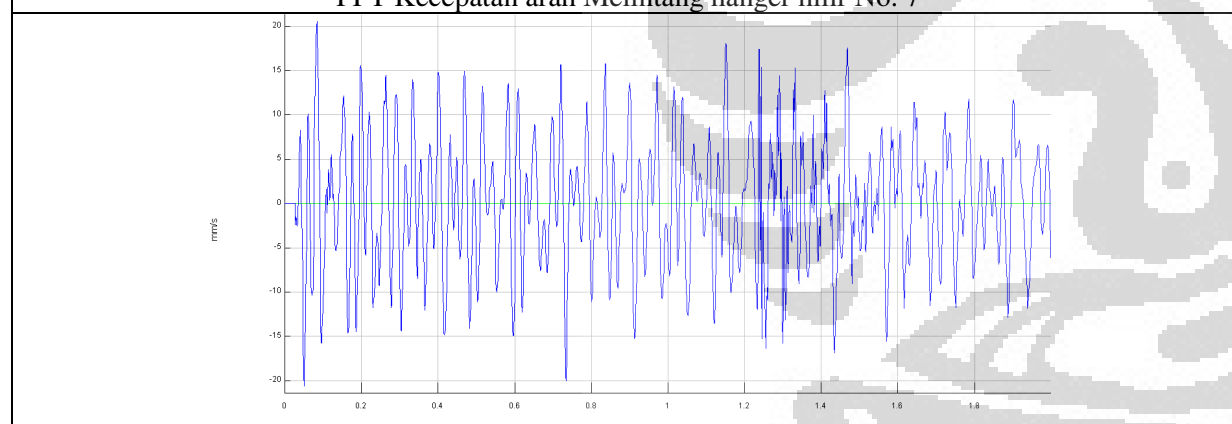
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 8



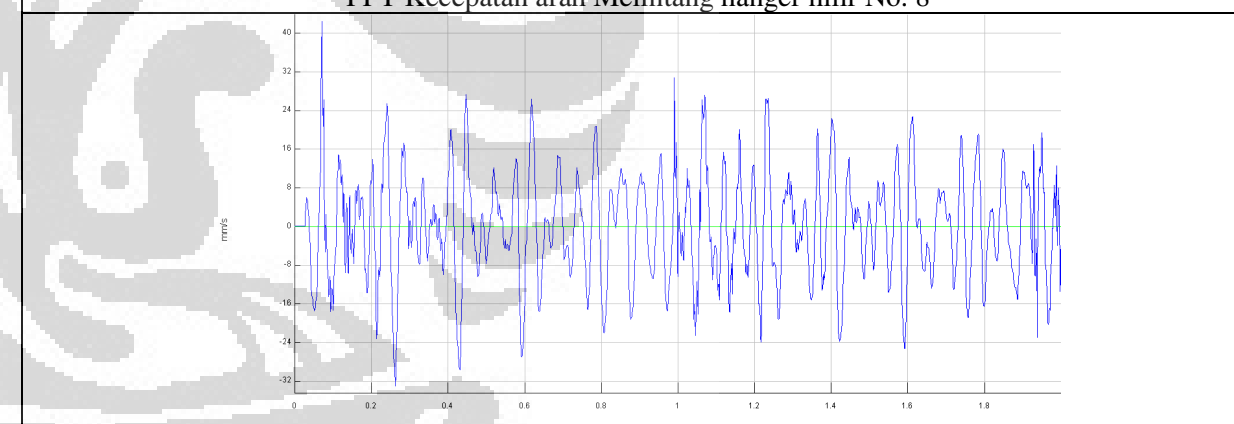
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 7



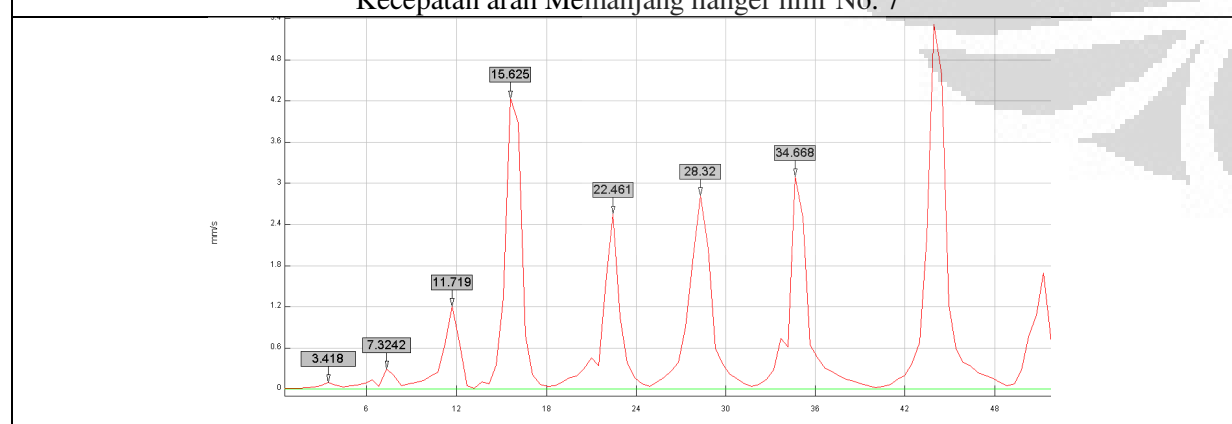
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 8



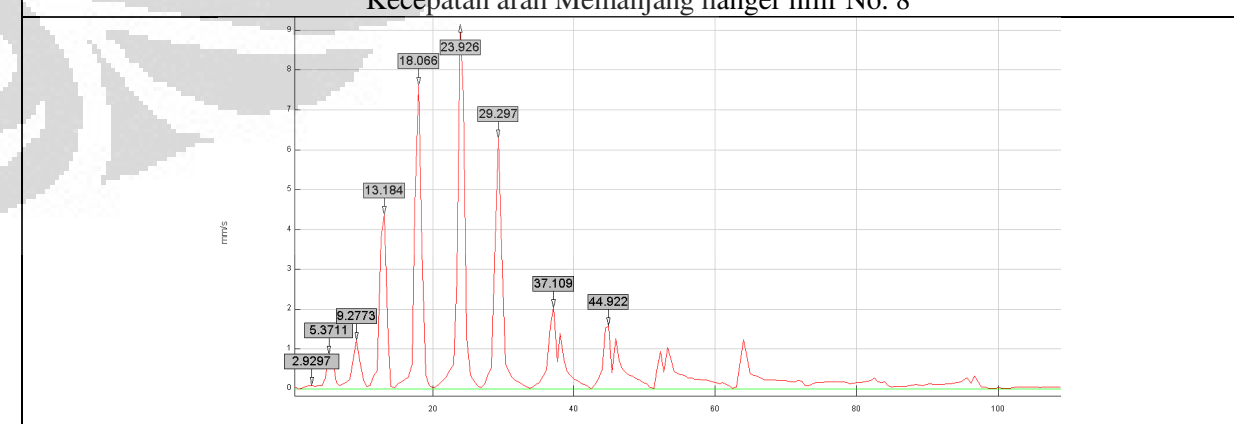
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 7



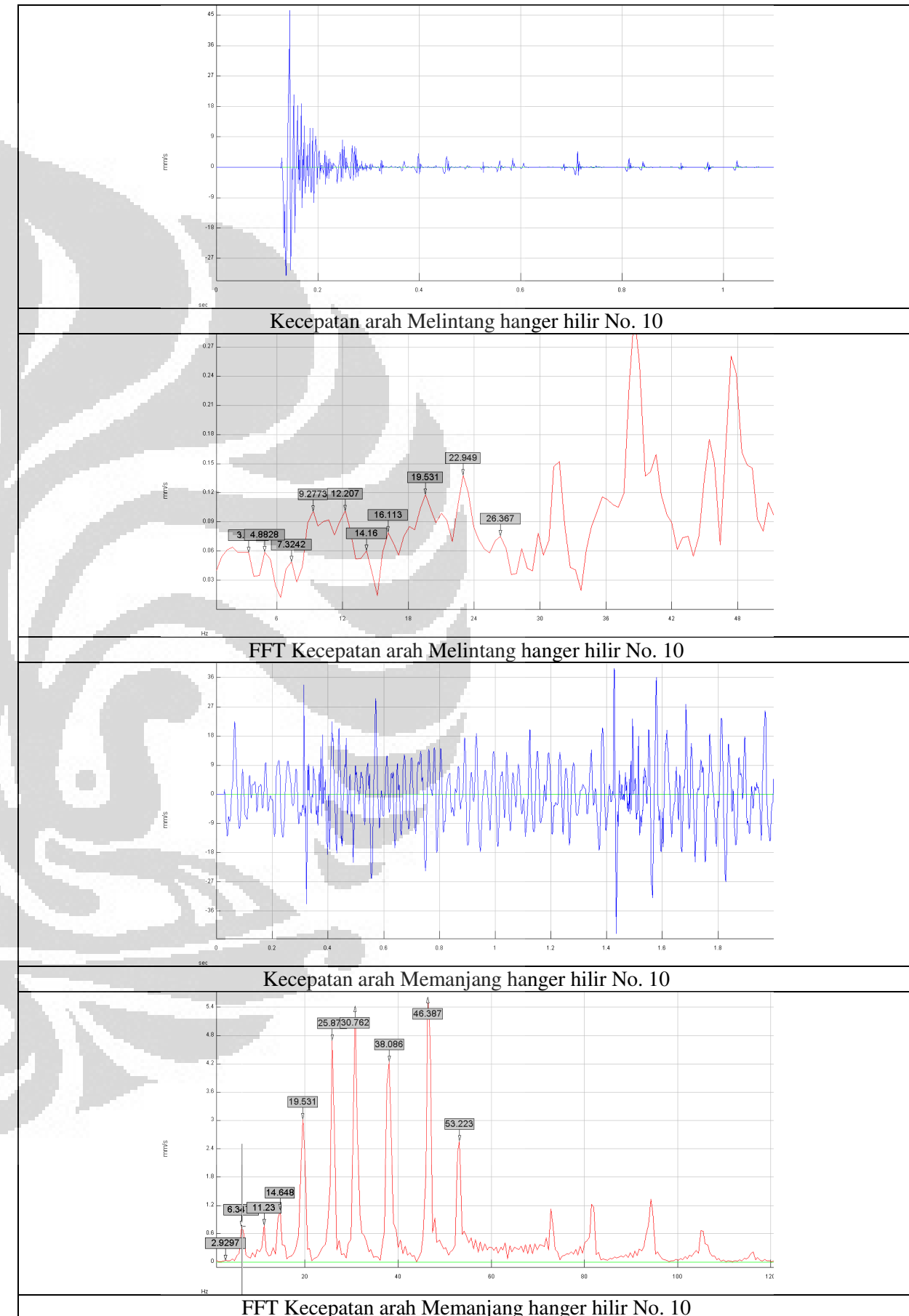
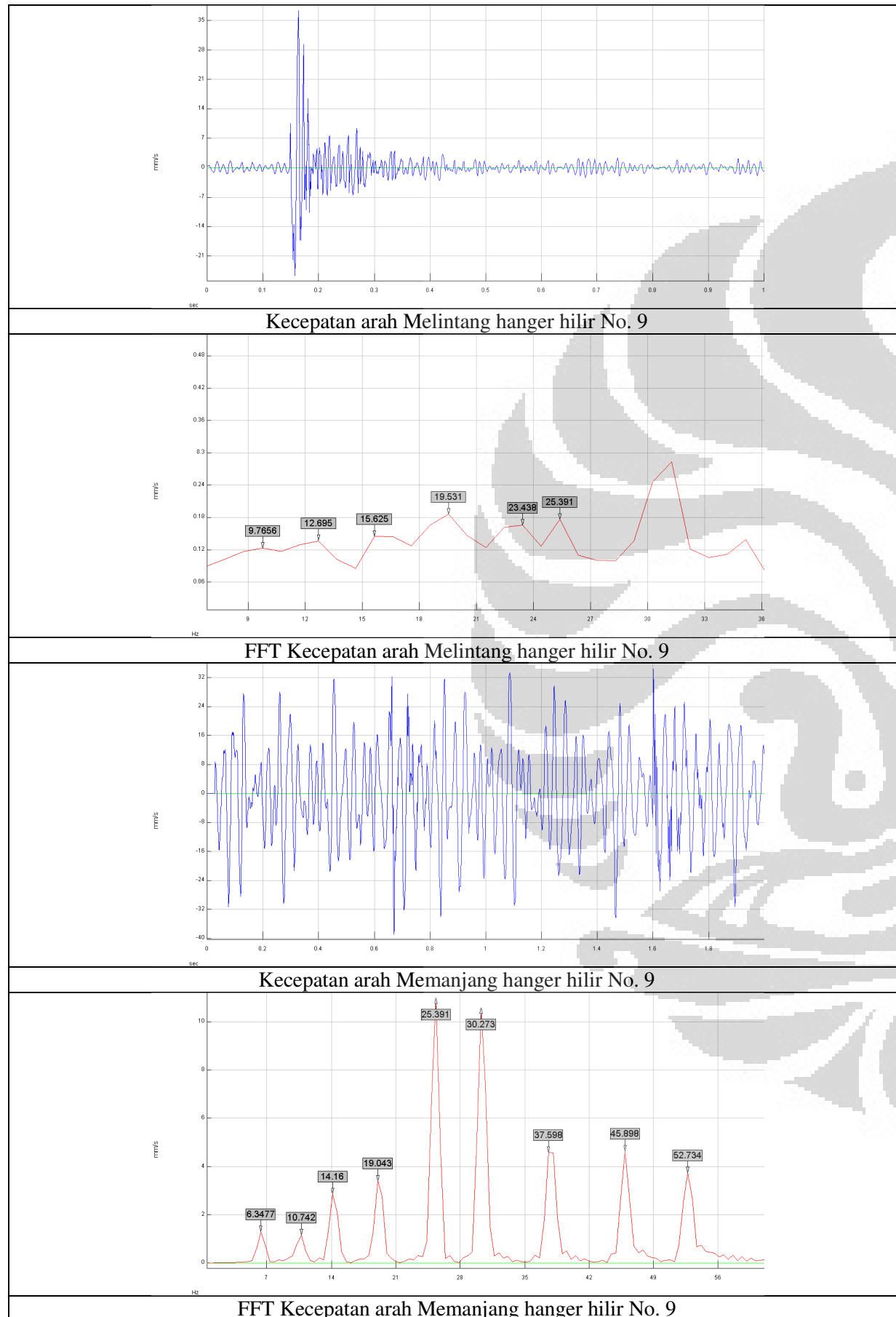
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 8

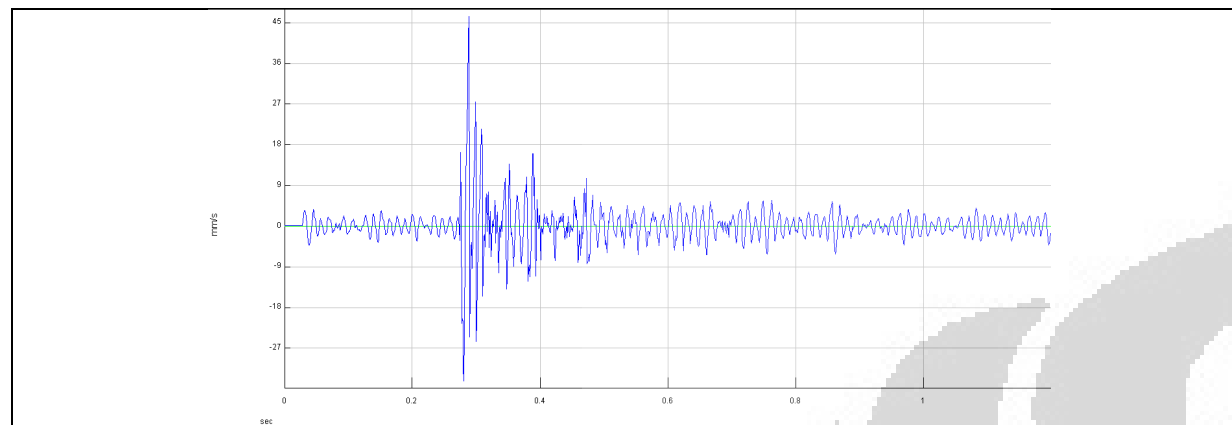


FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 7

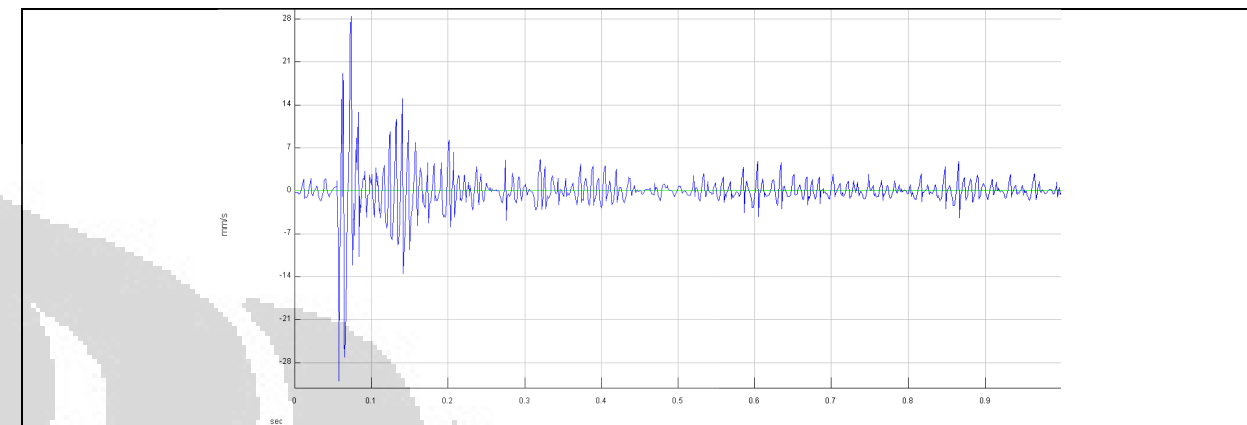


FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 8

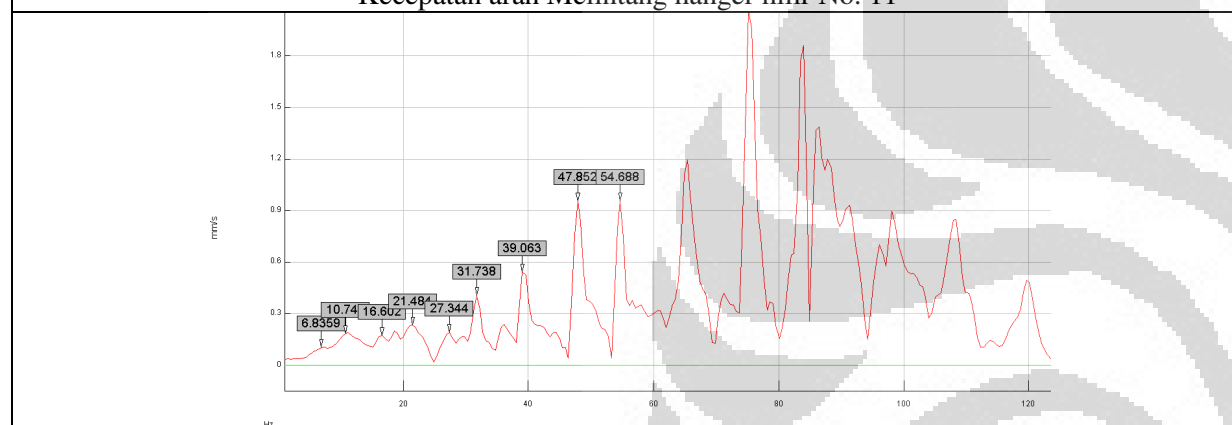




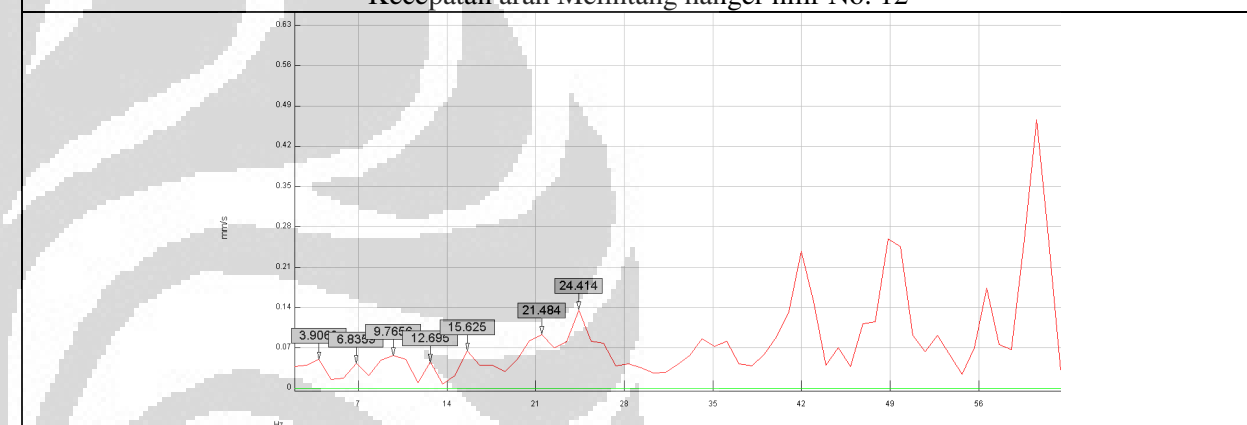
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 11



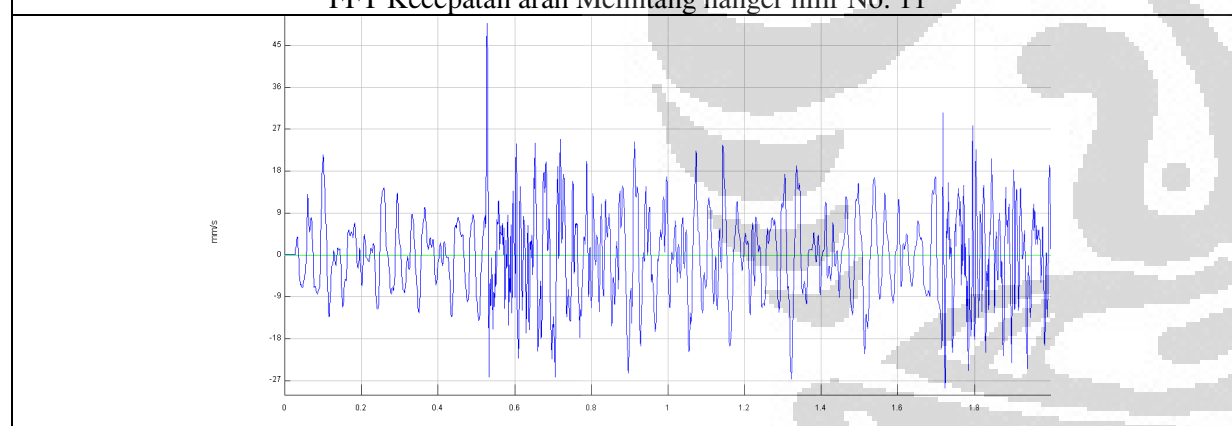
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 12



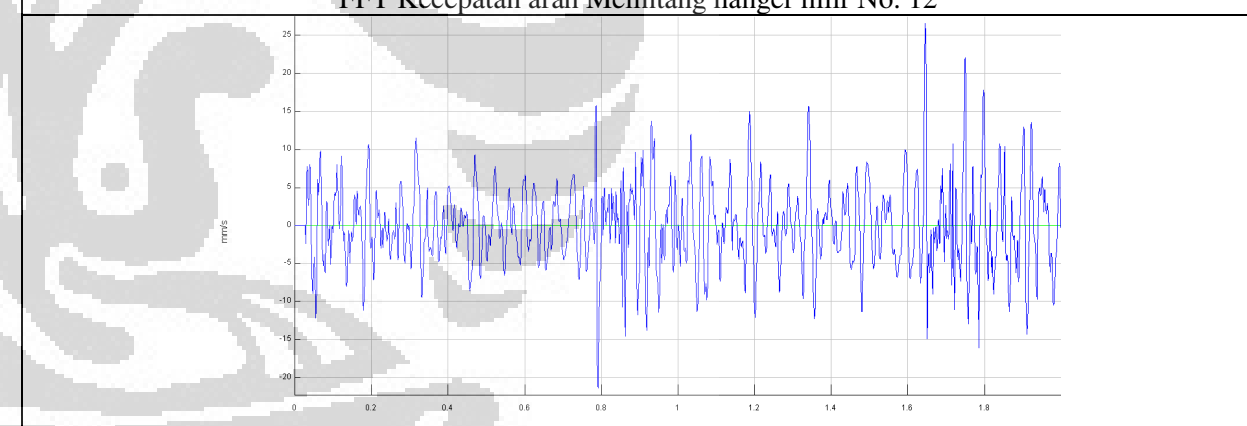
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 11



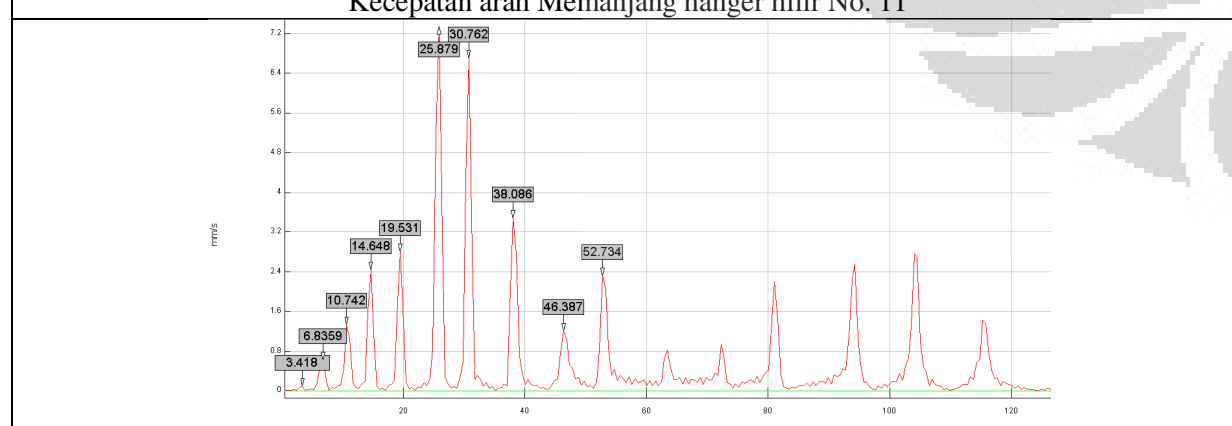
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 12



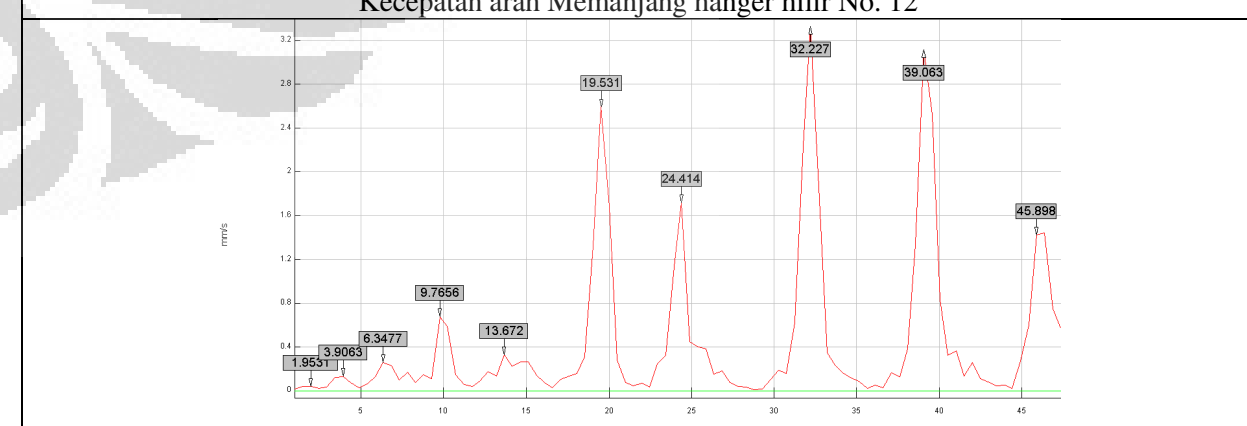
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 11



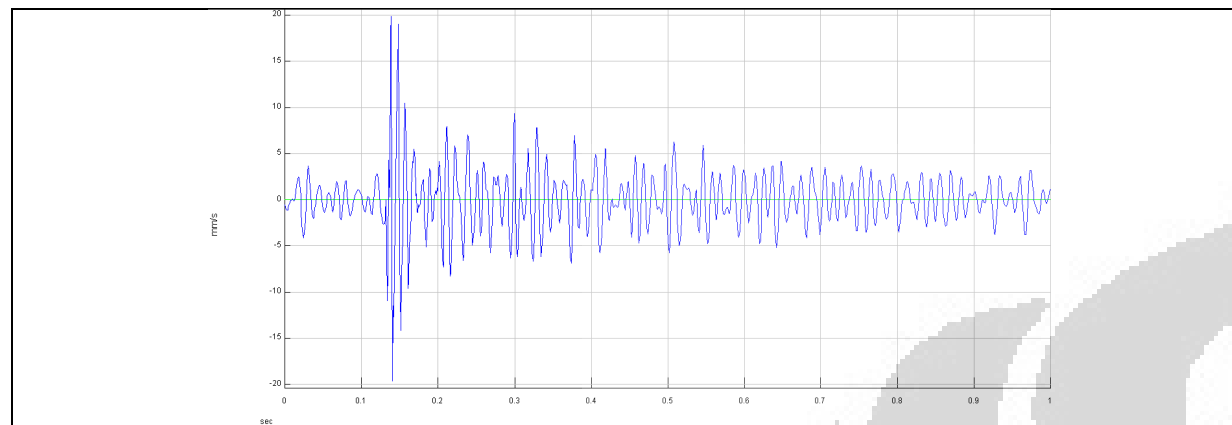
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 12



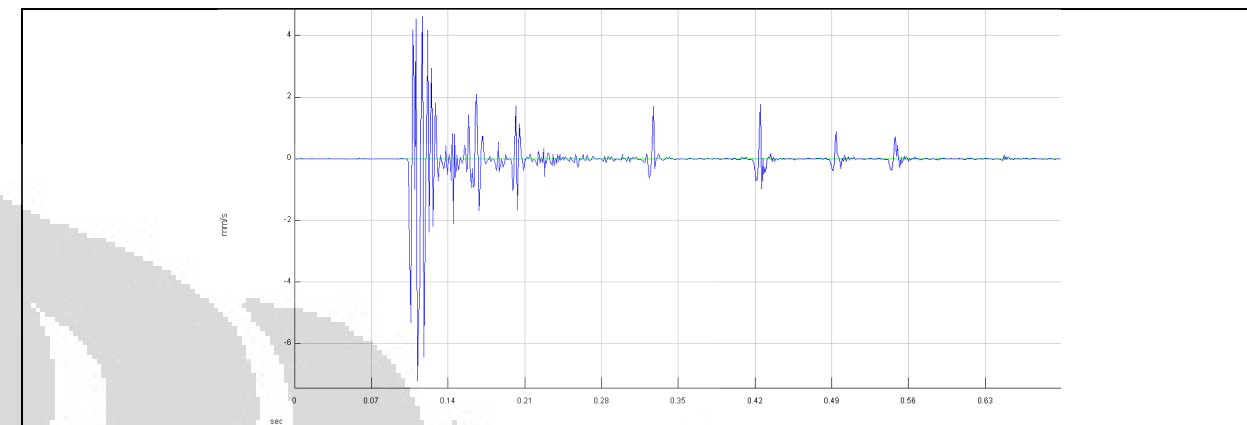
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 11



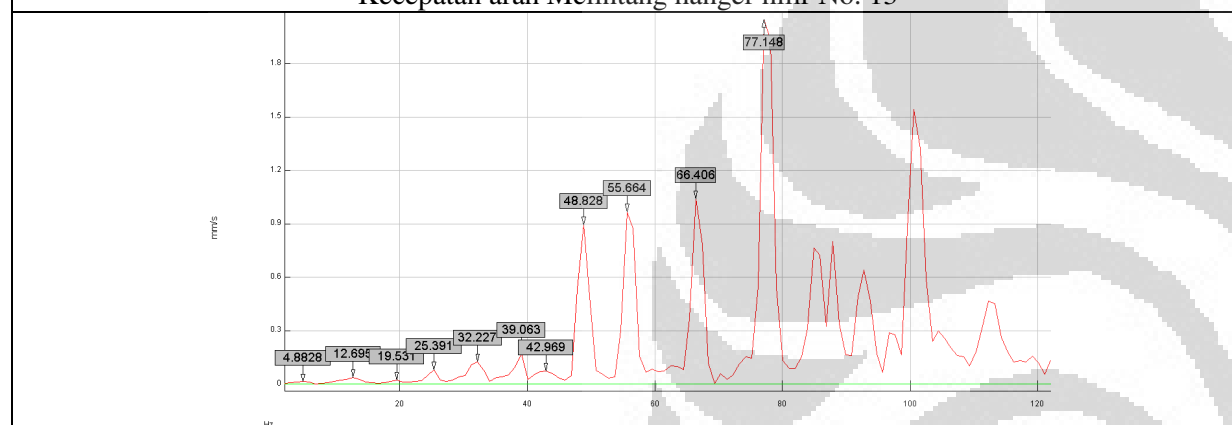
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 12



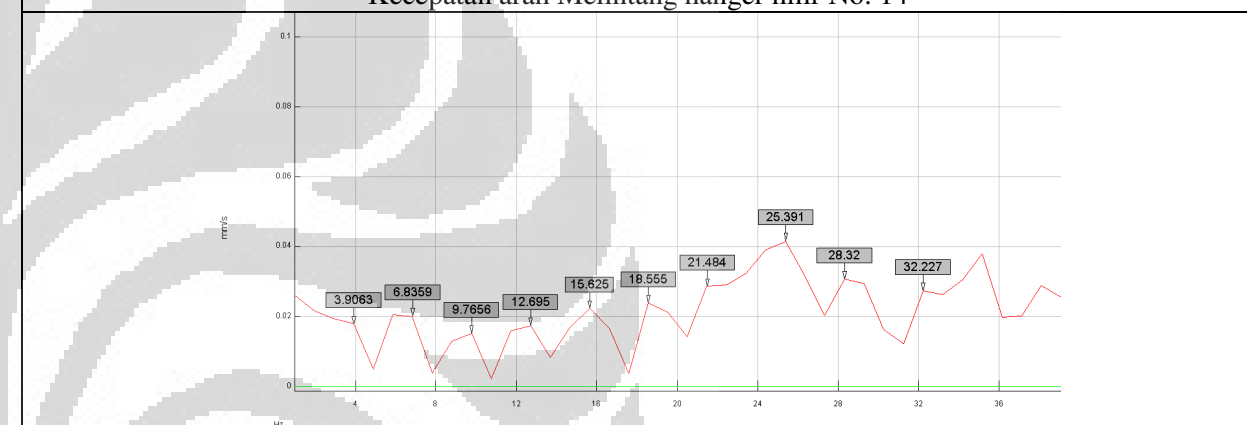
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 13



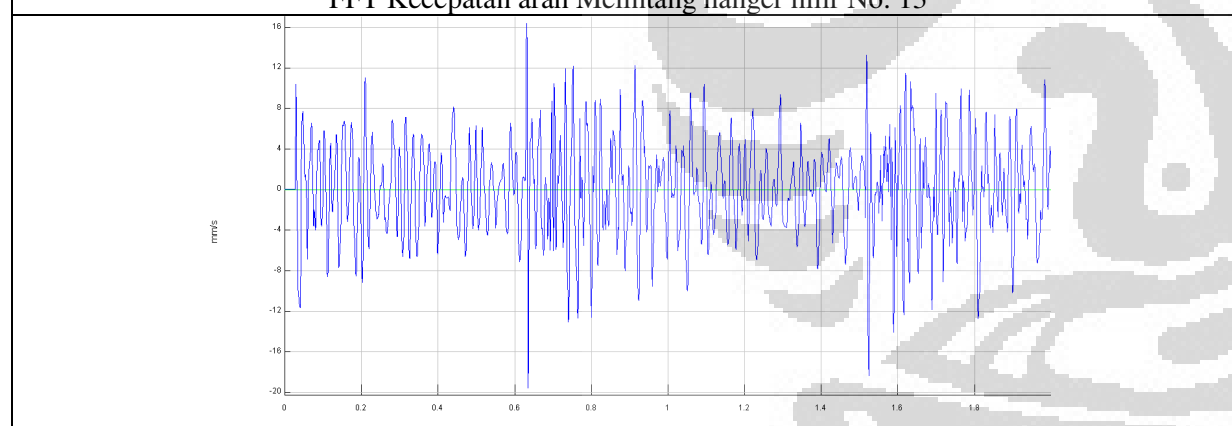
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 14



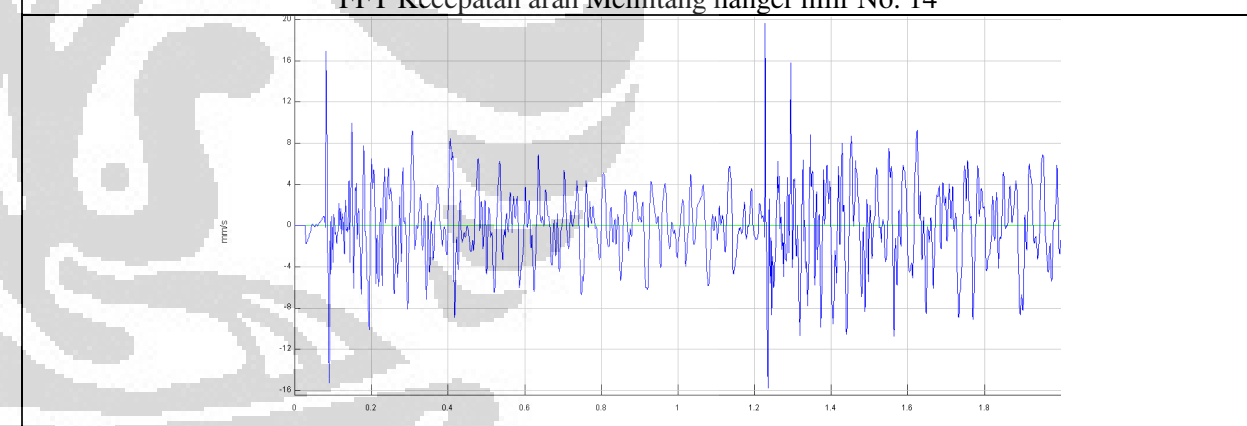
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 13



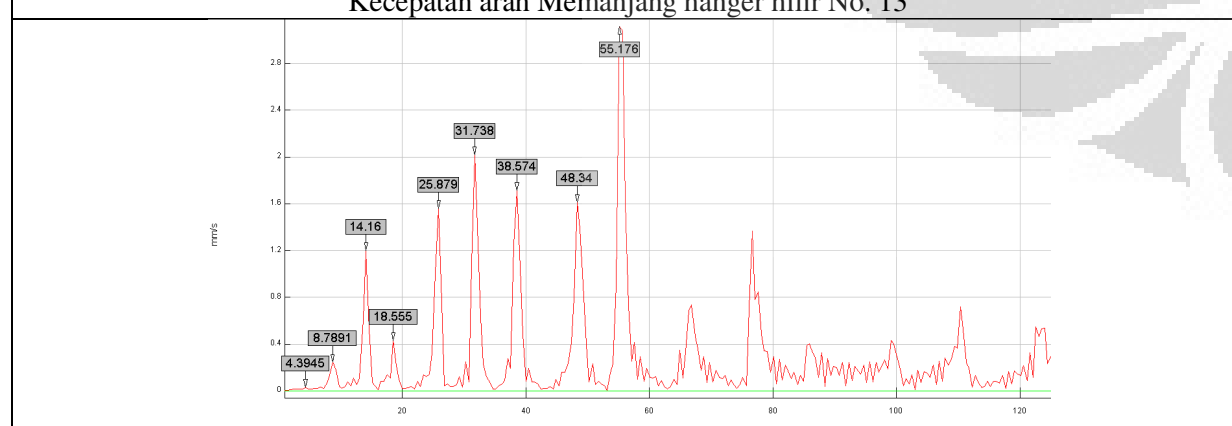
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 14



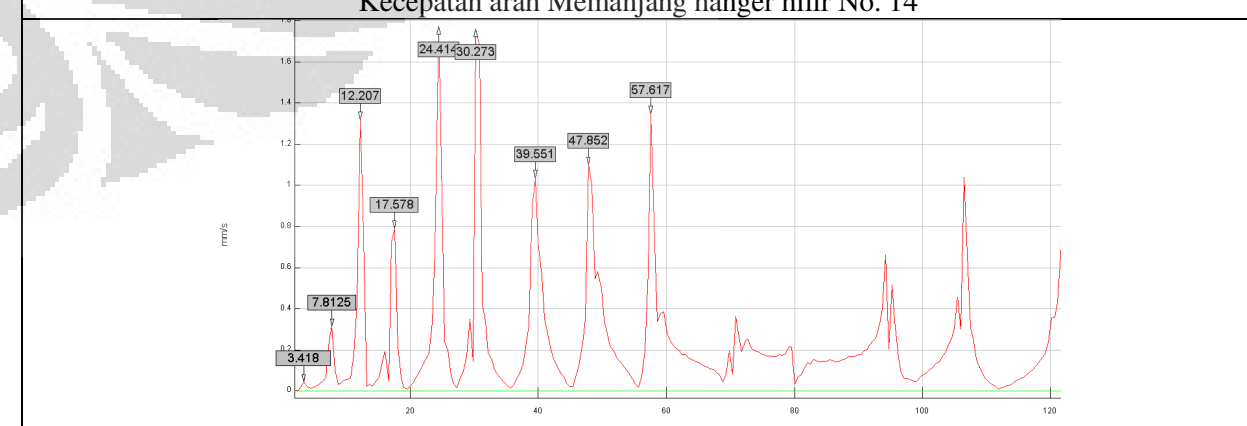
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 13



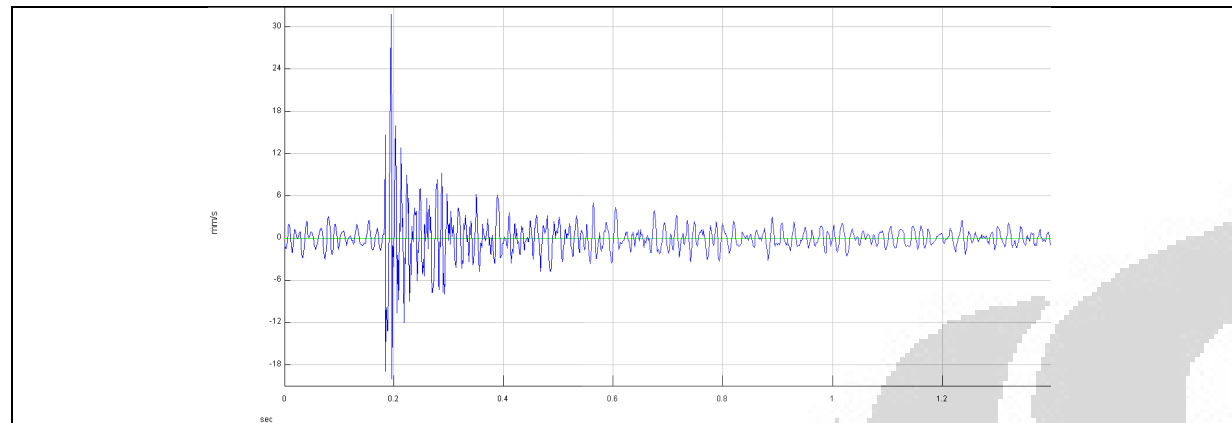
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 14



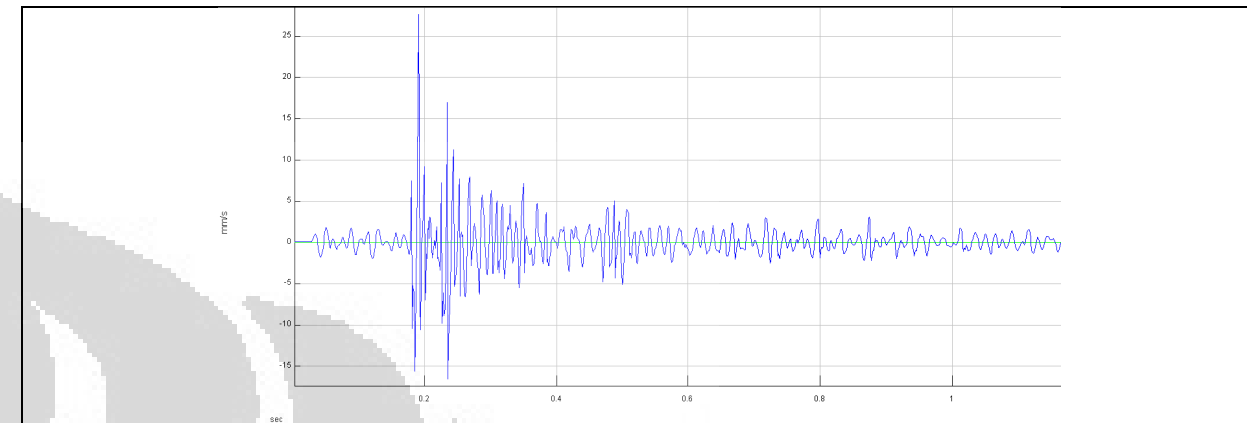
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 13



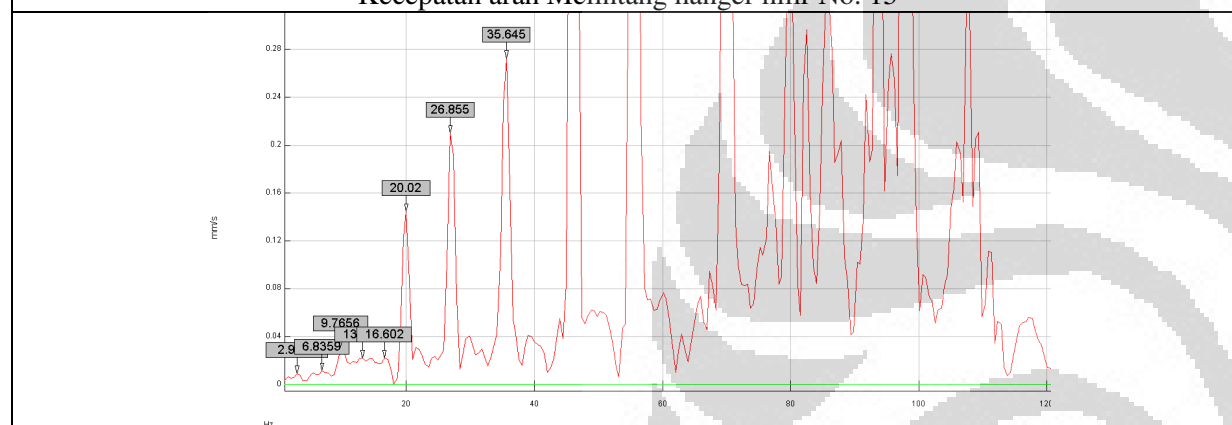
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 14



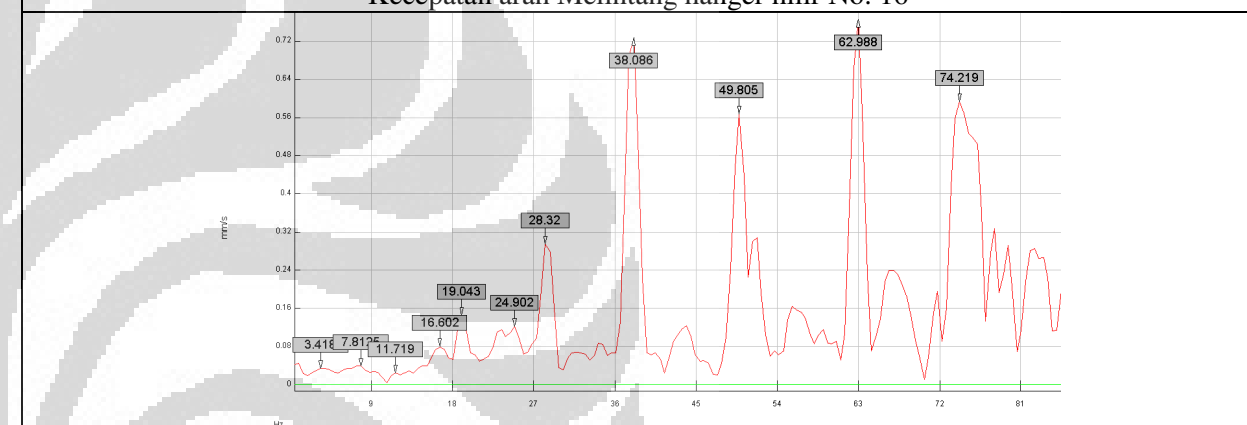
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 15



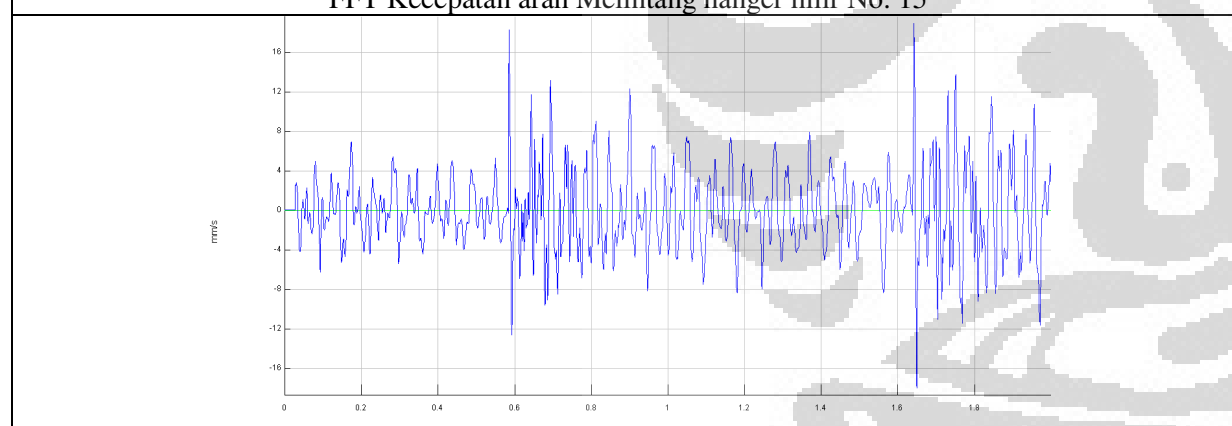
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 16



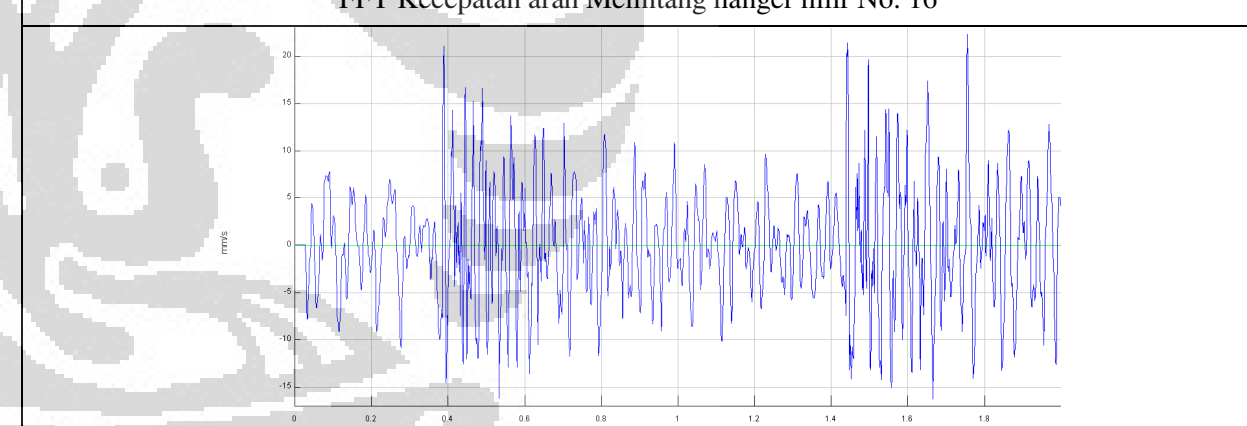
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 15



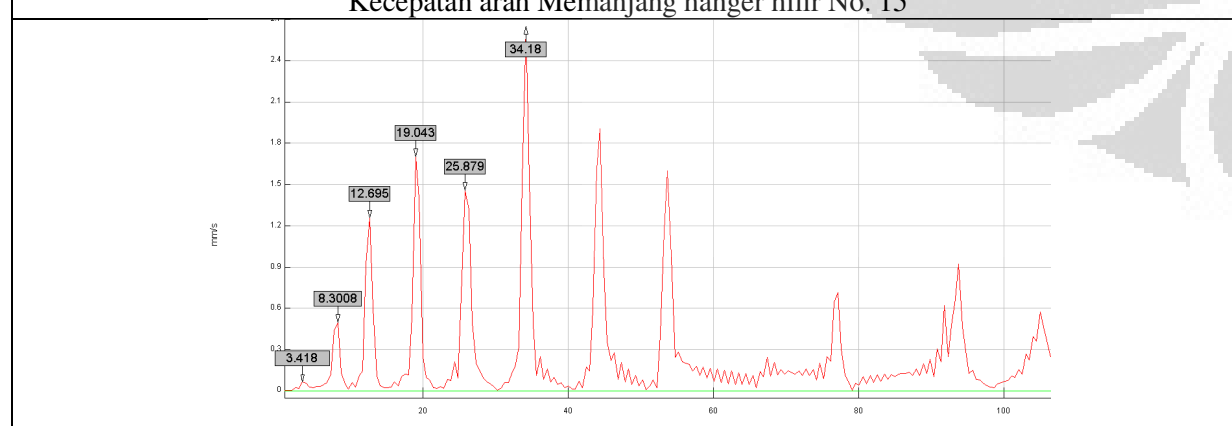
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 16



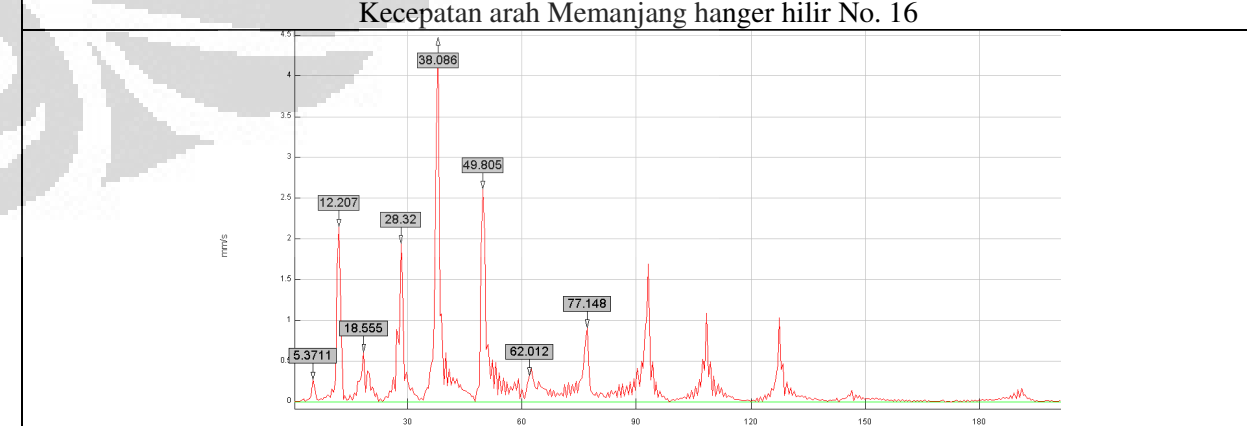
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 15



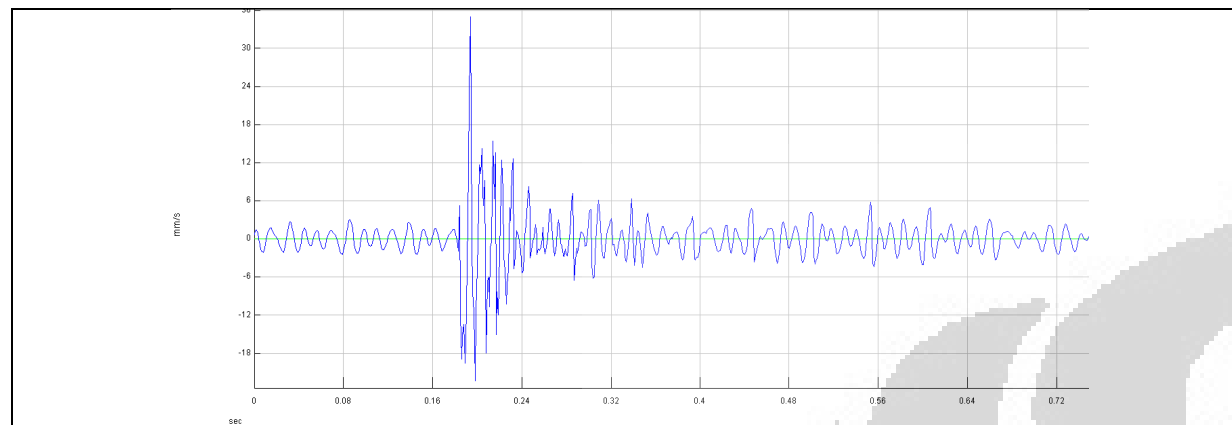
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 16



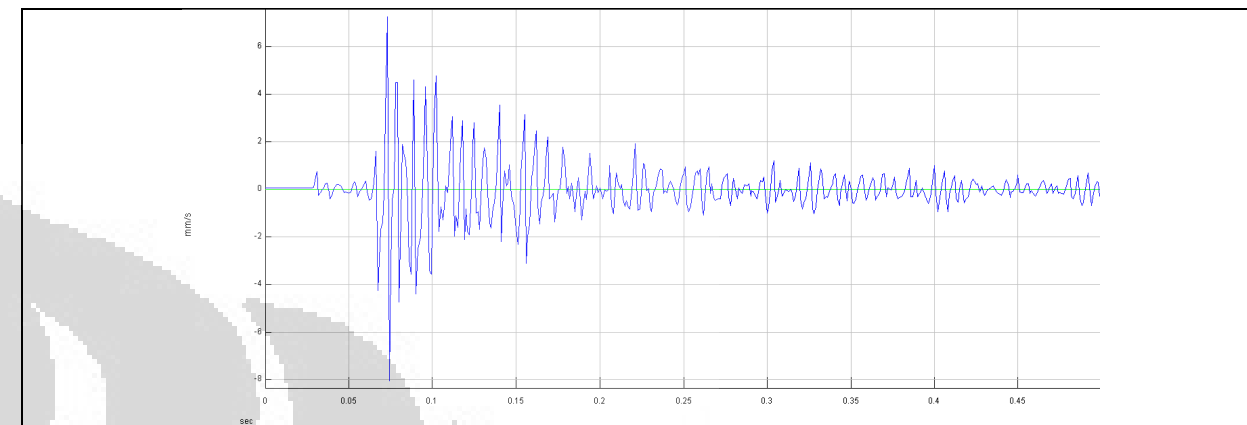
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 15



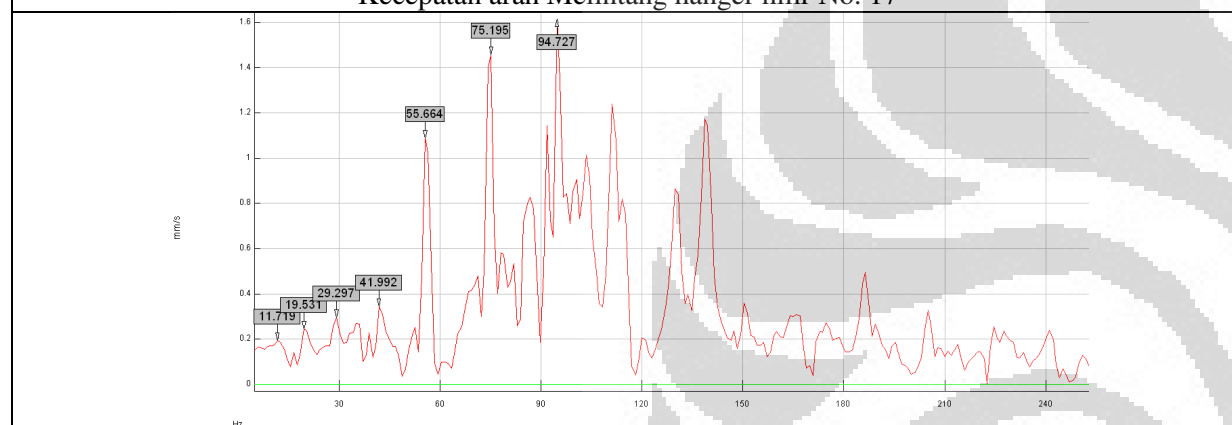
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 16



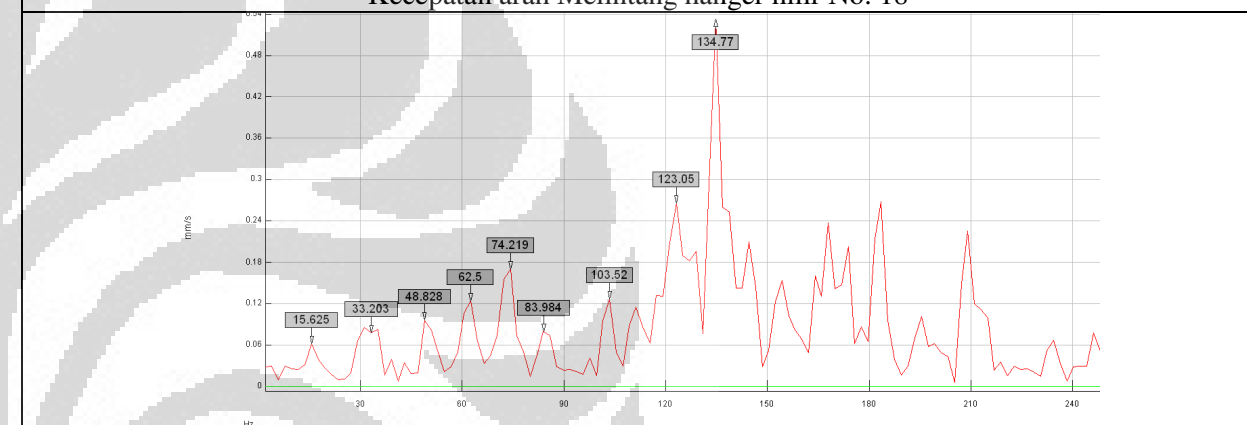
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 17



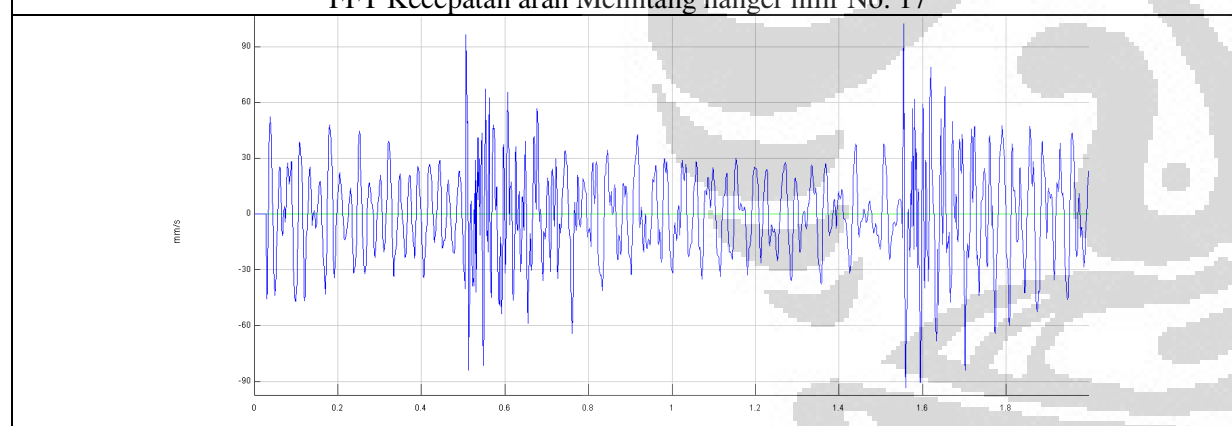
Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 18



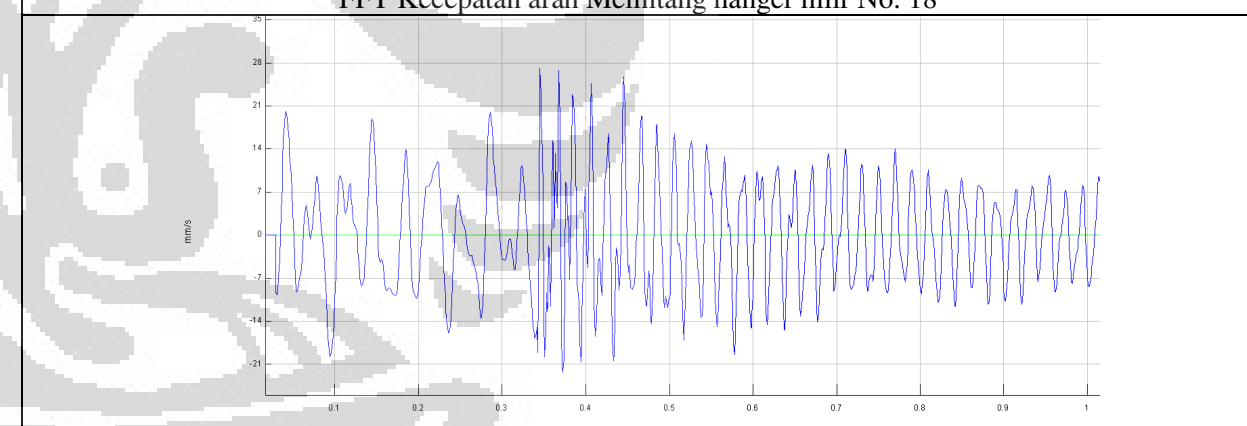
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 17



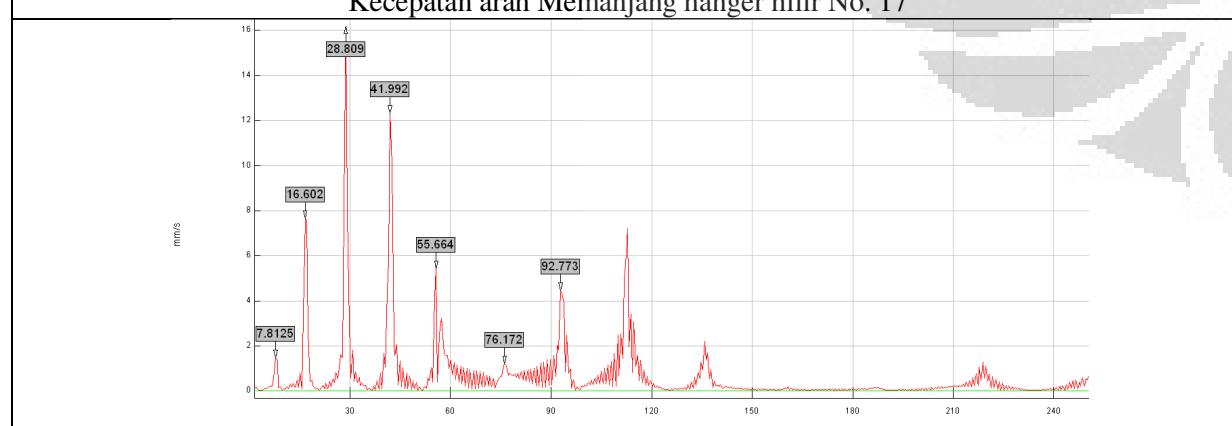
FFT Kecepatan arah Melintang hanger hilir No. 18



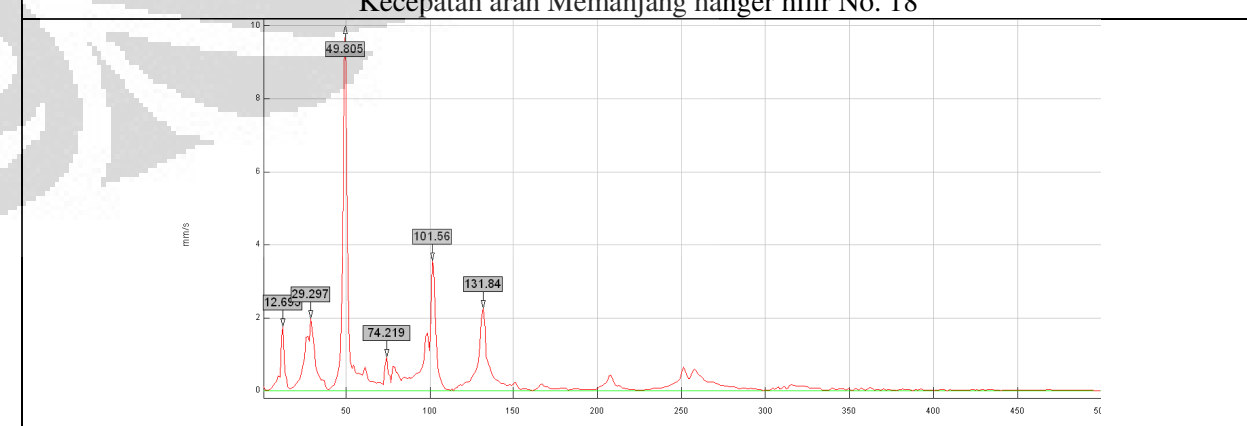
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 17



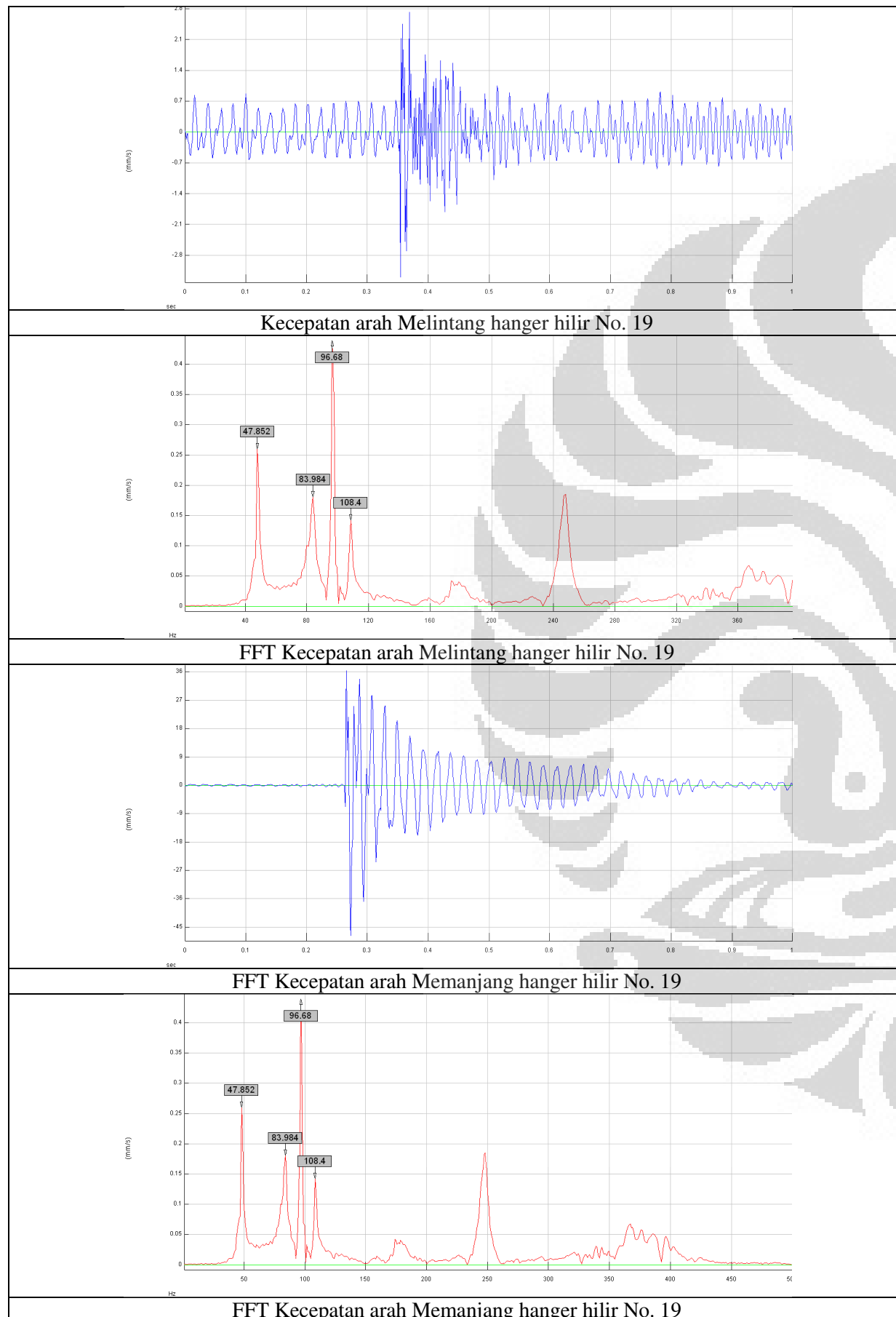
Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 18

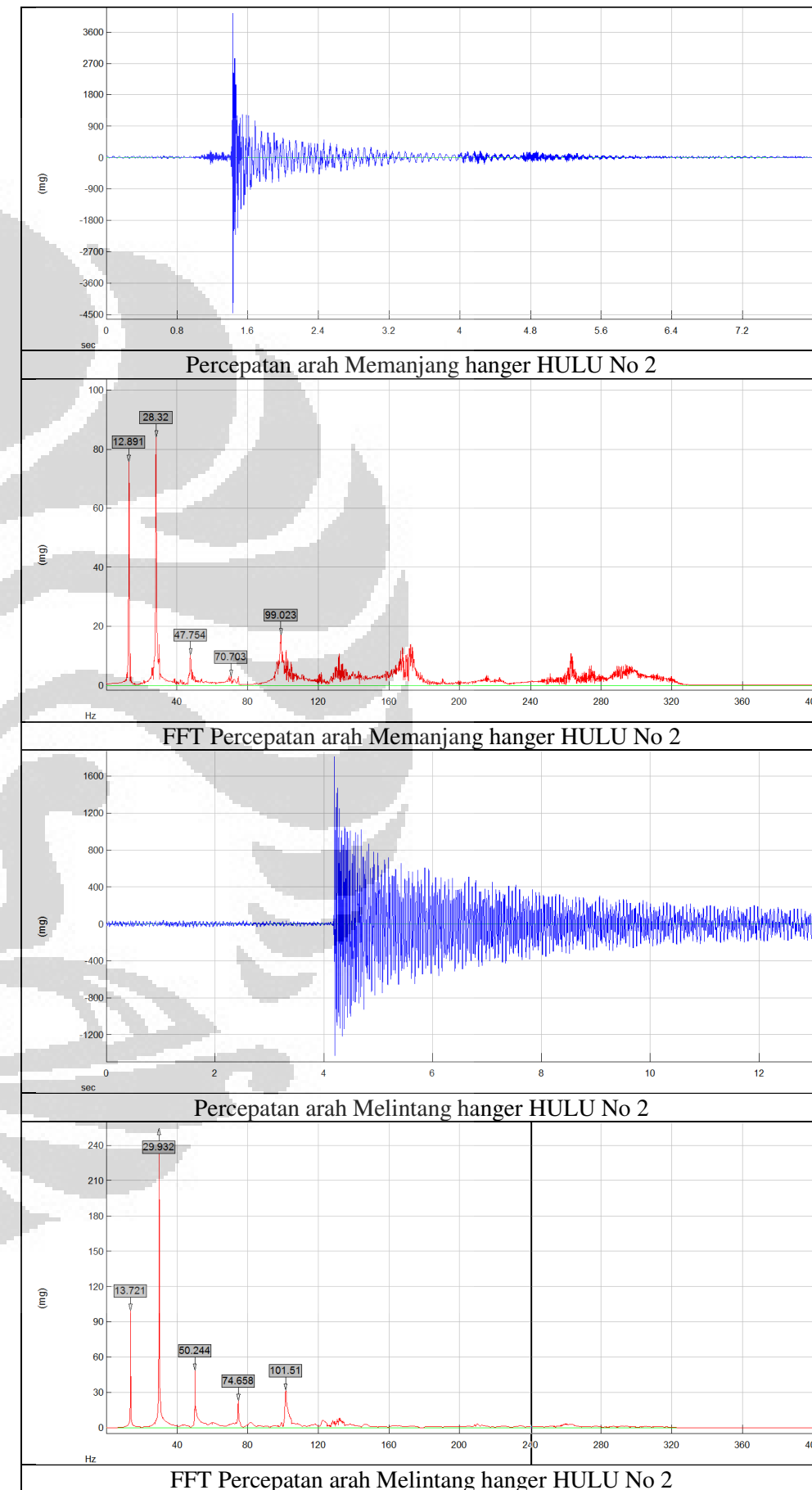
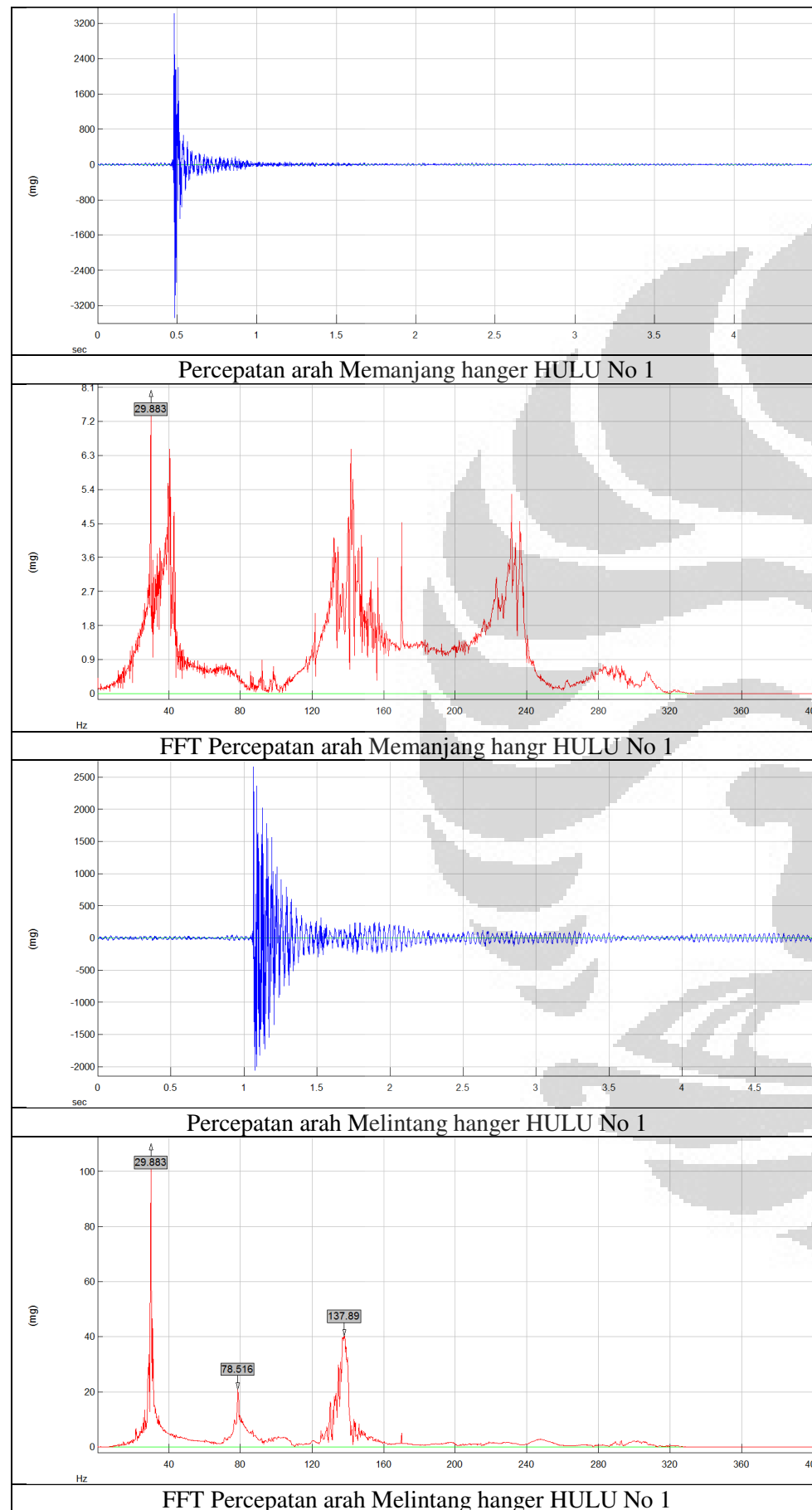


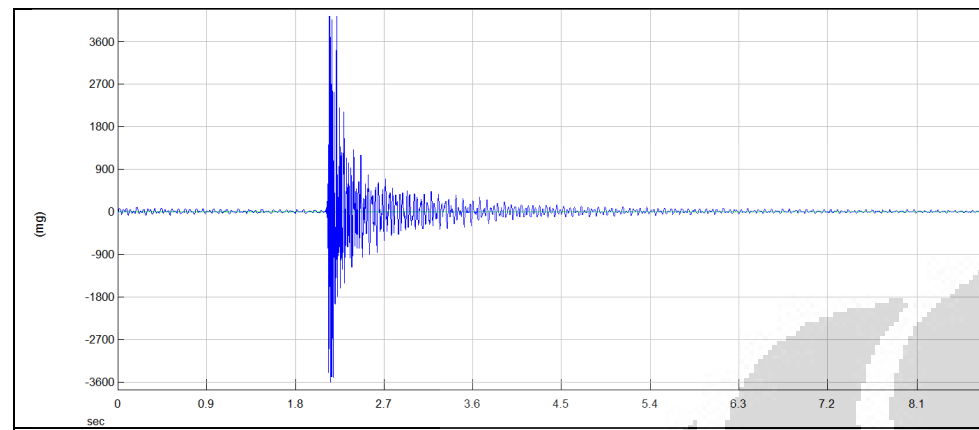
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 17



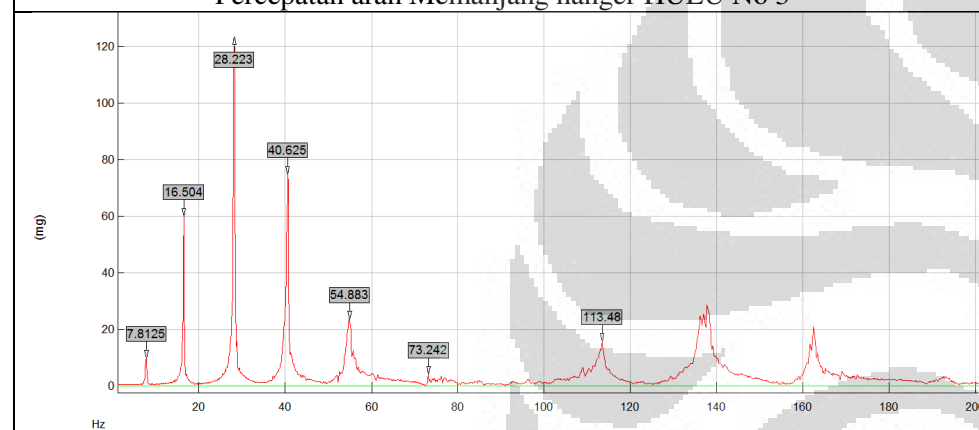
FFT Kecepatan arah Memanjang hanger hilir No. 18



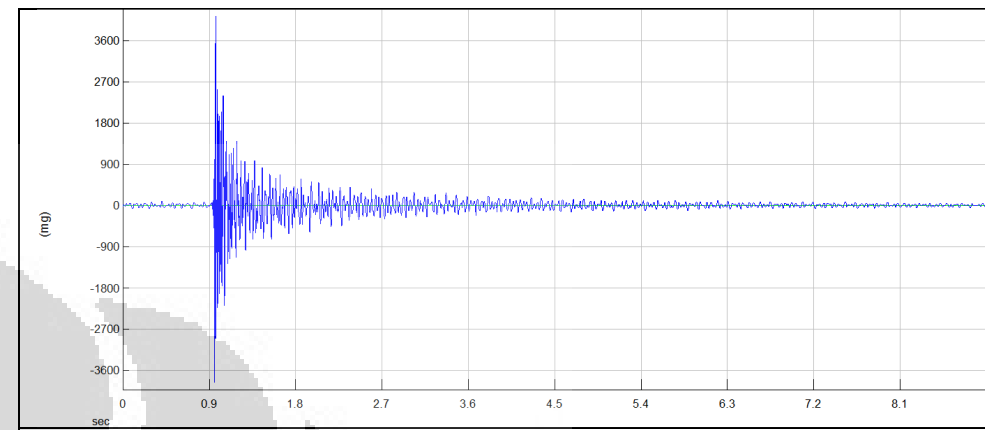




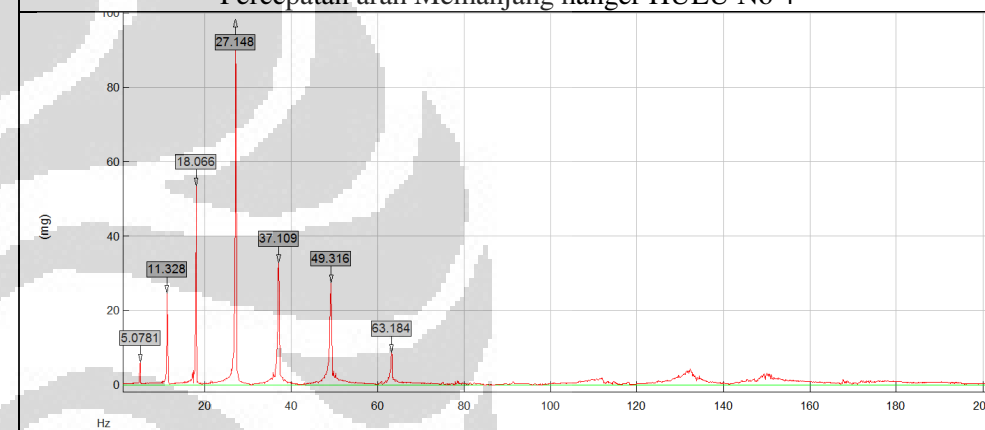
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 3



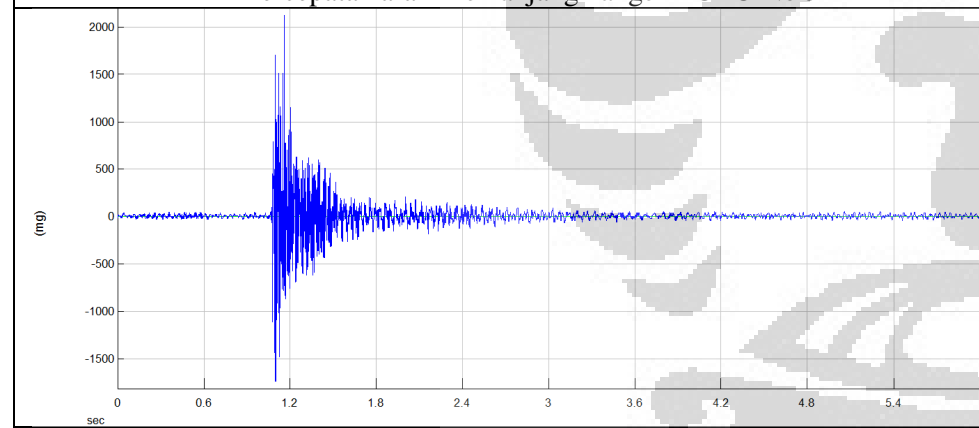
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 3



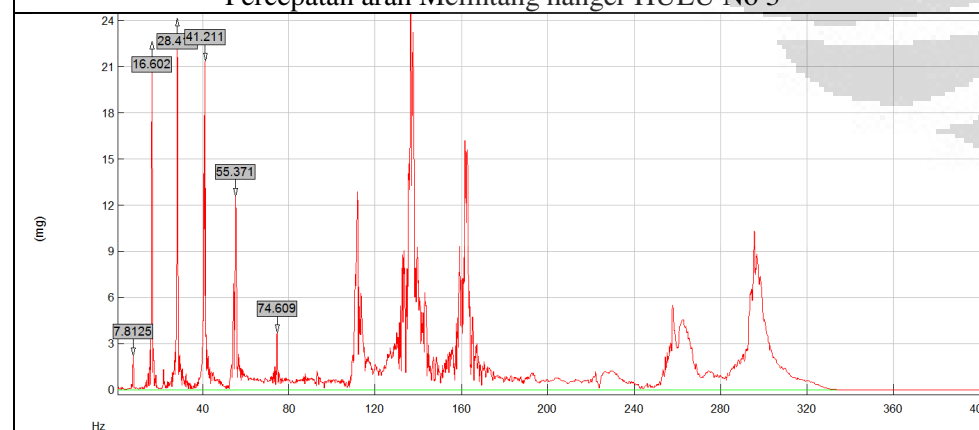
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 4



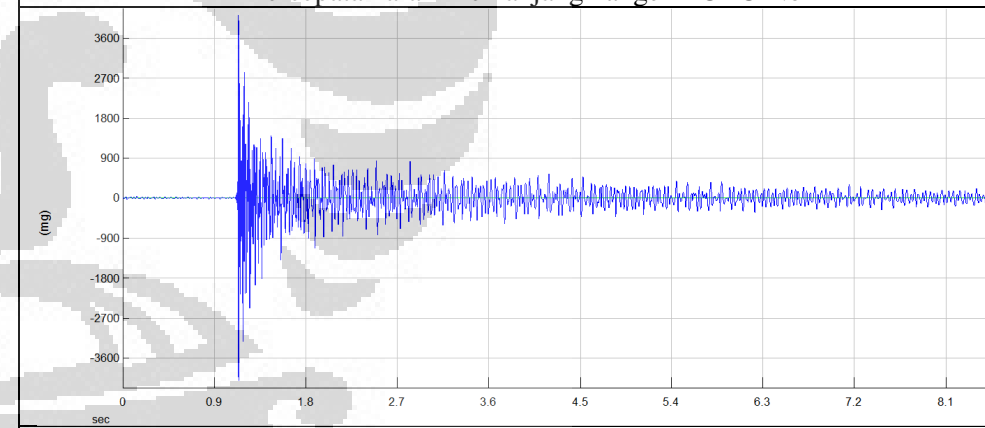
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 4



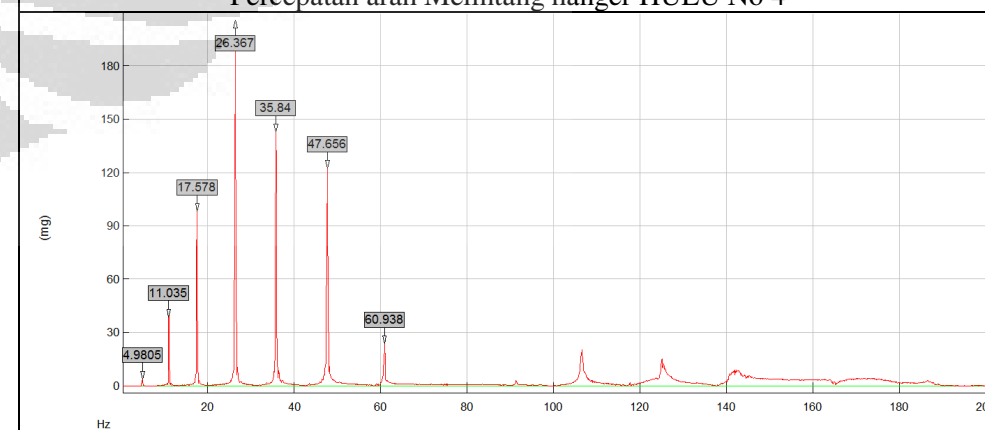
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 3



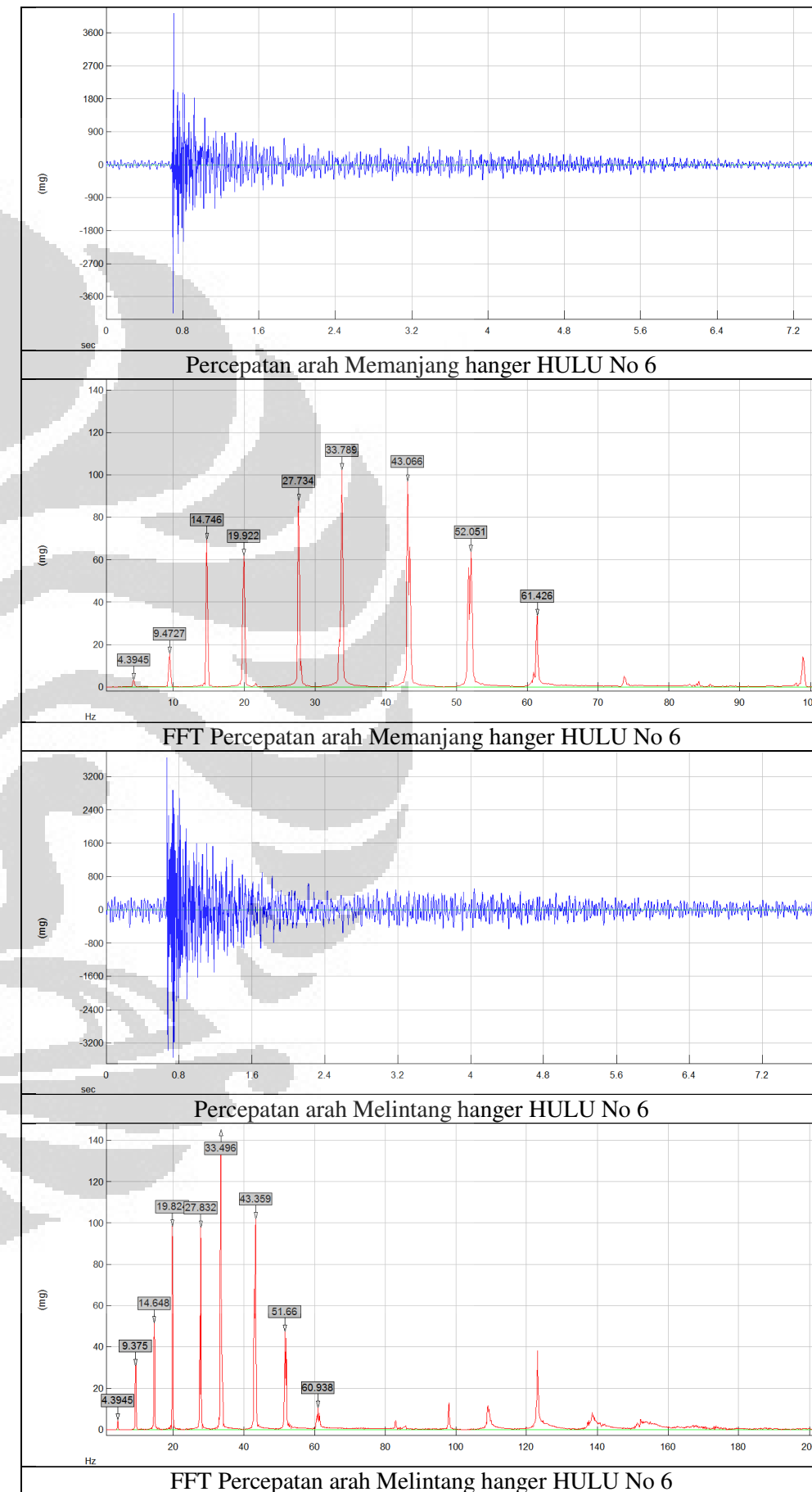
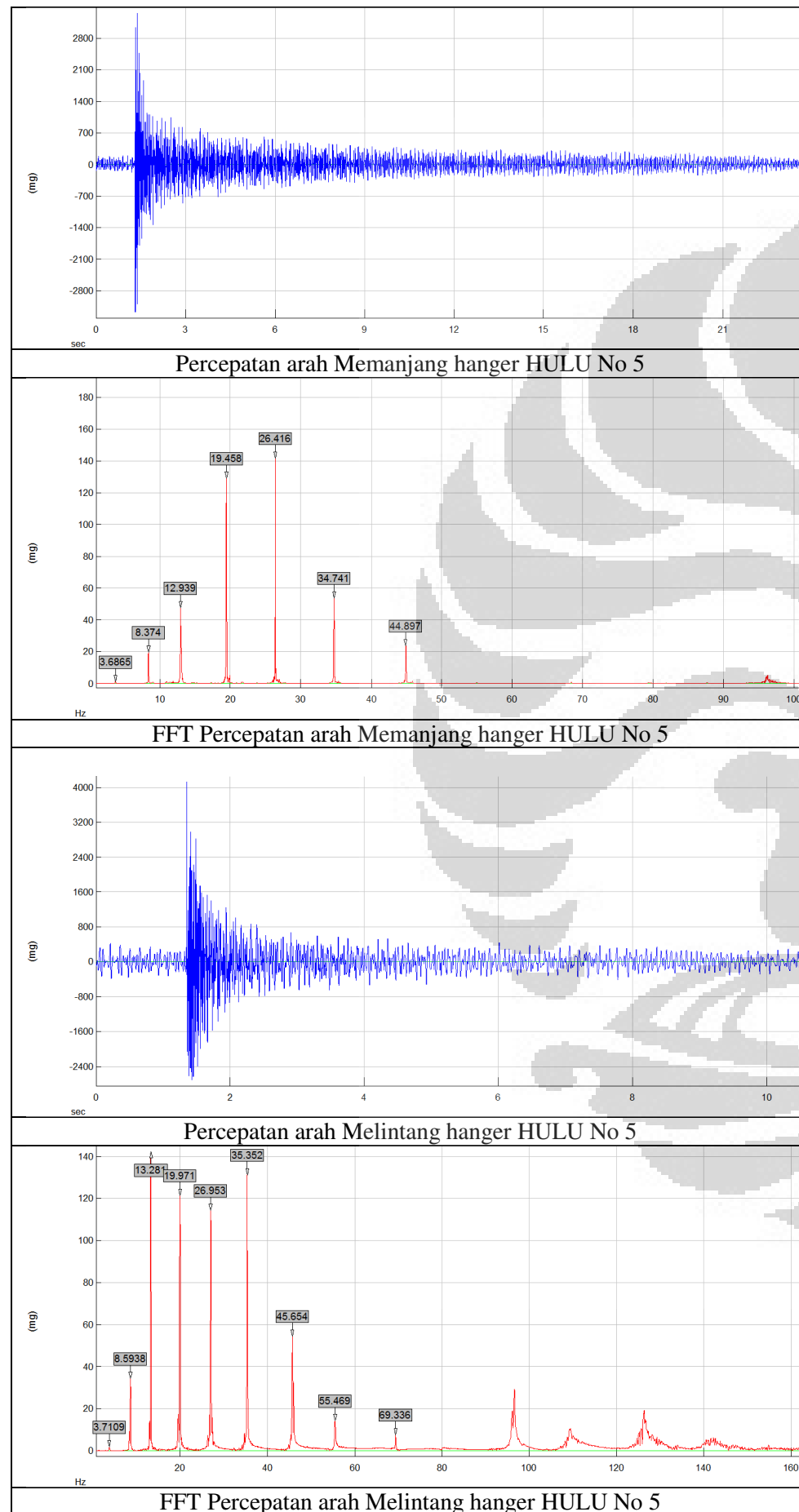
FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 3

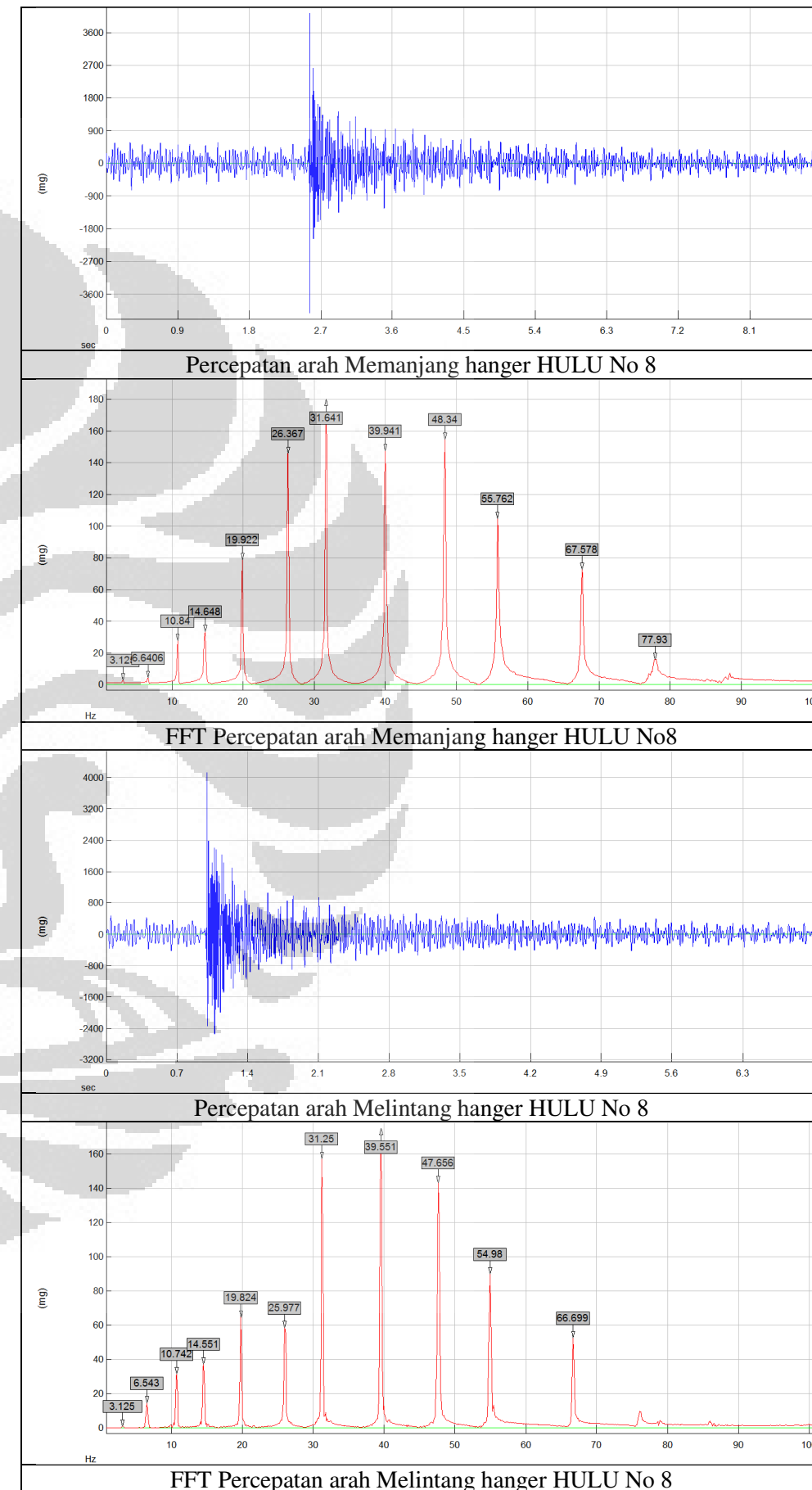
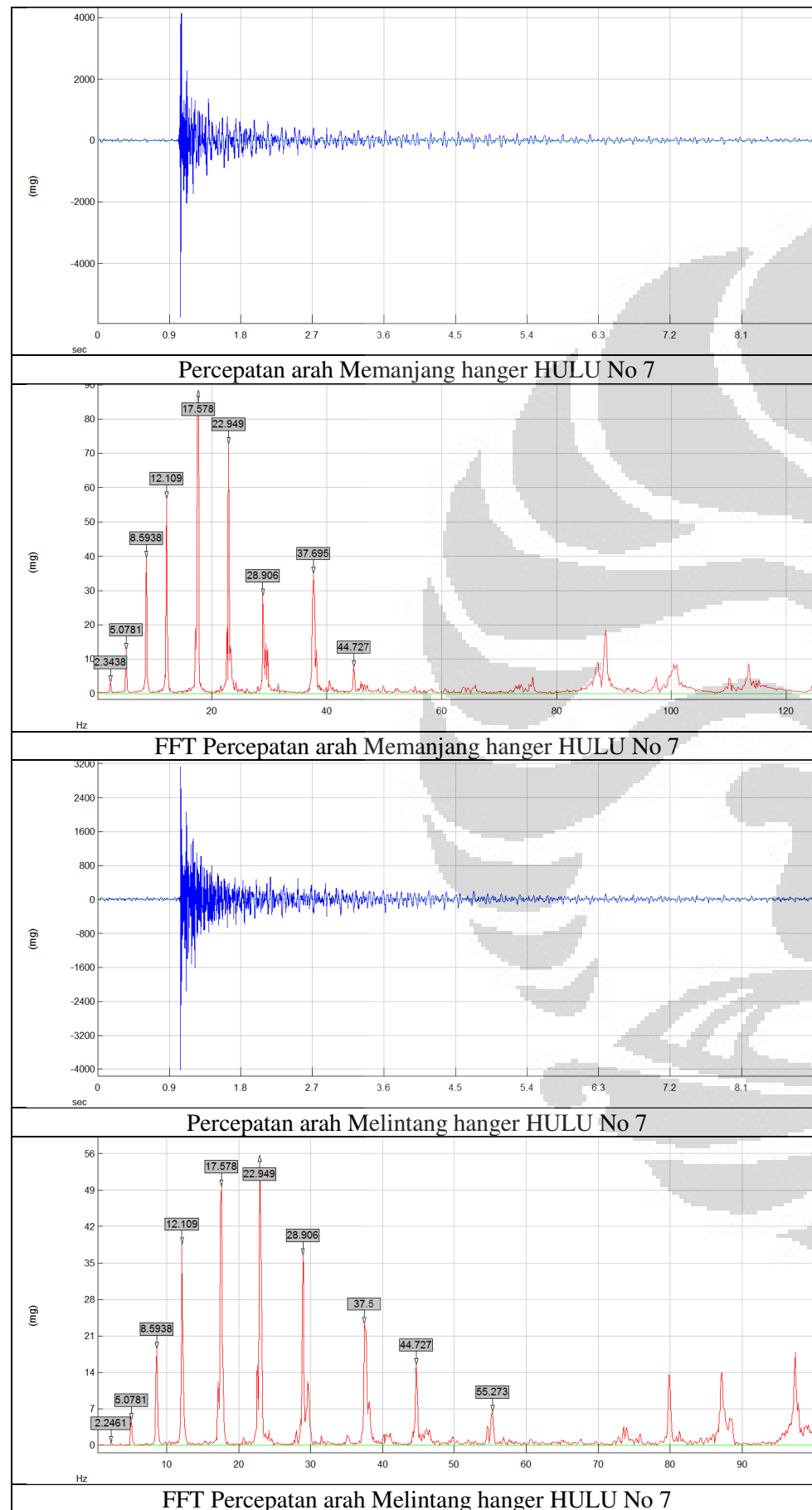


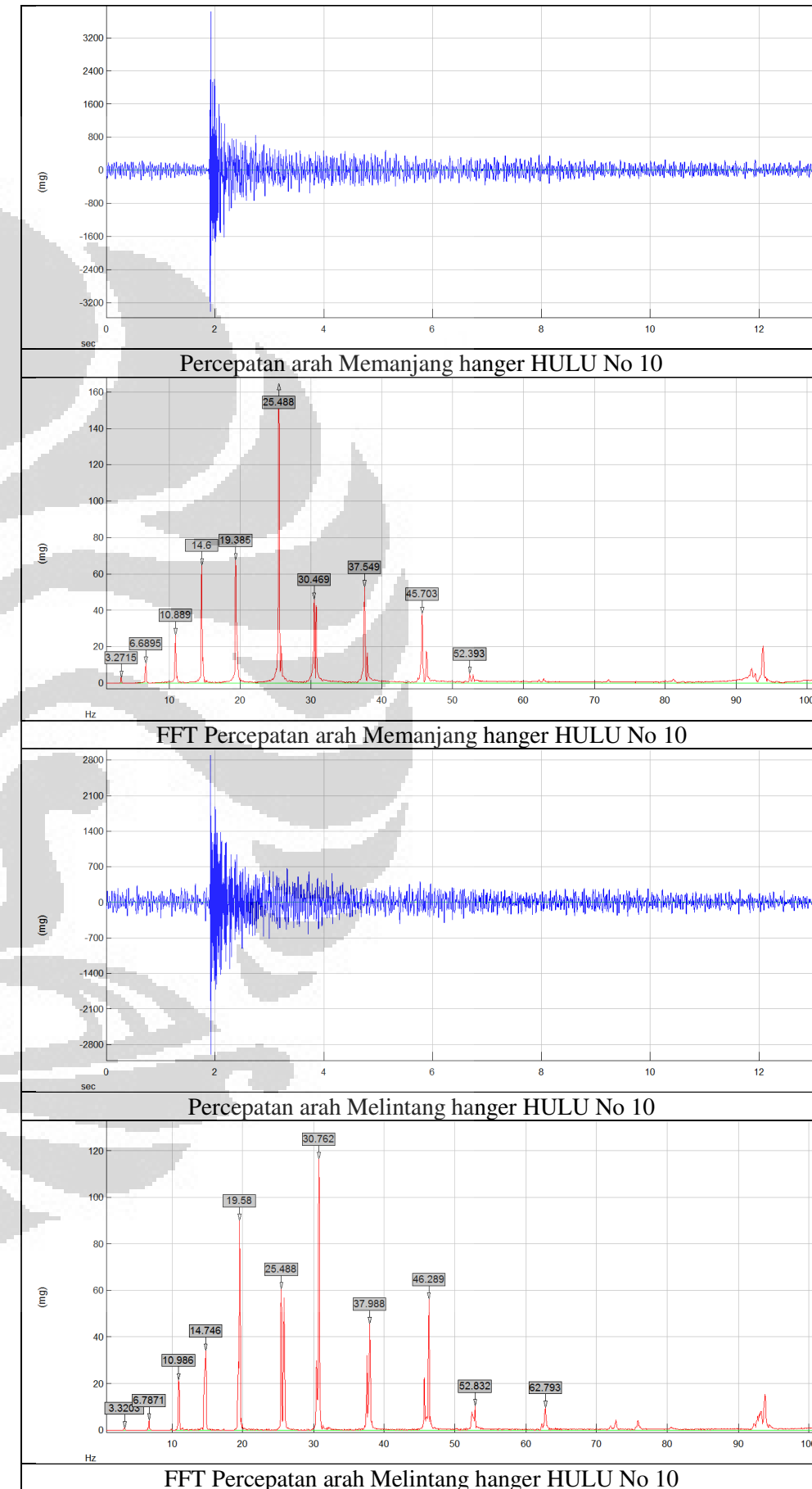
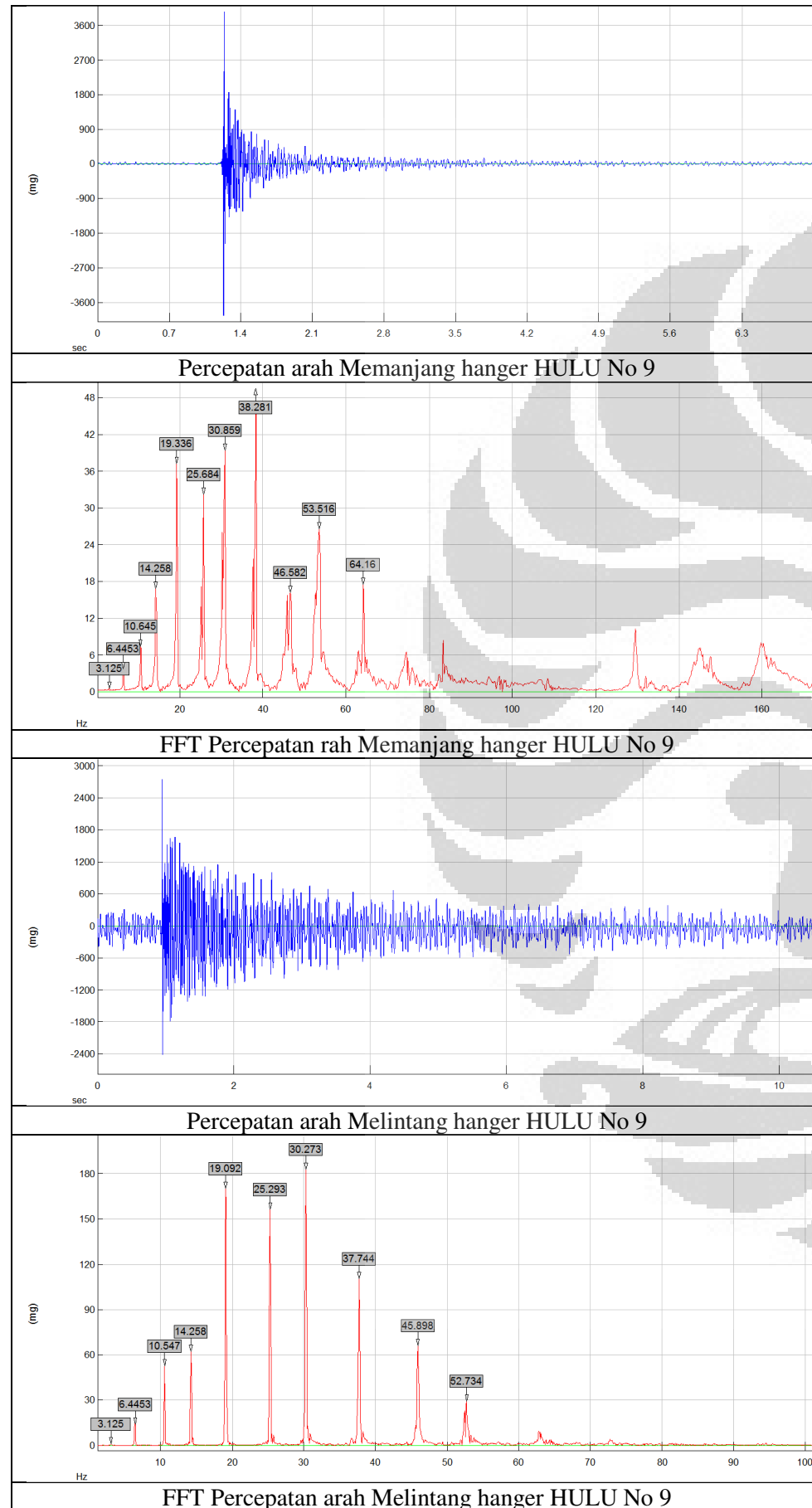
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 4

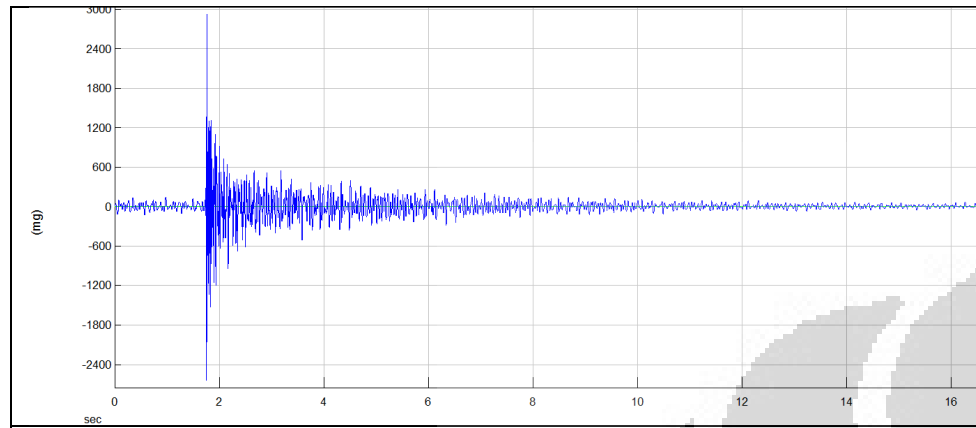


FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 4

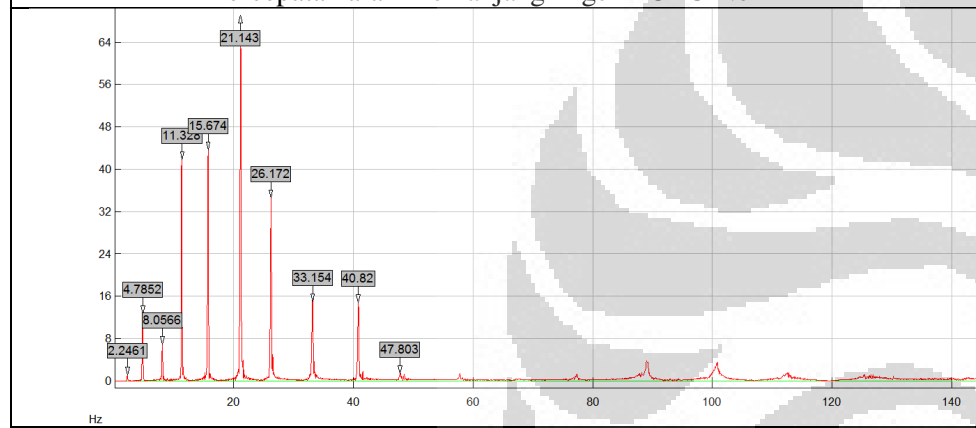




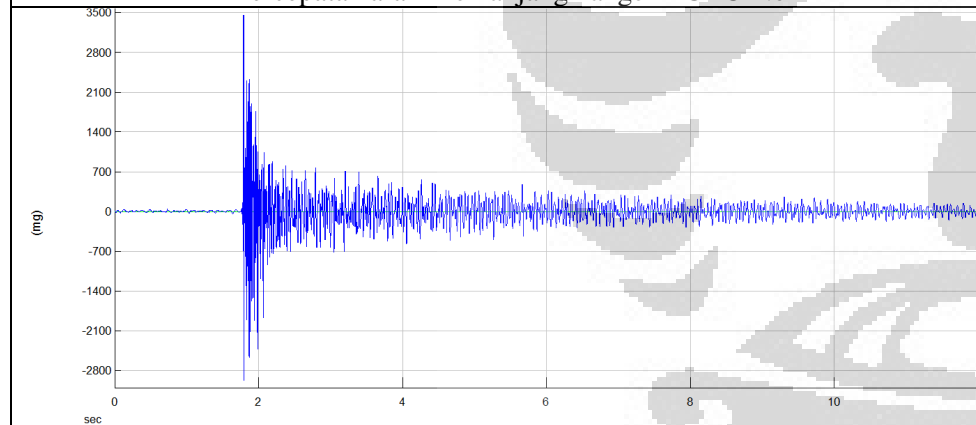




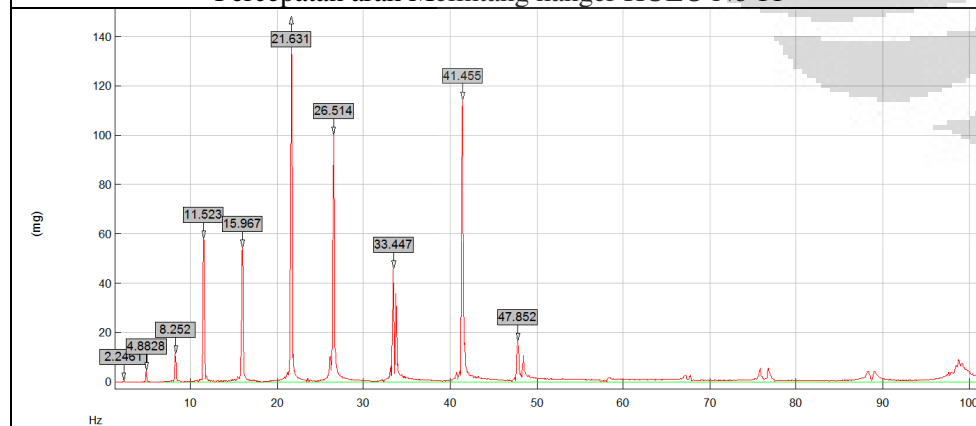
Percepatan arah Memanjang hnger HULU No 11



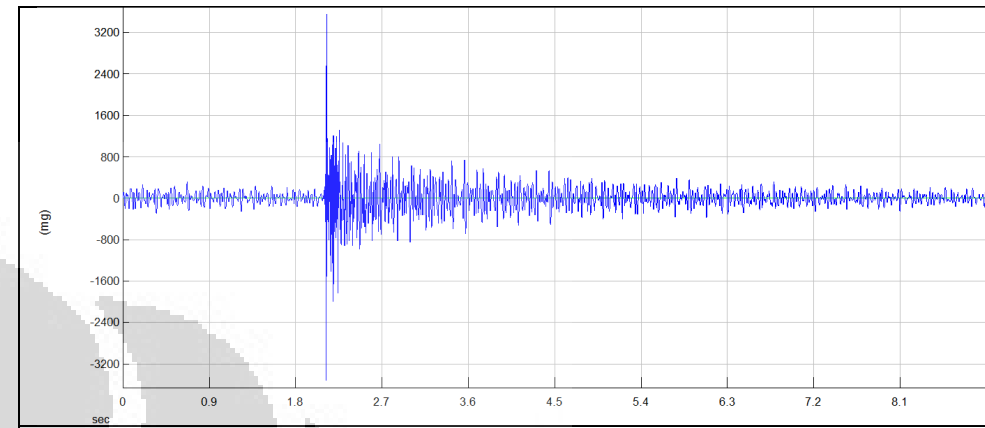
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 11



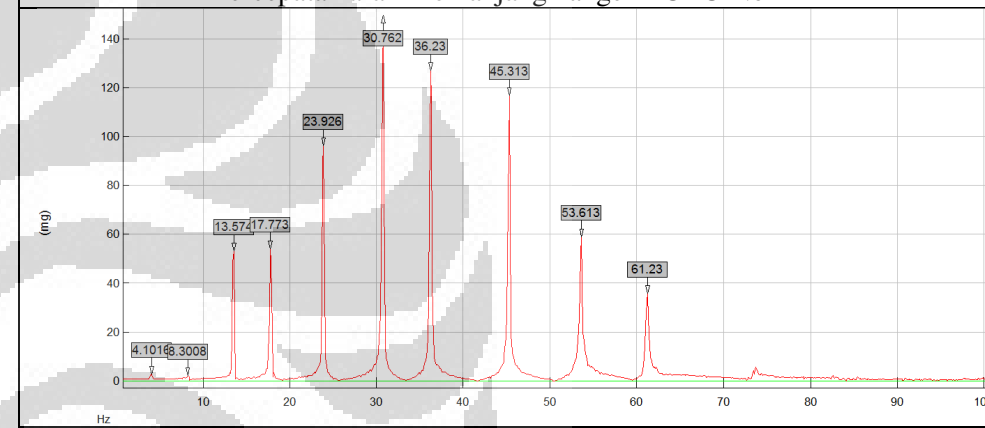
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 11



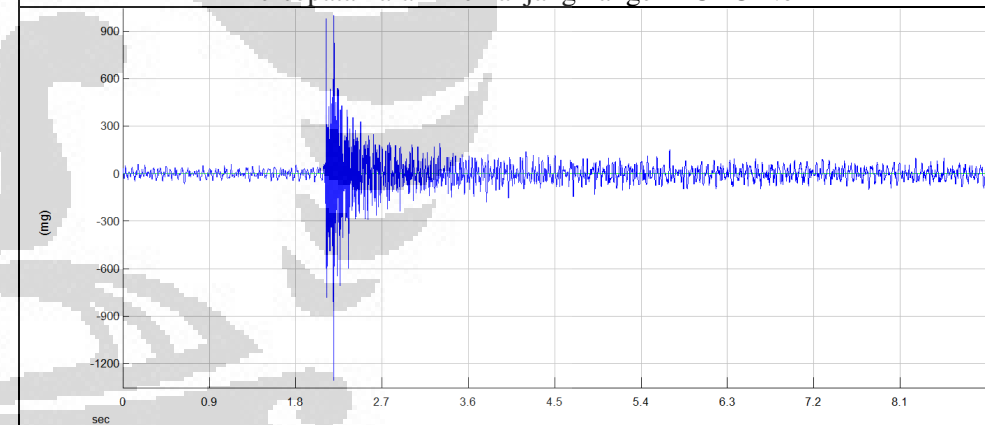
FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 11



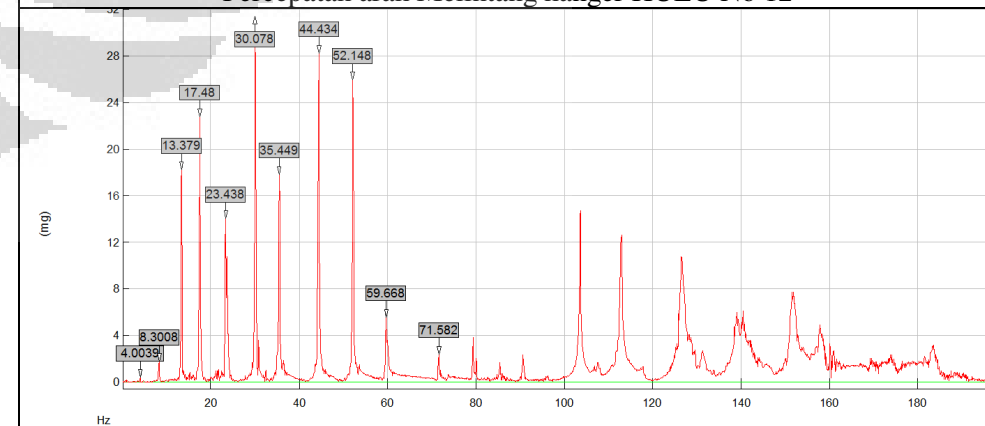
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 12



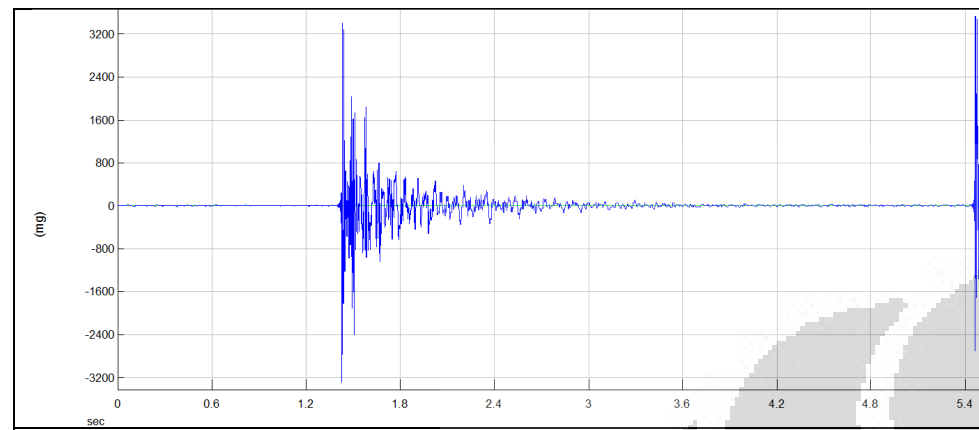
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 12



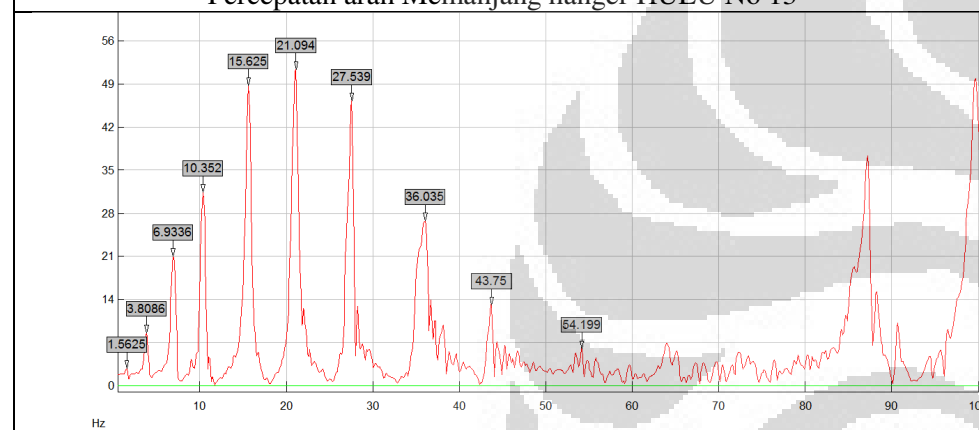
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 12



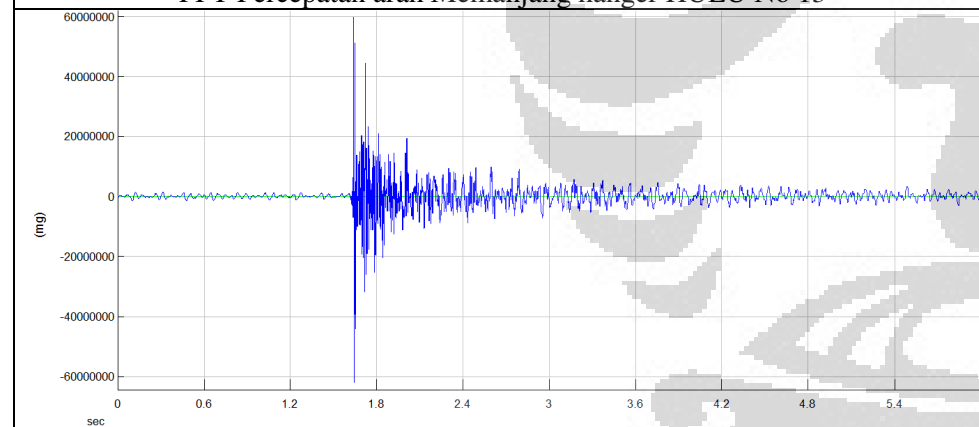
FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 12



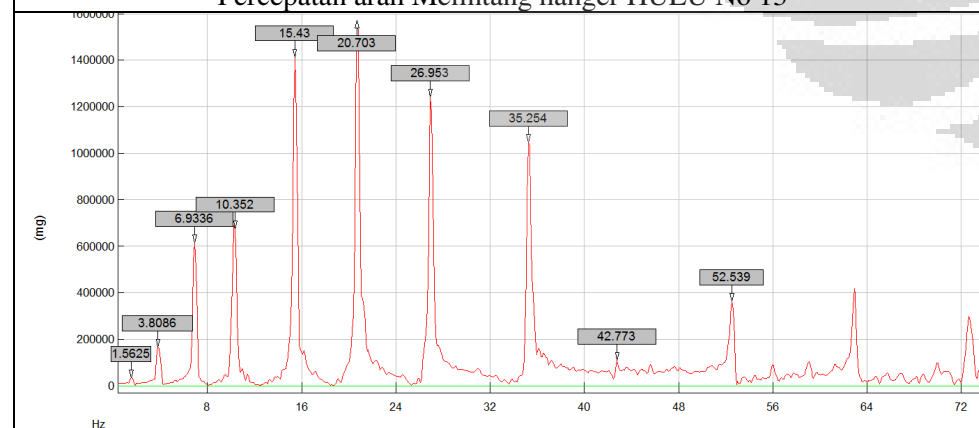
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 13



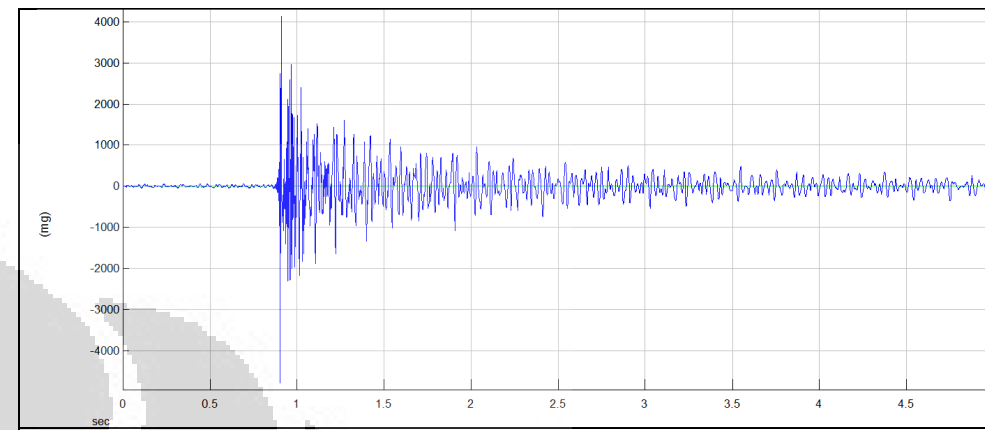
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 13



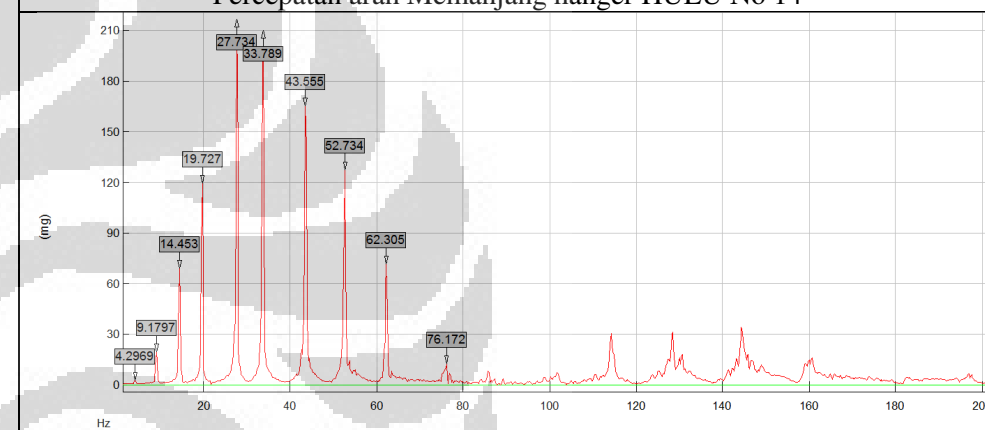
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 13



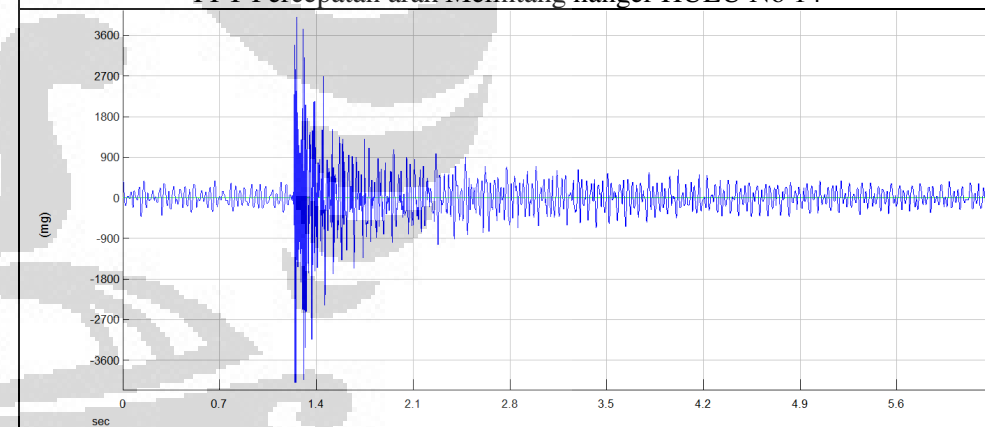
FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 13



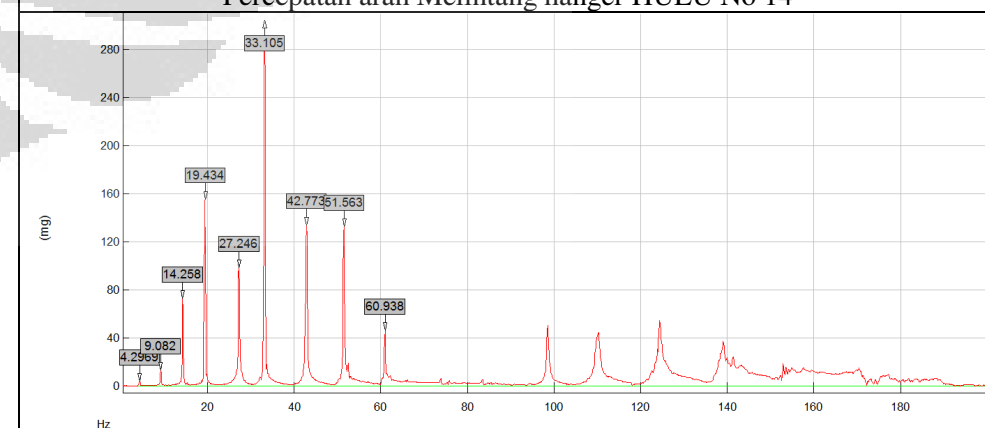
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 14



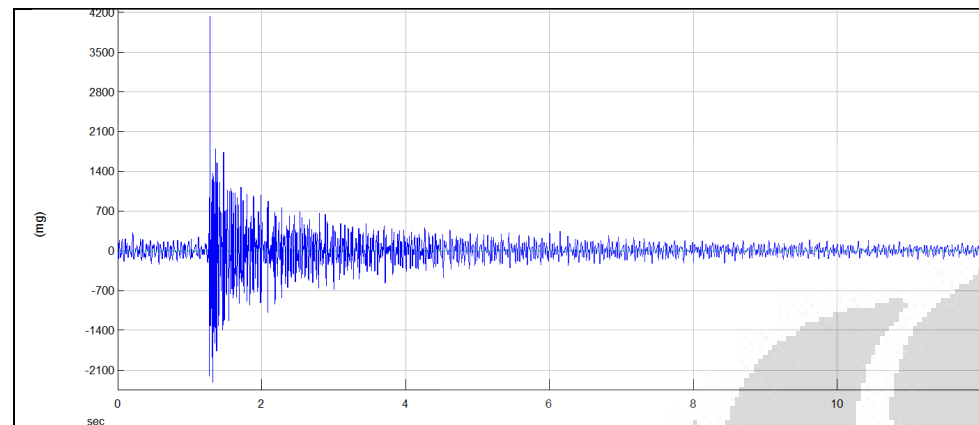
FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 14



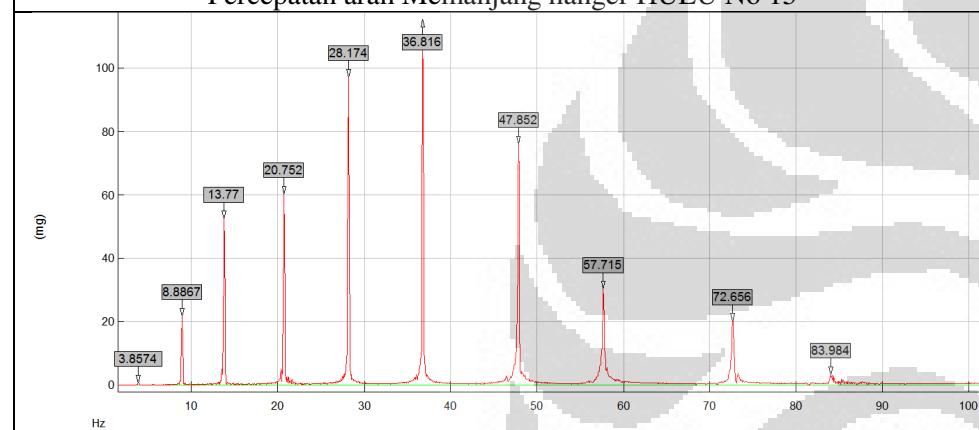
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 14



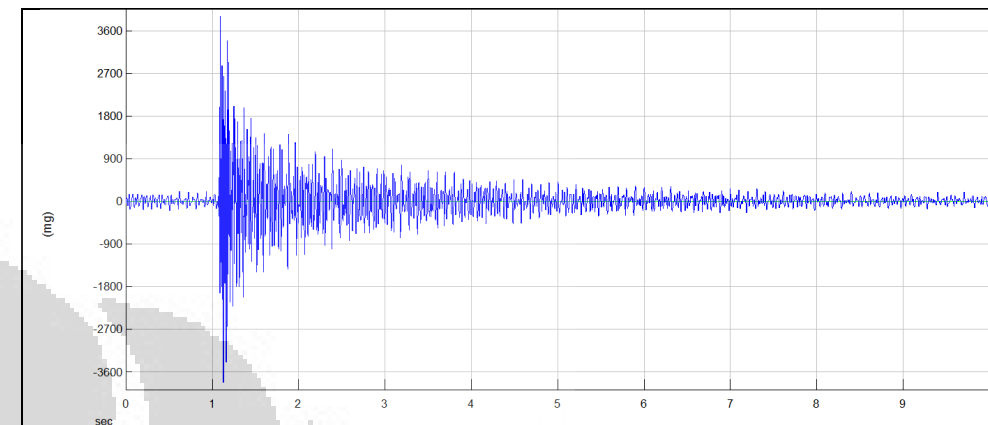
FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 14



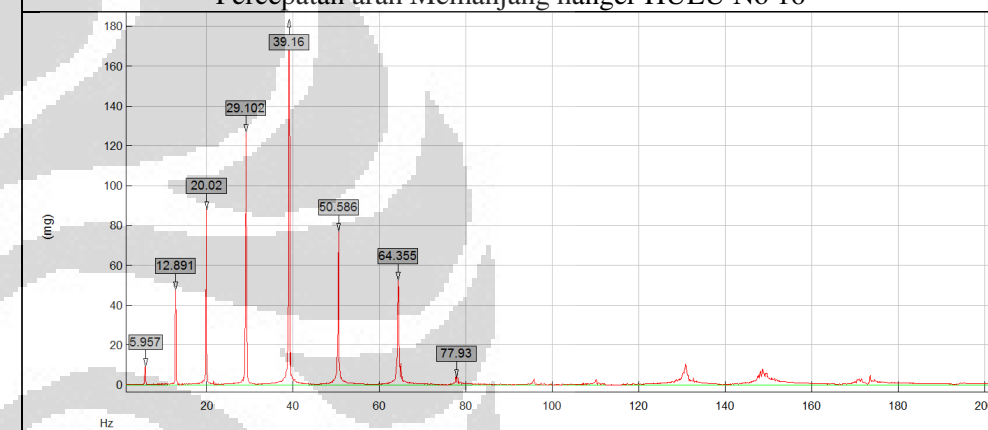
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 15



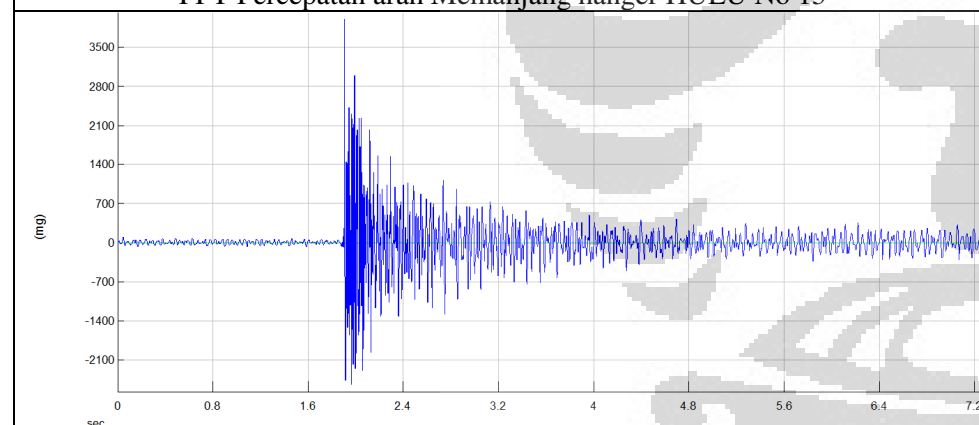
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 15



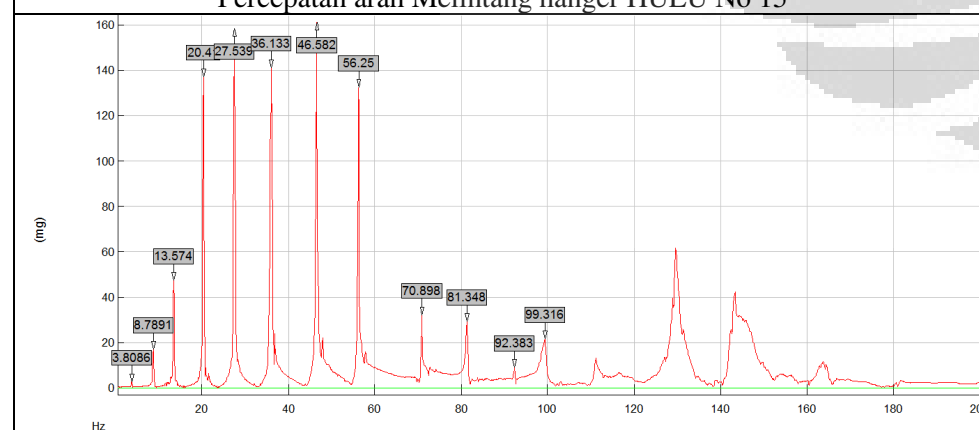
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 16



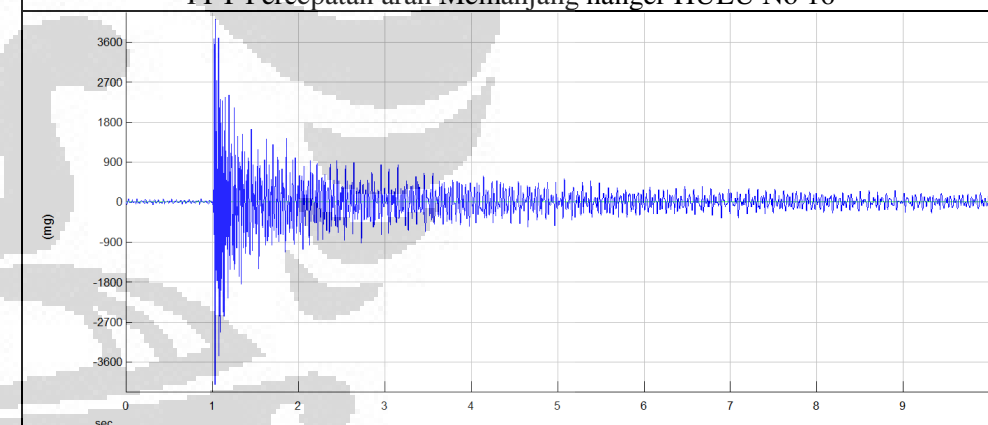
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 16



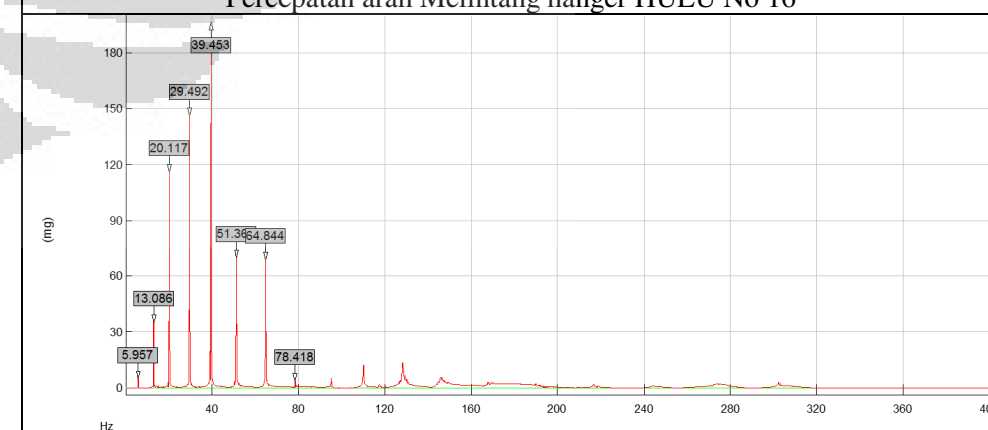
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 15



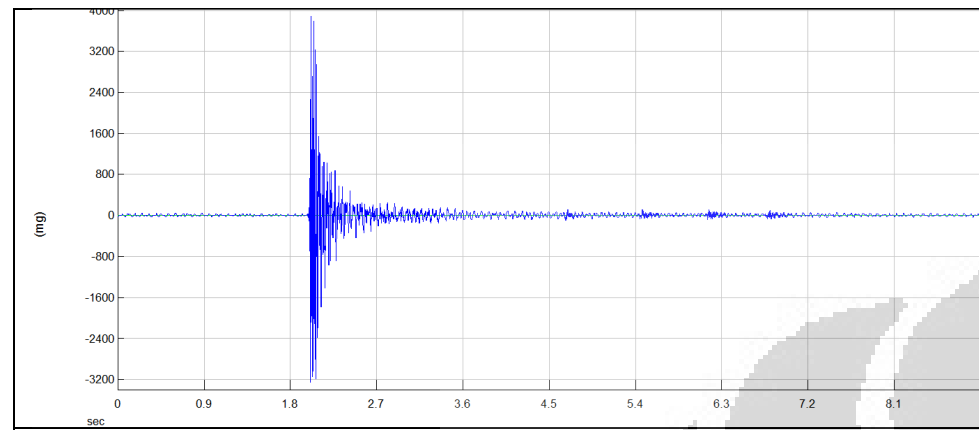
FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 15



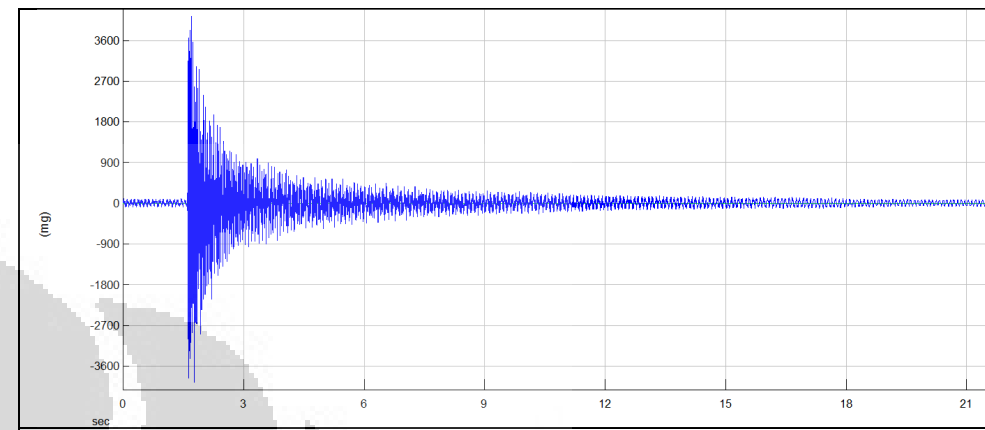
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 16



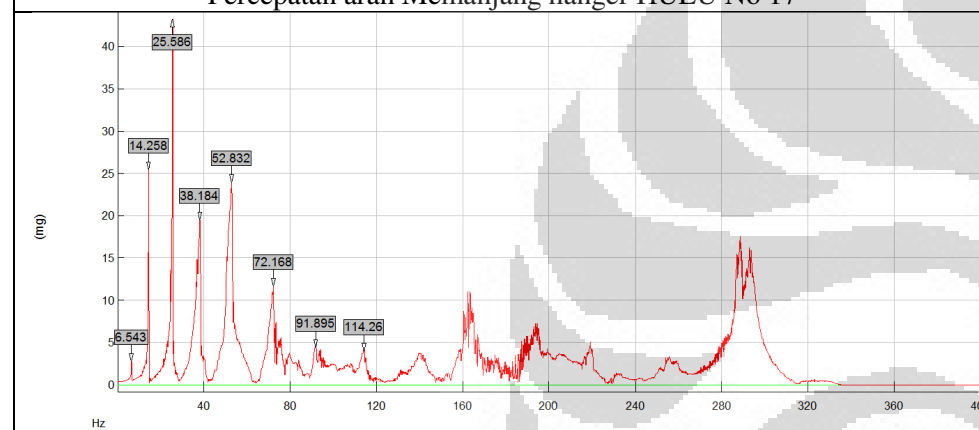
FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 16



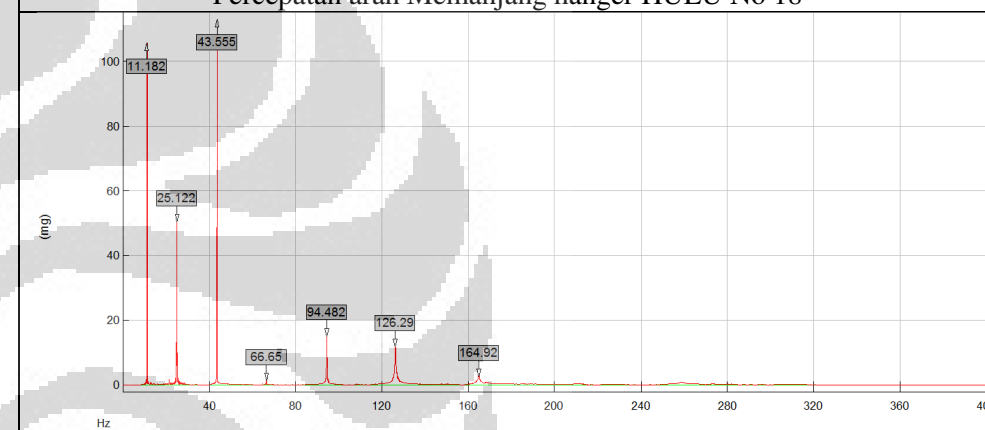
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 17



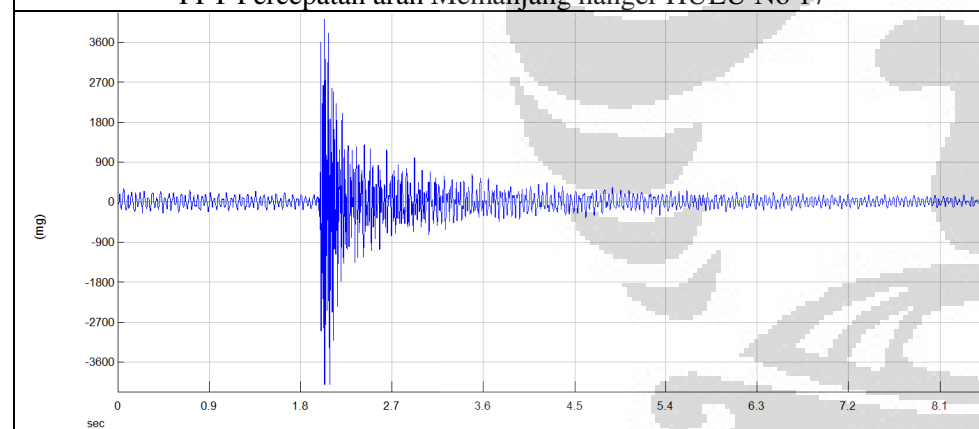
Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 18



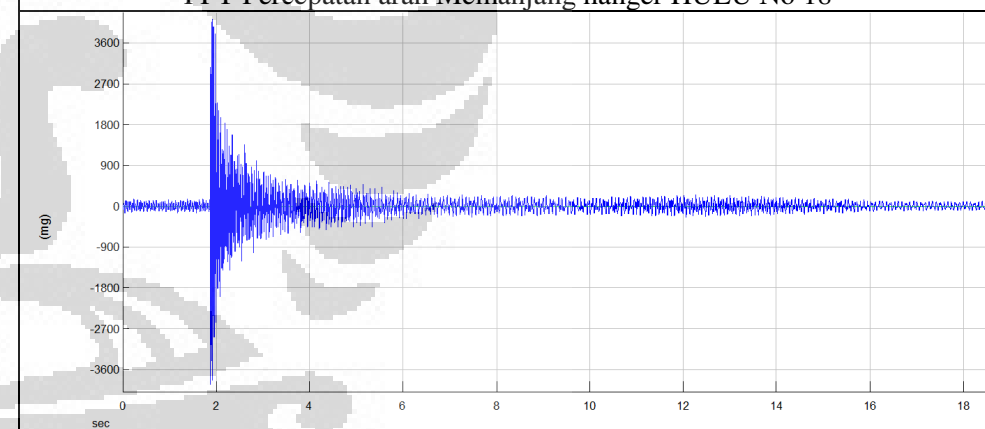
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 17



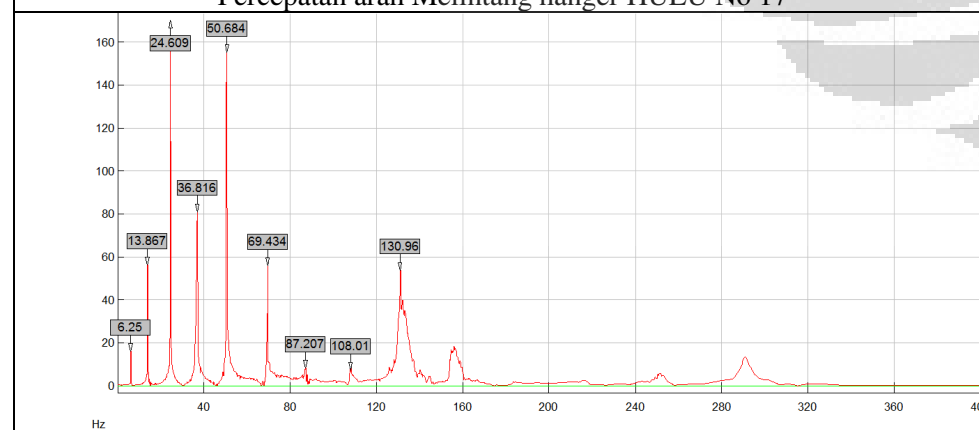
FFT Percepatan arah Memanjang hanger HULU No 18



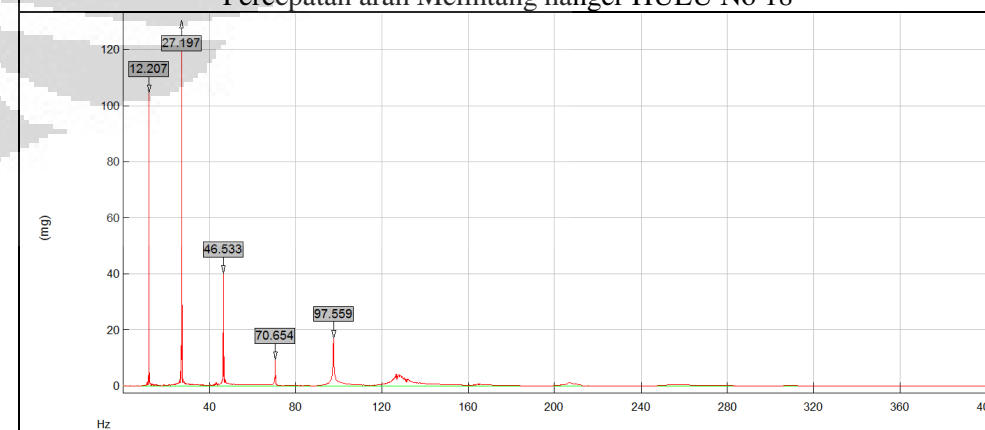
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 17



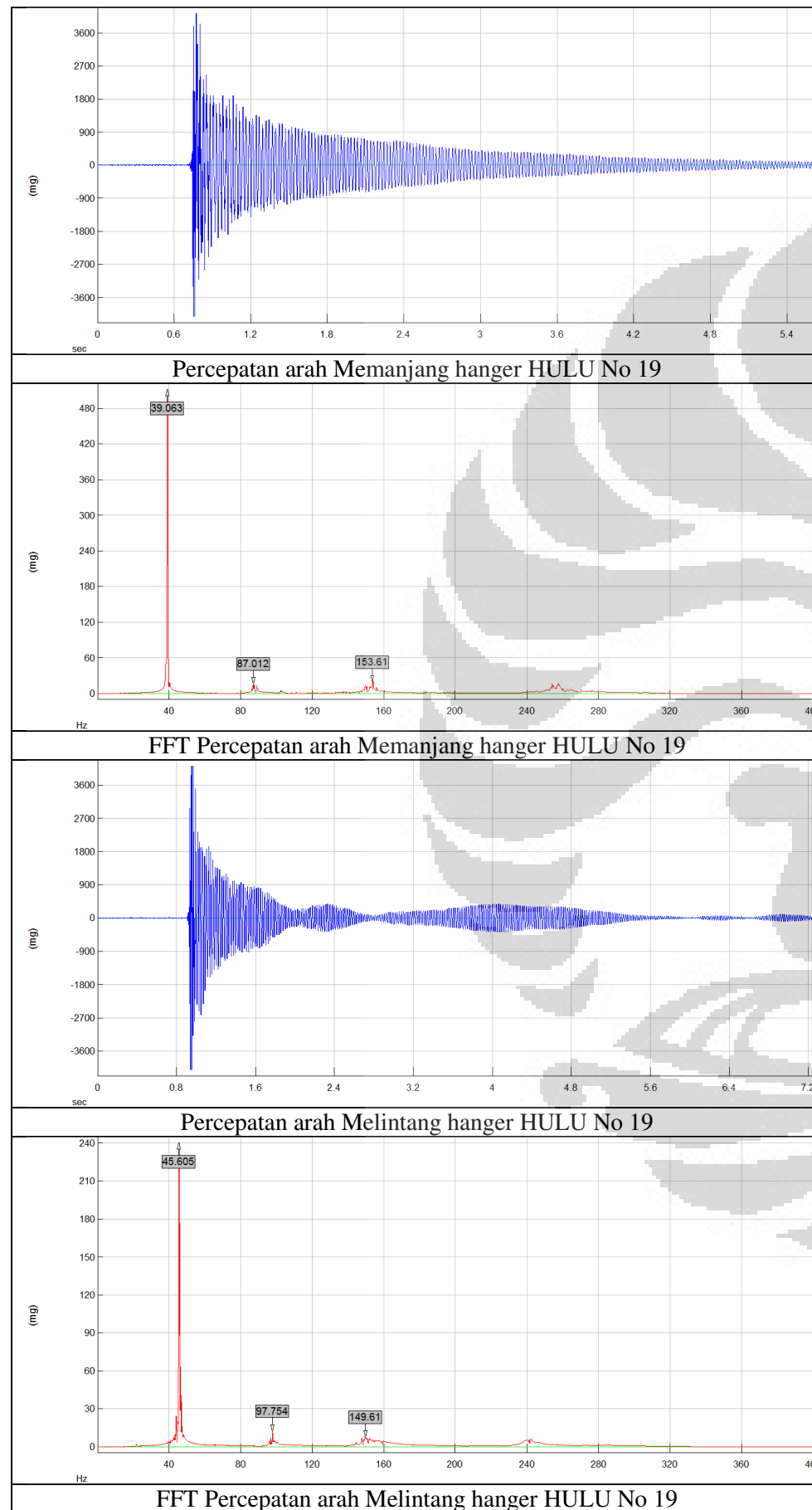
Percepatan arah Melintang hanger HULU No 18

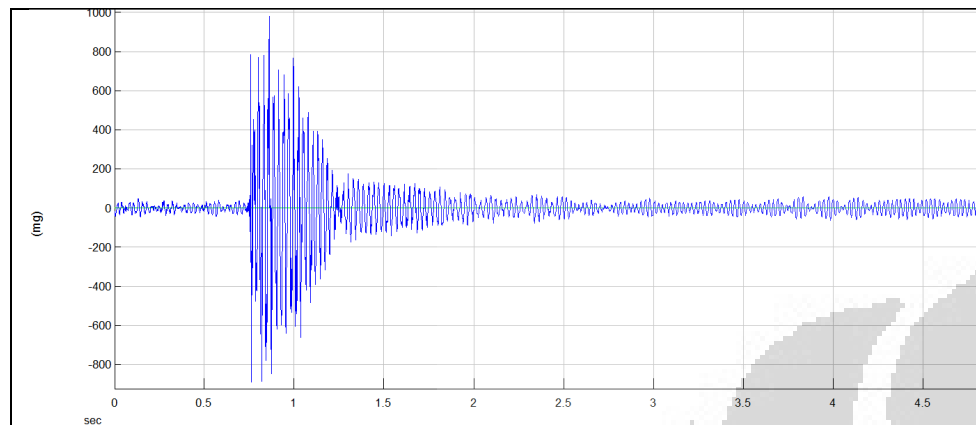


FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 17

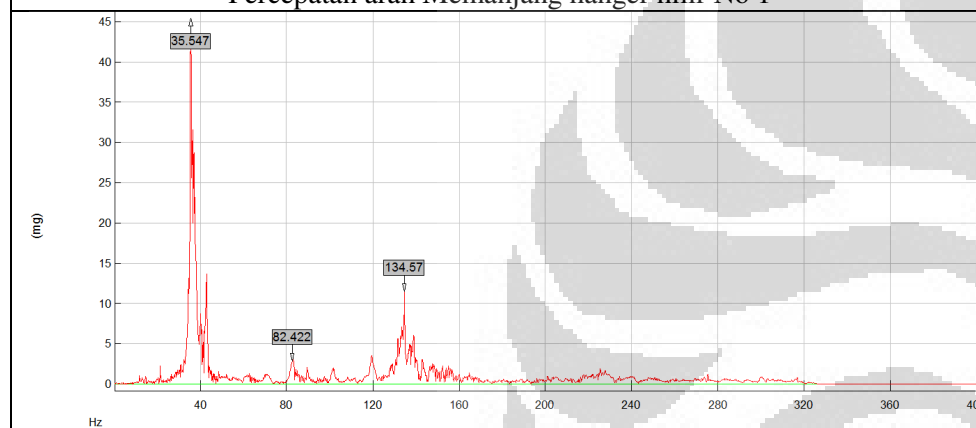


FFT Percepatan arah Melintang hanger HULU No 18

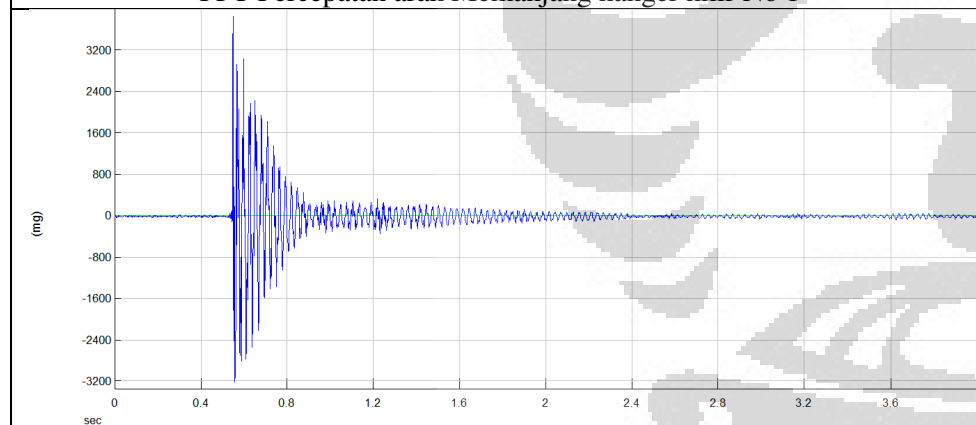




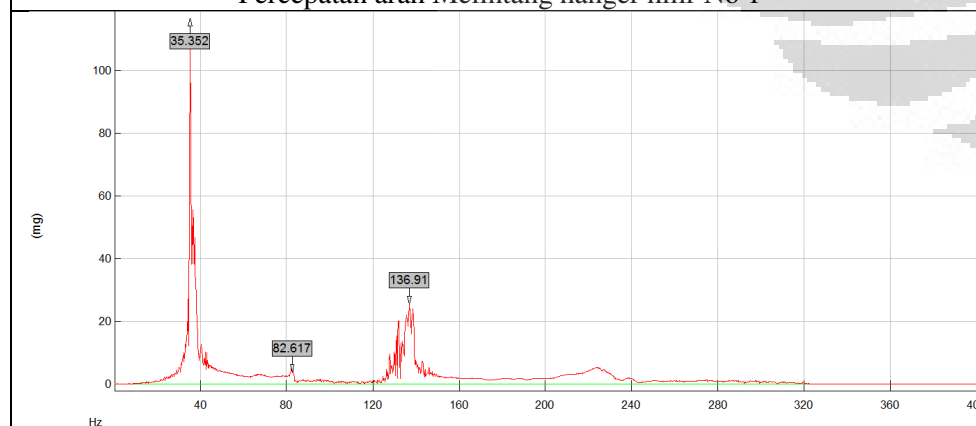
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 1



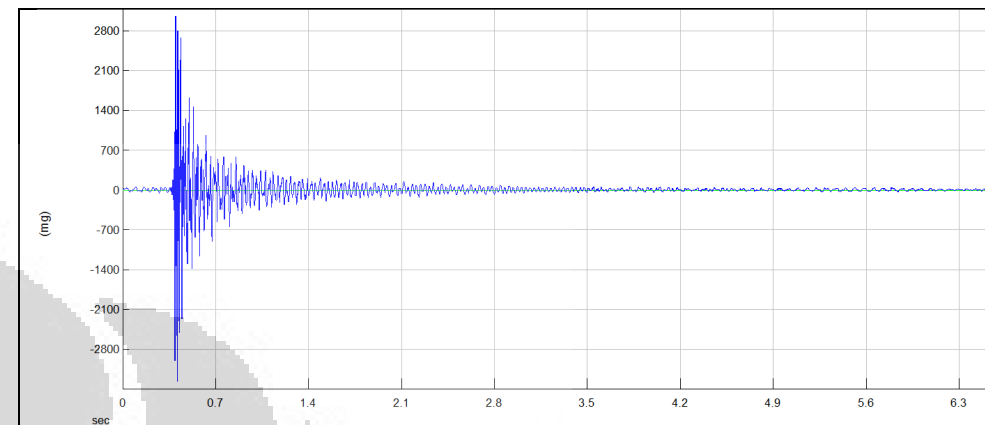
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 1



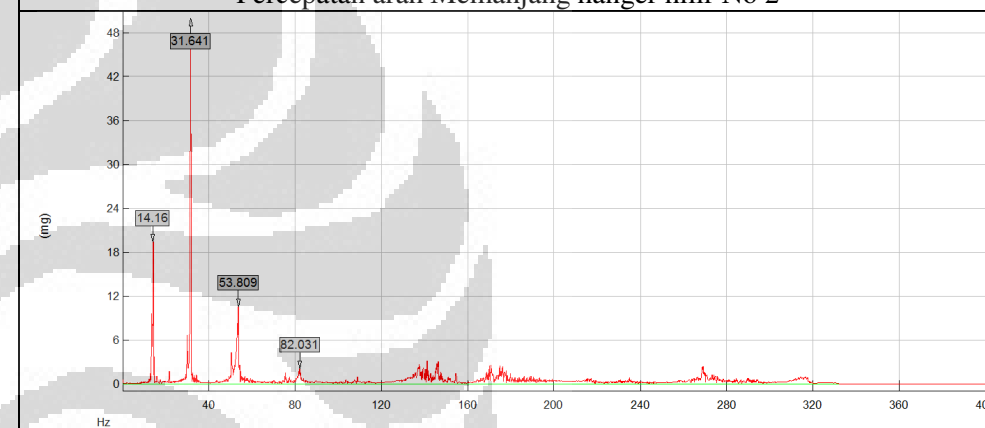
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 1



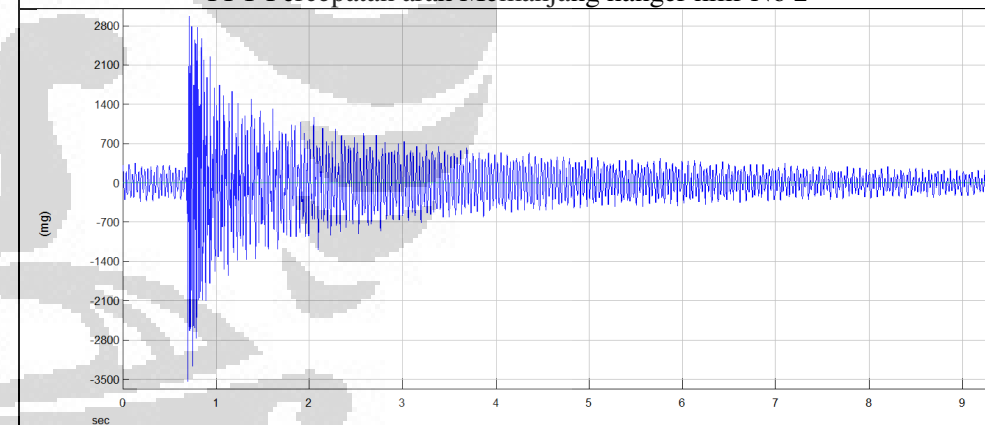
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 1



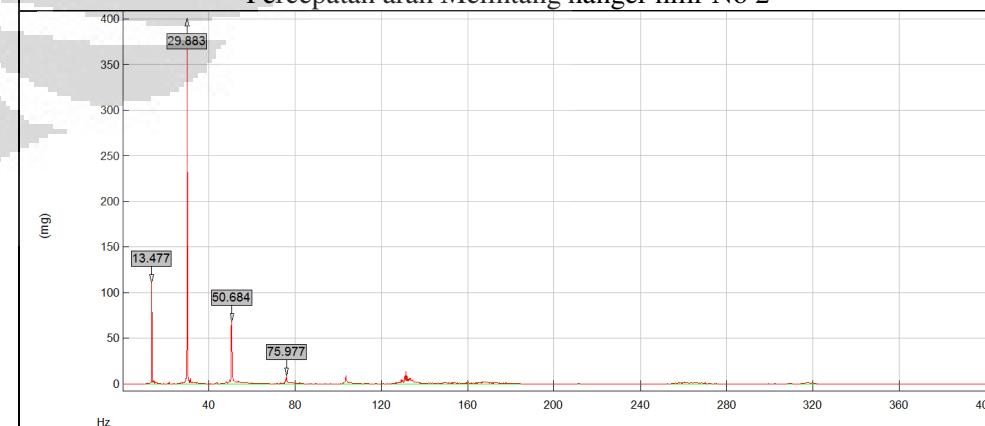
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 2



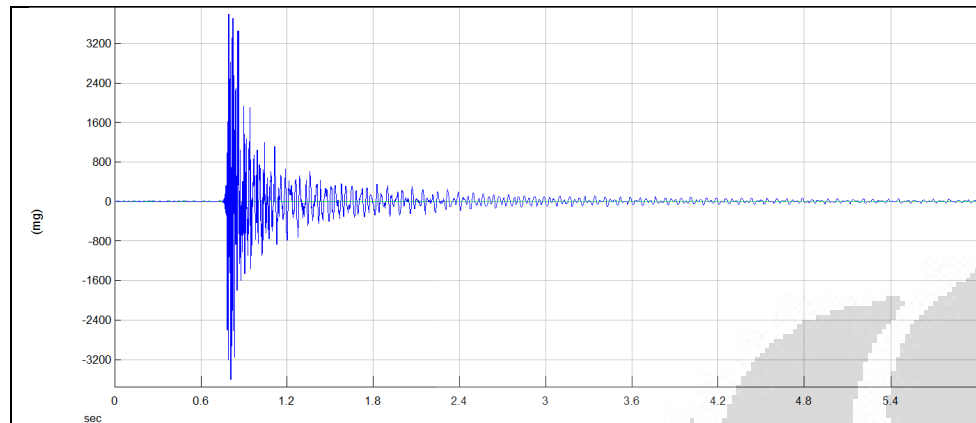
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 2



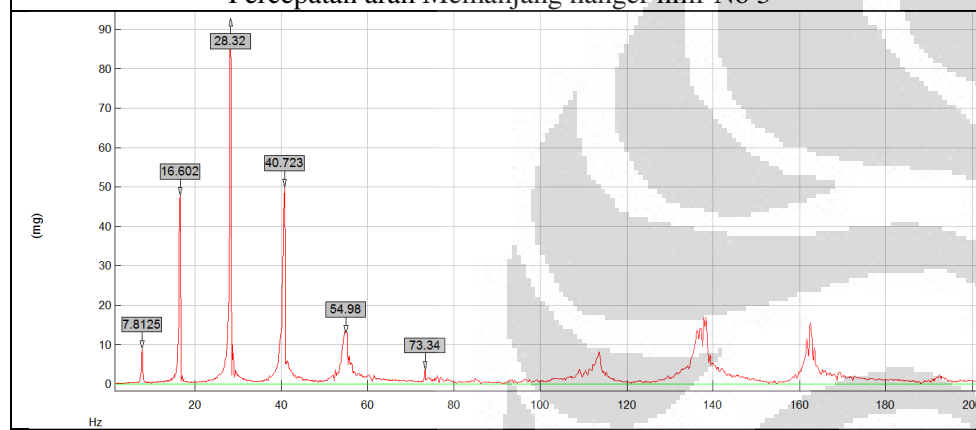
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 2



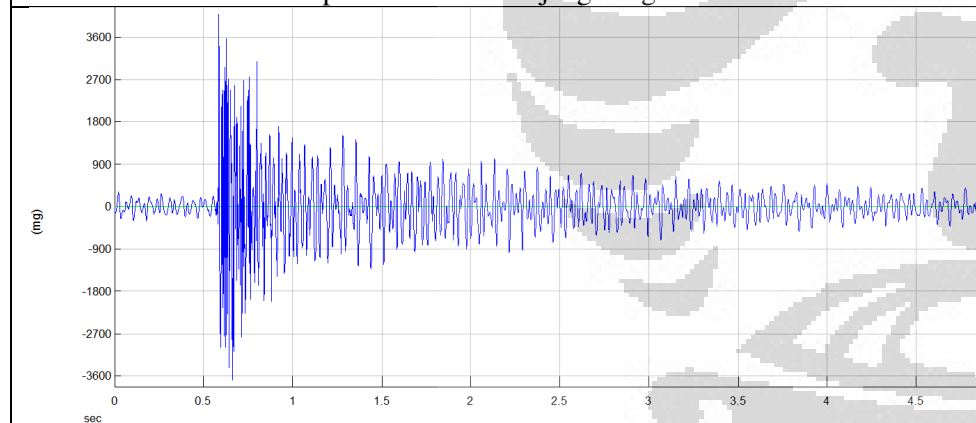
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 2



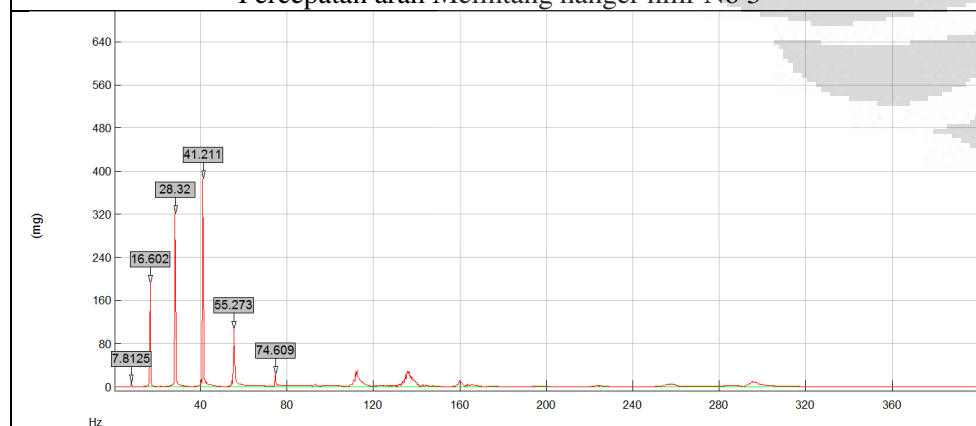
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 3



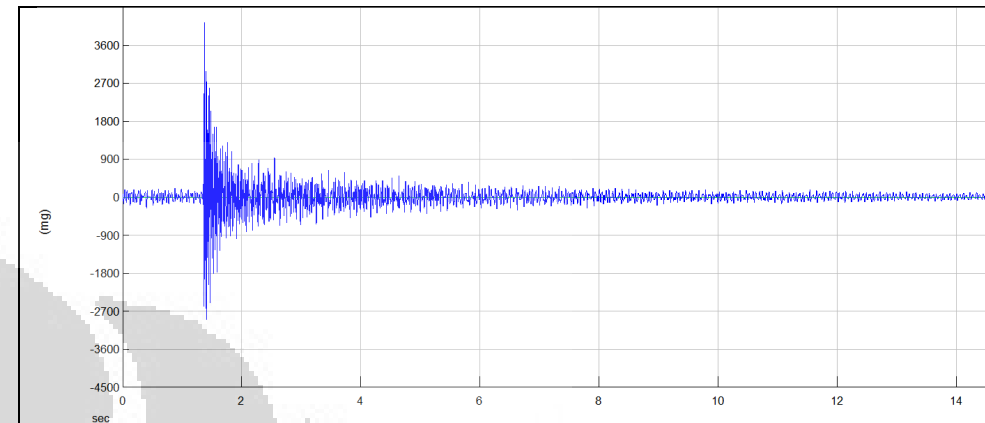
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 3



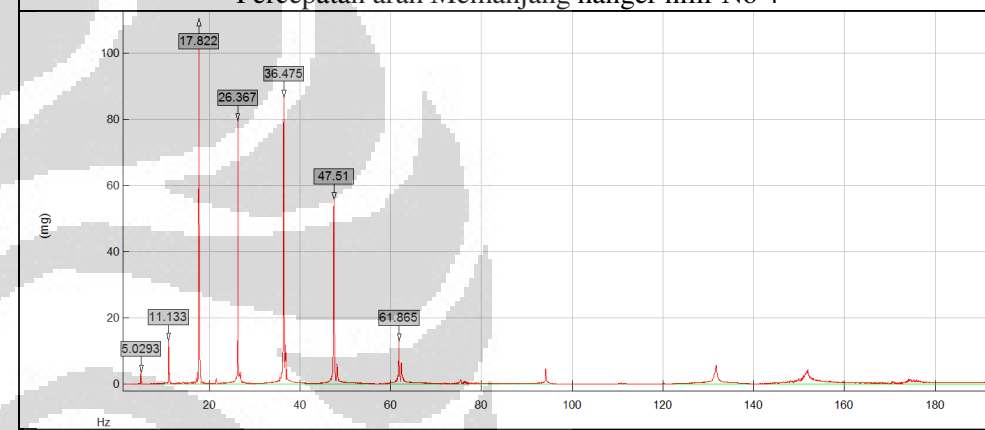
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 3



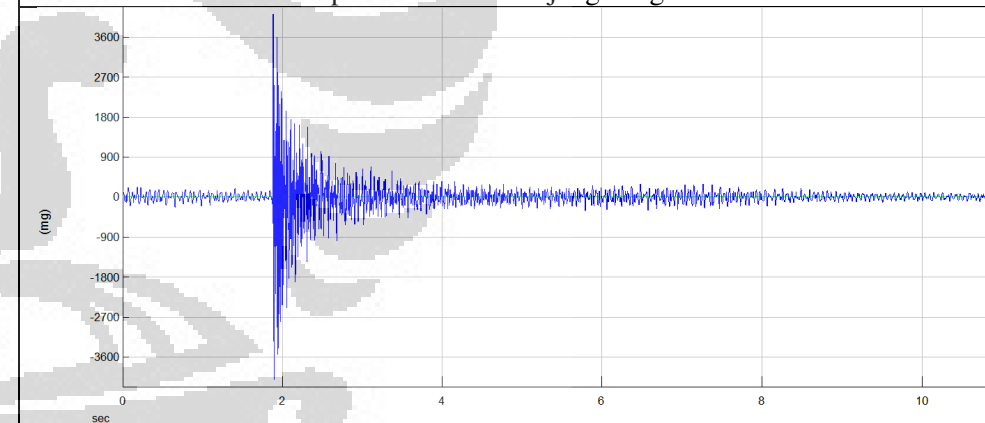
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 3



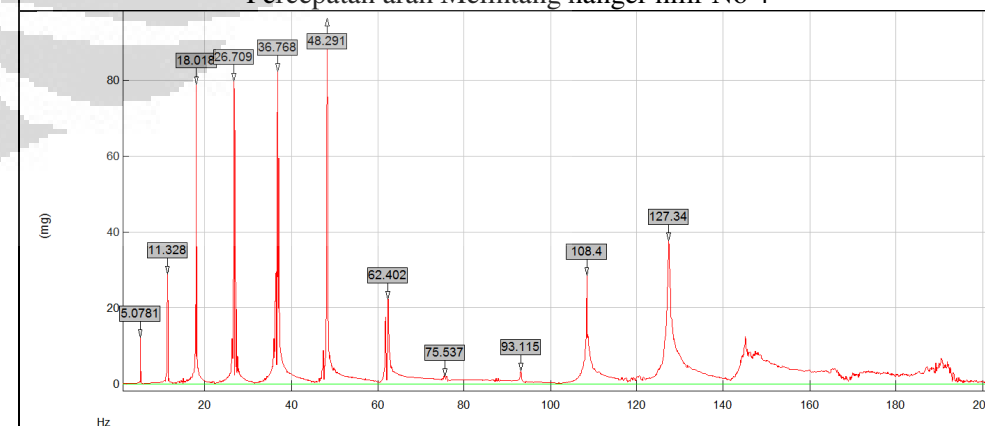
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 4



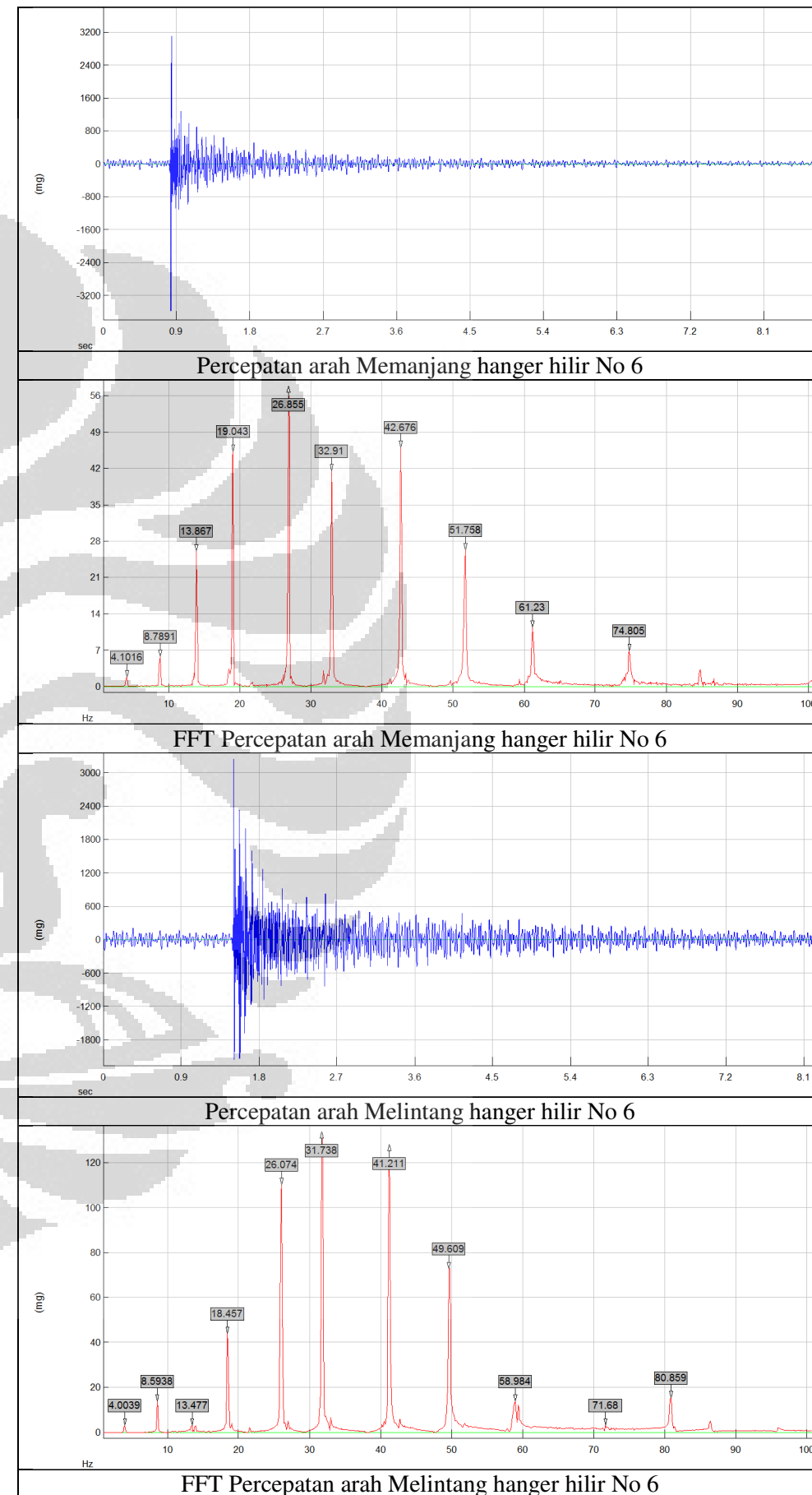
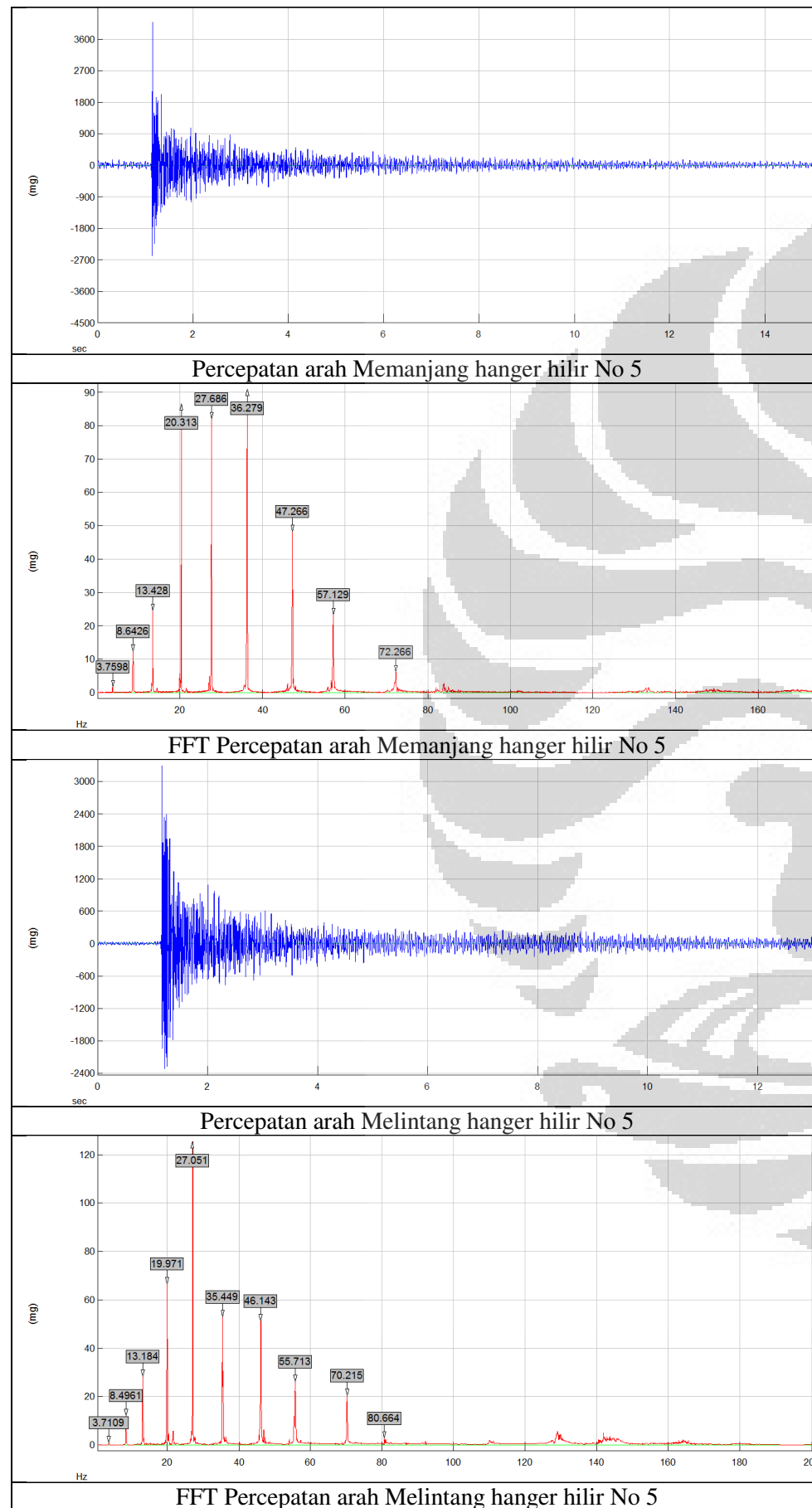
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 4

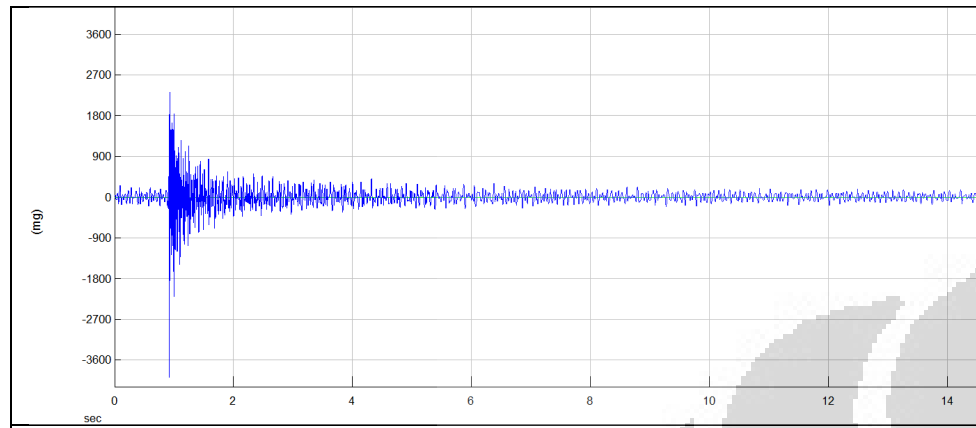


Percepatan arah Melintang hanger hilir No 4

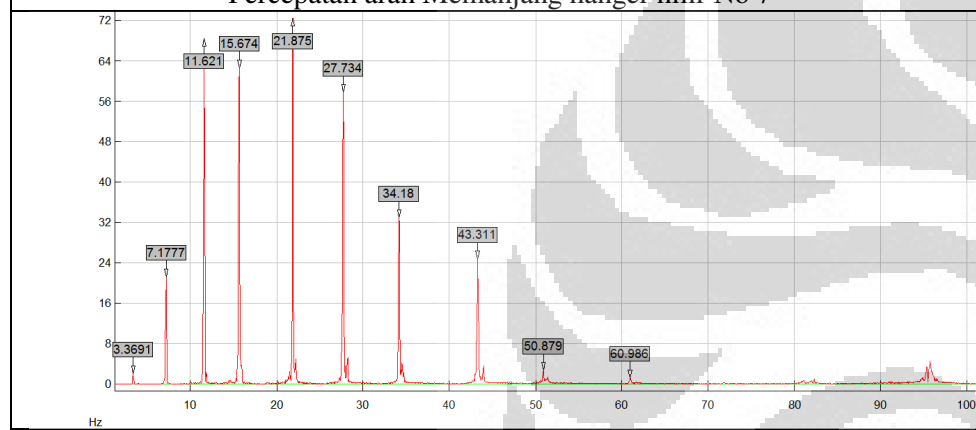


FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 4

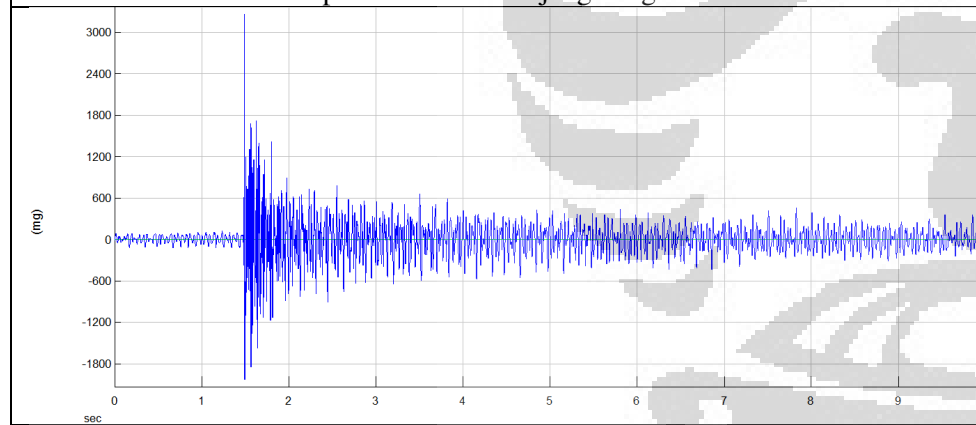




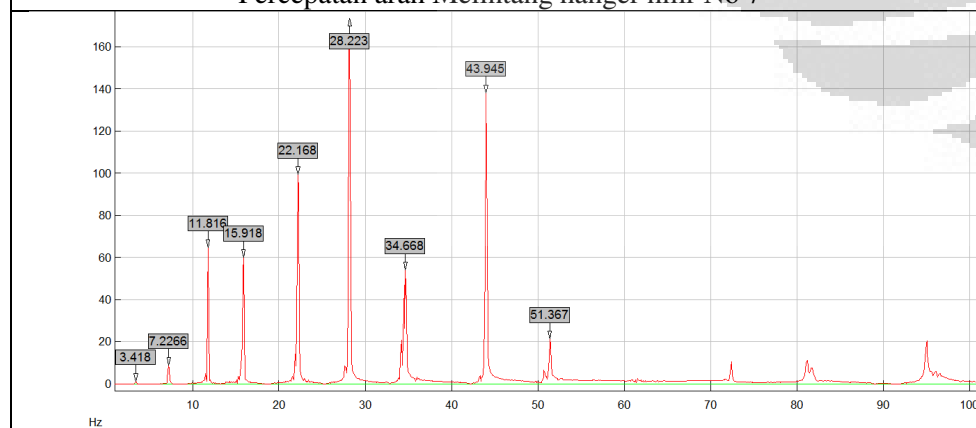
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 7



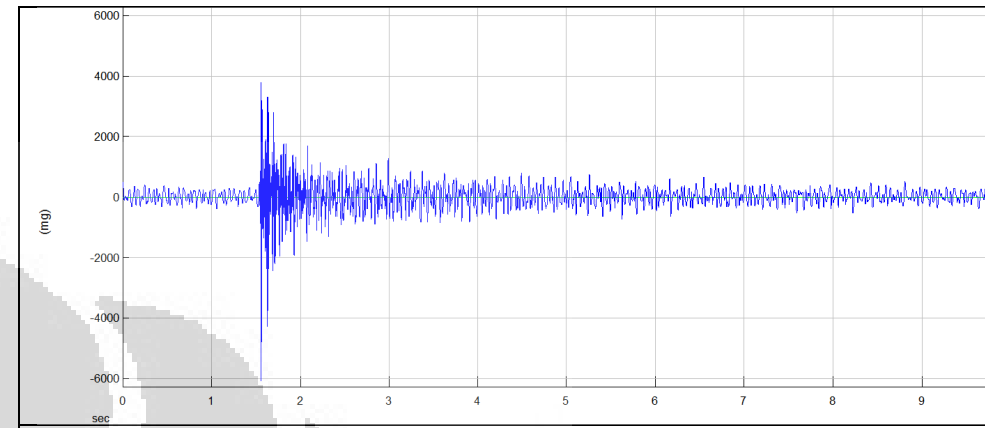
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 7



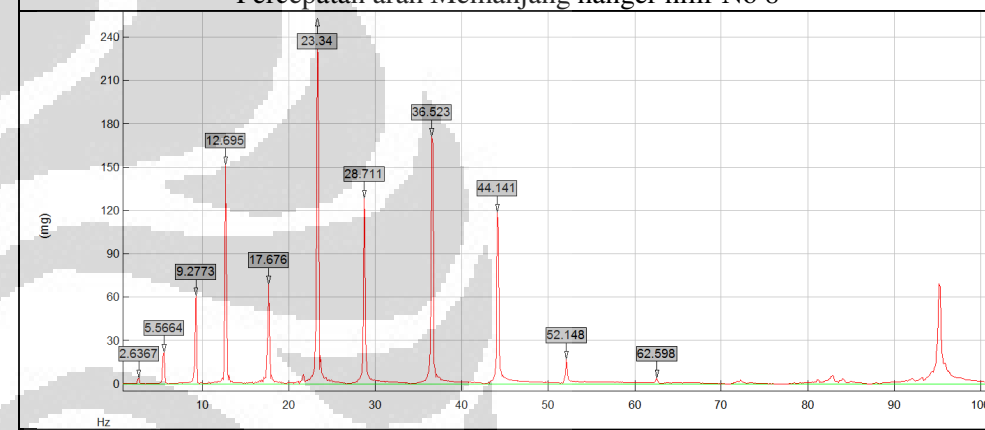
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 7



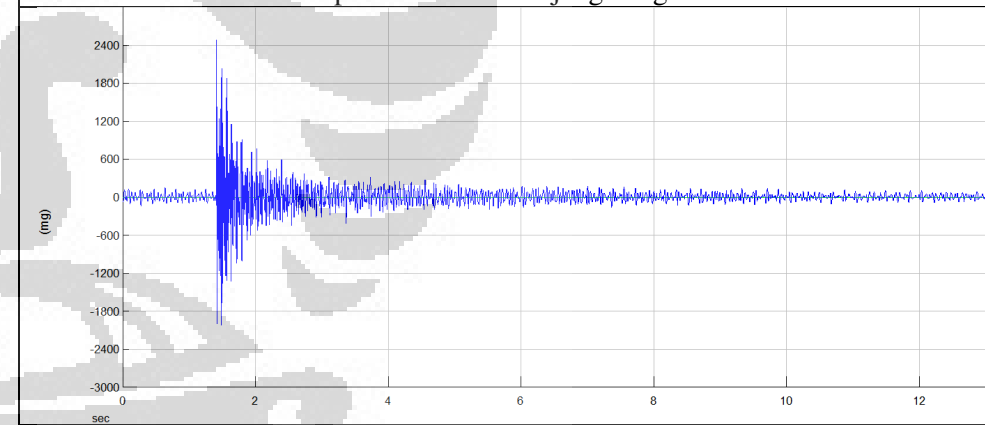
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 7



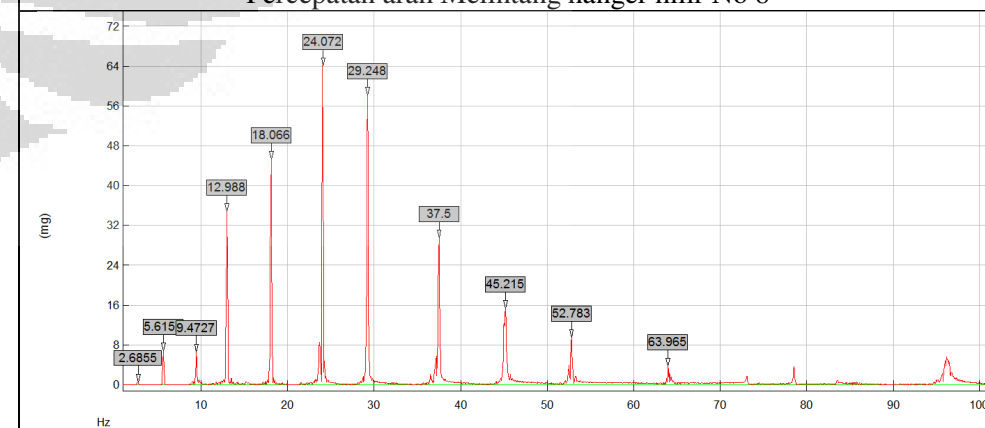
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 8



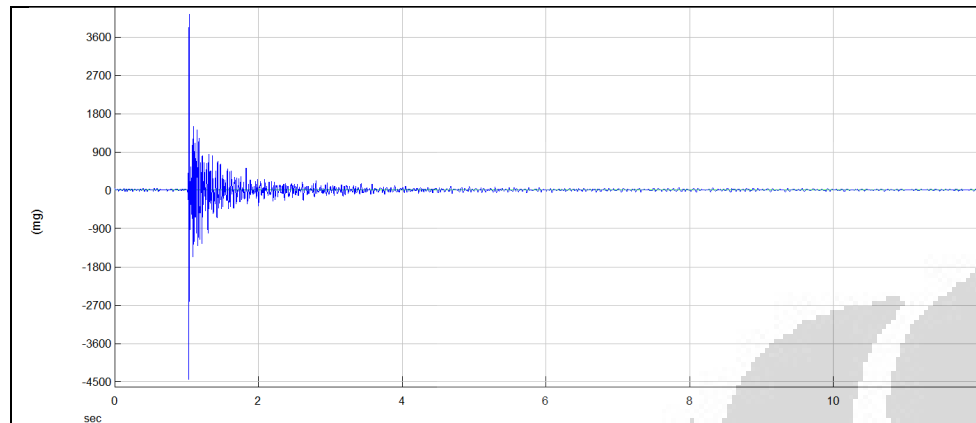
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 8



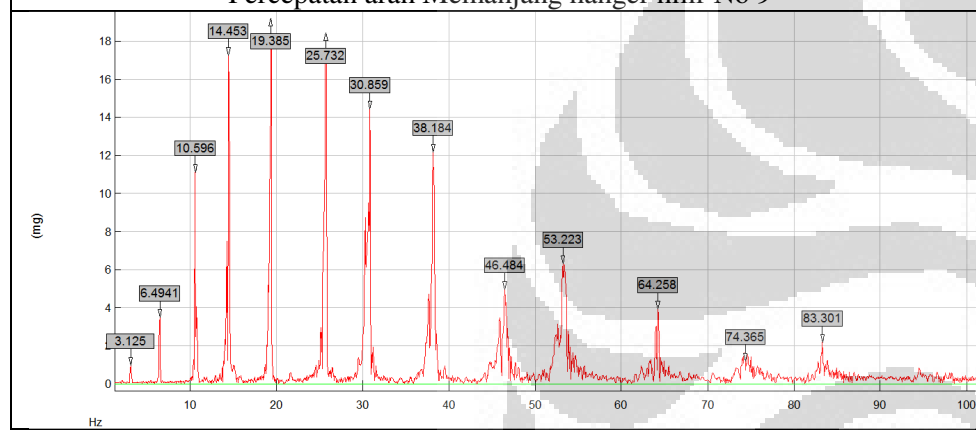
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 8



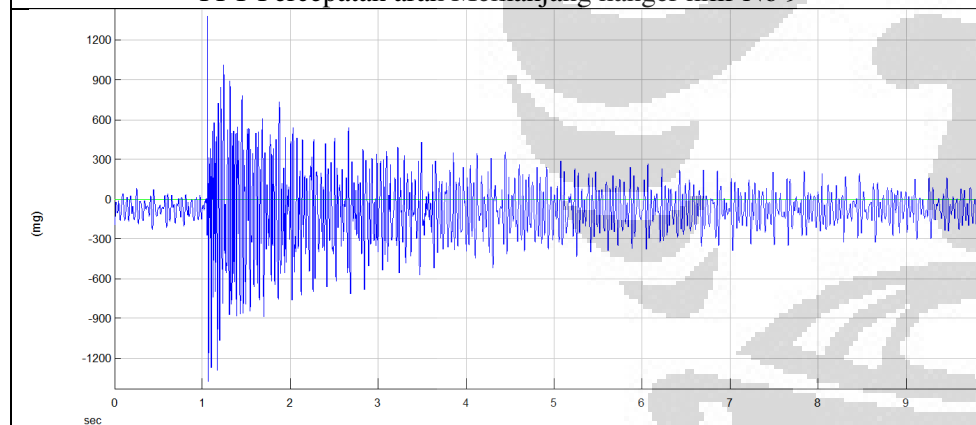
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 8



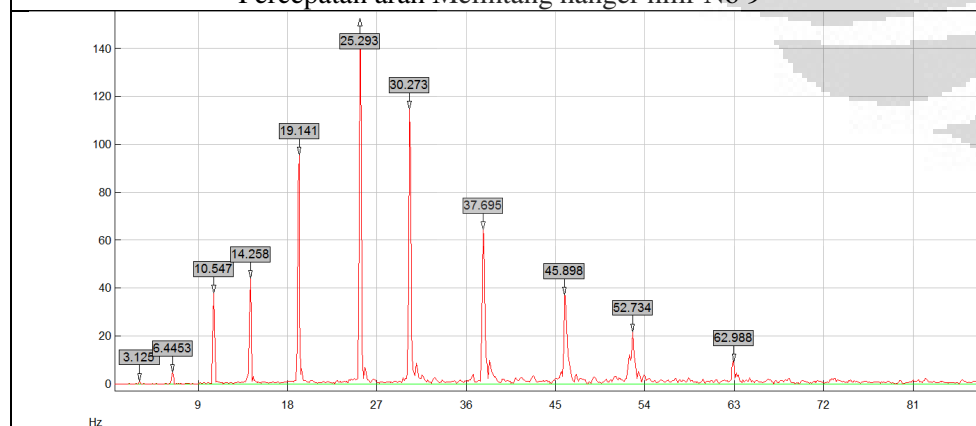
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 9



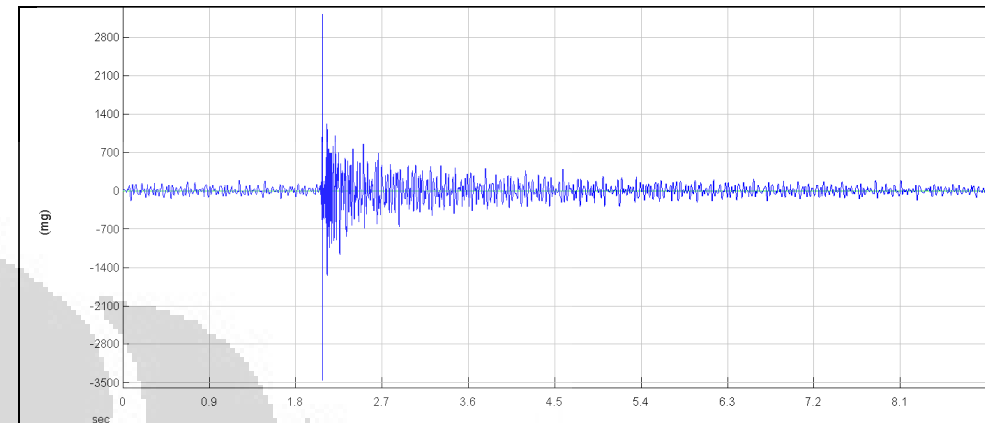
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 9



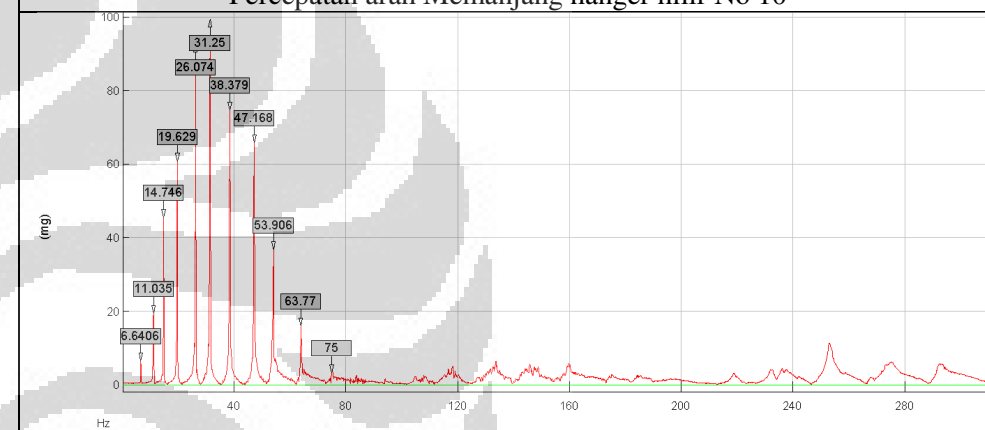
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 9



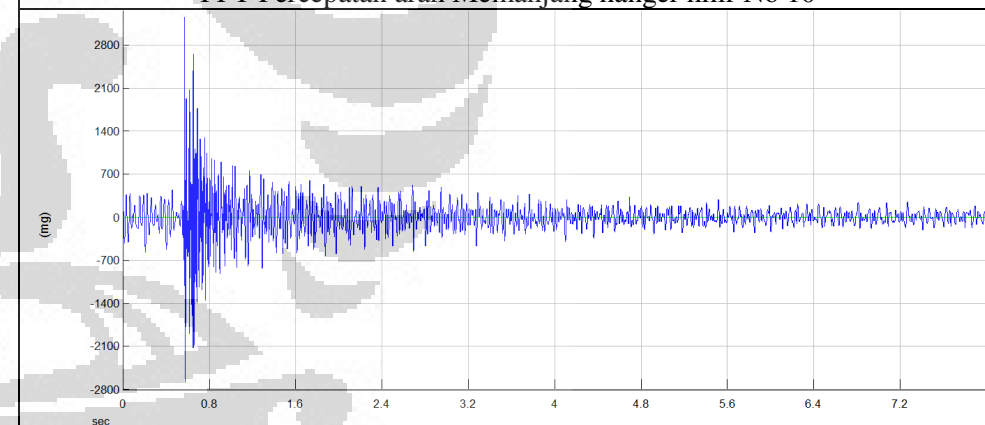
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 9



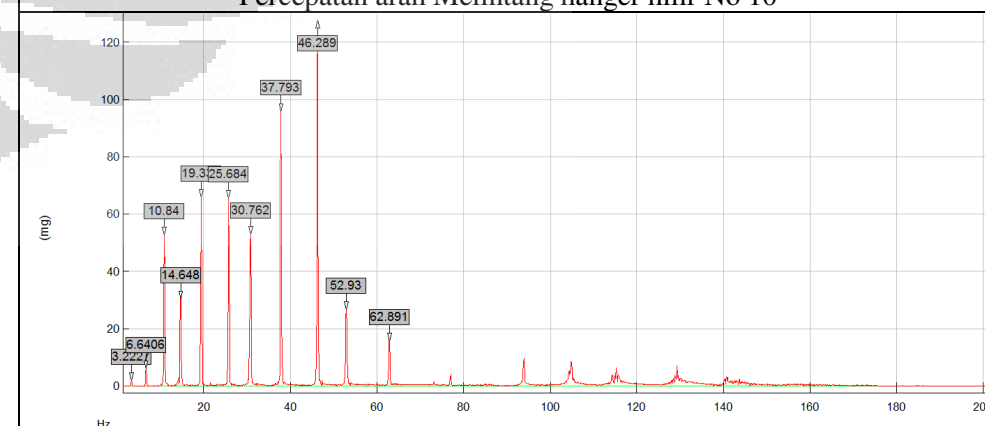
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 10



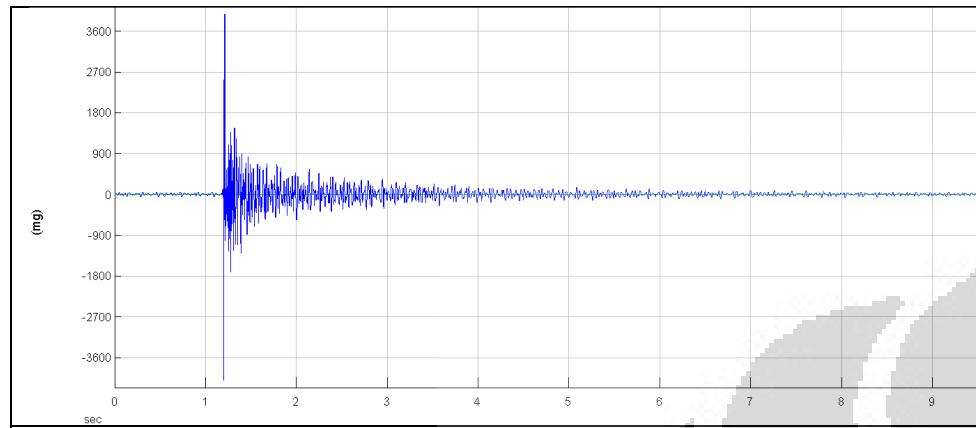
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 10



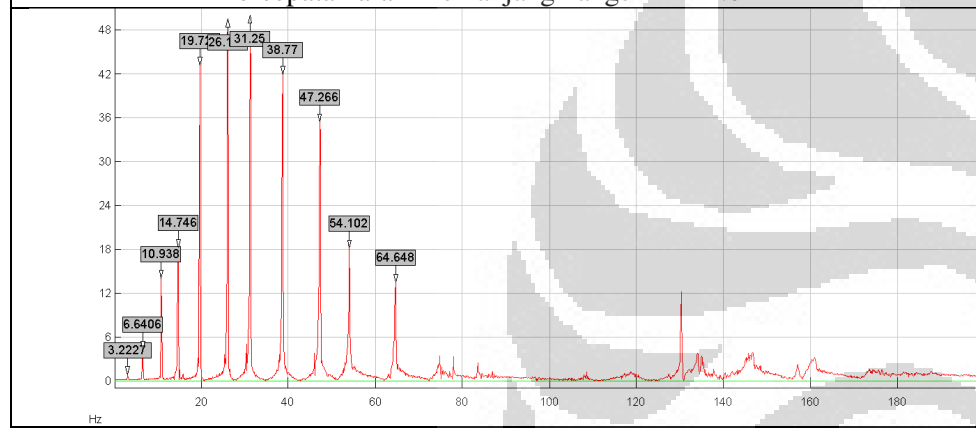
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 10



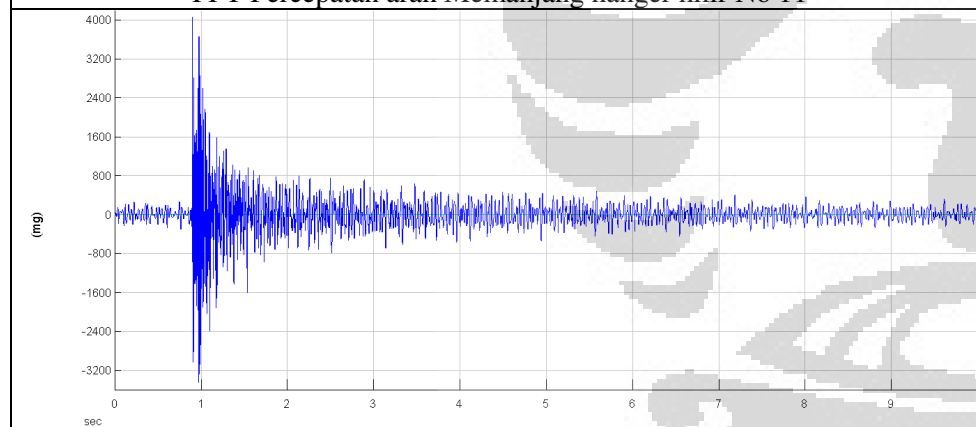
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 10



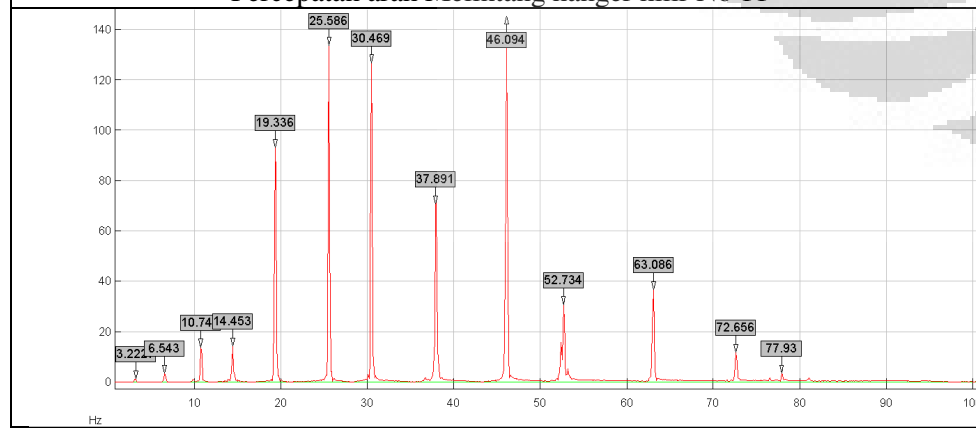
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 11



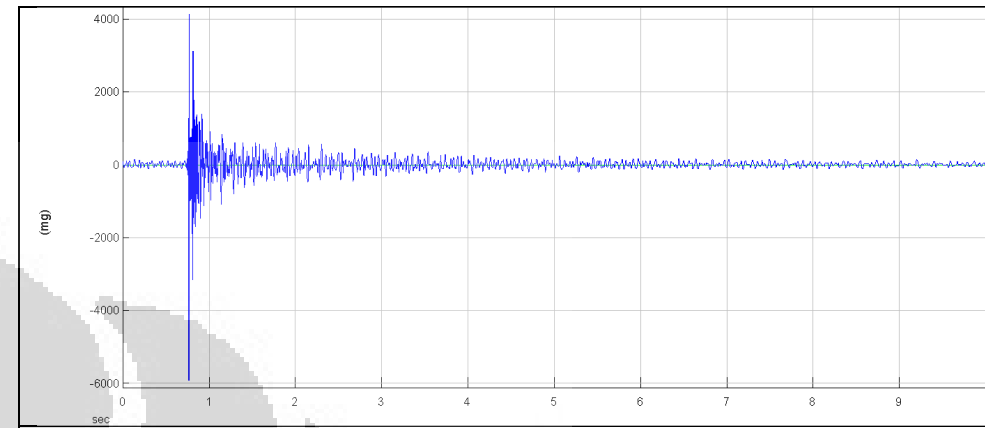
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 11



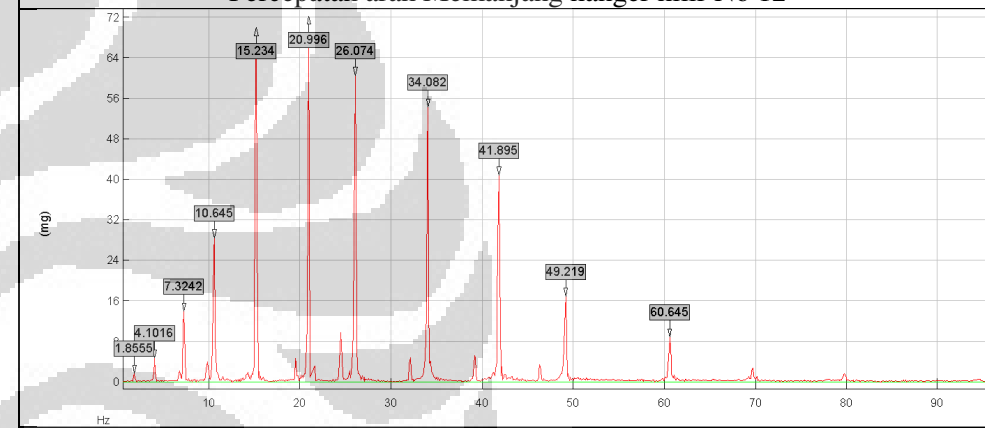
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 11



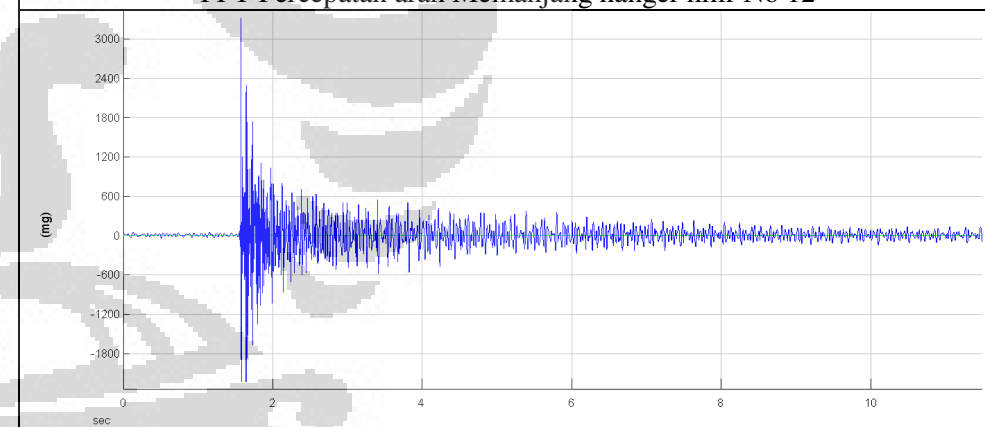
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 11



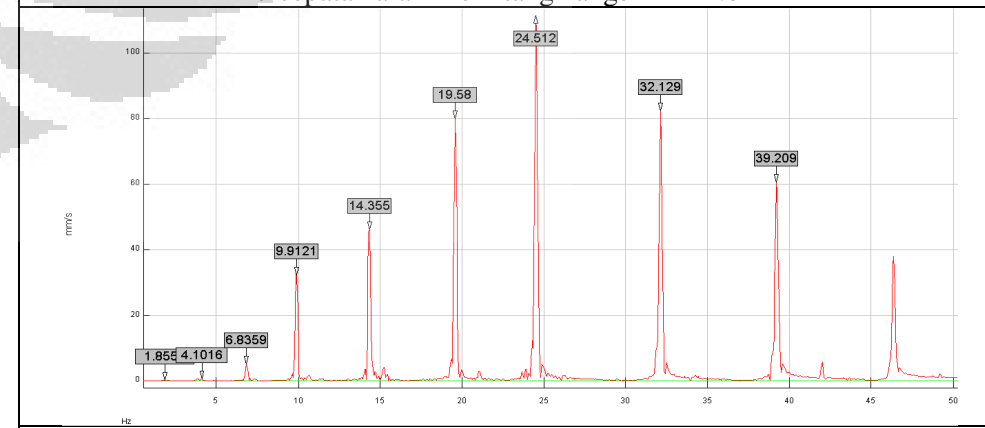
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 12



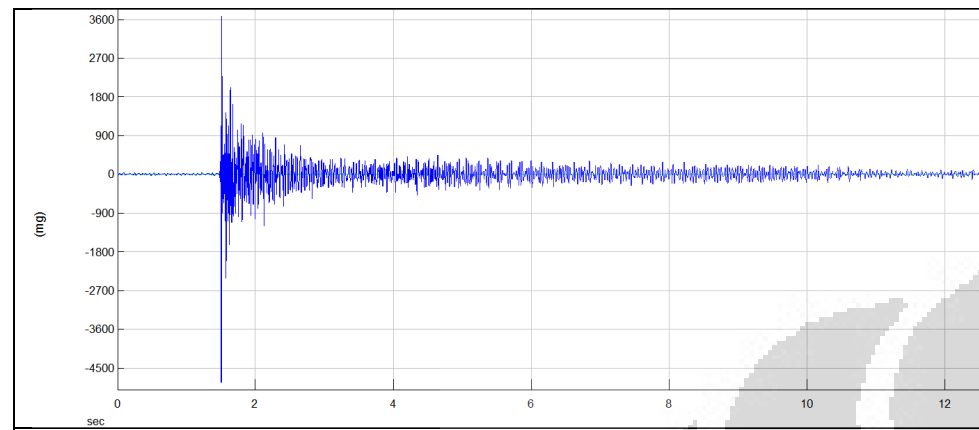
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 12



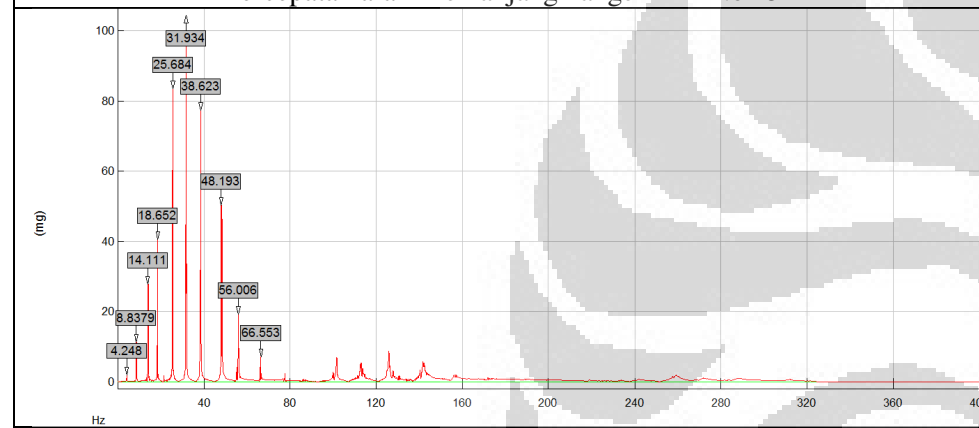
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 12



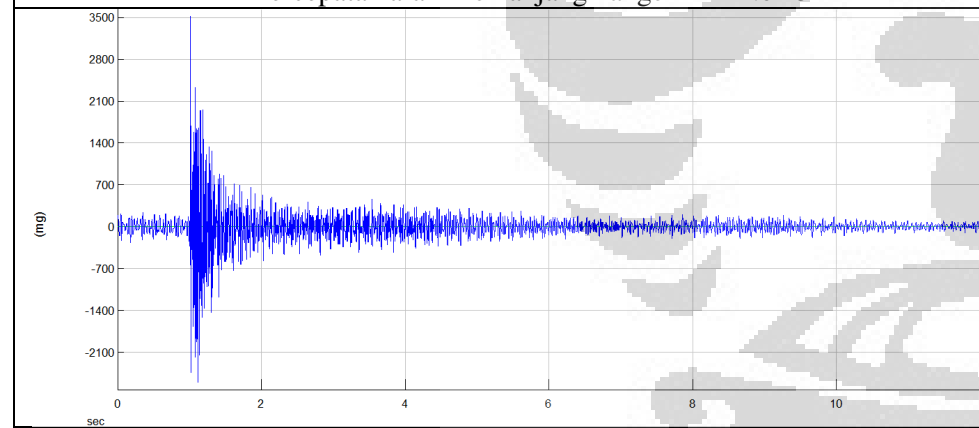
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 12



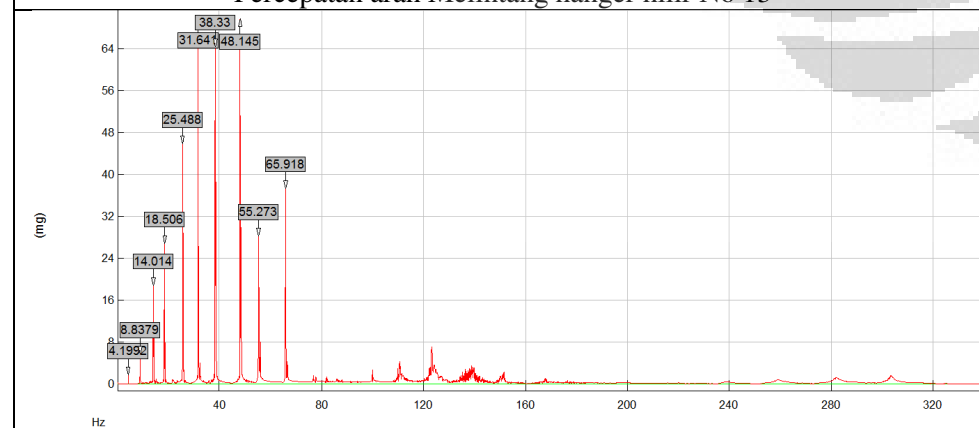
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 13



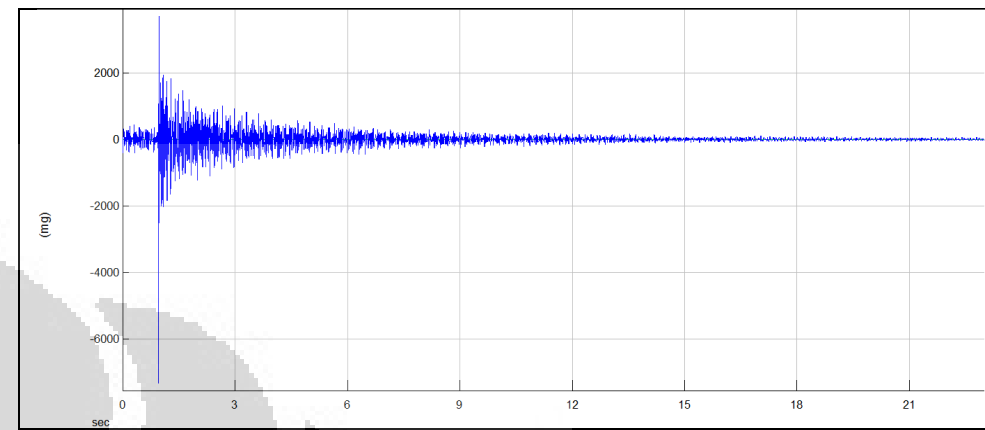
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 13



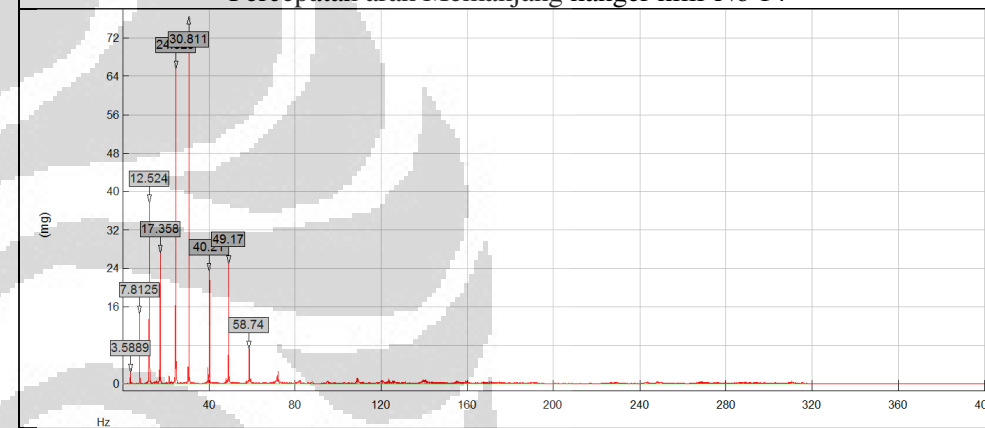
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 13



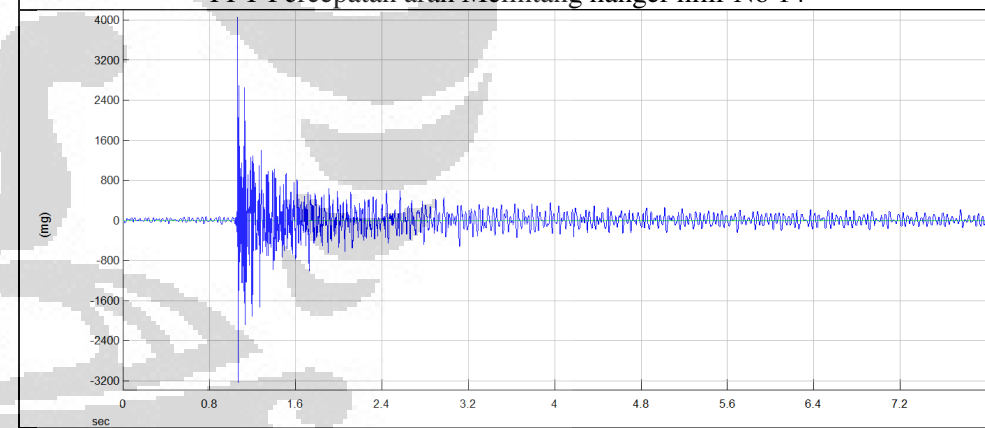
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 13



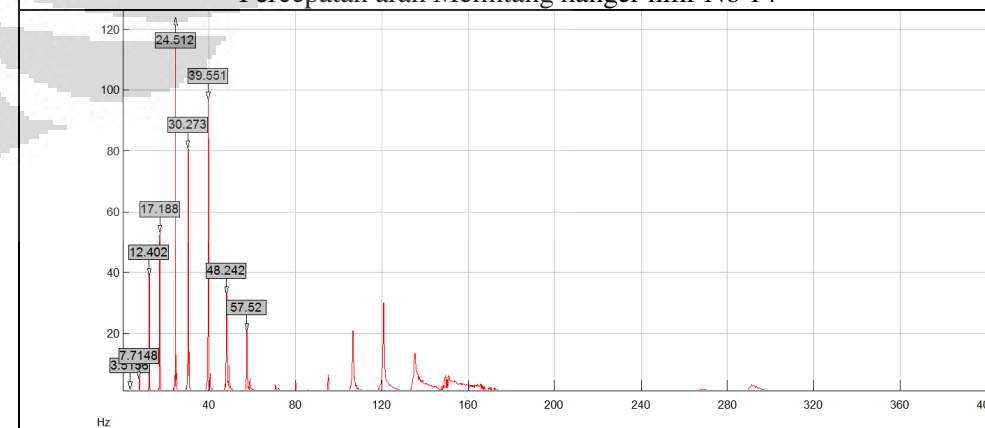
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 14



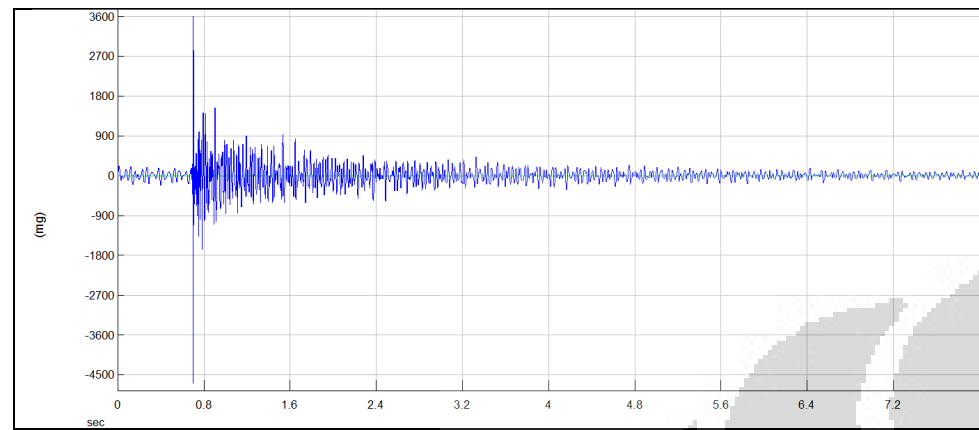
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 14



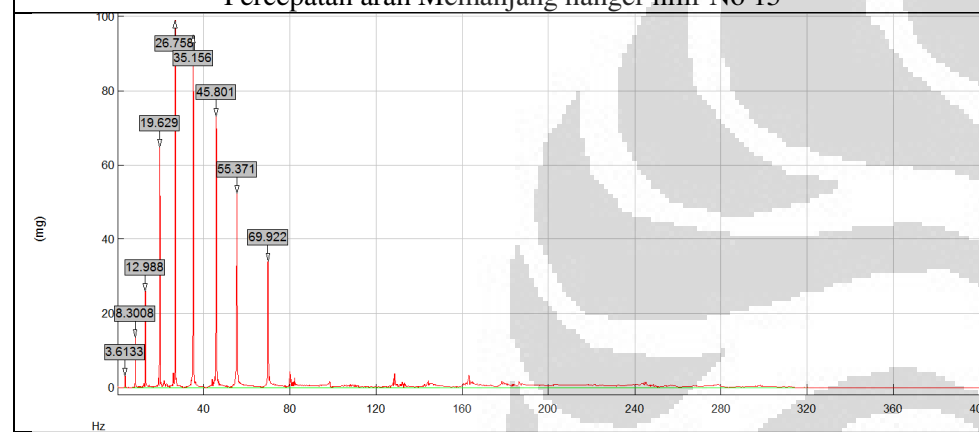
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 14



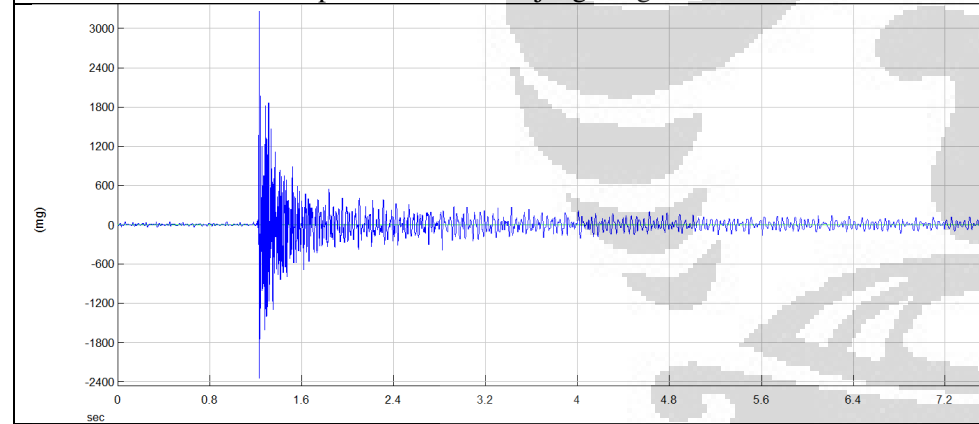
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 14



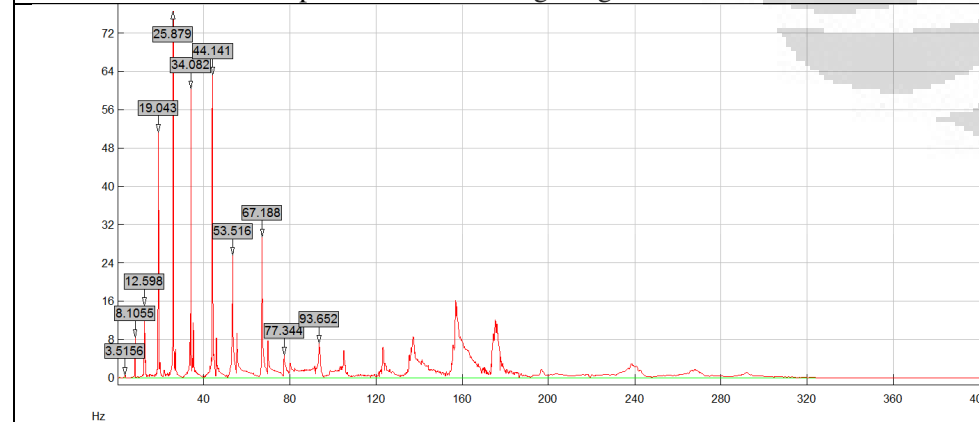
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 15



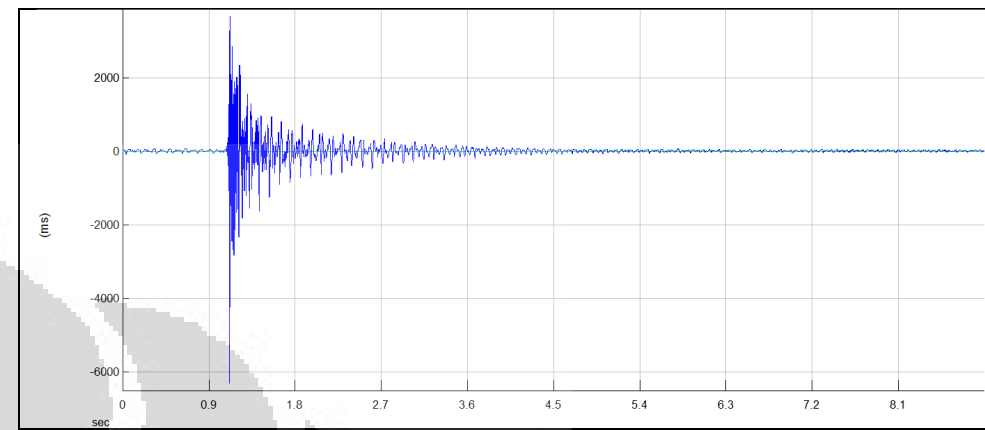
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 15



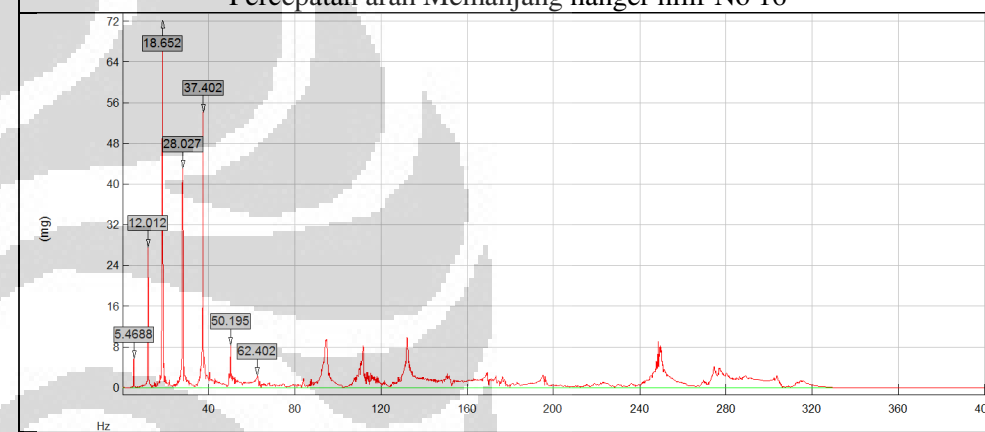
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 15



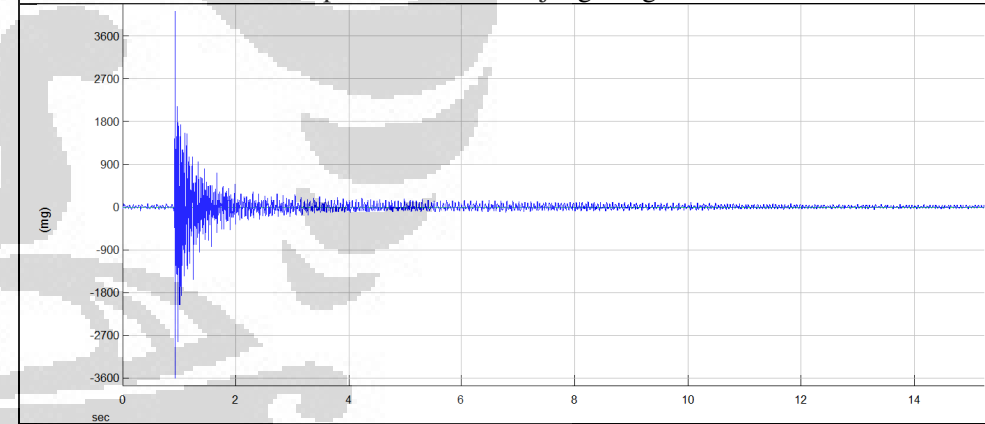
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 15



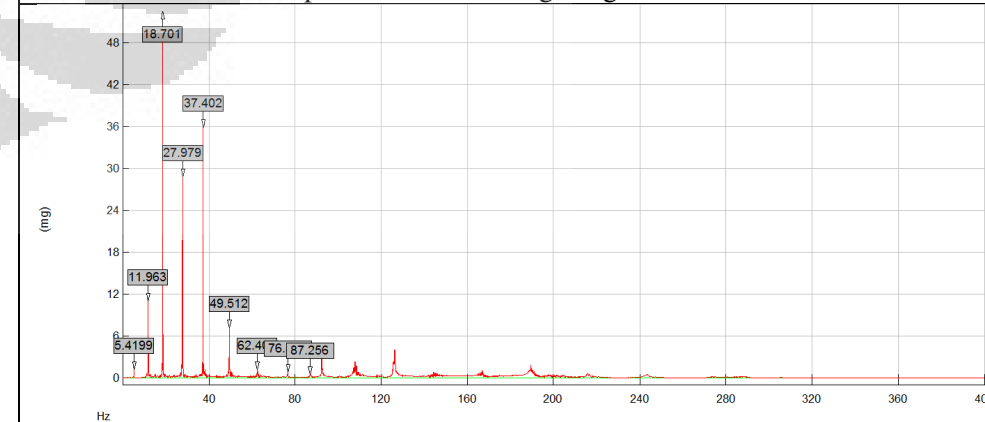
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 16



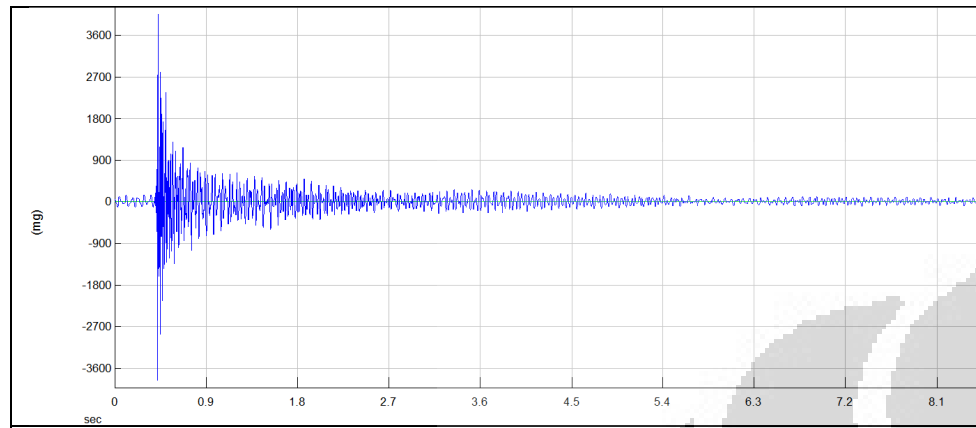
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 16



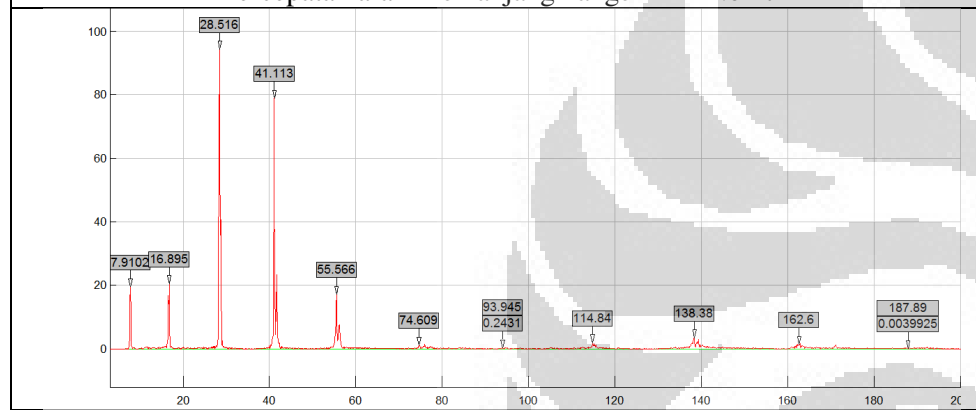
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 16



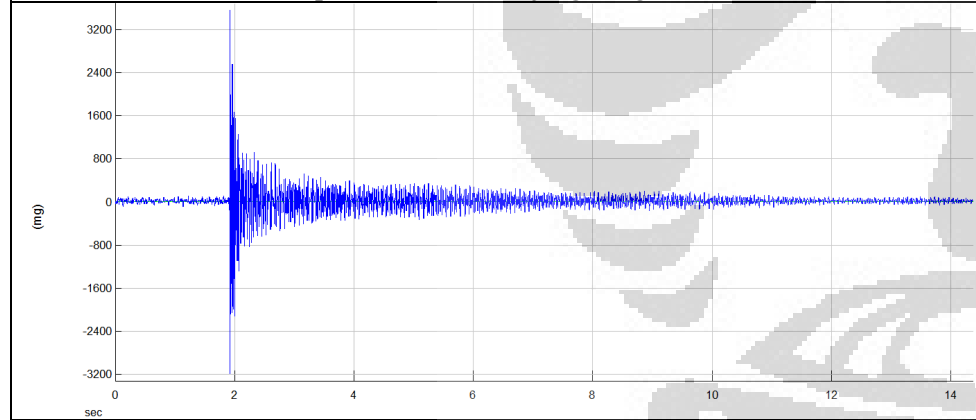
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 16



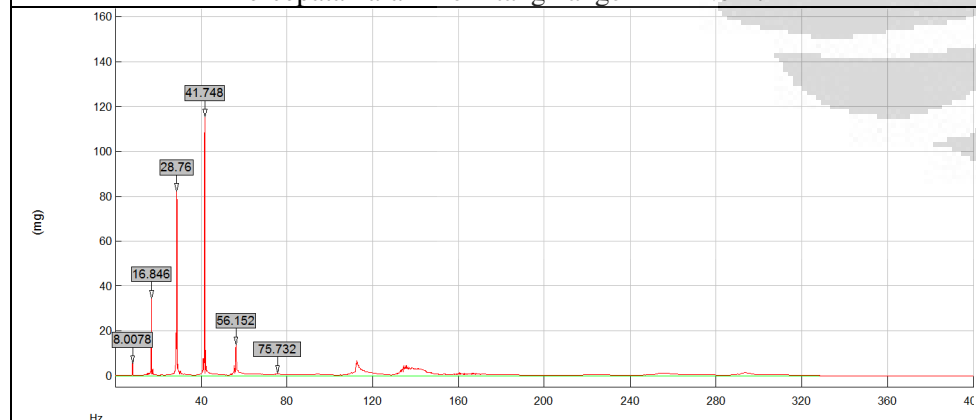
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 17



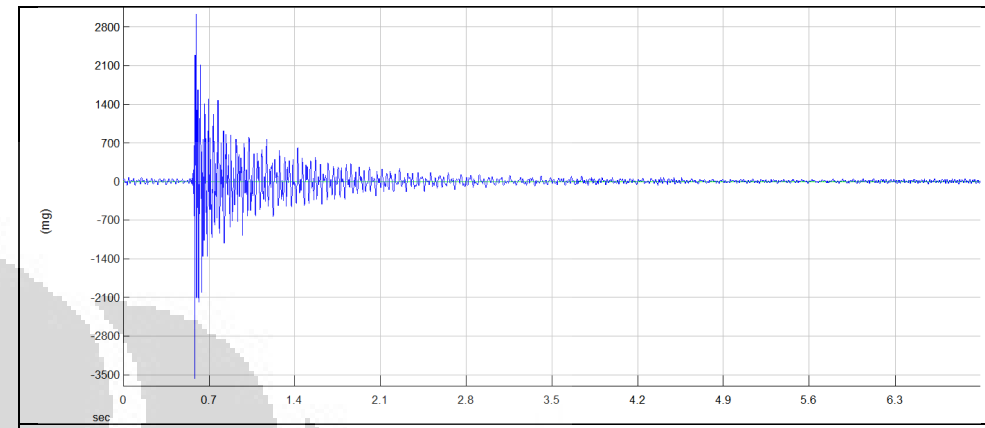
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 17



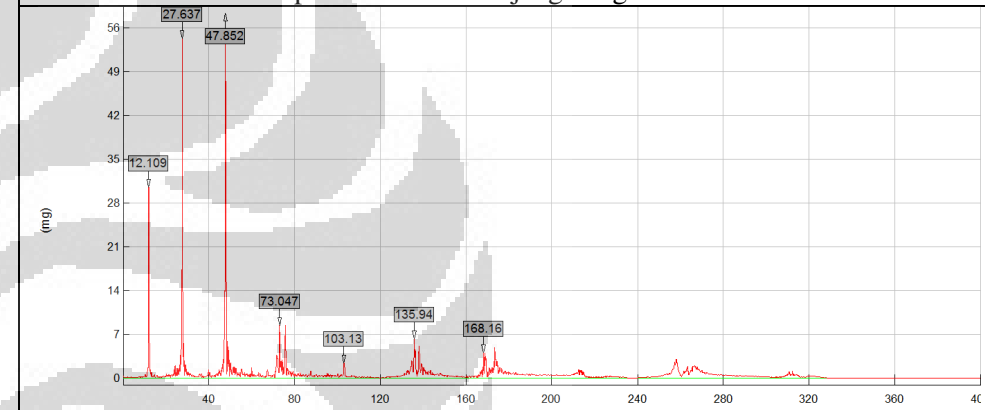
Percepatan arah Melintang hanger hilir No 17



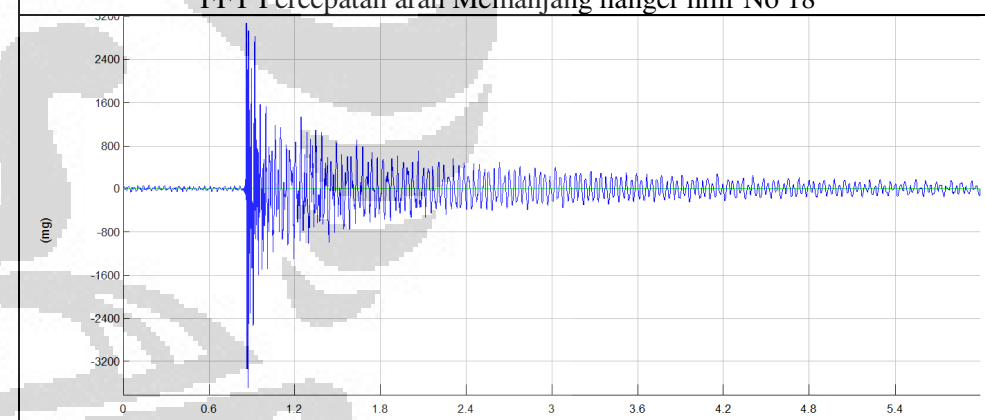
FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 17



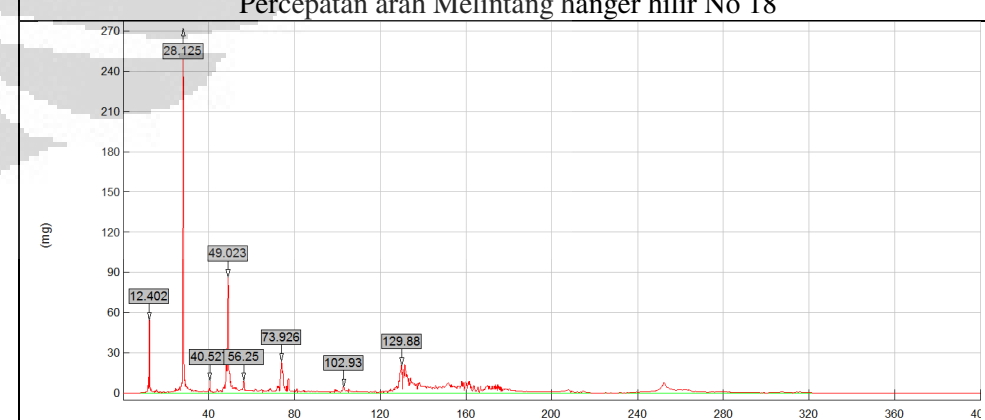
Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 18



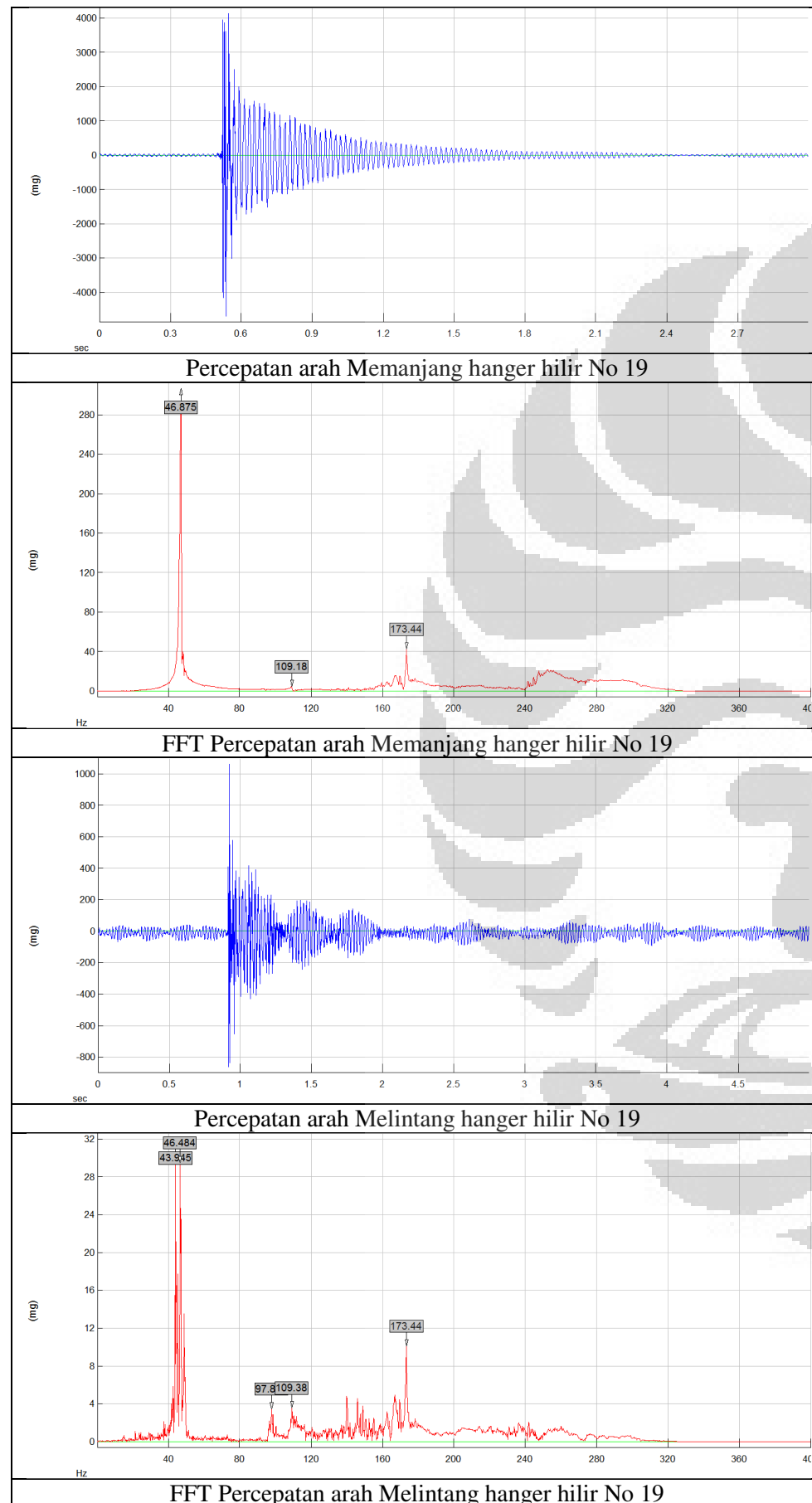
FFT Percepatan arah Memanjang hanger hilir No 18

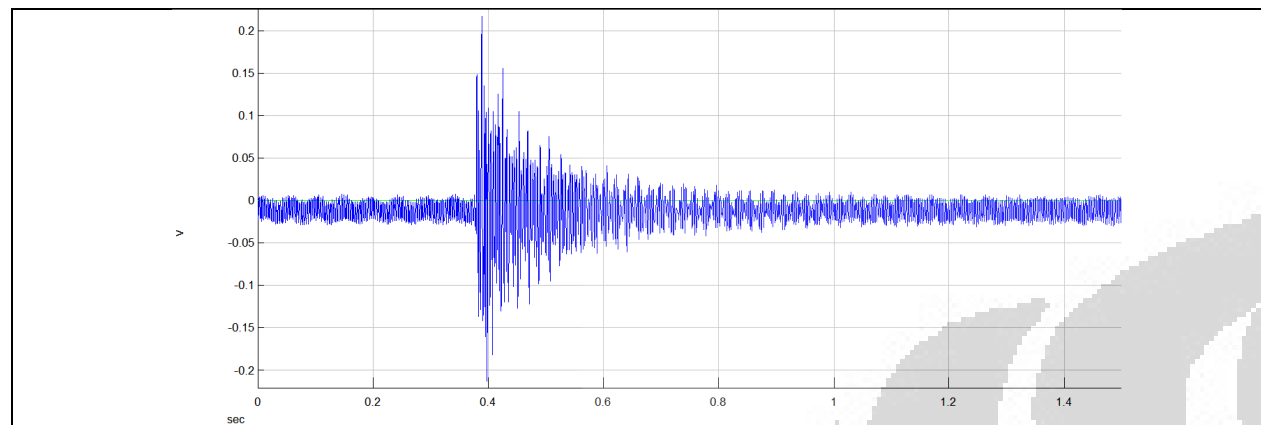


Percepatan arah Melintang hanger hilir No 18

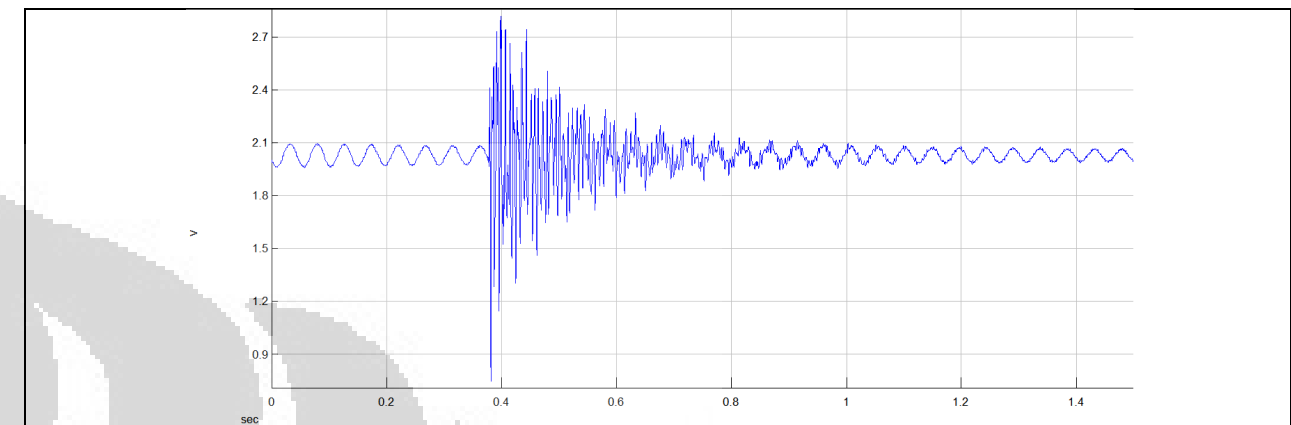


FFT Percepatan arah Melintang hanger hilir No 18

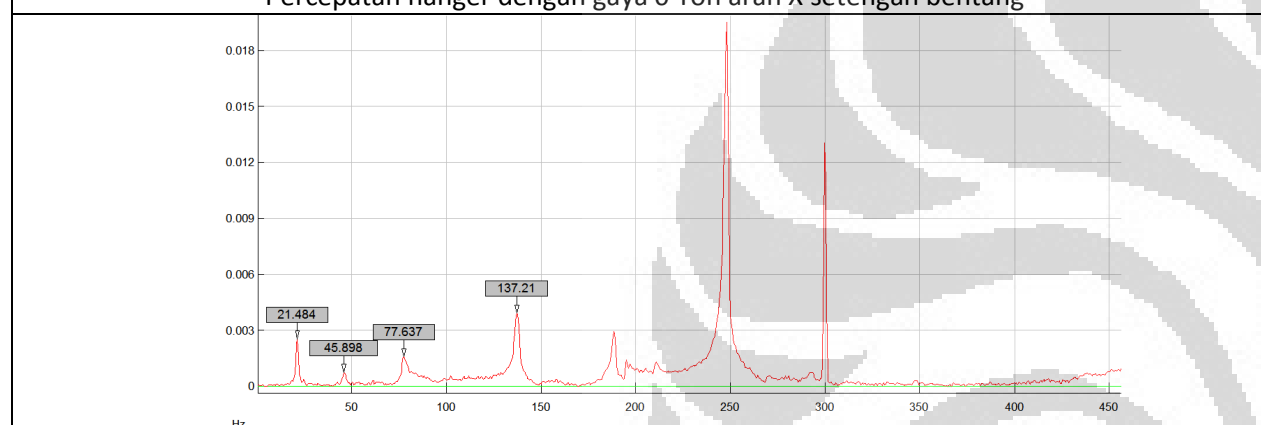




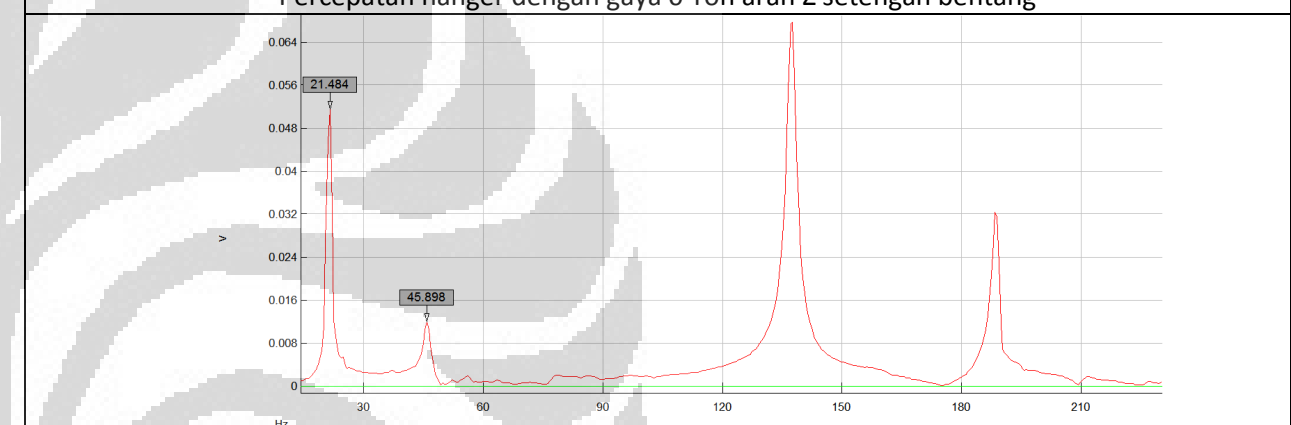
Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah X setengah bentang



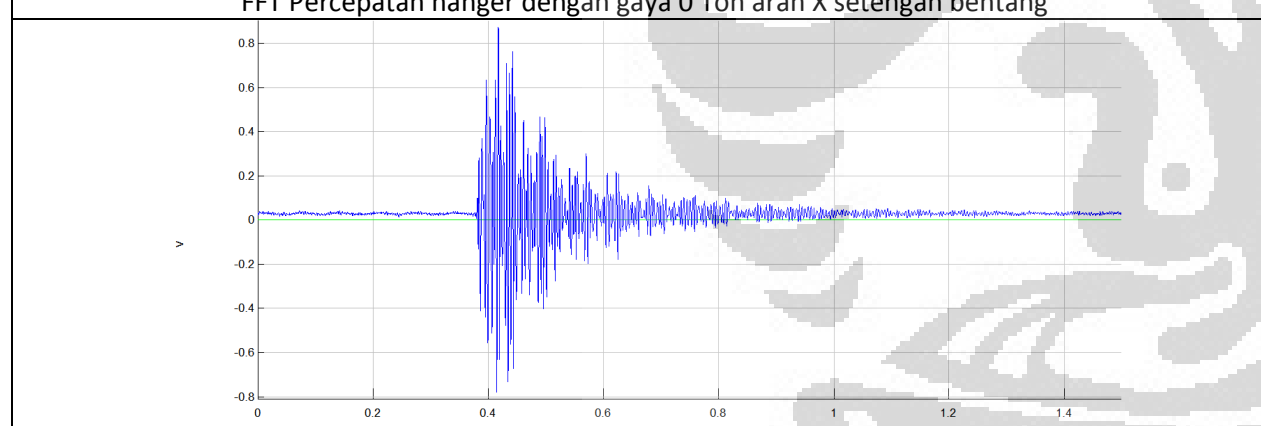
Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah Z setengah bentang



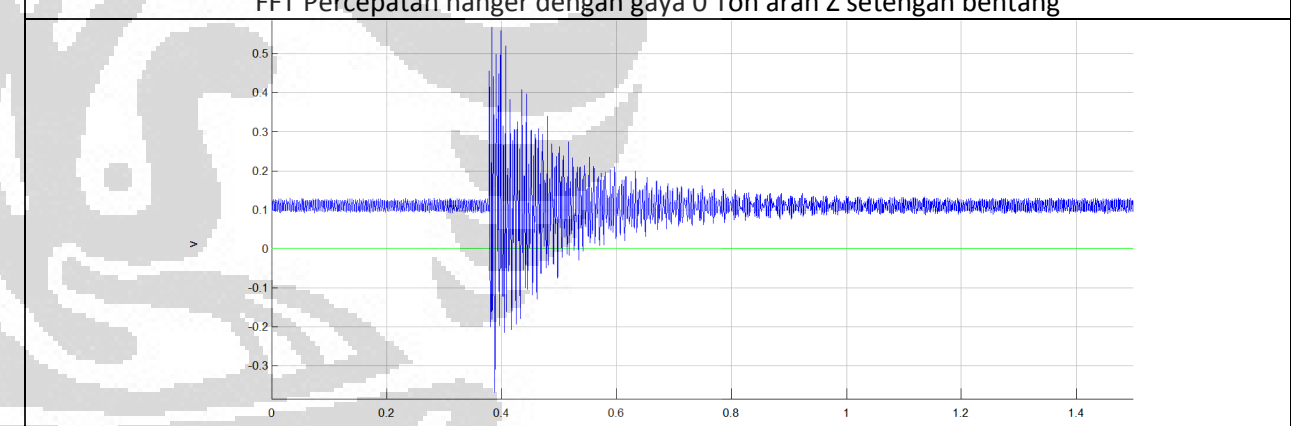
FFT Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah X setengah bentang



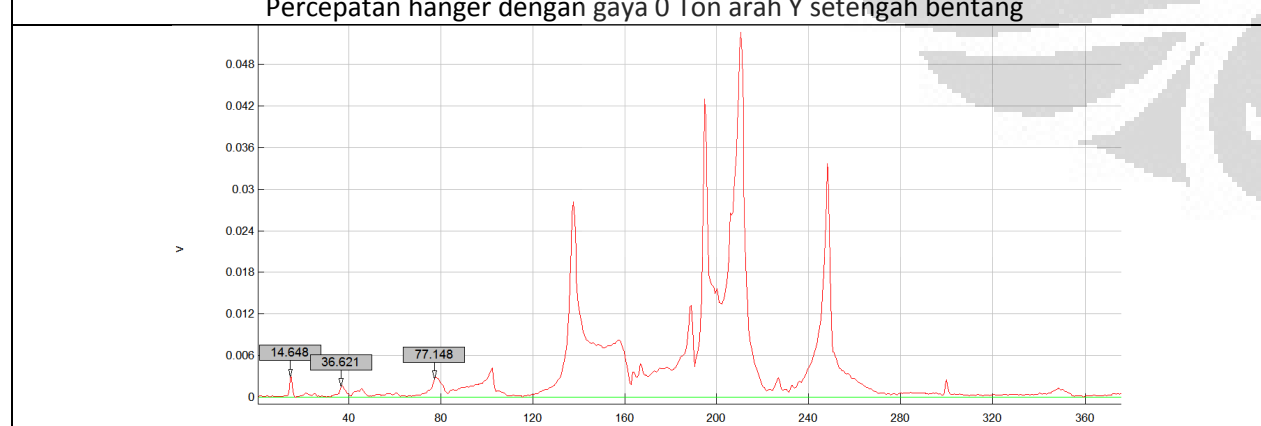
FFT Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah Z setengah bentang



Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah Y setengah bentang



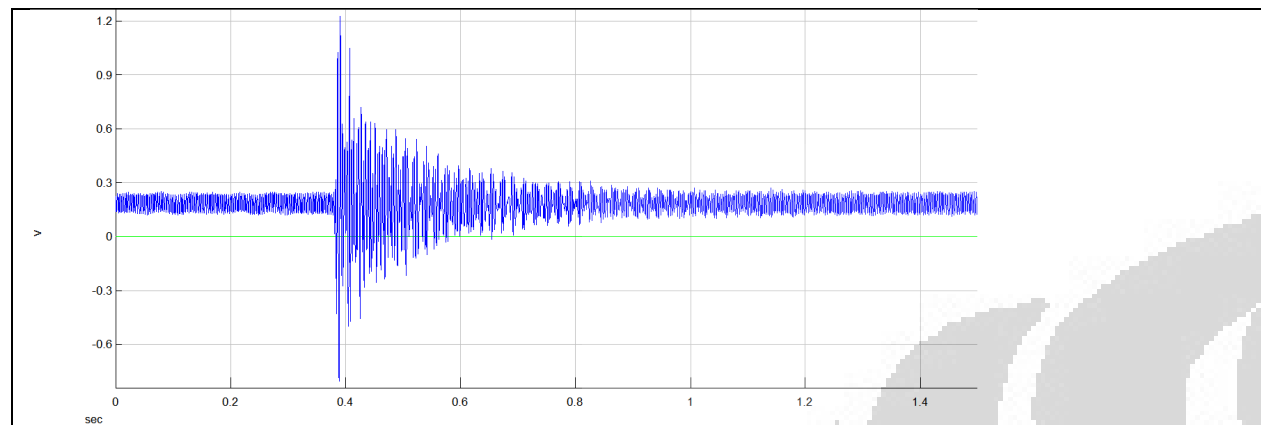
Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah X seperempat bentang



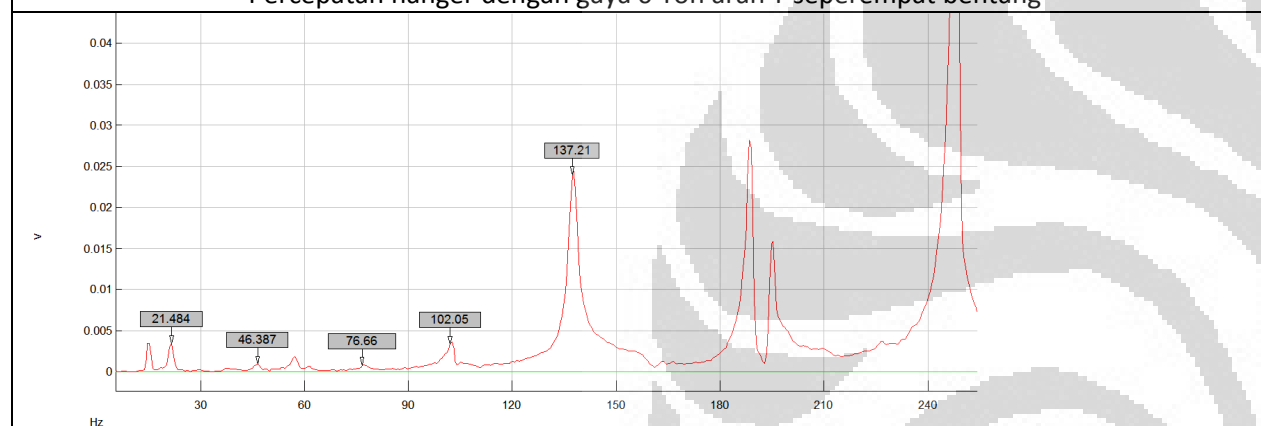
FFT Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah Y setengah bentang



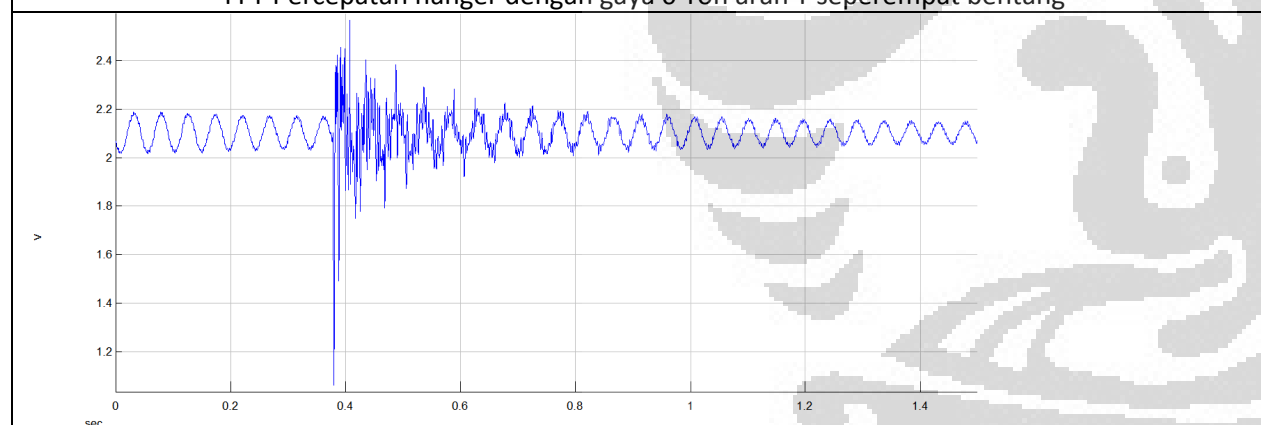
FFT Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah X seperempat bentang



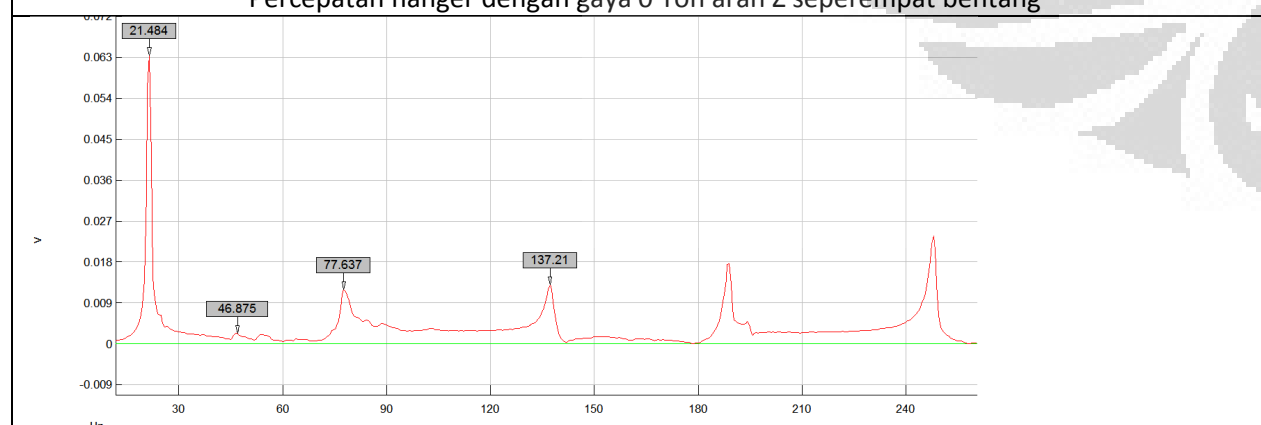
Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah Y seperempat bentang



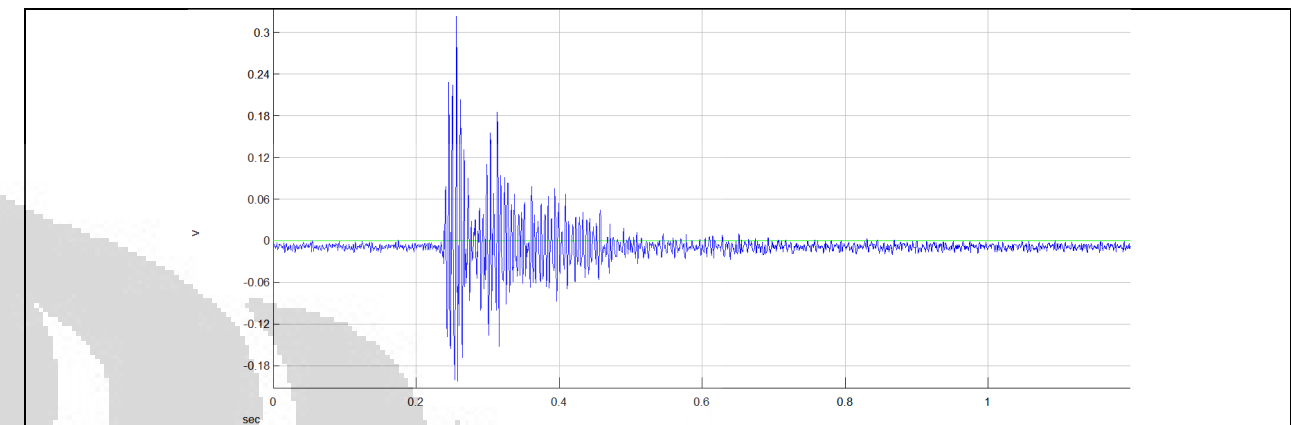
FFT Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah Y seperempat bentang



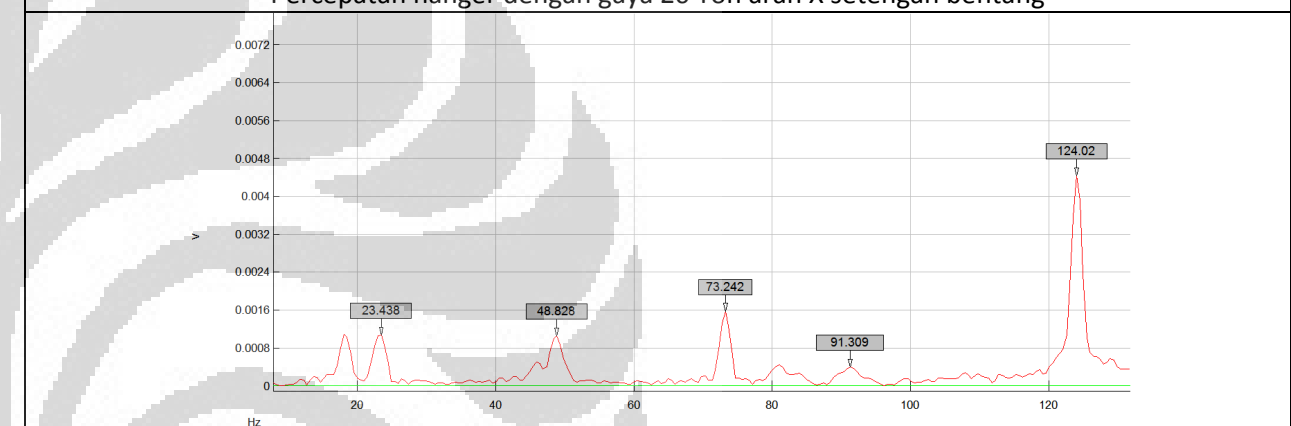
Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah Z seperempat bentang



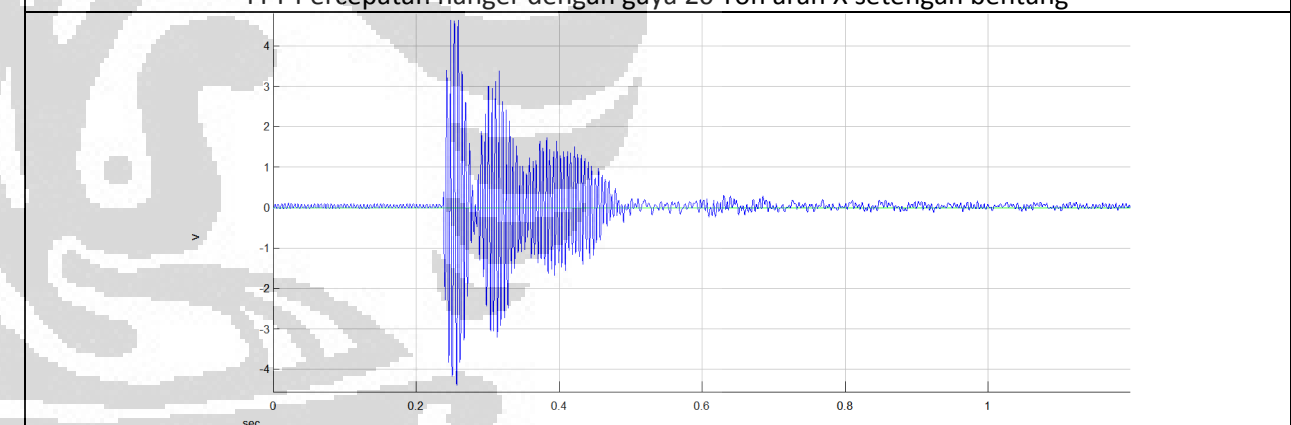
FFT Percepatan hanger dengan gaya 0 Ton arah Z seperempat bentang



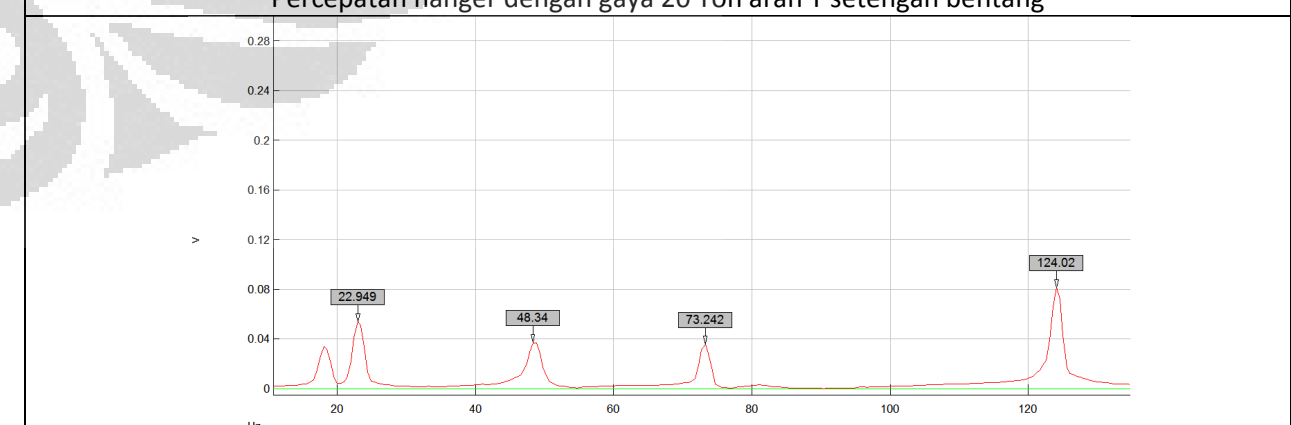
Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah X setengah bentang



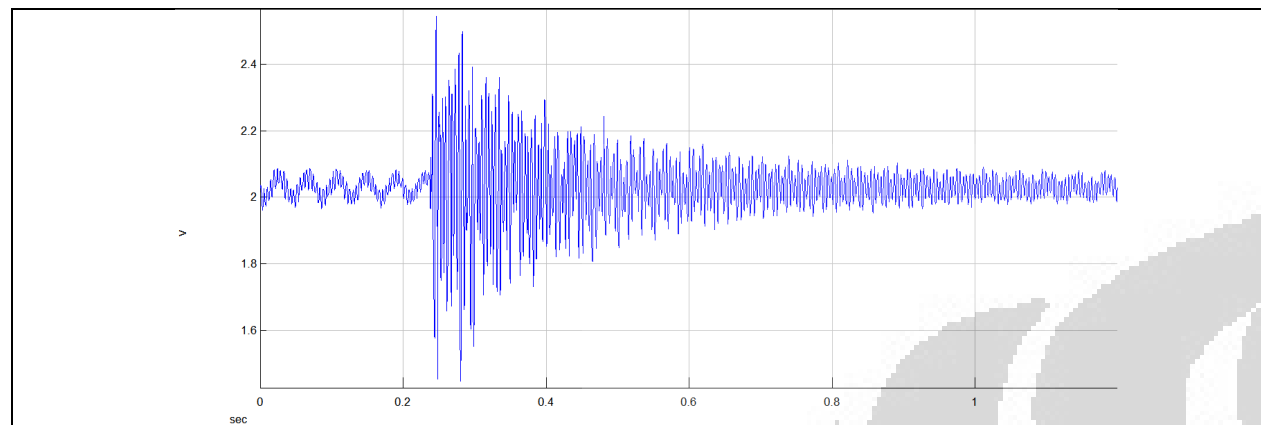
FFT Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah X setengah bentang



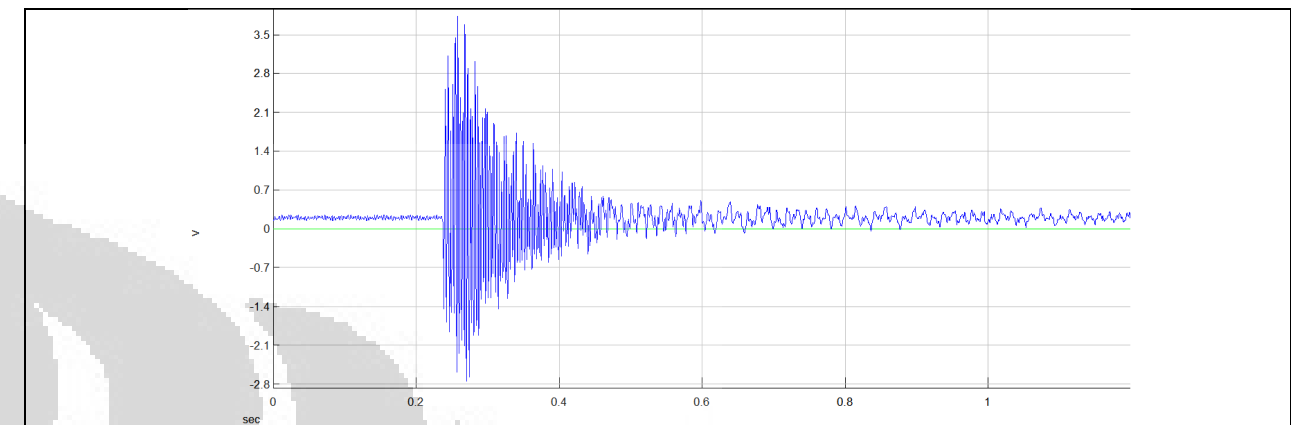
Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah Y setengah bentang



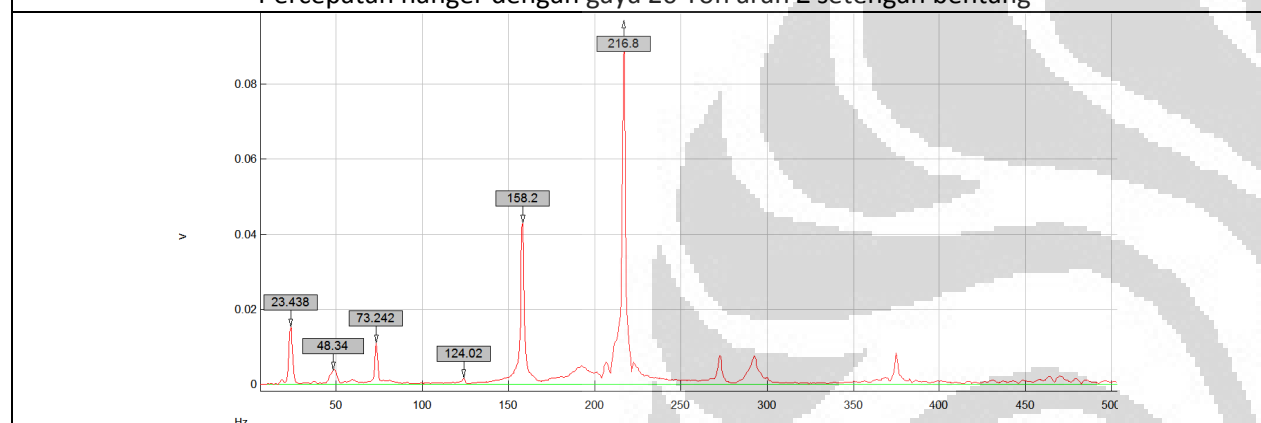
FFT Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah Y setengah bentang



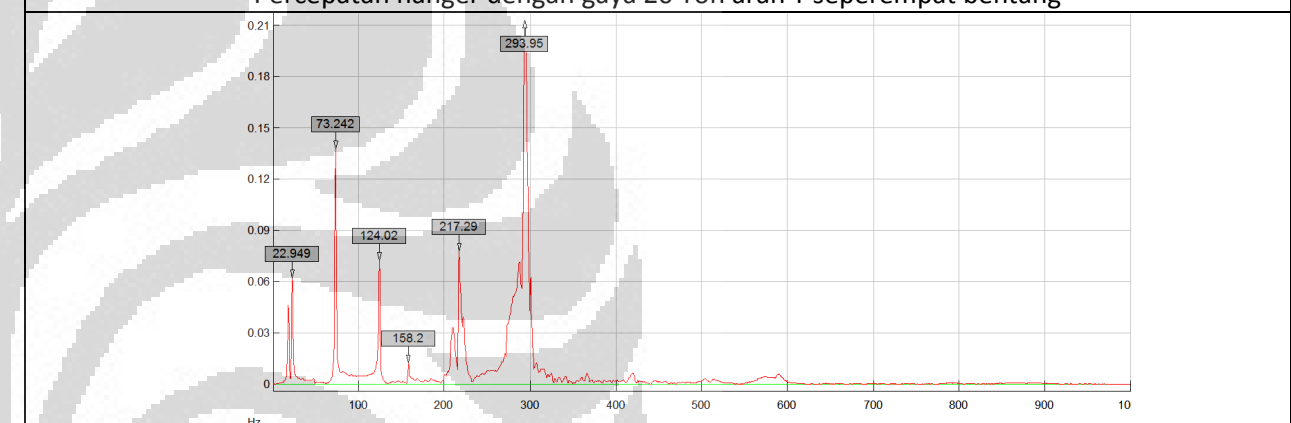
Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah Z setengah bentang



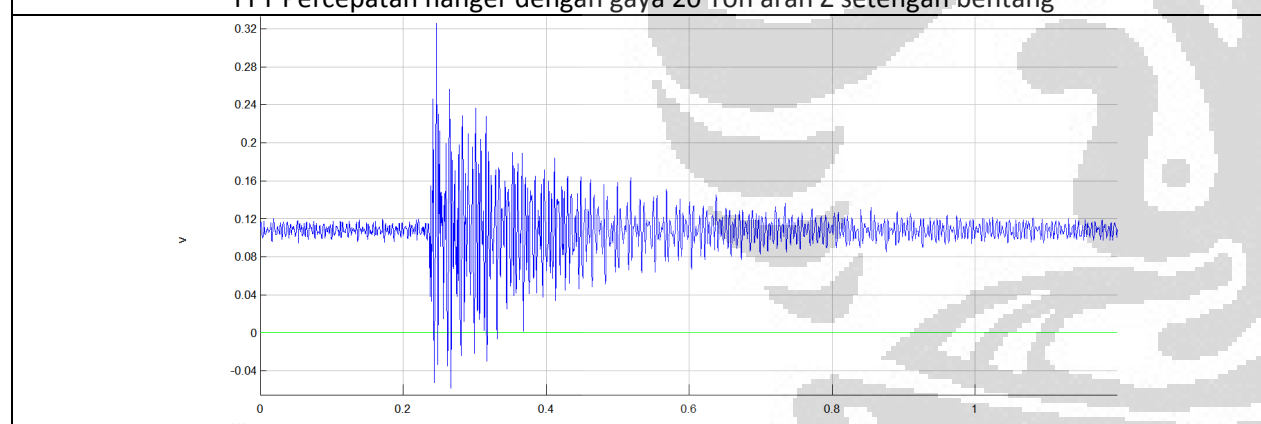
Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah Y seperempat bentang



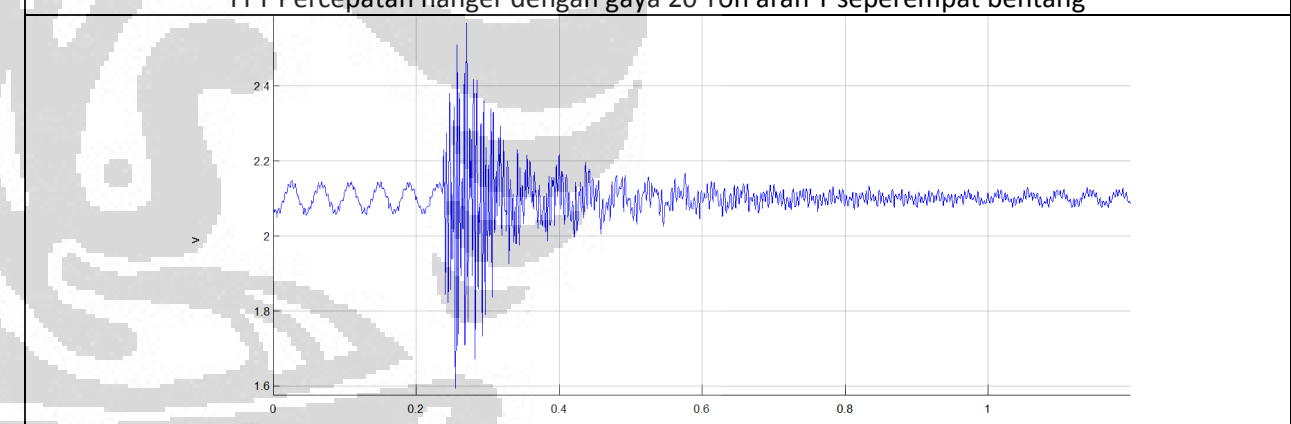
FFT Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah Z setengah bentang



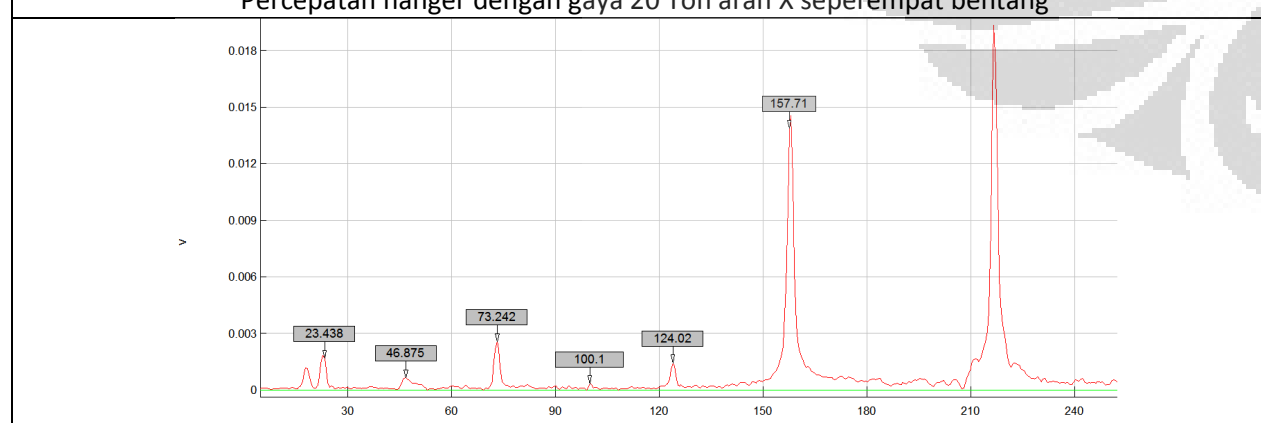
FFT Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah Y seperempat bentang



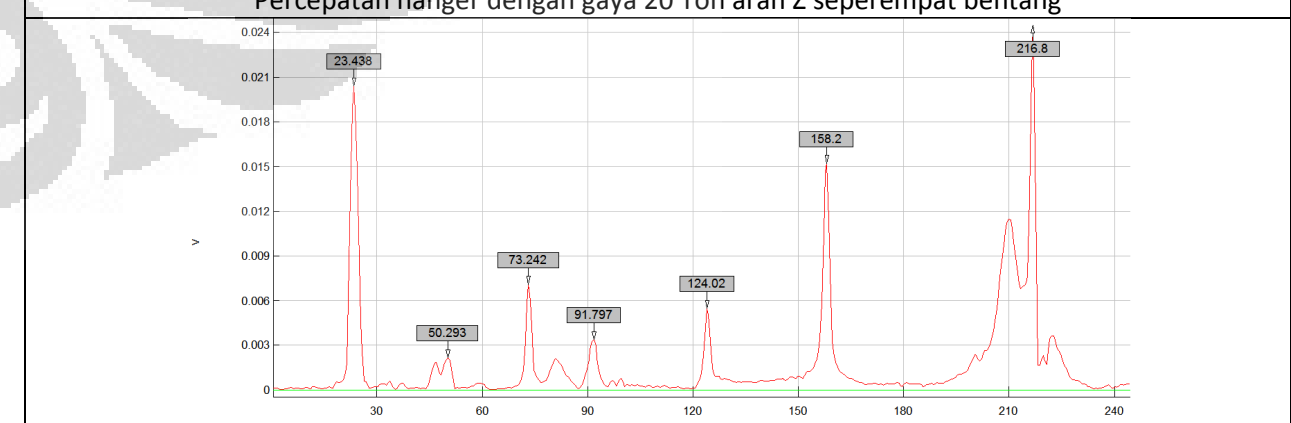
Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah X seperempat bentang



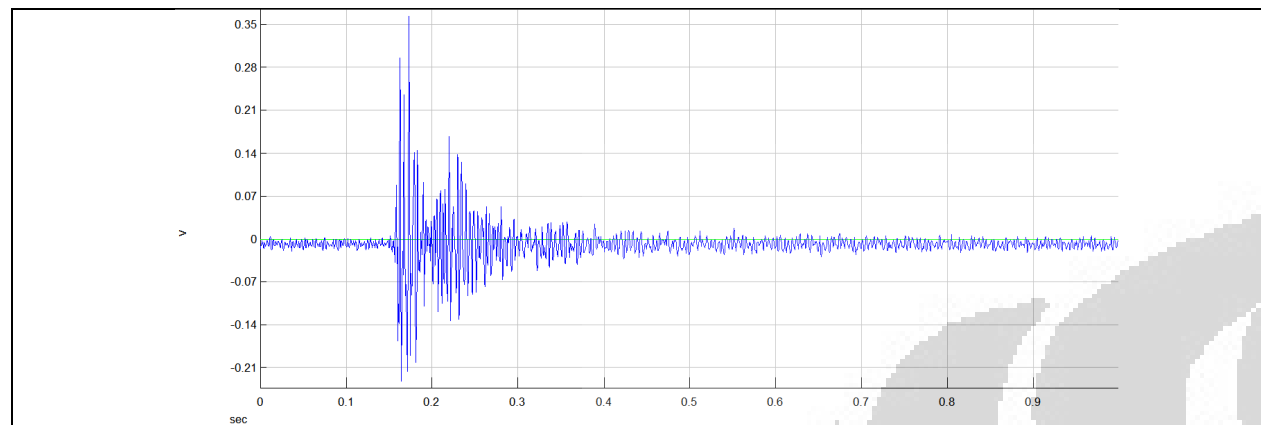
Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah Z seperempat bentang



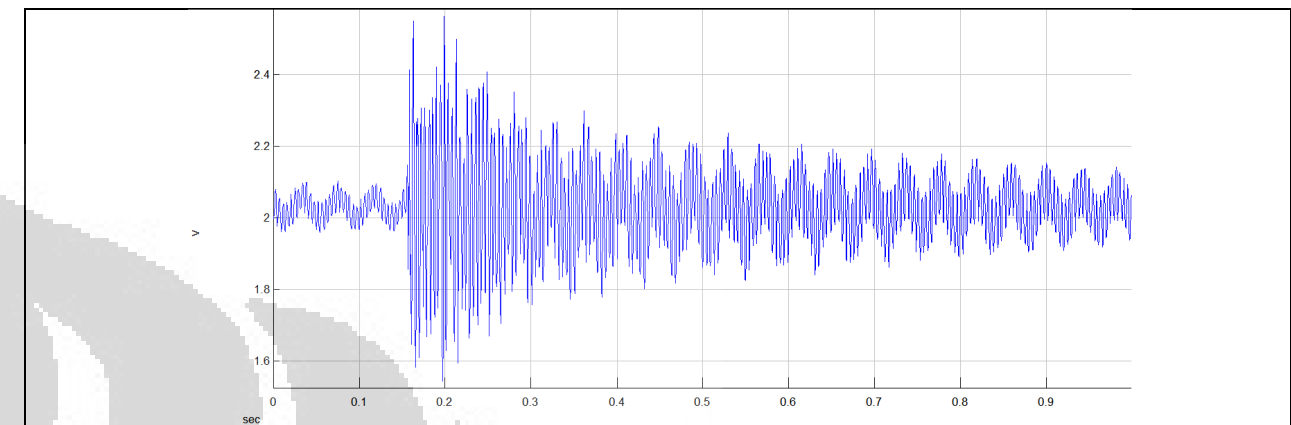
FFT Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah X seperempat bentang



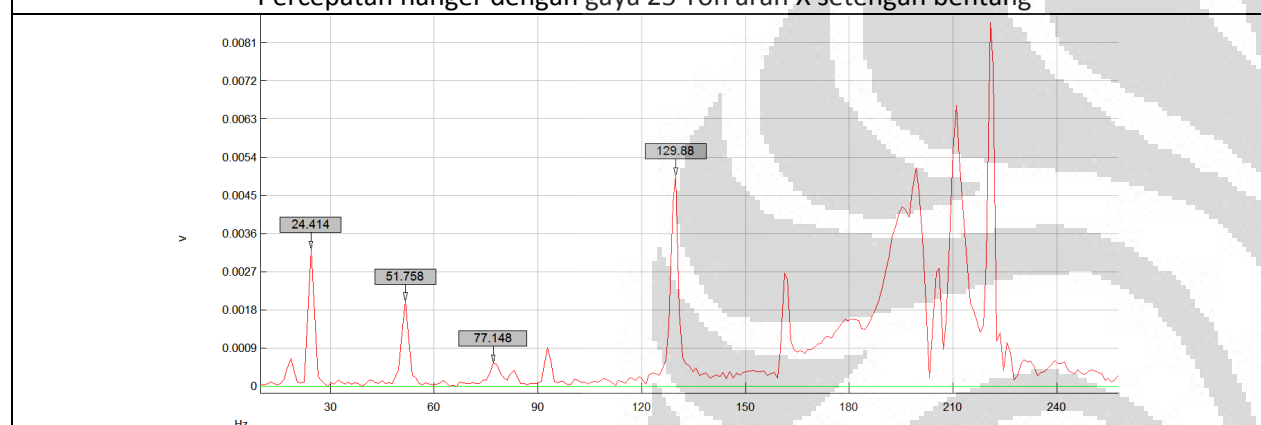
FFT Percepatan hanger dengan gaya 20 Ton arah Z seperempat bentang



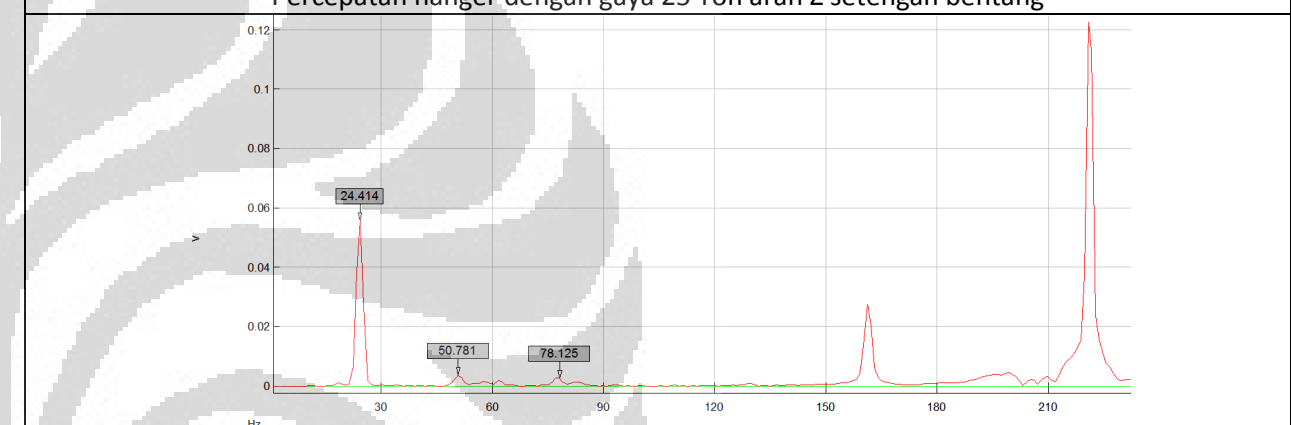
Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah X setengah bentang



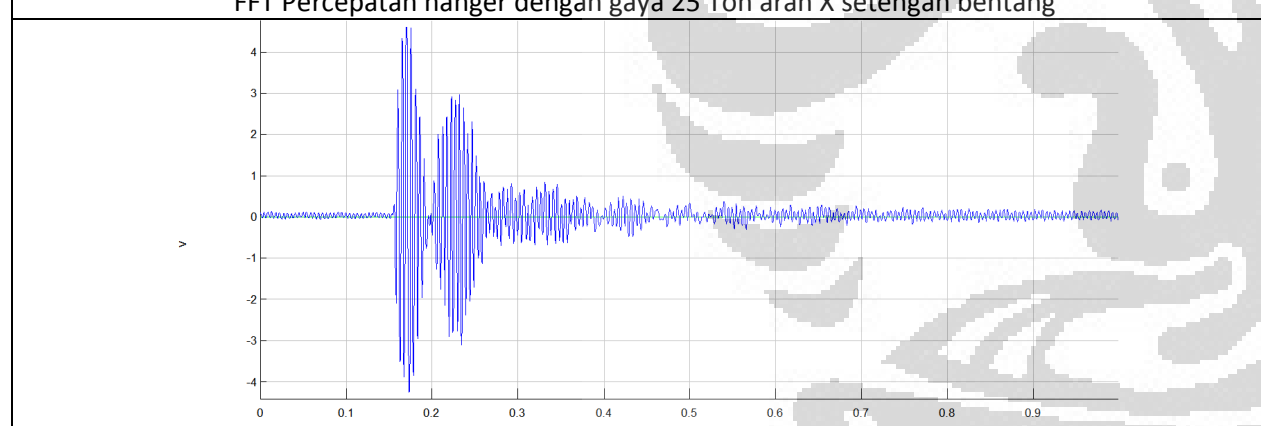
Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah Z setengah bentang



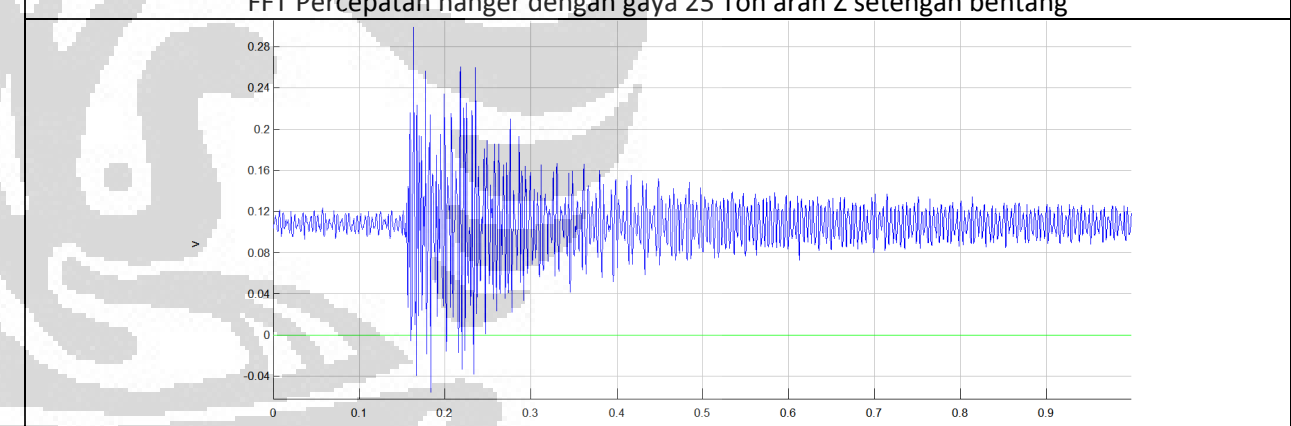
FFT Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah X setengah bentang



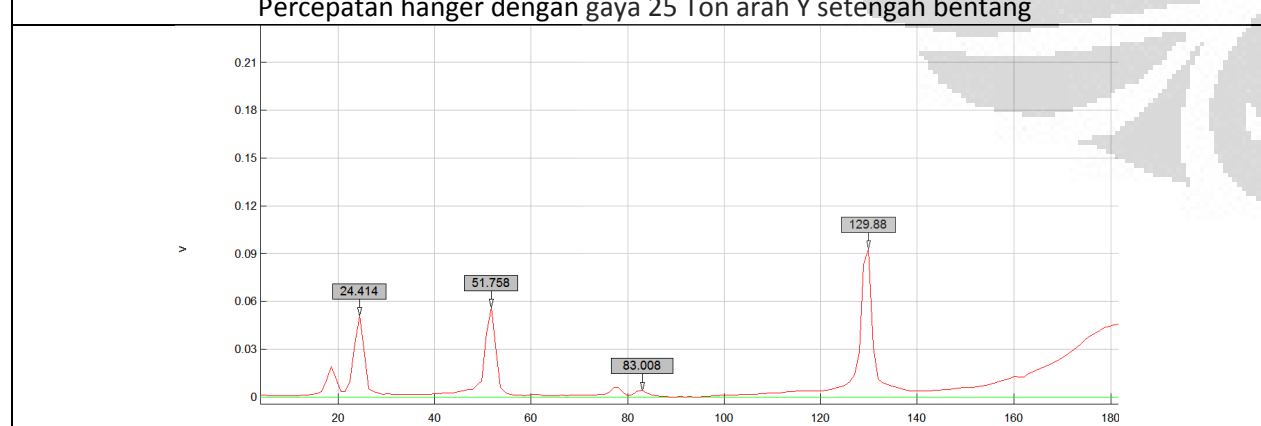
FFT Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah Z setengah bentang



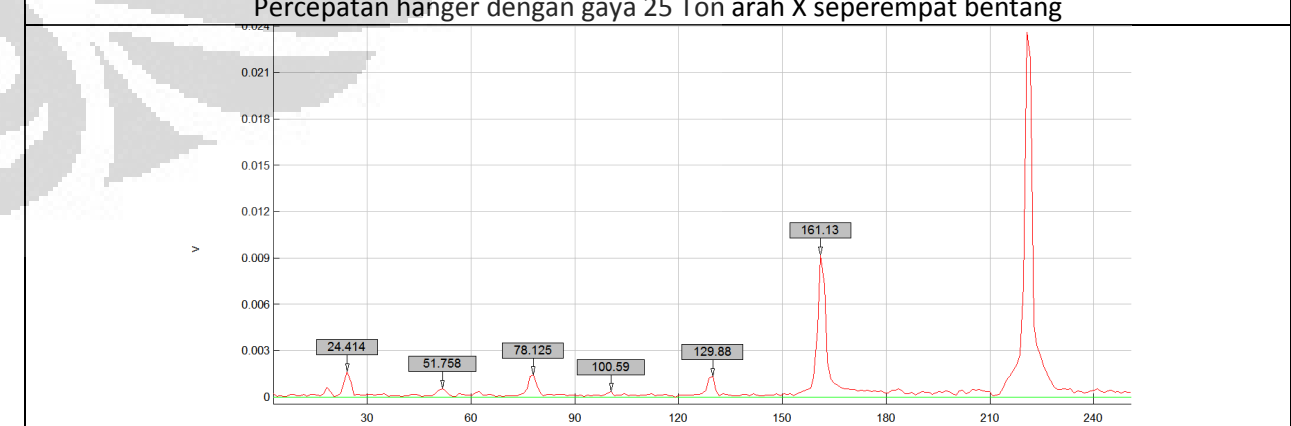
Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah Y setengah bentang



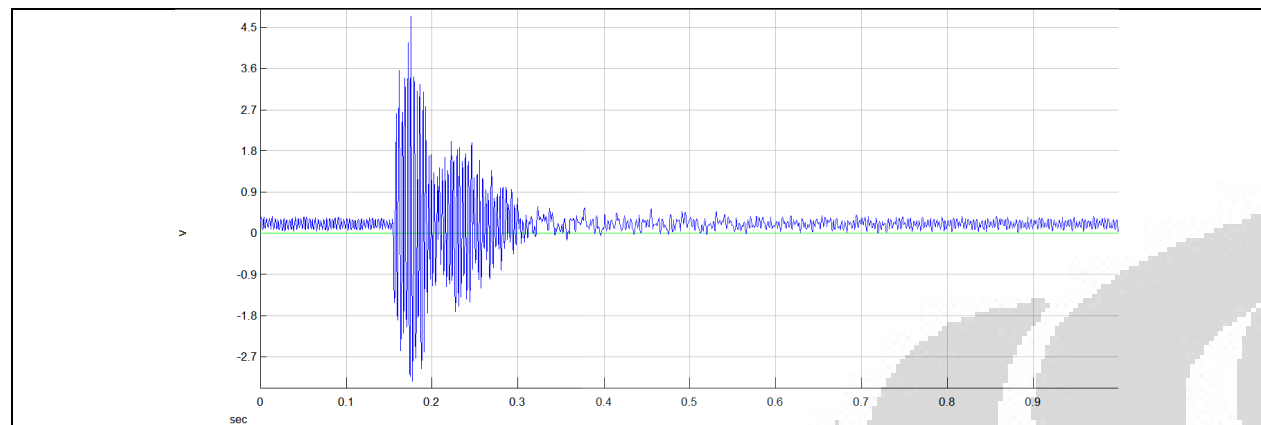
Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah X seperempat bentang



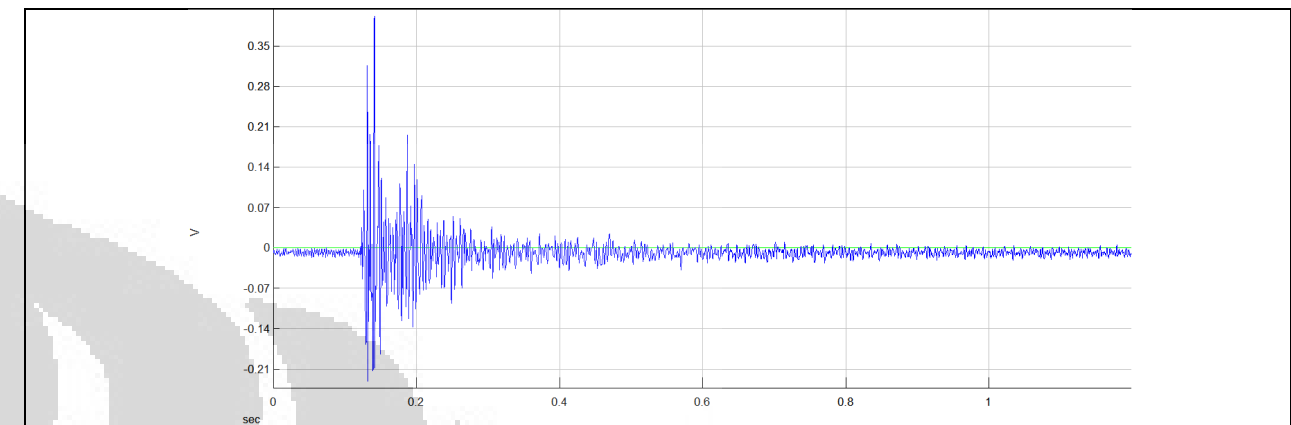
FFT Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah Y setengah bentang



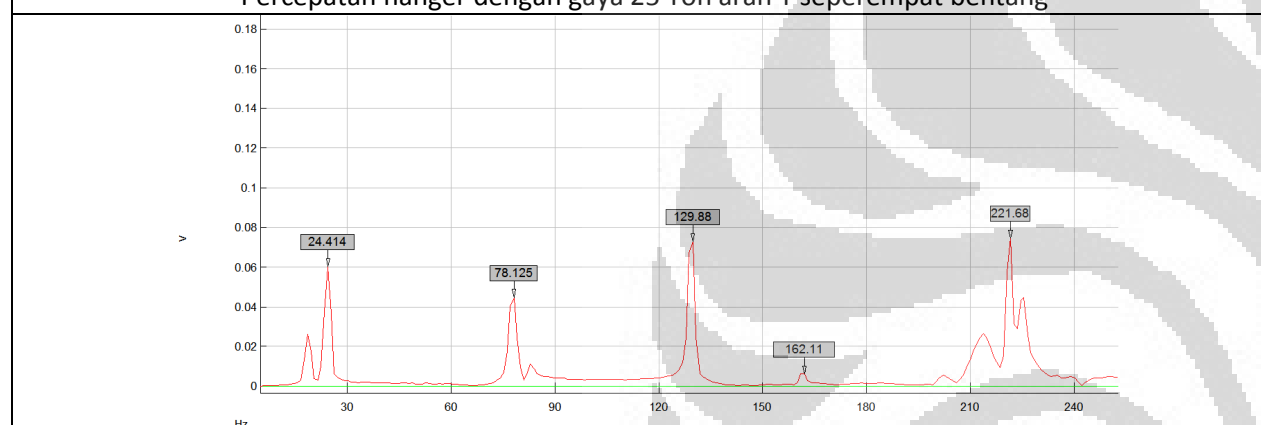
FFT Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah X seperempat bentang



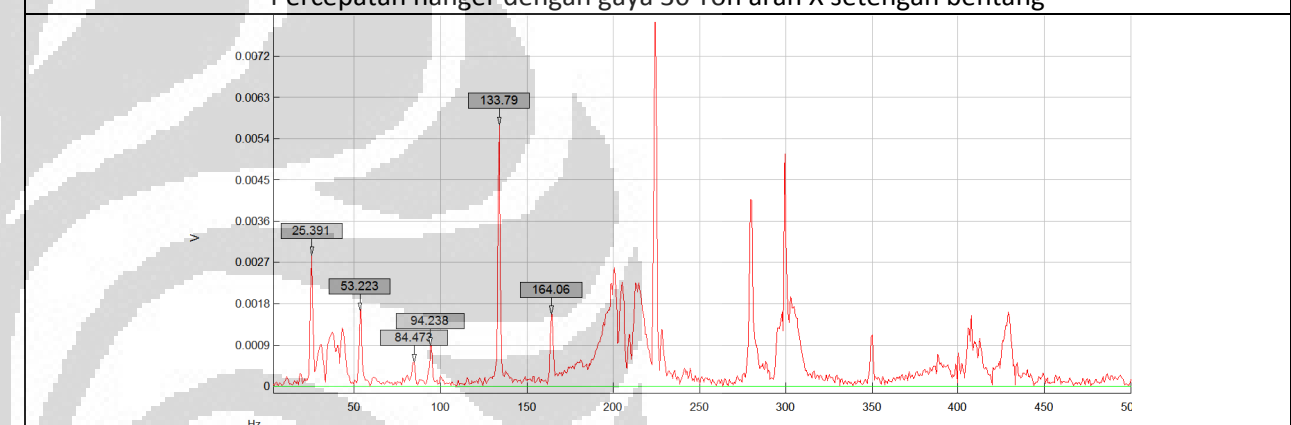
Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah Y seperempat bentang



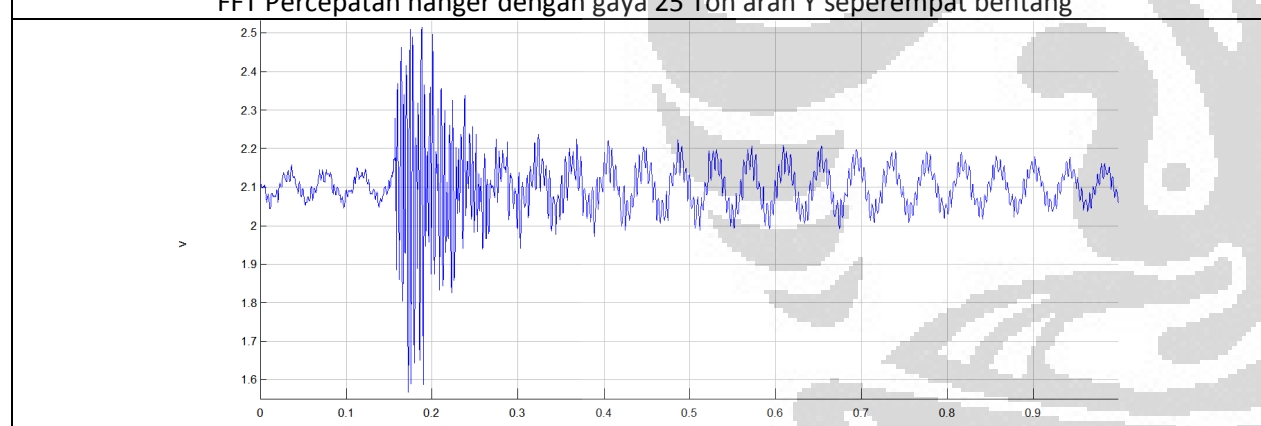
Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah X setengah bentang



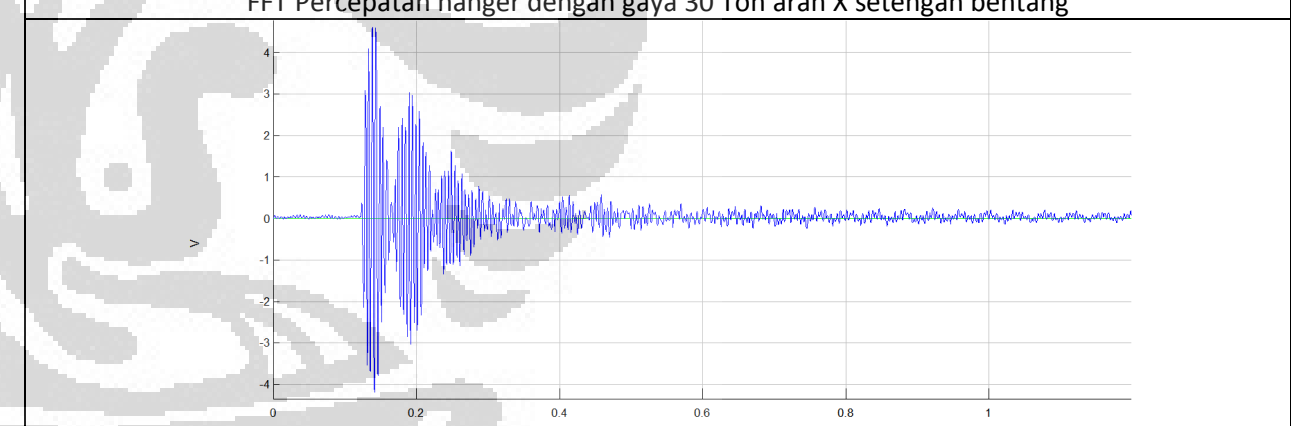
FFT Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah Y seperempat bentang



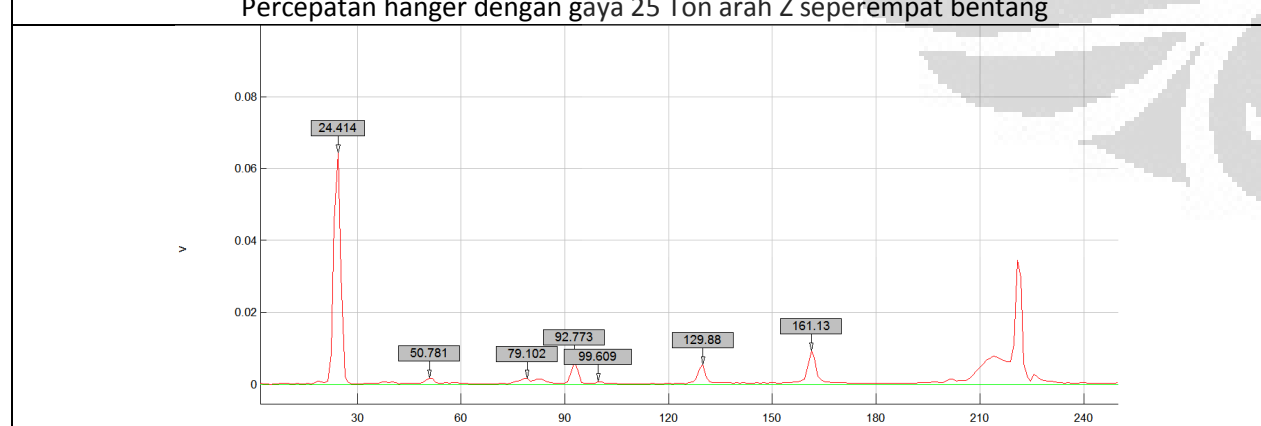
FFT Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah X setengah bentang



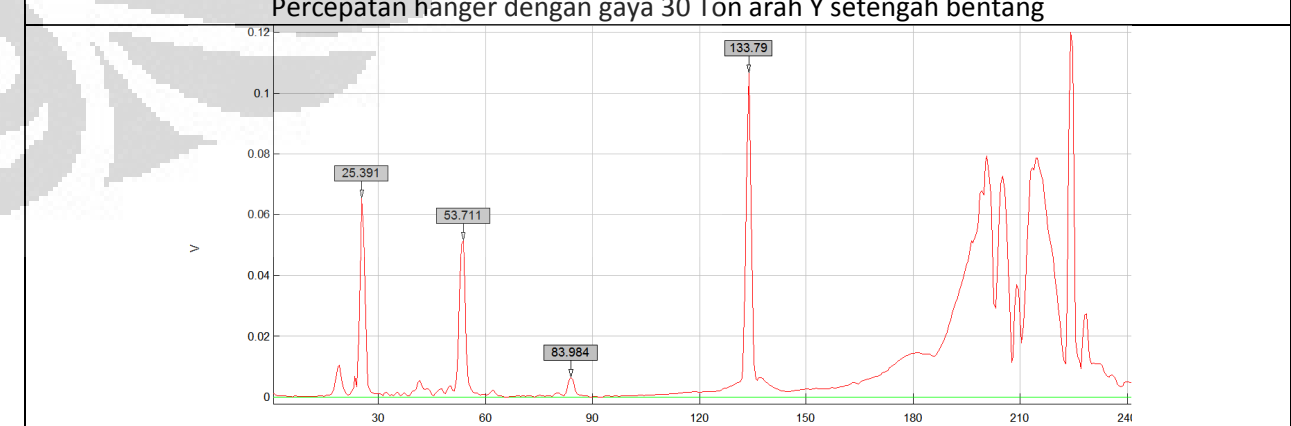
Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah Z seperempat bentang



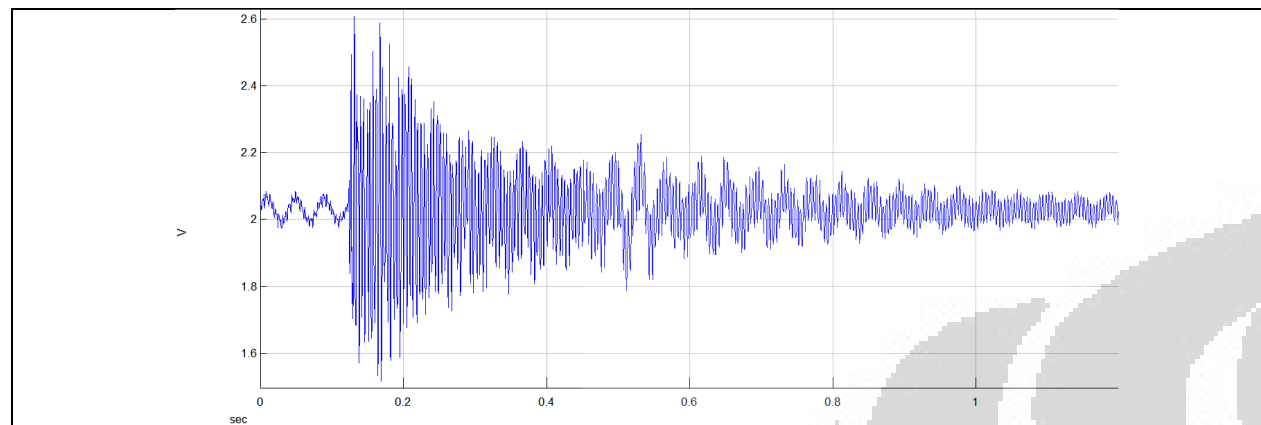
Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah Y setengah bentang



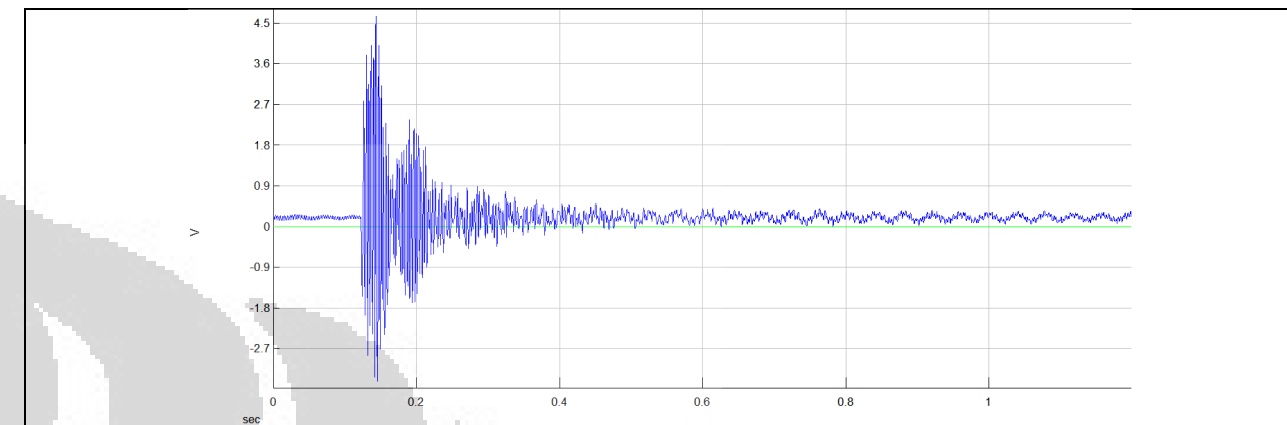
FFT Percepatan hanger dengan gaya 25 Ton arah Z seperempat bentang



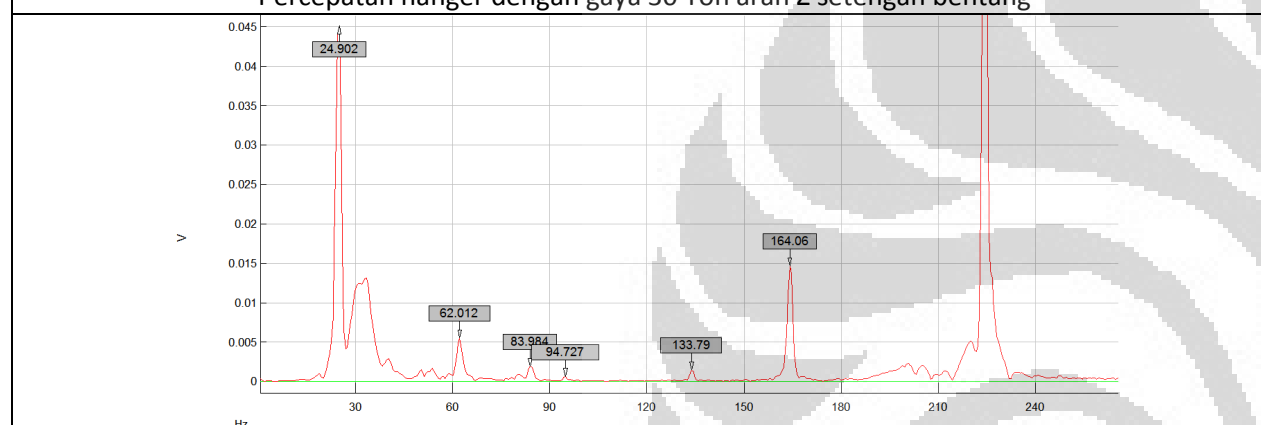
FFT Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah Y setengah bentang



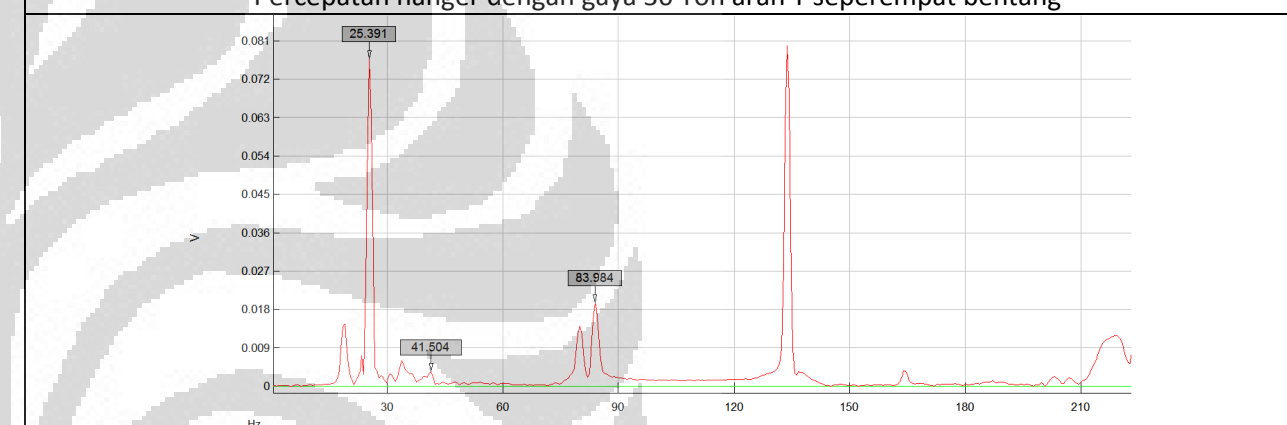
Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah Z setengah bentang



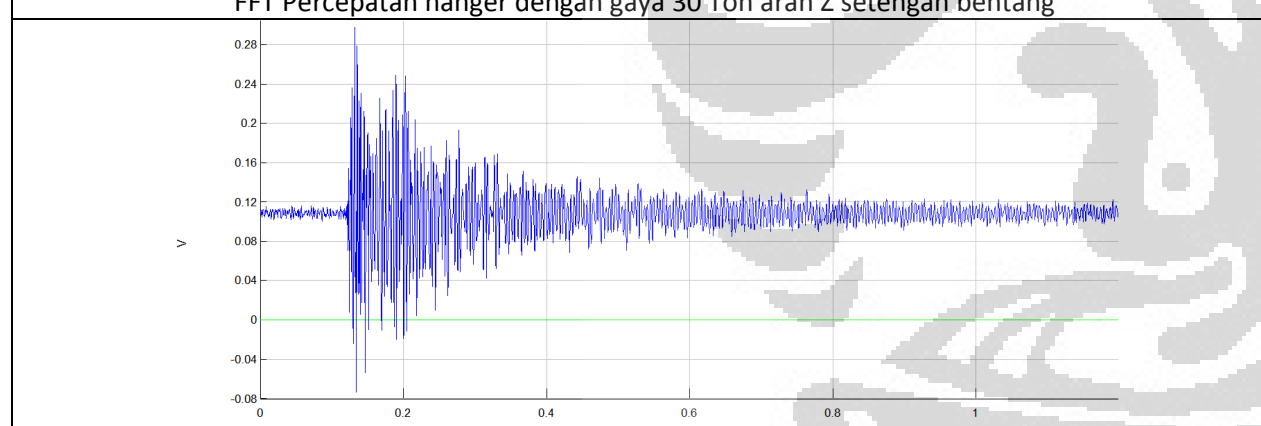
Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah Y seperempat bentang



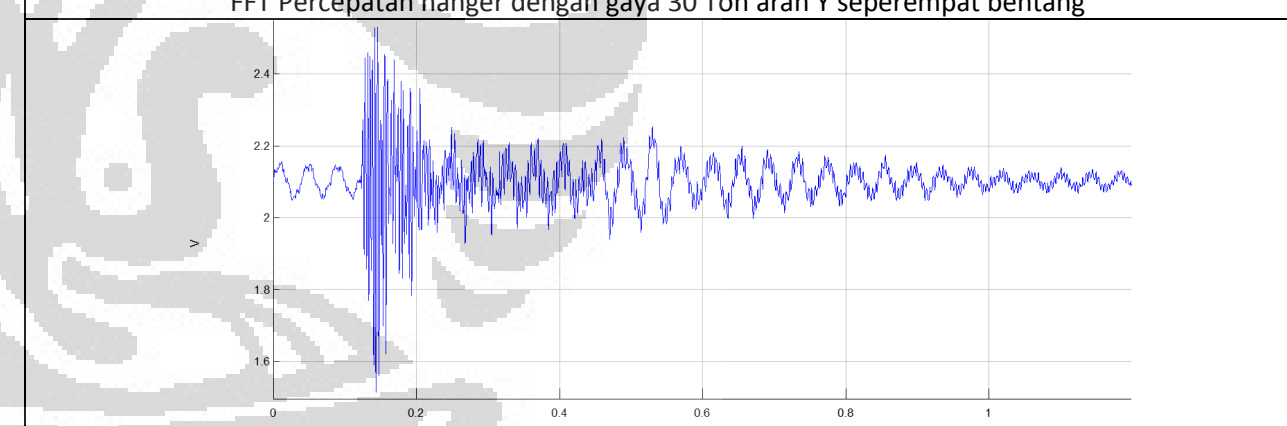
FFT Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah Z setengah bentang



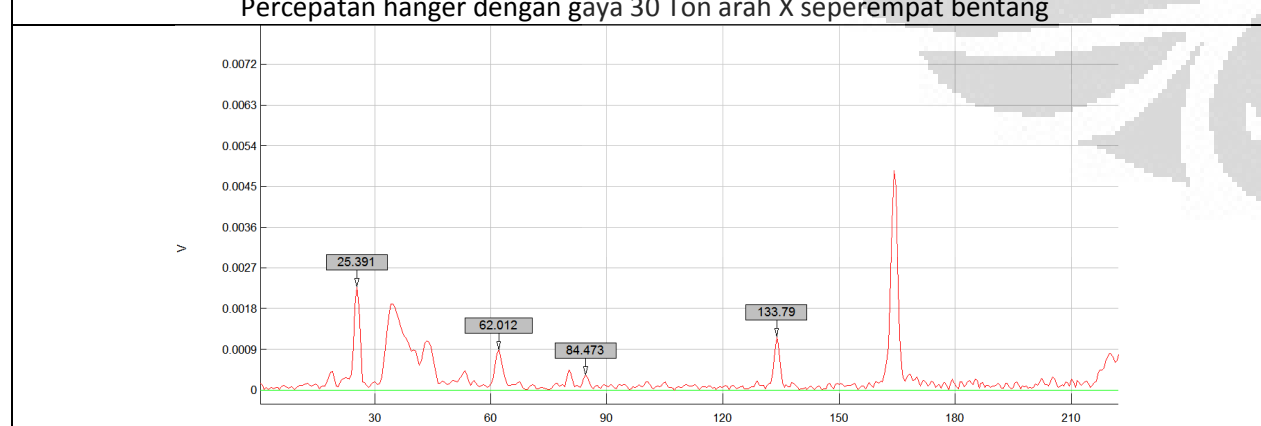
FFT Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah Y seperempat bentang



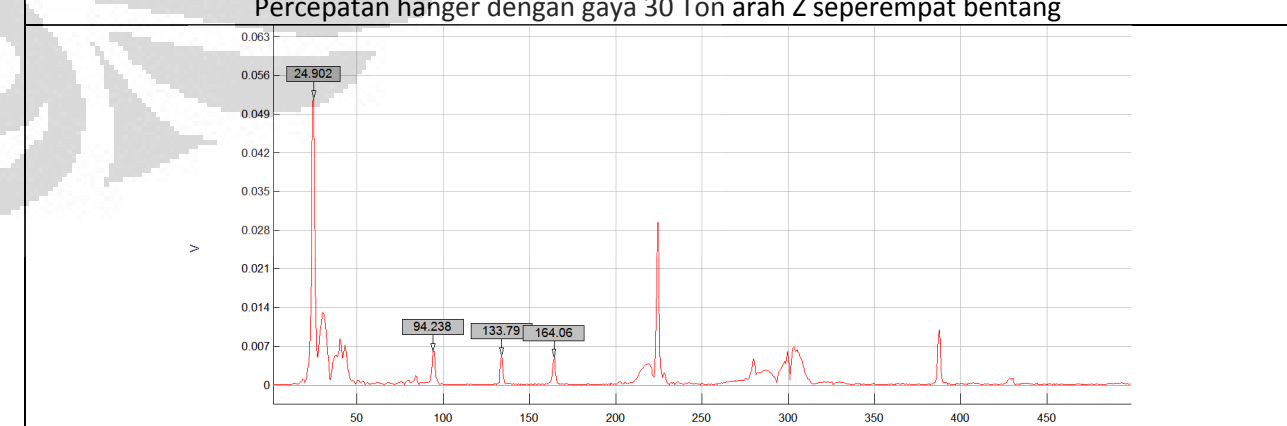
Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah X seperempat bentang



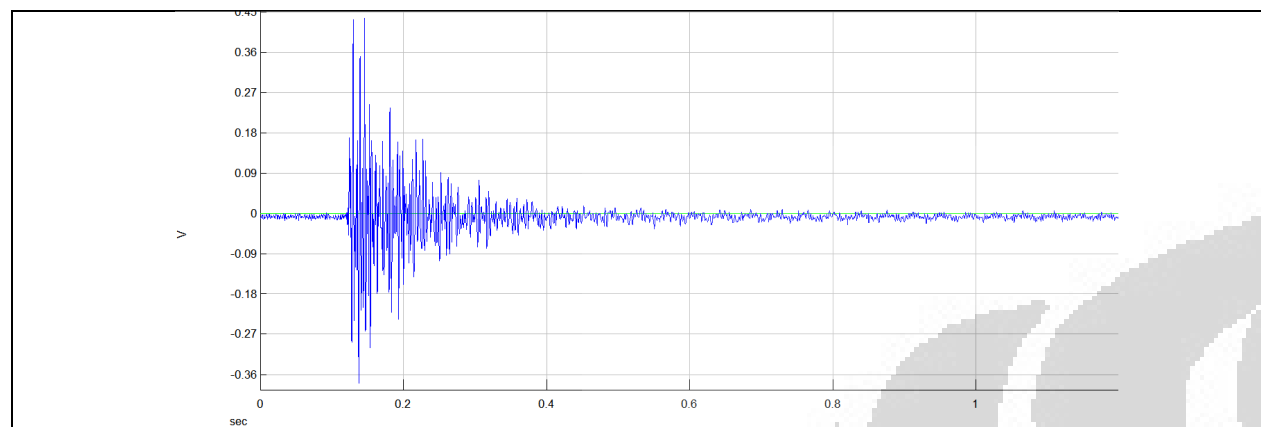
Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah Z seperempat bentang



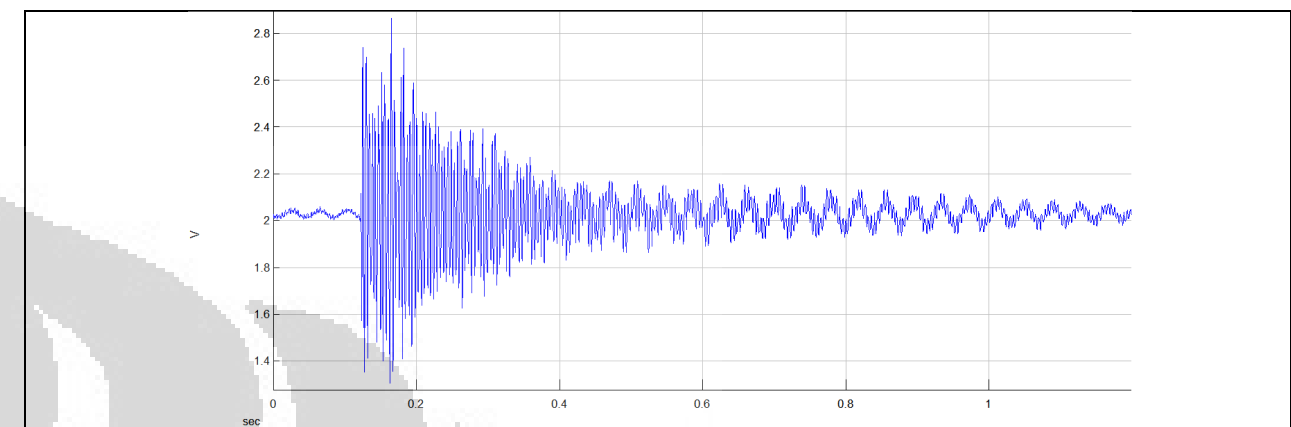
FFT Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah X seperempat bentang



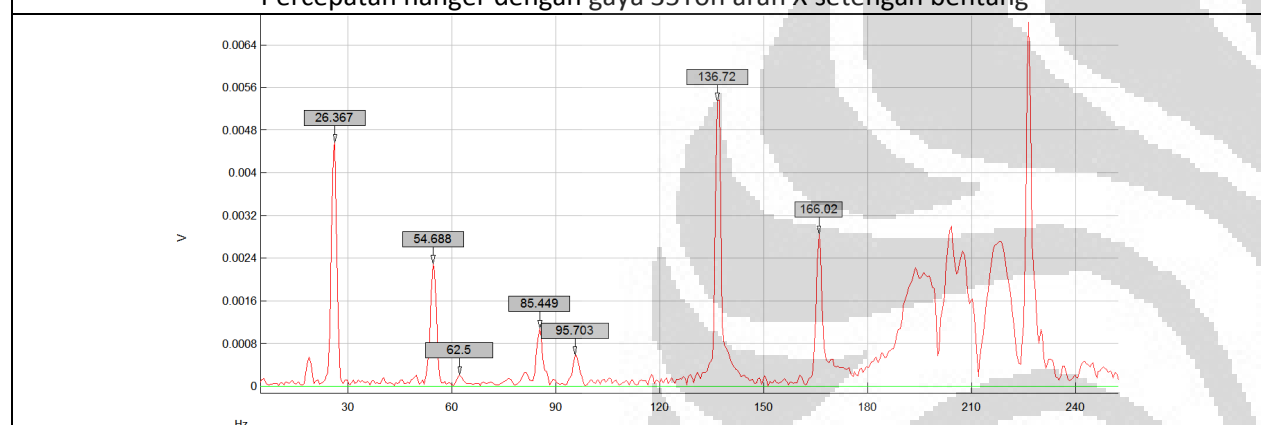
FFT Percepatan hanger dengan gaya 30 Ton arah Z seperempat bentang



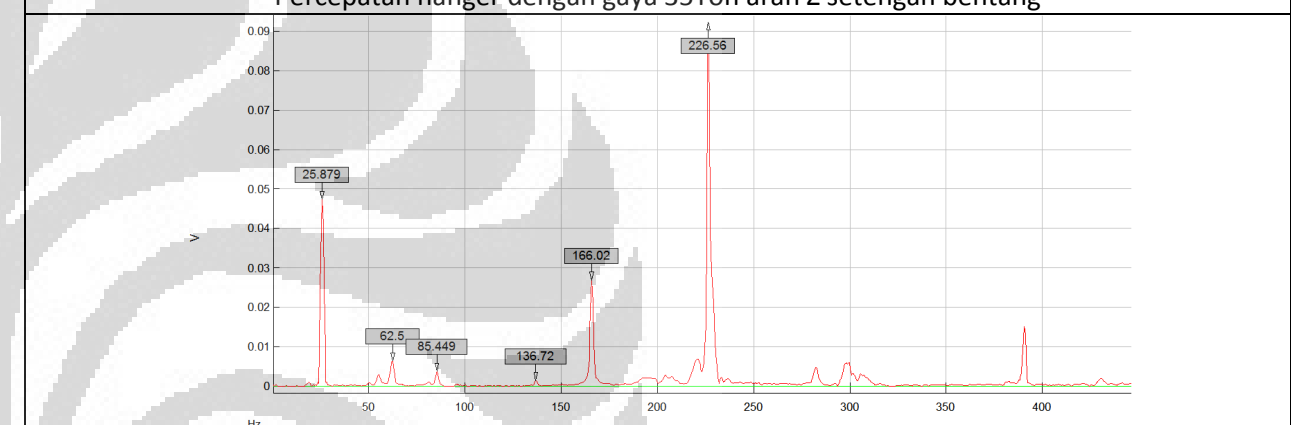
Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah X setengah bentang



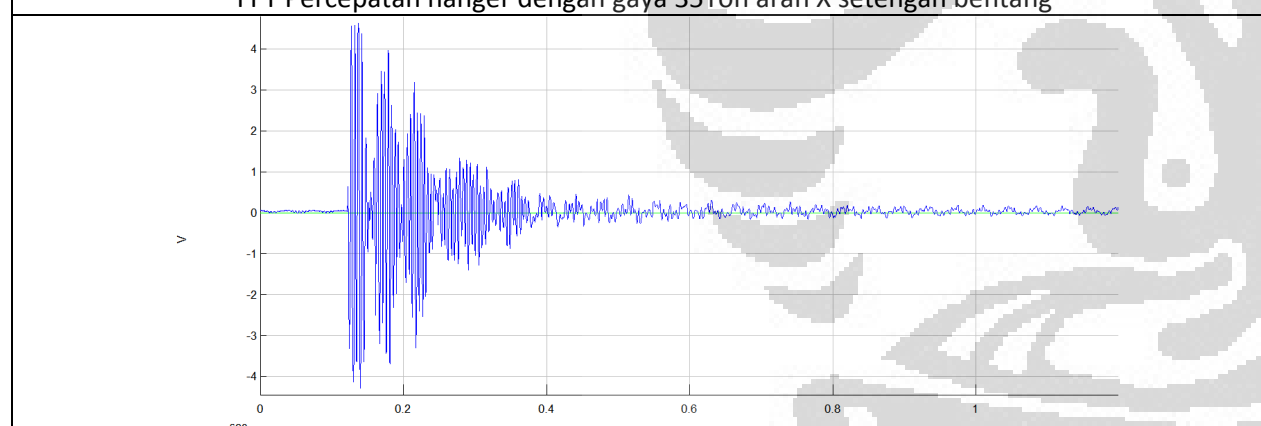
Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah Z setengah bentang



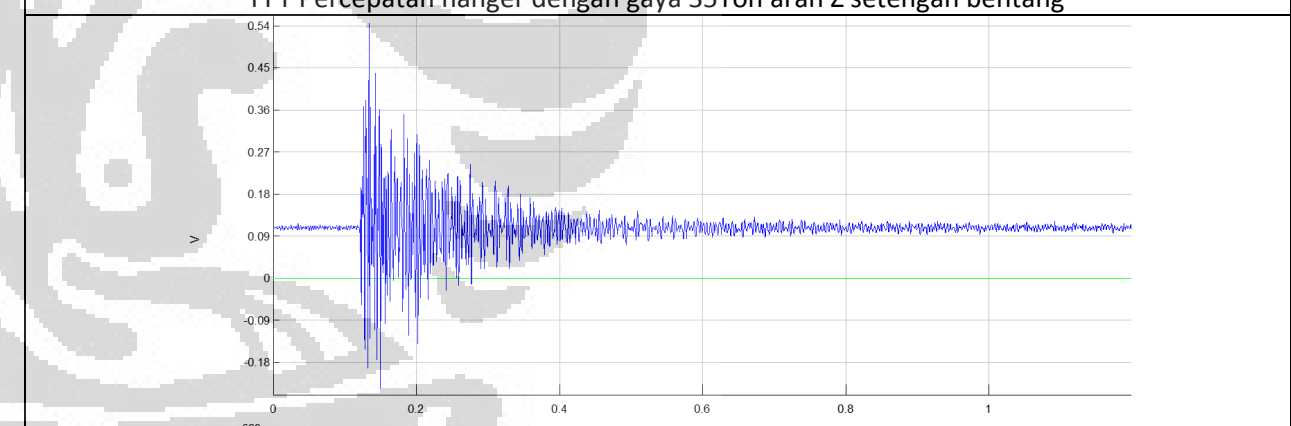
FFT Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah X setengah bentang



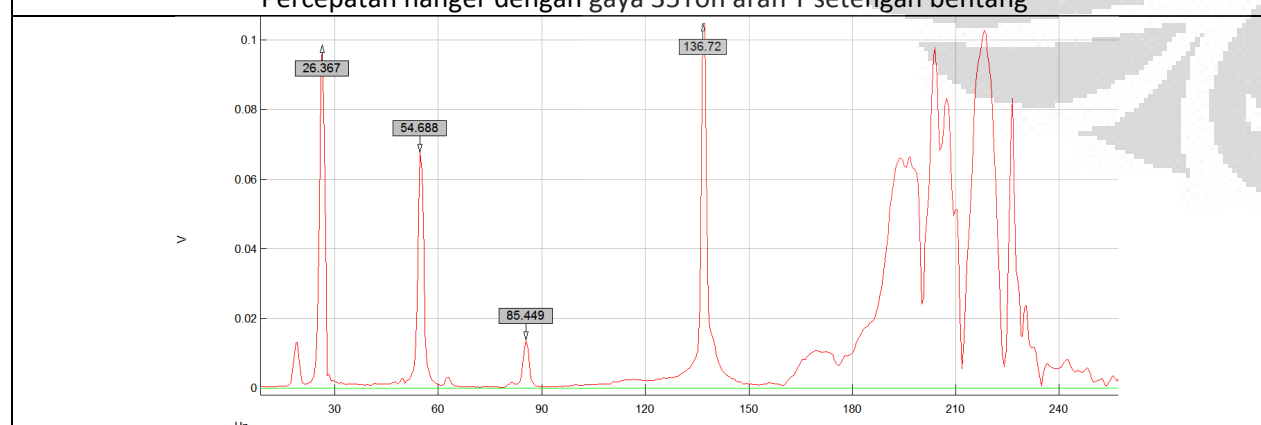
FFT Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah Z setengah bentang



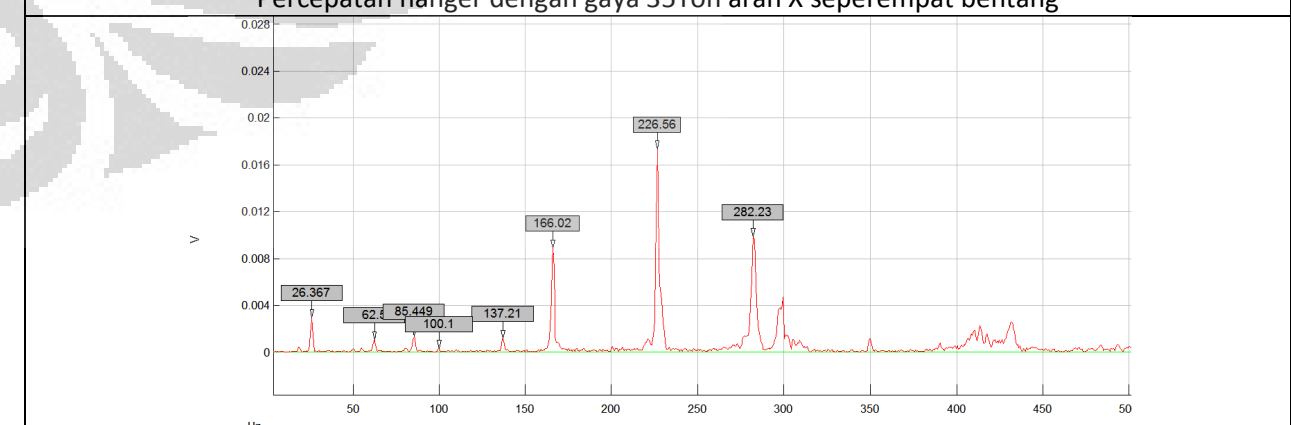
Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah Y setengah bentang



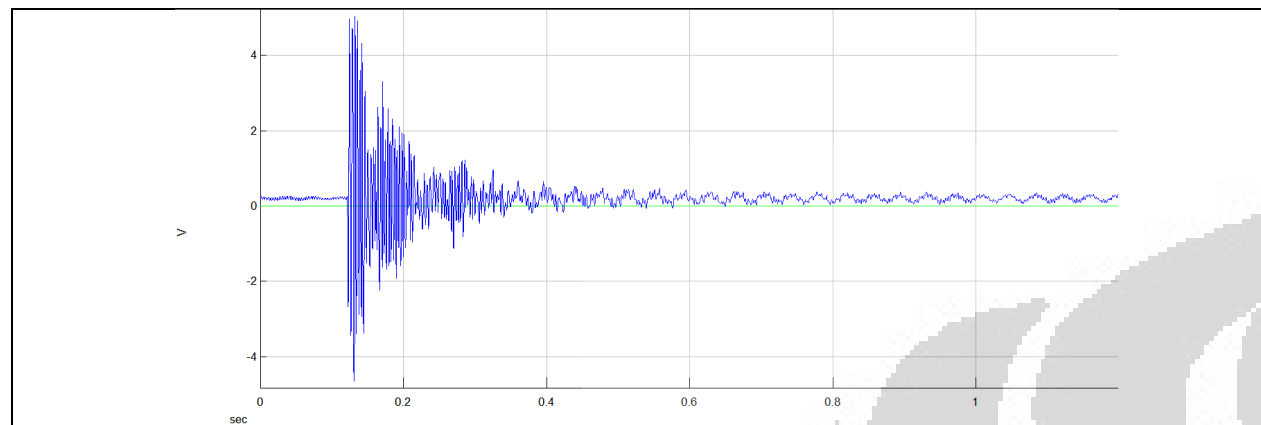
Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah X seperempat bentang



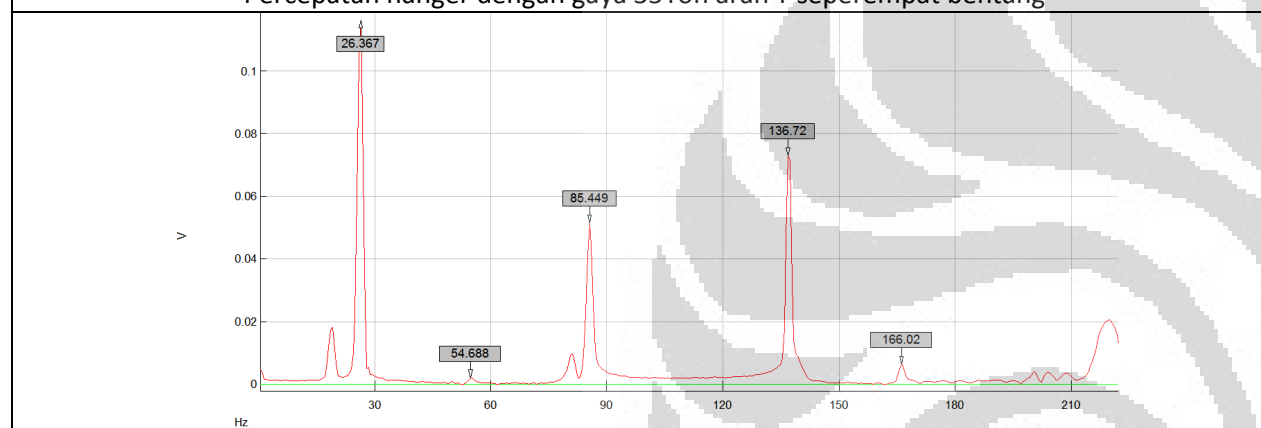
FFT Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah Y setengah bentang



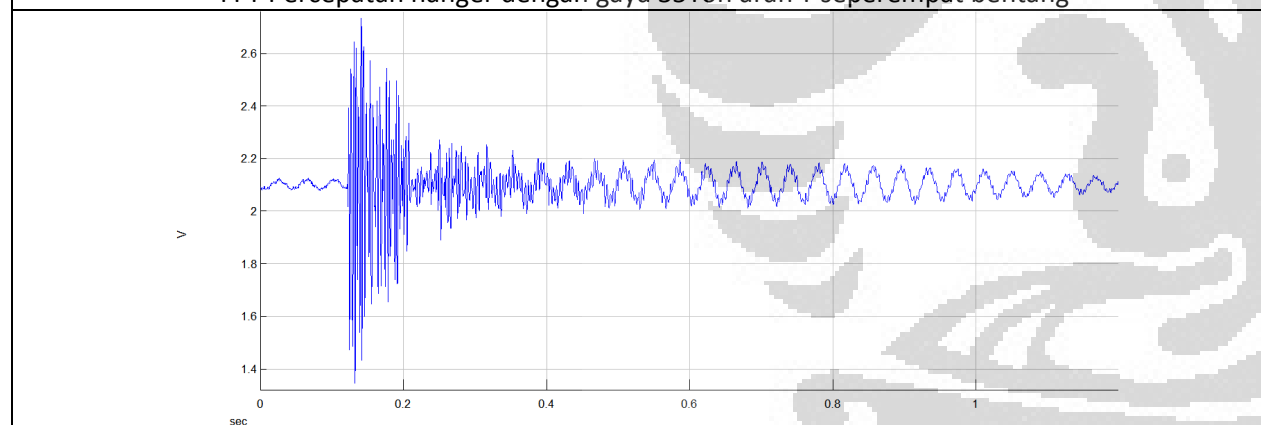
FFT Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah X seperempat bentang



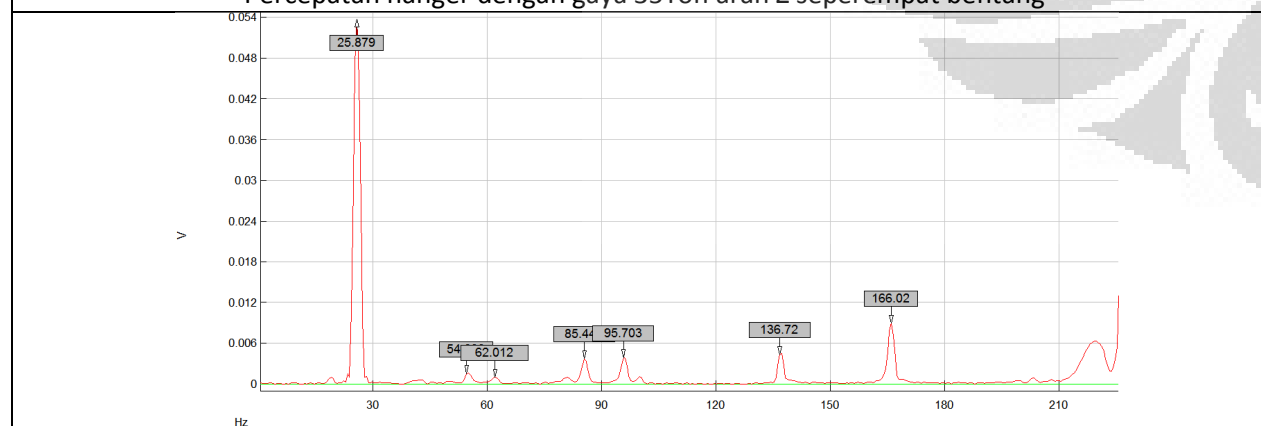
Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah Y seperempat bentang



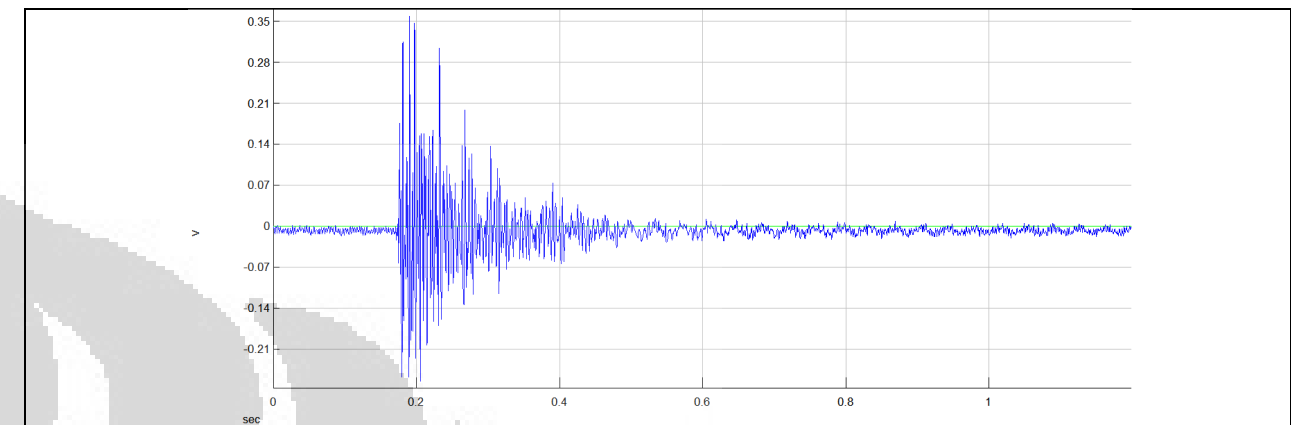
FFT Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah Y seperempat bentang



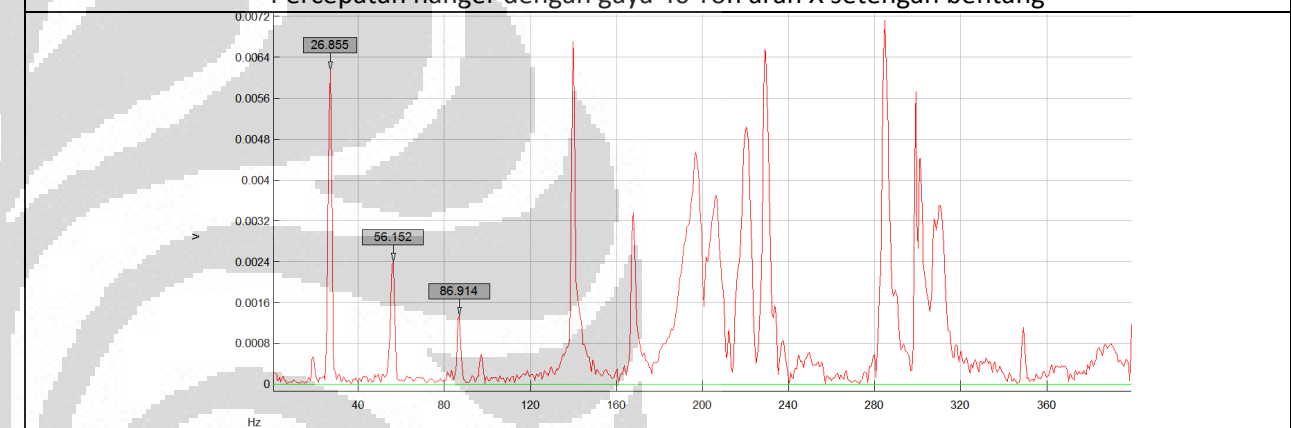
Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah Z seperempat bentang



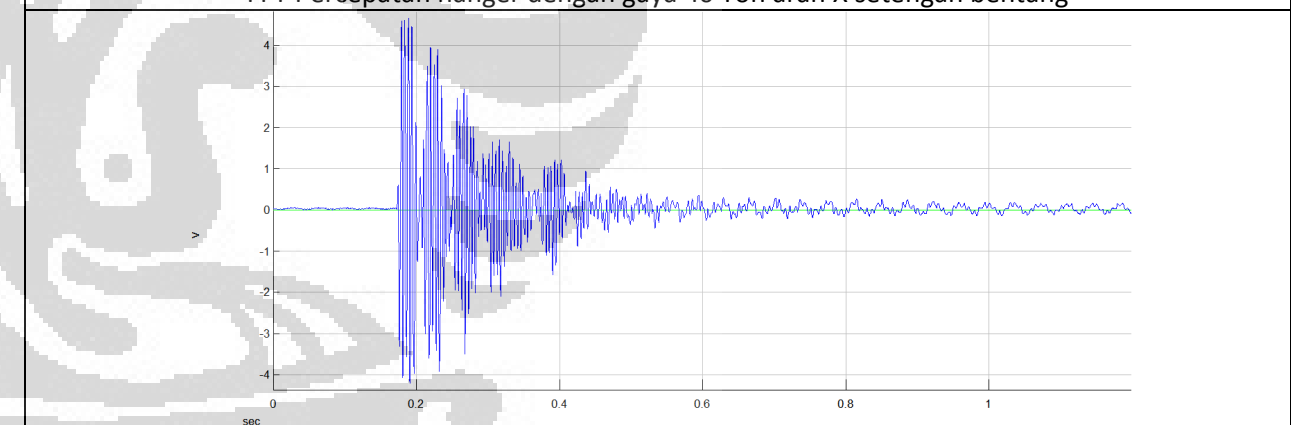
FFT Percepatan hanger dengan gaya 35Ton arah Z seperempat bentang



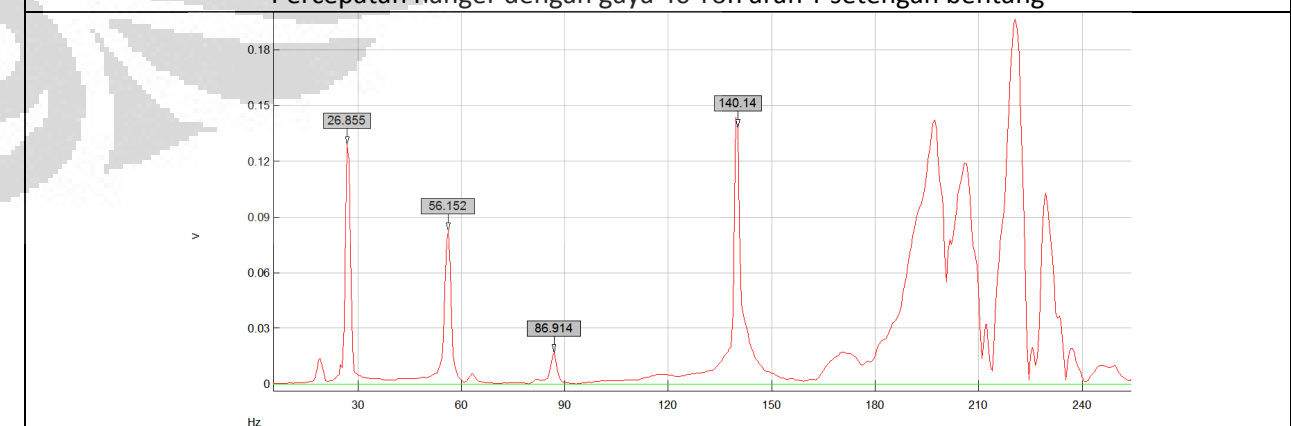
Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah X setengah bentang



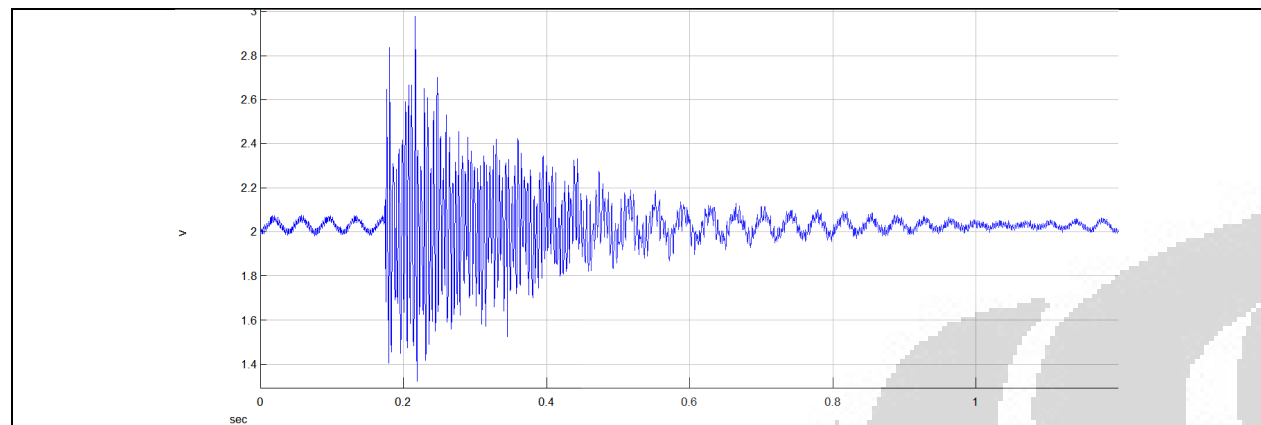
FFT Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah X setengah bentang



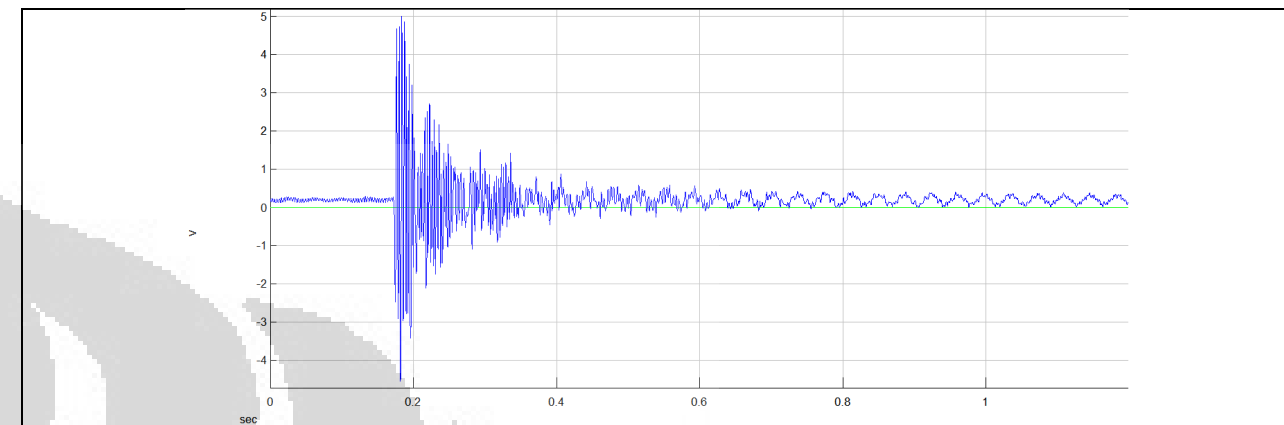
Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah Y setengah bentang



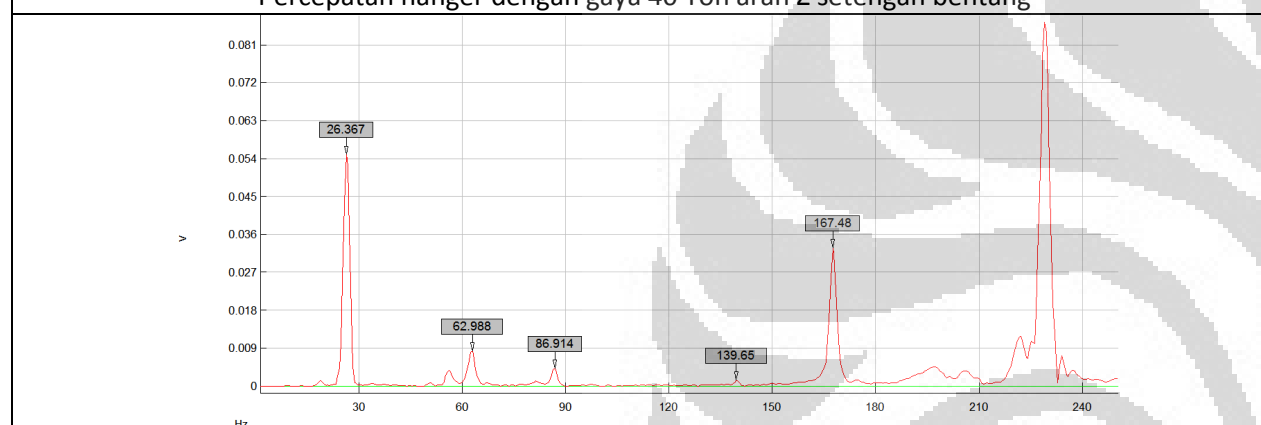
FFT Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah Y setengah bentang



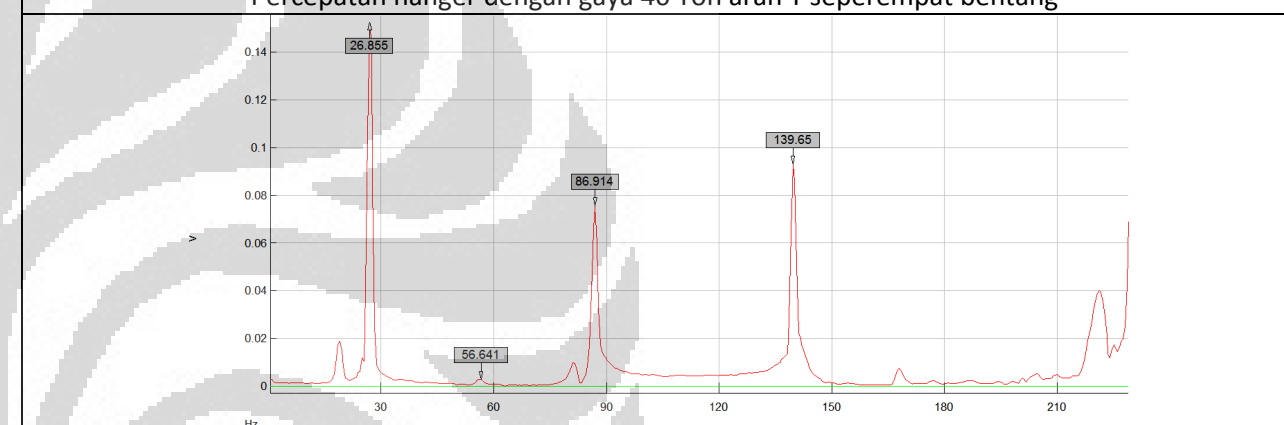
Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah Z setengah bentang



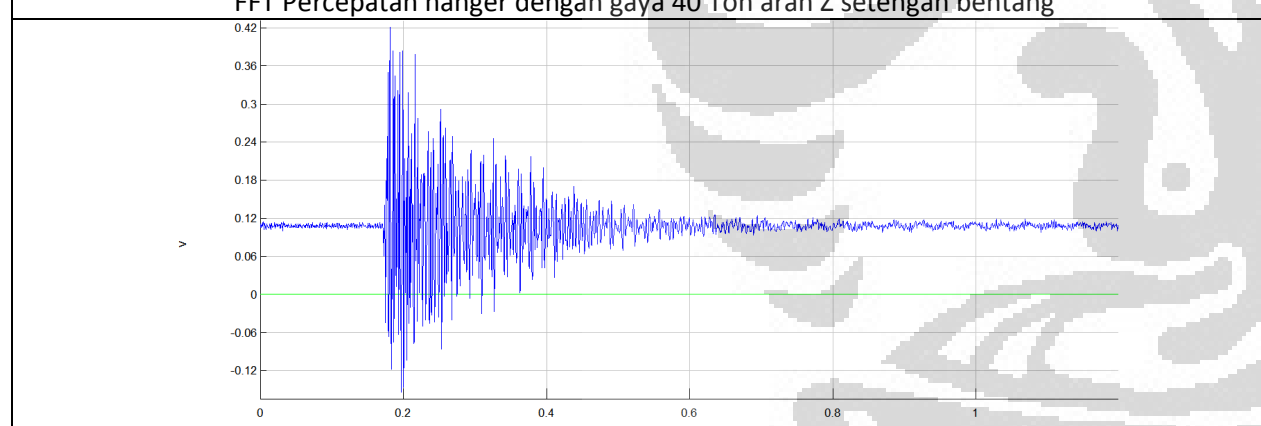
Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah Y seperempat bentang



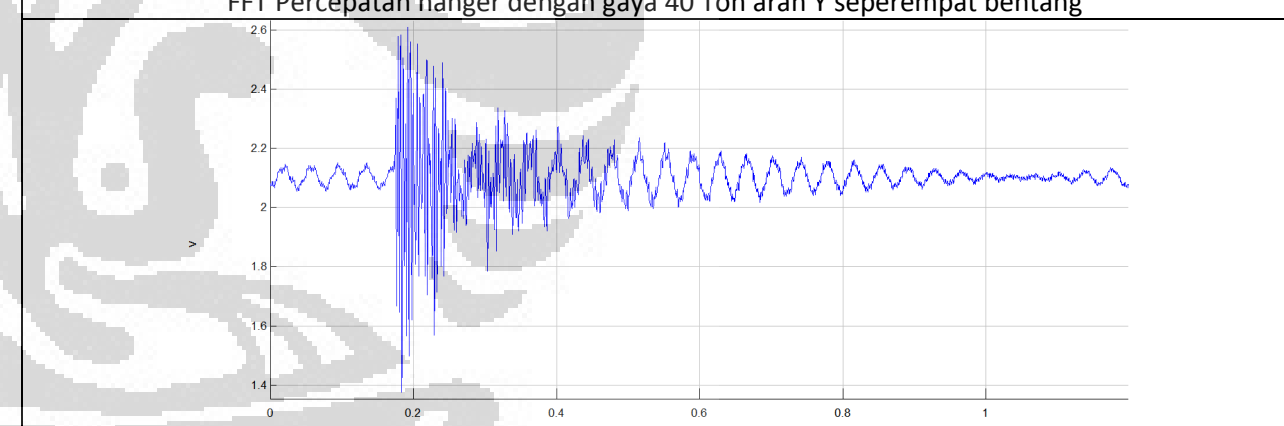
FFT Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah Z setengah bentang



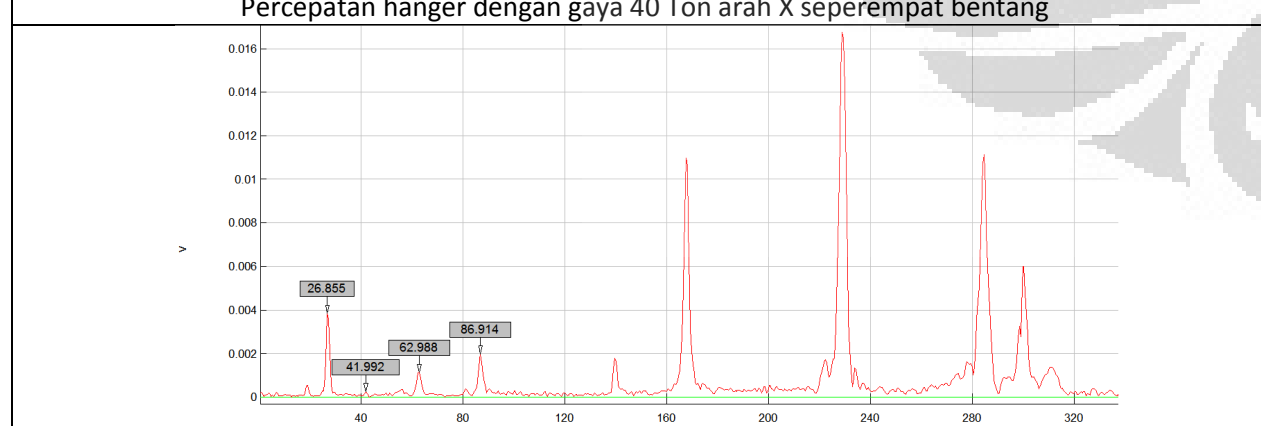
FFT Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah Y seperempat bentang



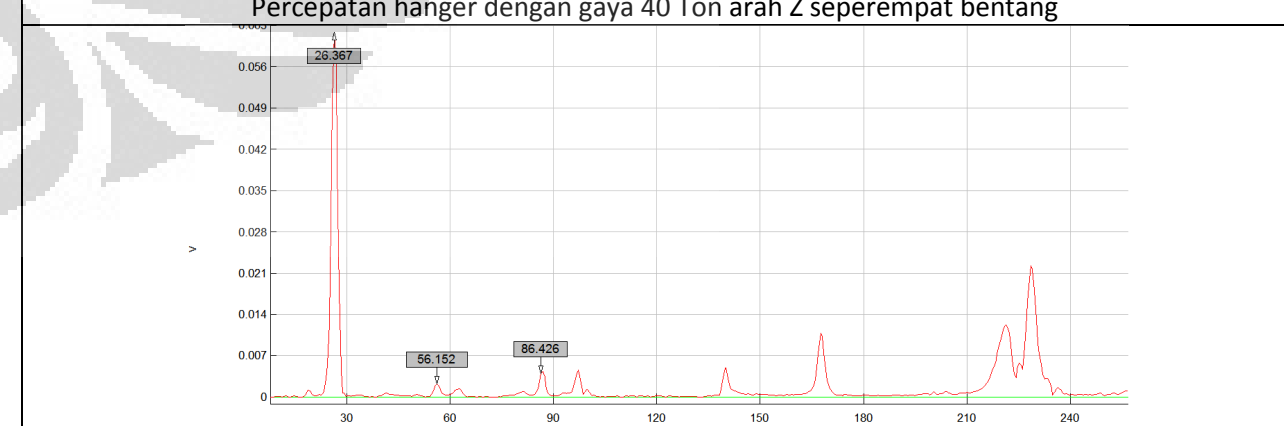
Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah X seperempat bentang



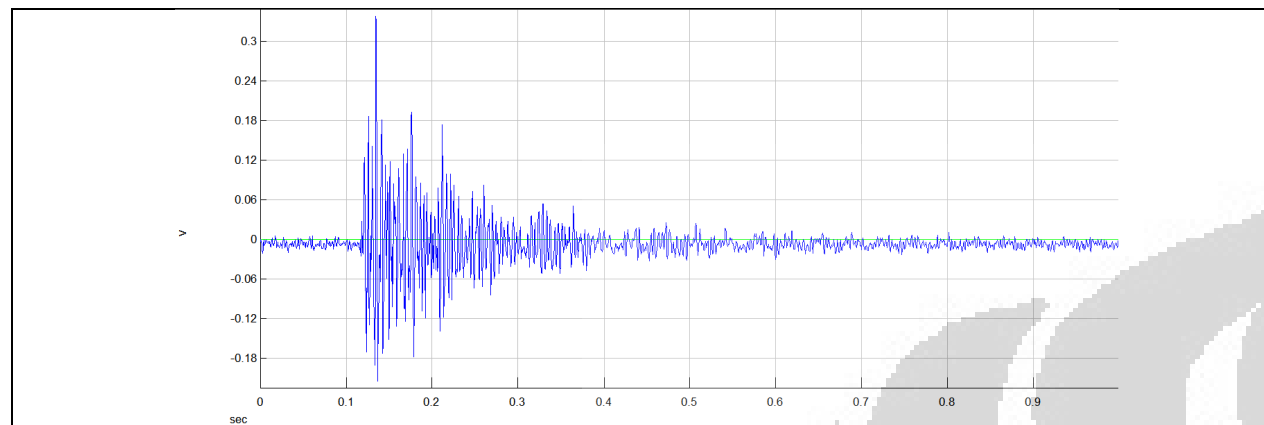
Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah Z seperempat bentang



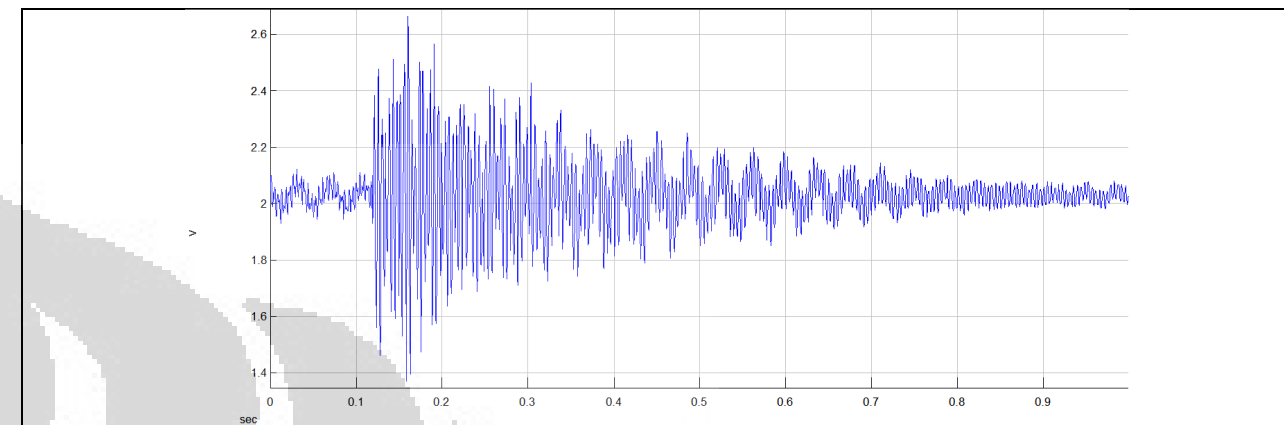
FFT Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah X seperempat bentang



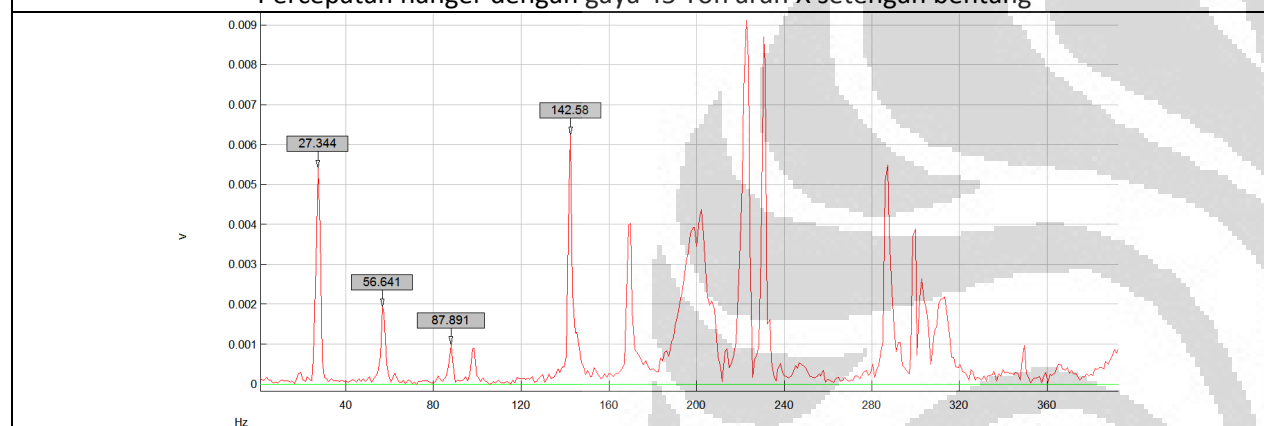
FFT Percepatan hanger dengan gaya 40 Ton arah Z seperempat bentang



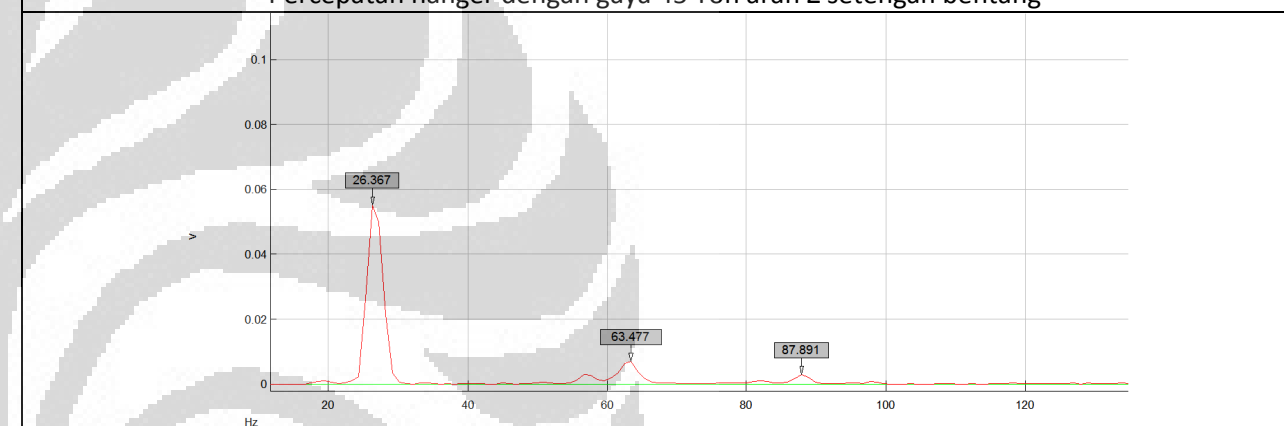
Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah X setengah bentang



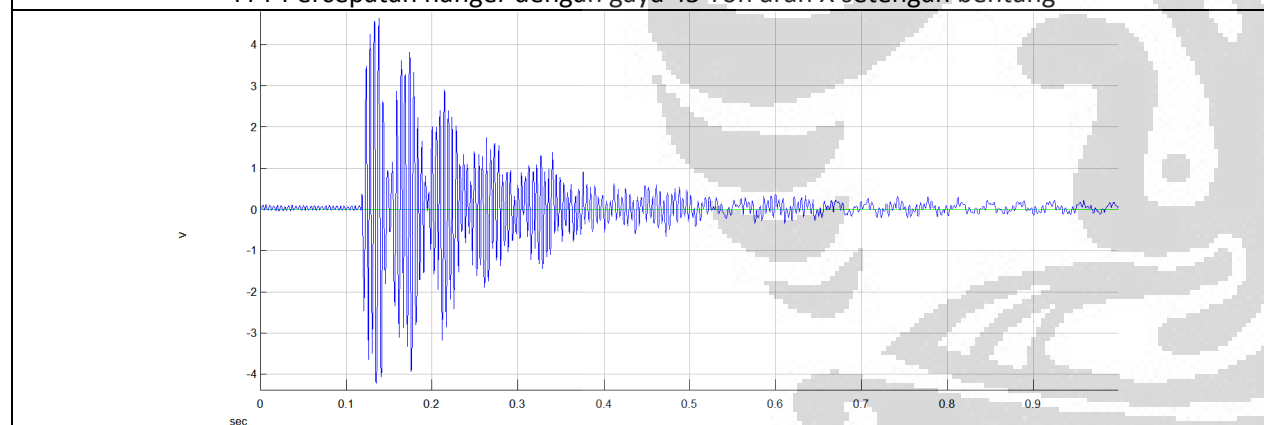
Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Z setengah bentang



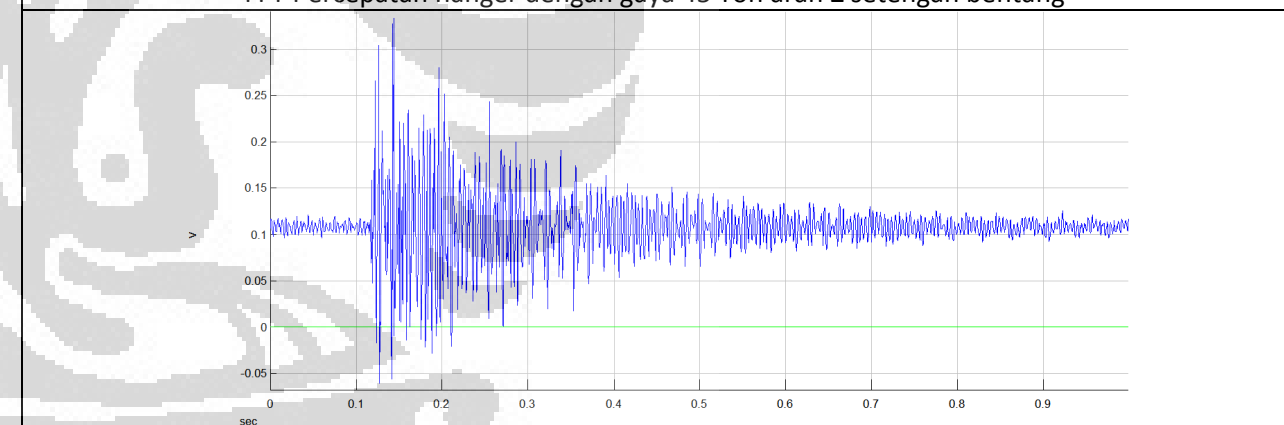
FFT Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah X setengah bentang



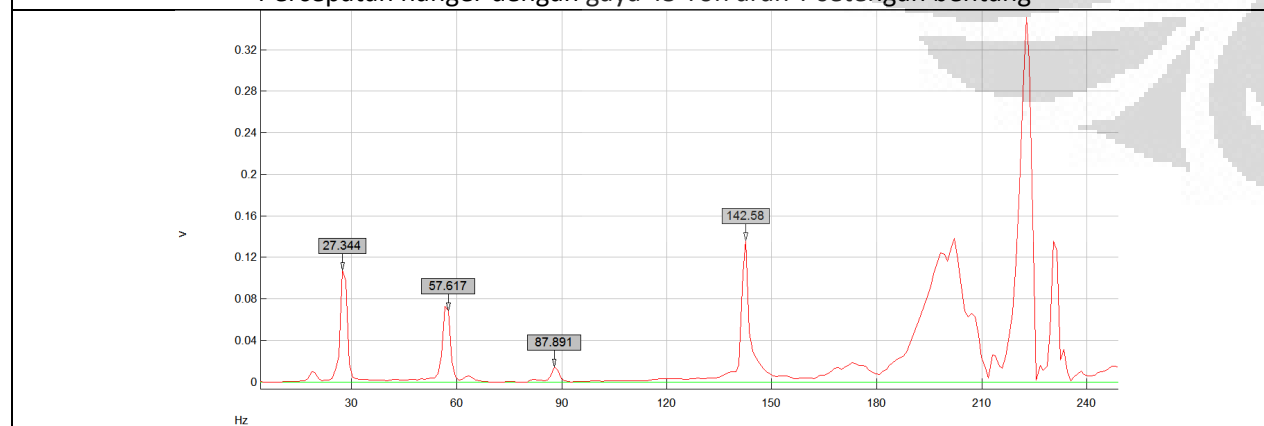
FFT Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Z setengah bentang



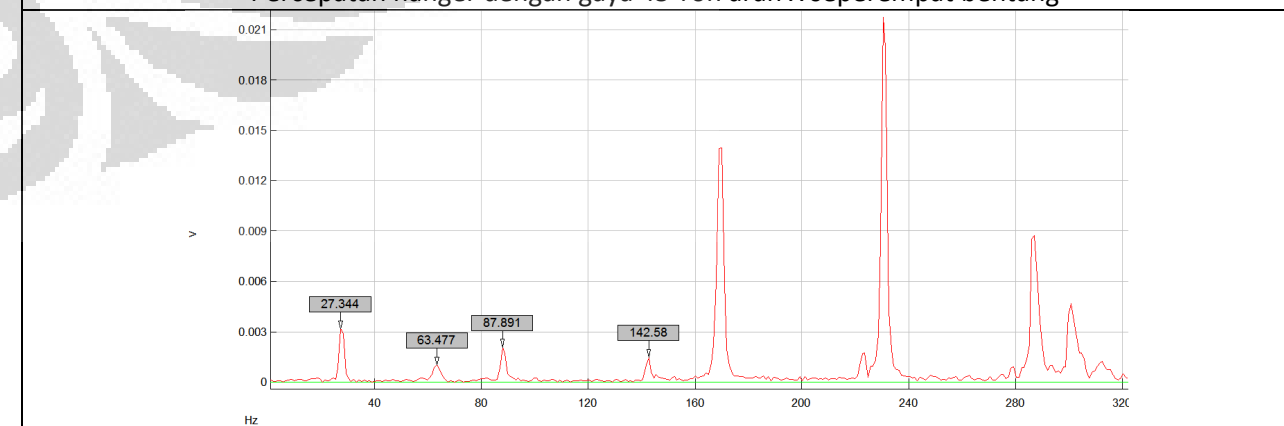
Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Y setengah bentang



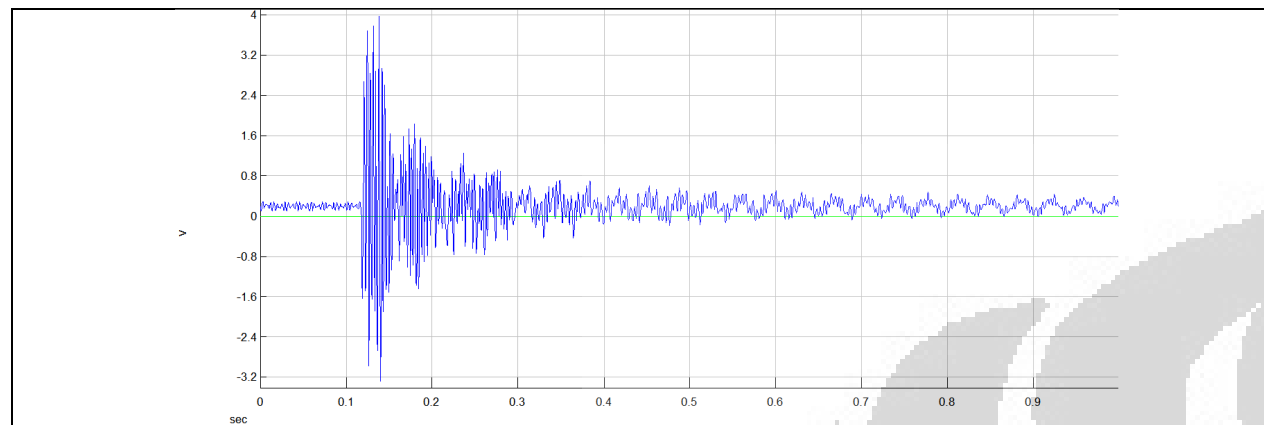
Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah X seperempat bentang



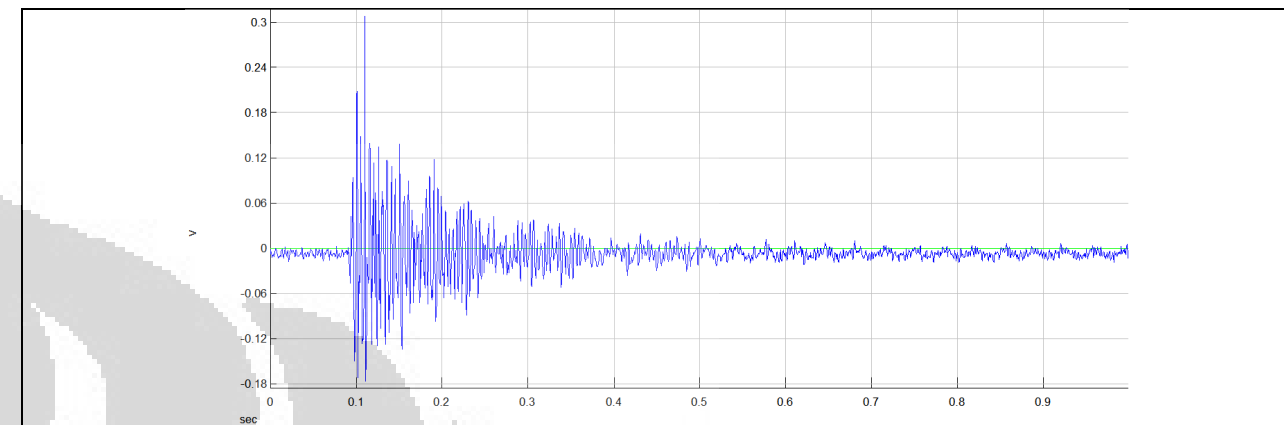
FFT Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Y setengah bentang



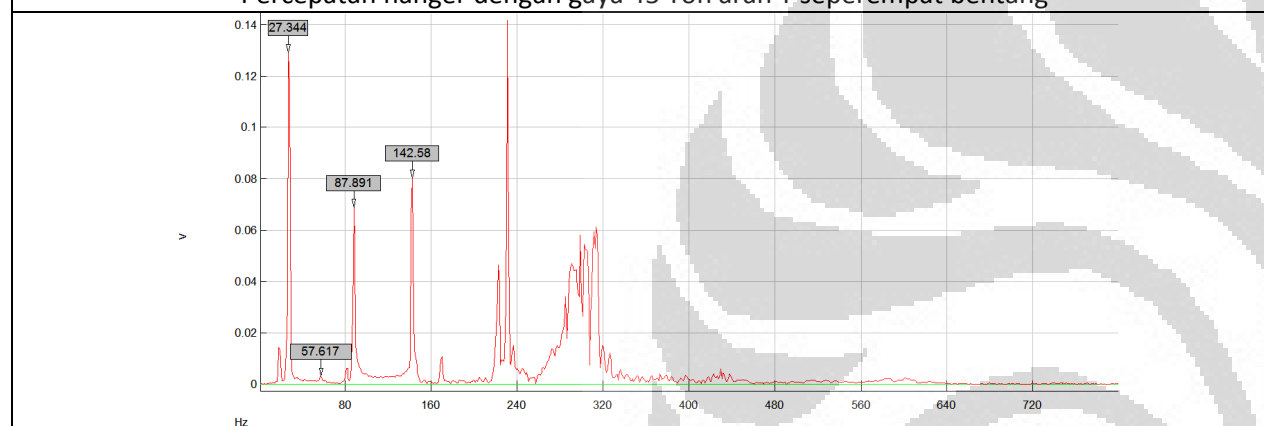
FFT Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah X seperempat bentang



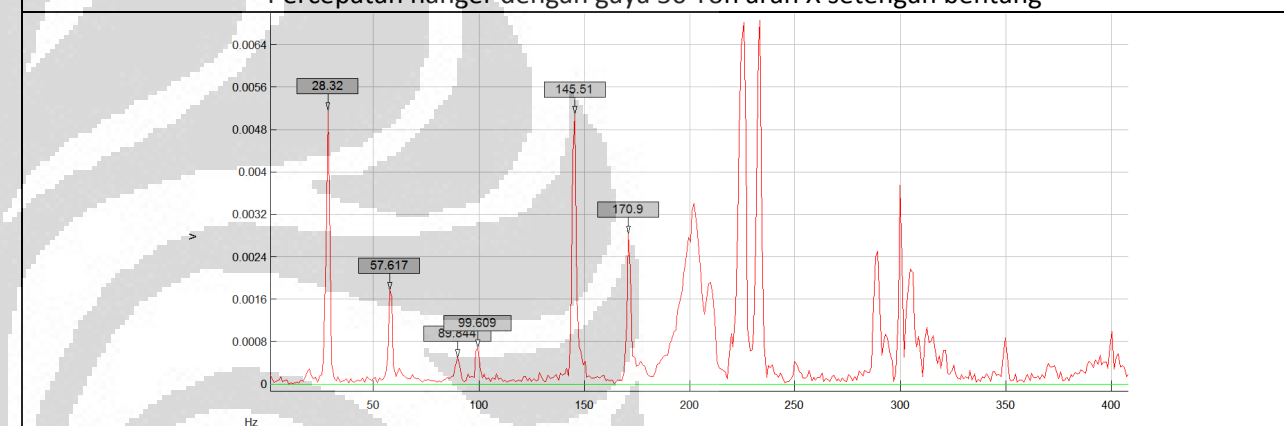
Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Y seperempat bentang



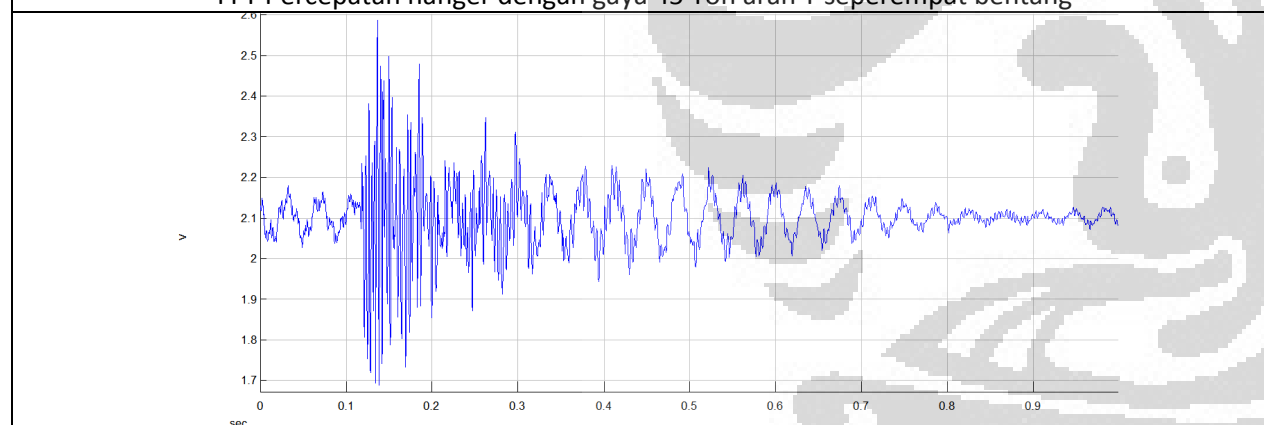
Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah X setengah bentang



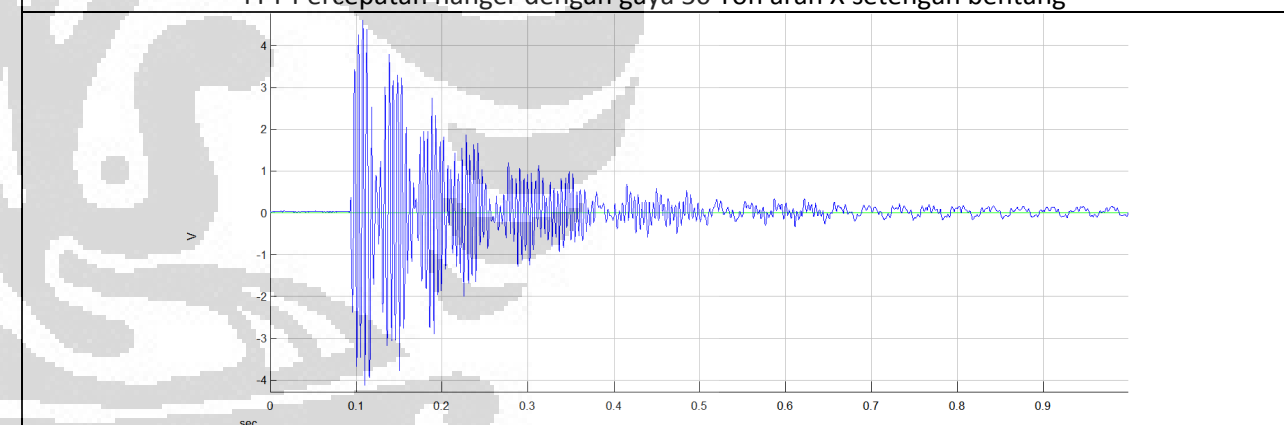
FFT Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Y seperempat bentang



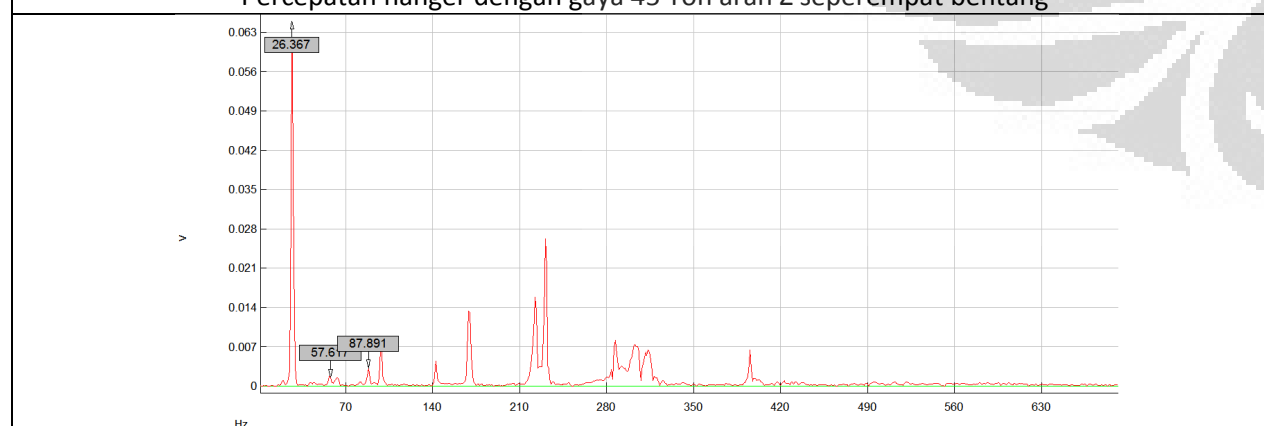
FFT Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah X setengah bentang



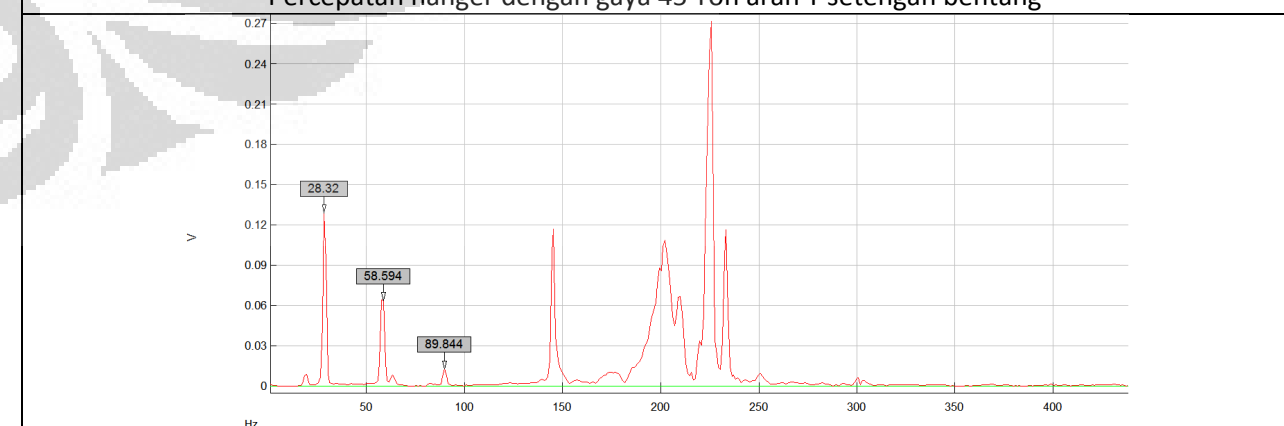
Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Z seperempat bentang



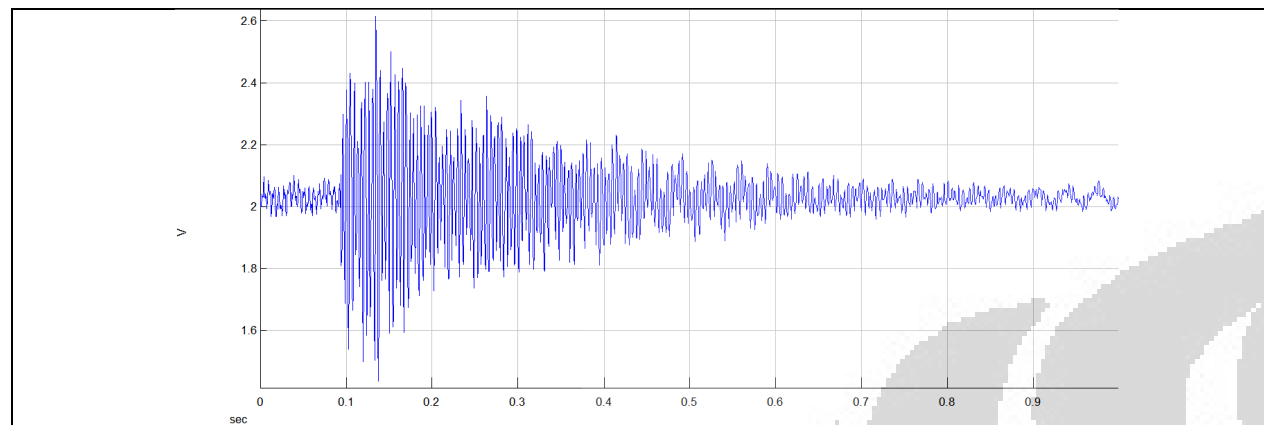
Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Y setengah bentang



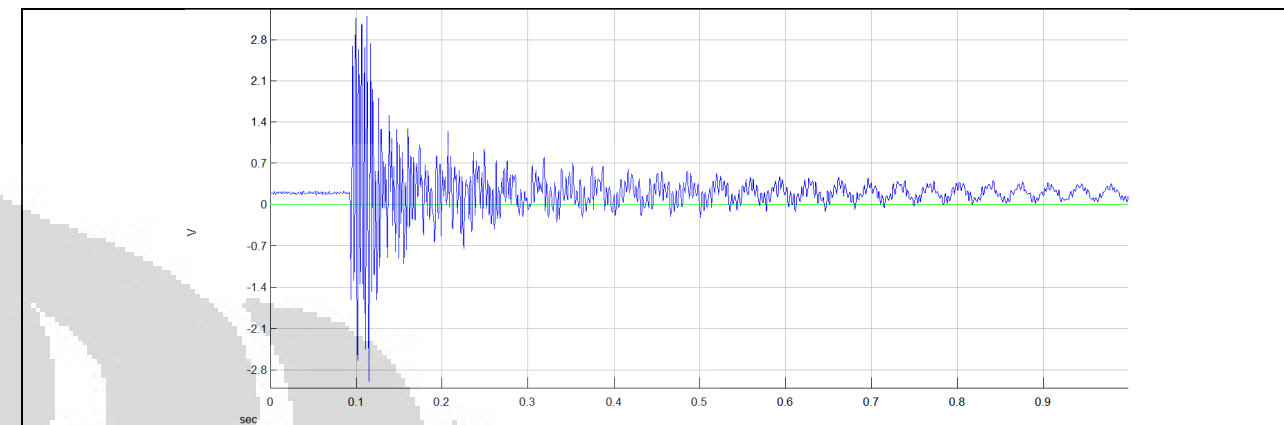
FFT Percepatan hanger dengan gaya 45 Ton arah Z seperempat bentang



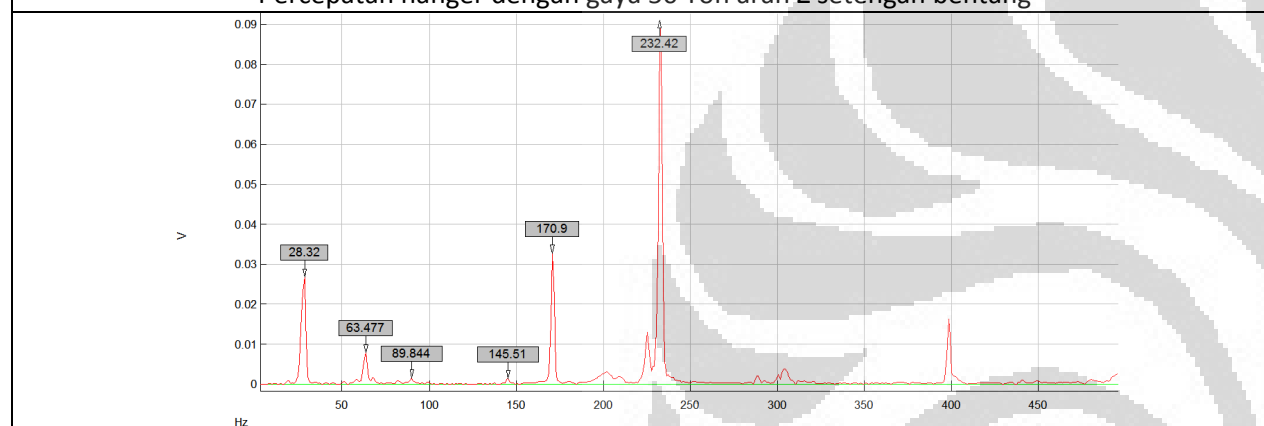
FFT Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah Y setengah bentang



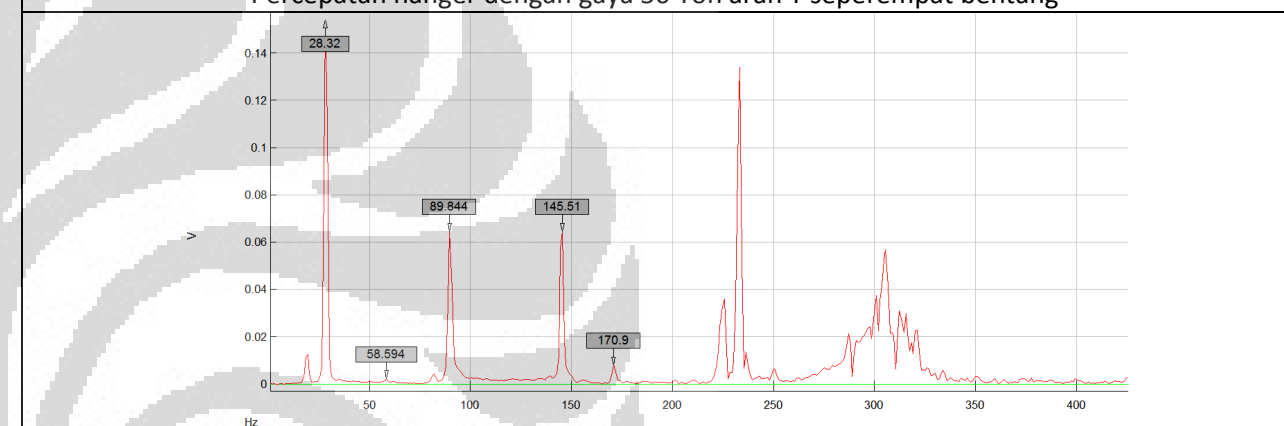
Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah Z setengah bentang



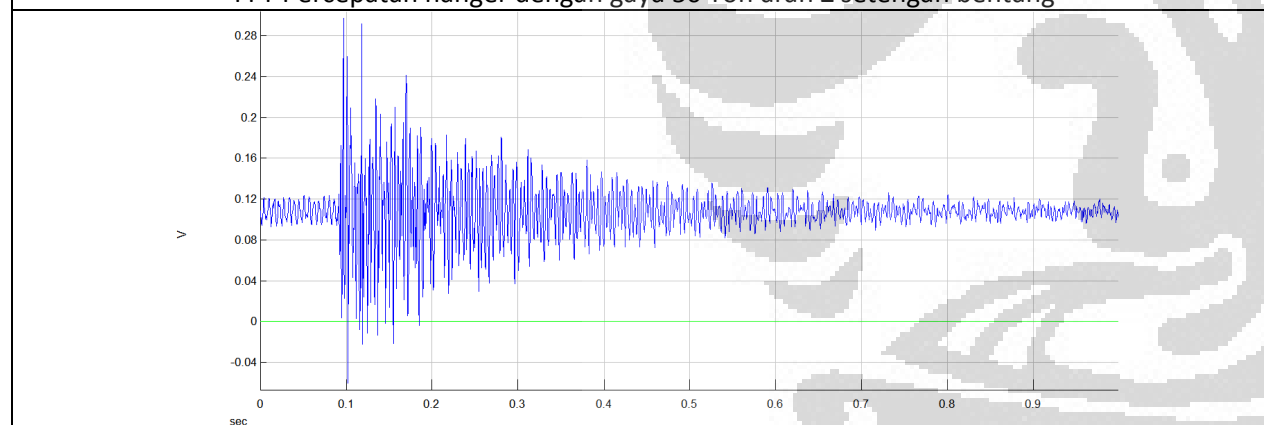
Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah Y seperempat bentang



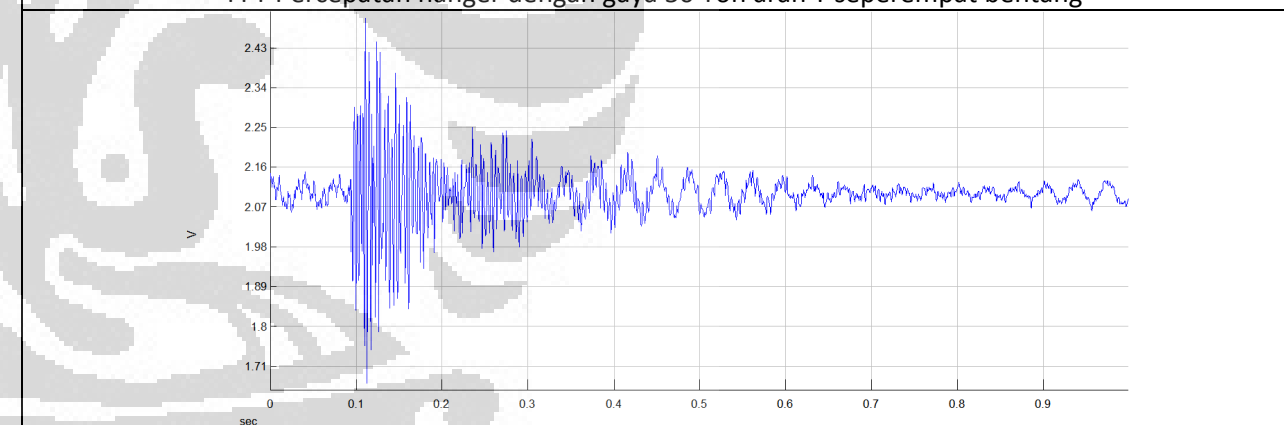
FFT Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah Z setengah bentang



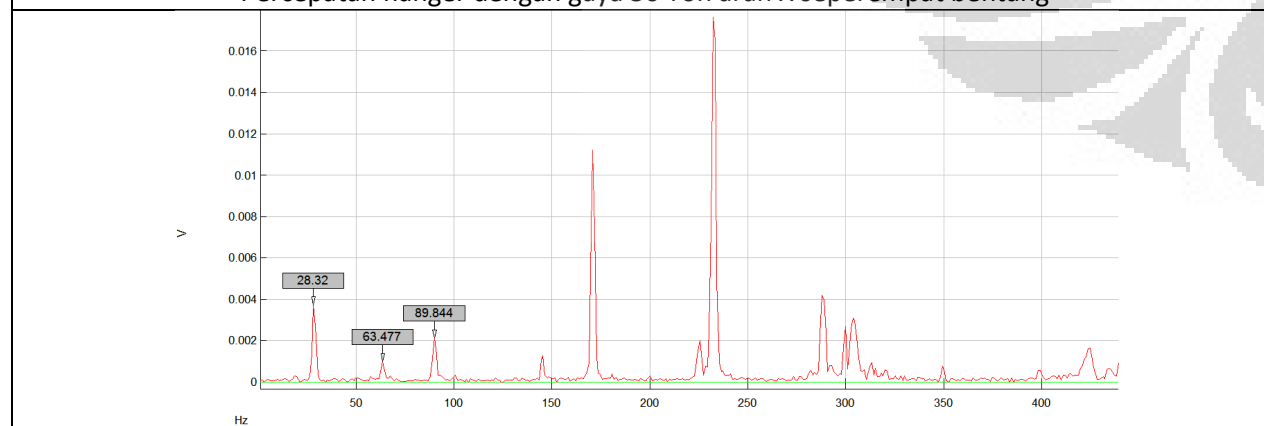
FFT Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah Y seperempat bentang



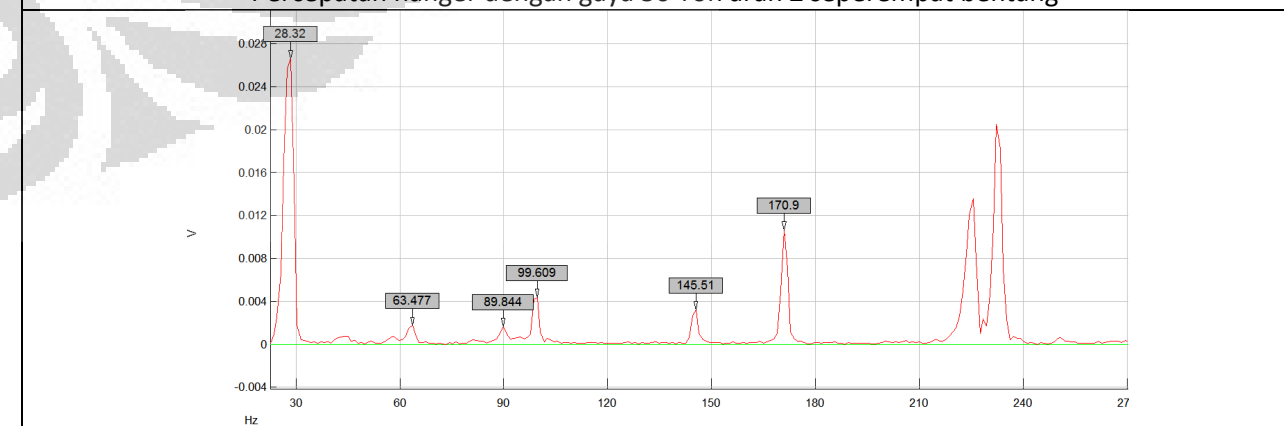
Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah X seperempat bentang



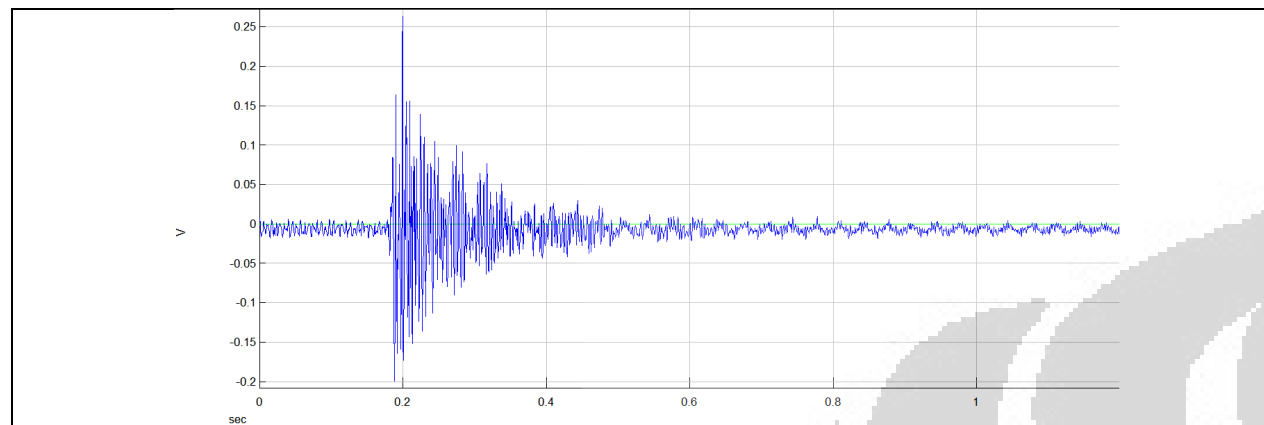
Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah Z seperempat bentang



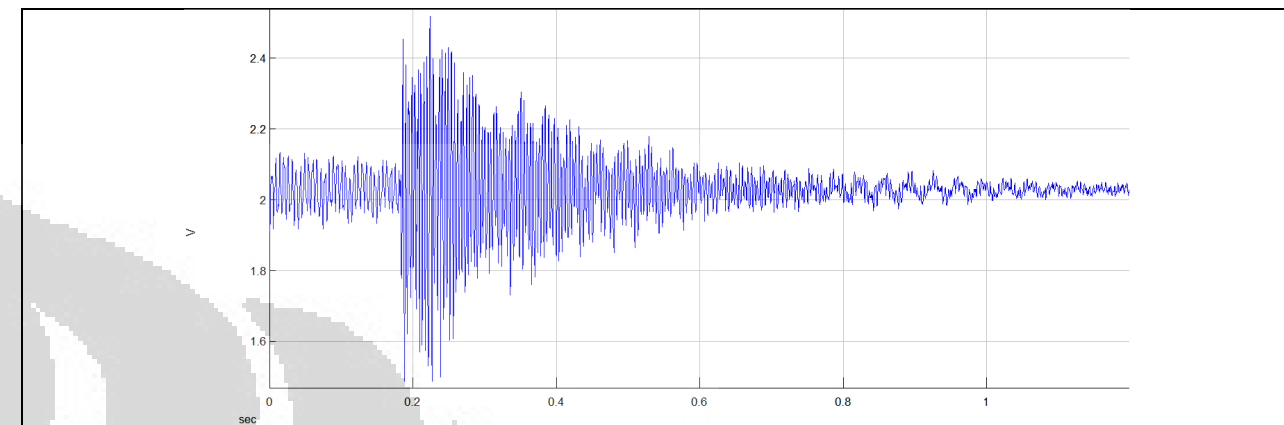
FFT Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah X seperempat bentang



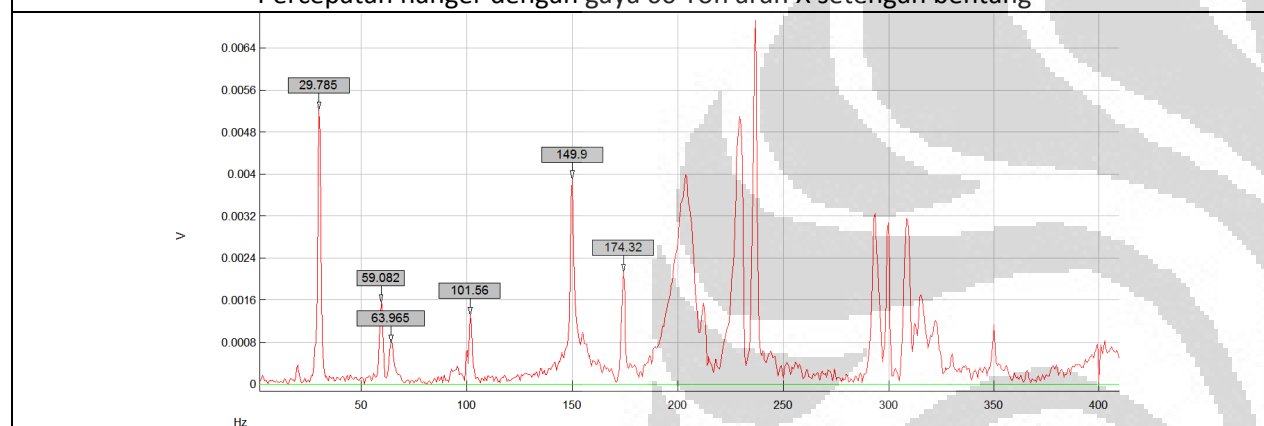
FFT Percepatan hanger dengan gaya 50 Ton arah Z seperempat bentang



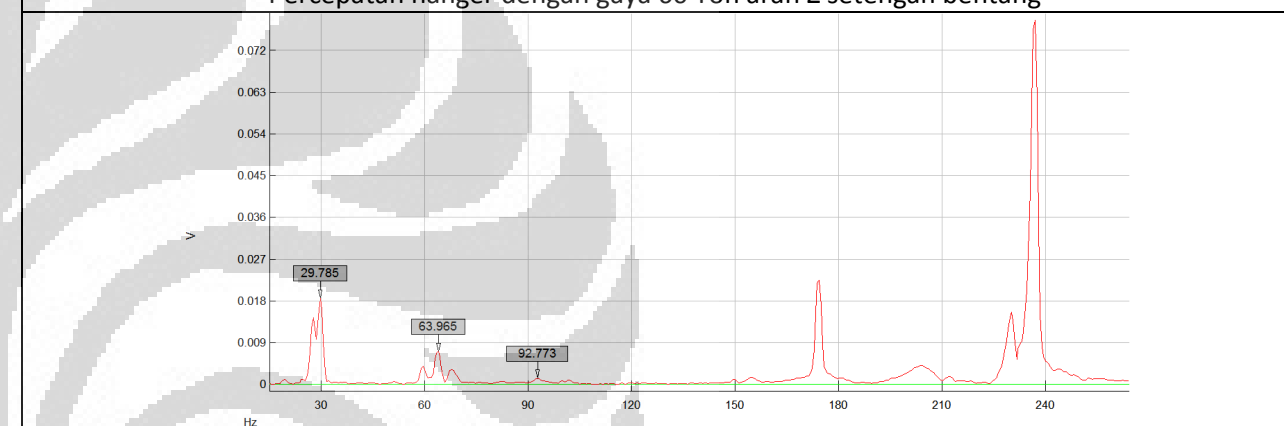
Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah X setengah bentang



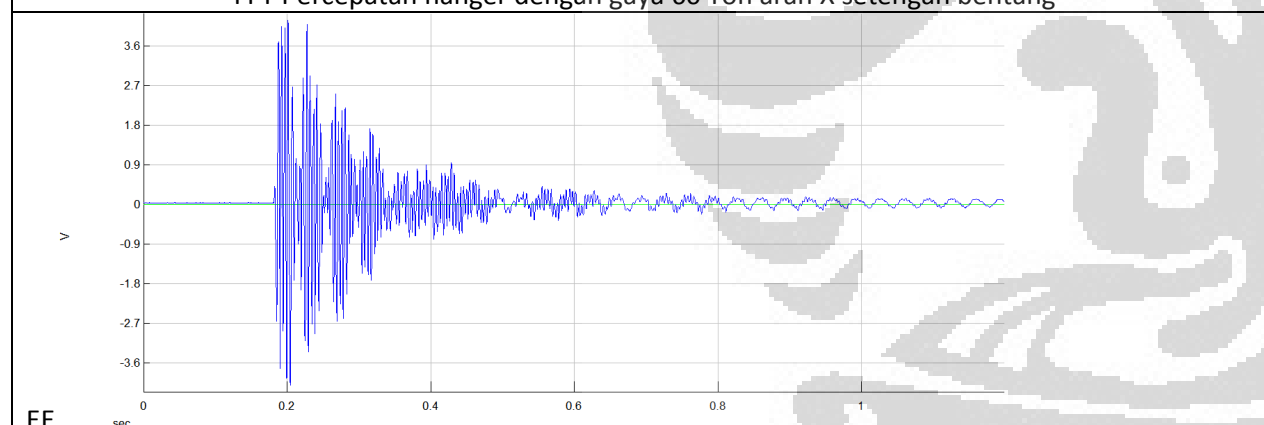
Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah Z setengah bentang



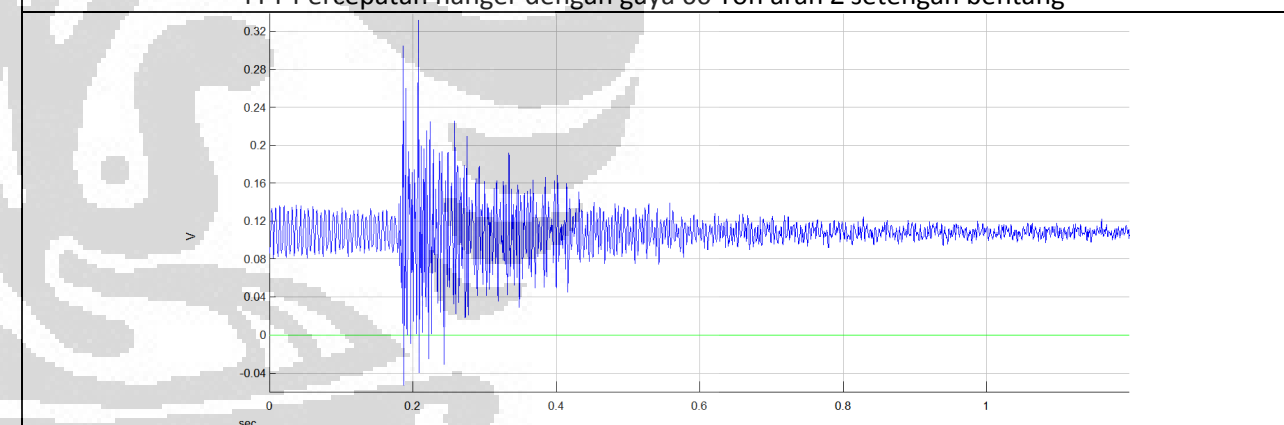
FFT Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah X setengah bentang



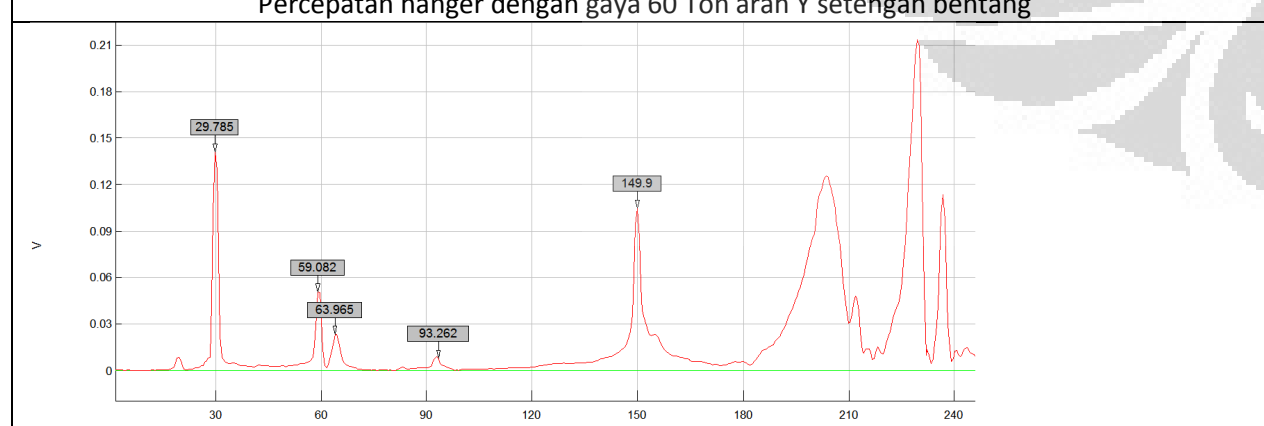
FFT Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah Z setengah bentang



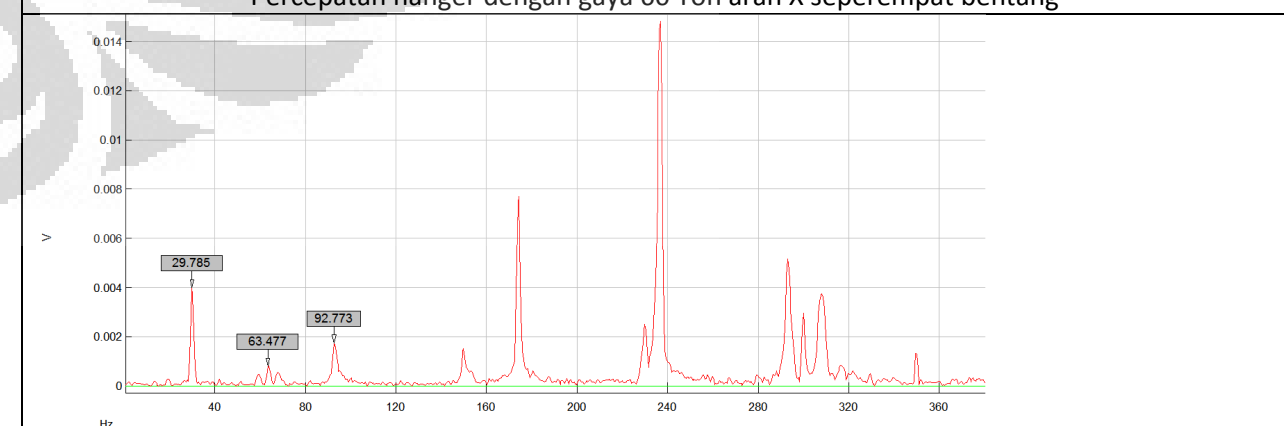
Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah Y setengah bentang



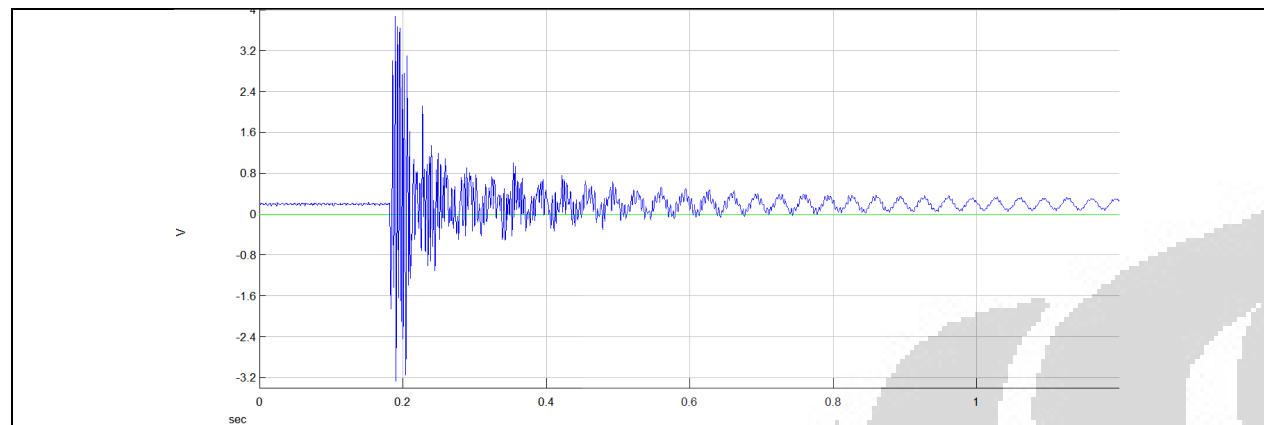
Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah X seperempat bentang



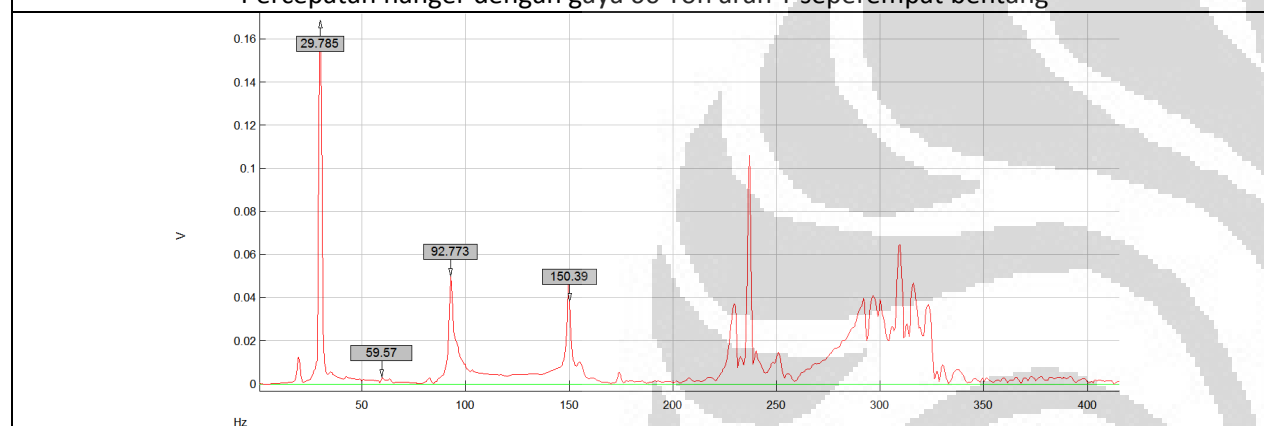
FFT Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah Y setengah bentang



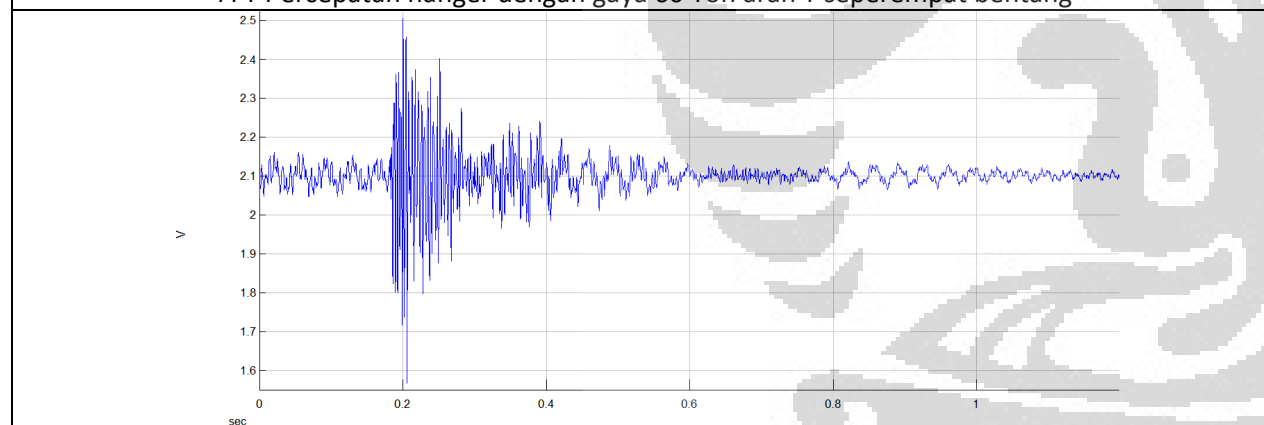
FFT Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah X seperempat bentang



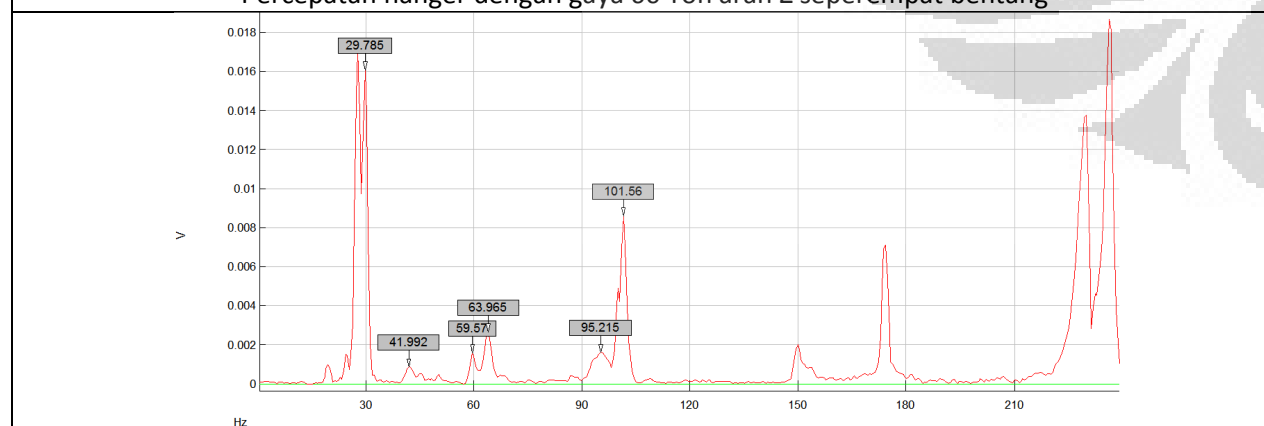
Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah Y seperempat bentang



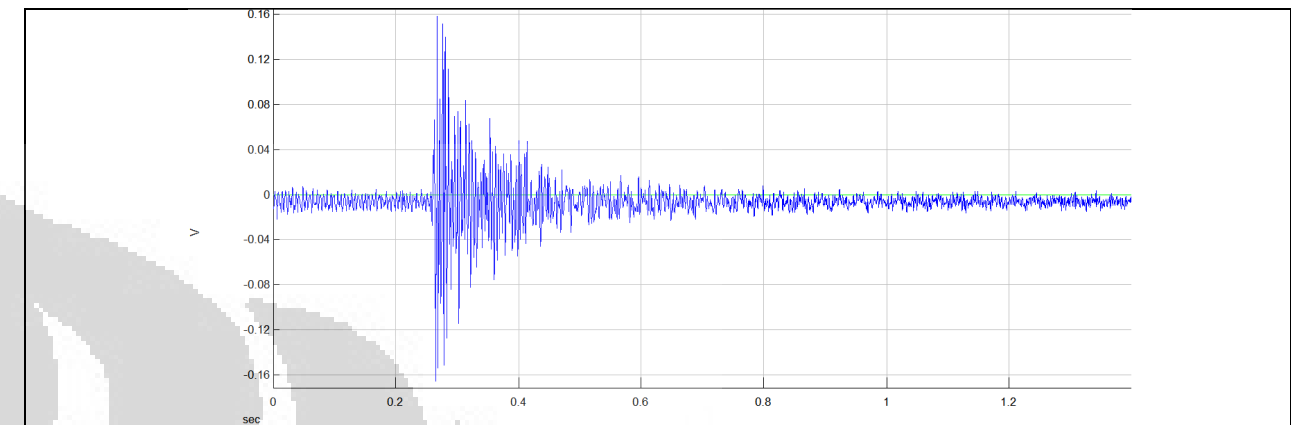
FFT Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah Y seperempat bentang



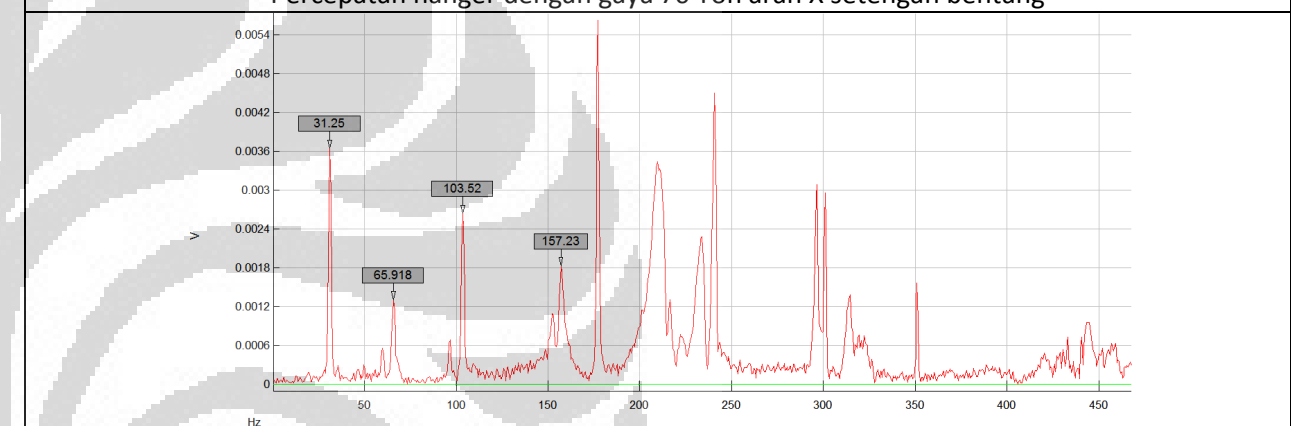
Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah Z seperempat bentang



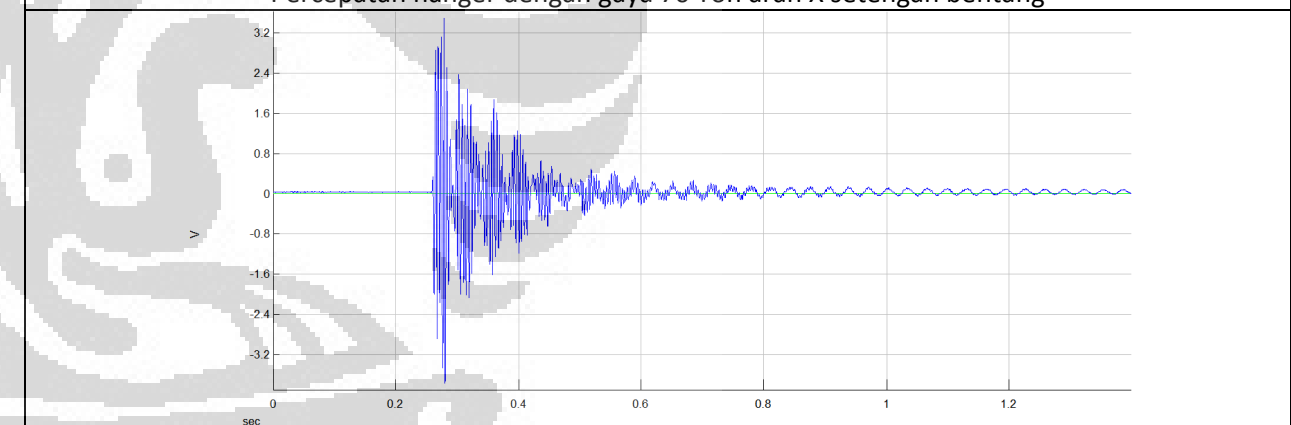
FFT Percepatan hanger dengan gaya 60 Ton arah Z seperempat bentang



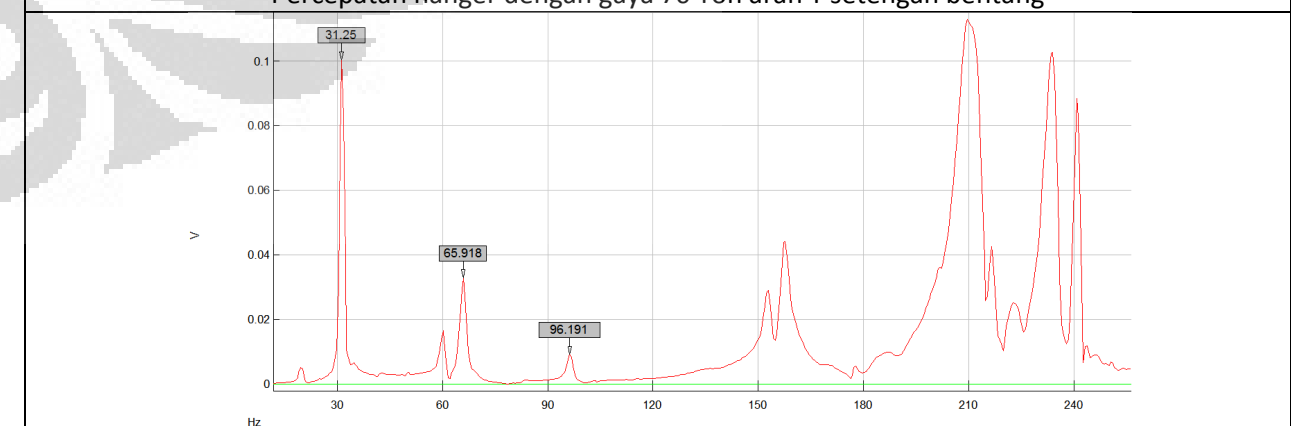
Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah X setengah bentang



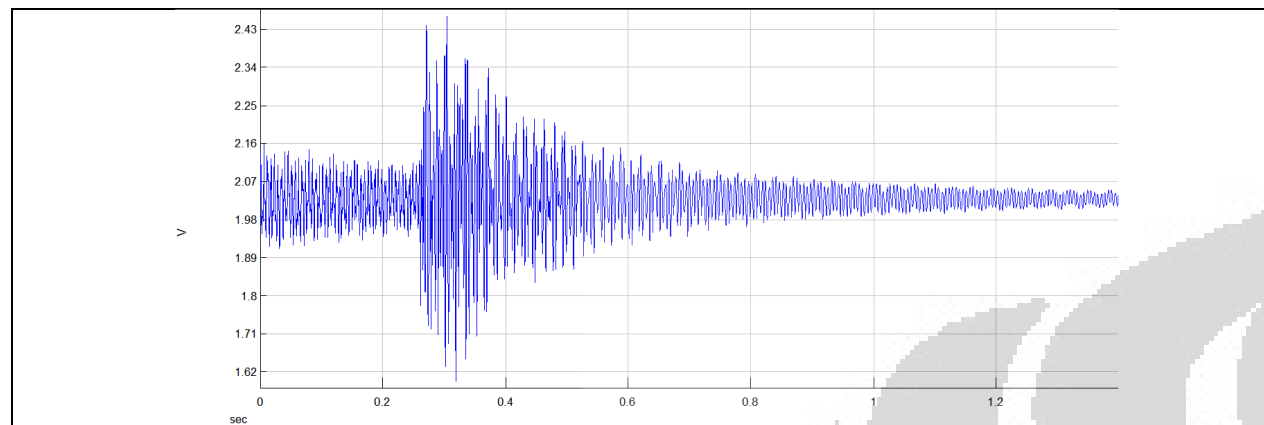
Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah X setengah bentang



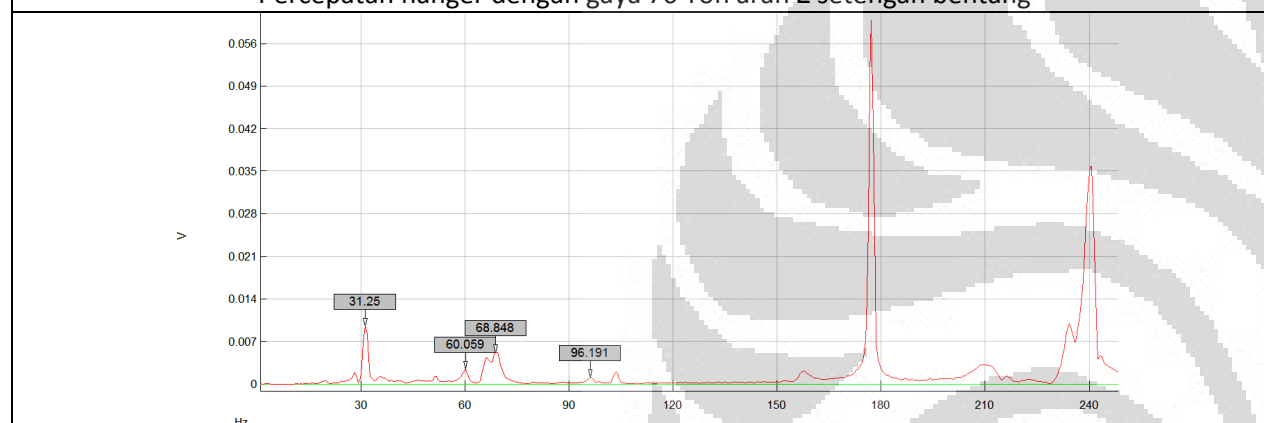
Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah Y setengah bentang



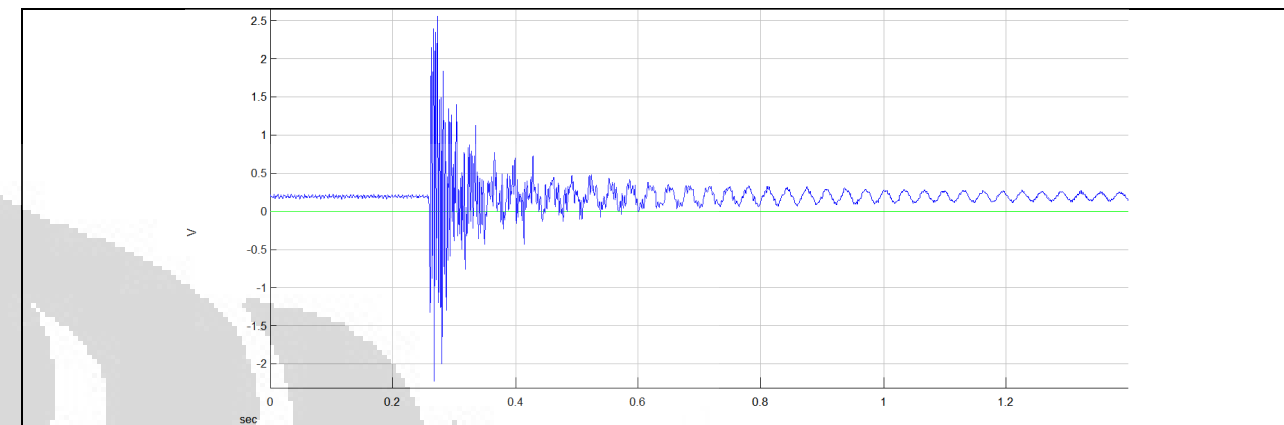
FFT Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah Y setengah bentang



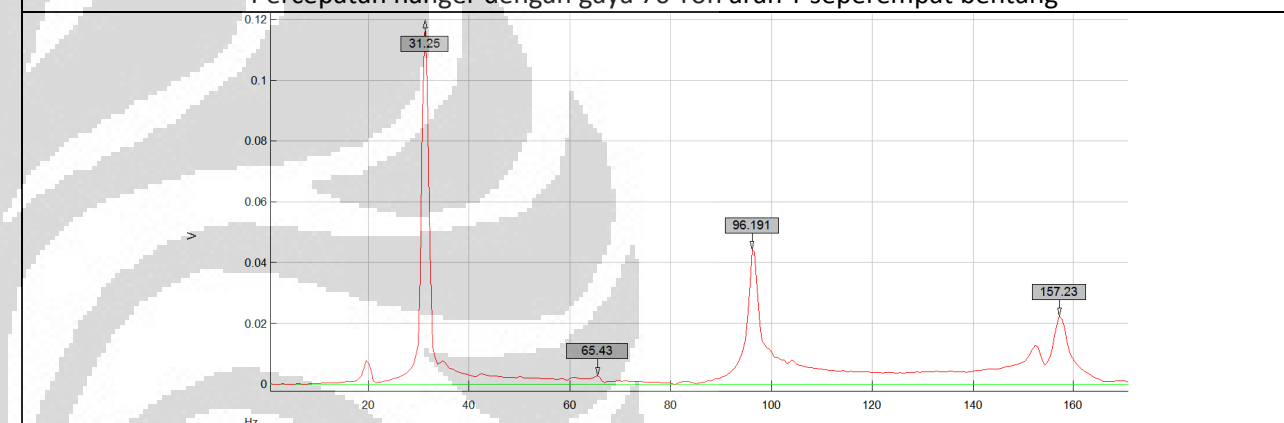
Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah Z setengah bentang



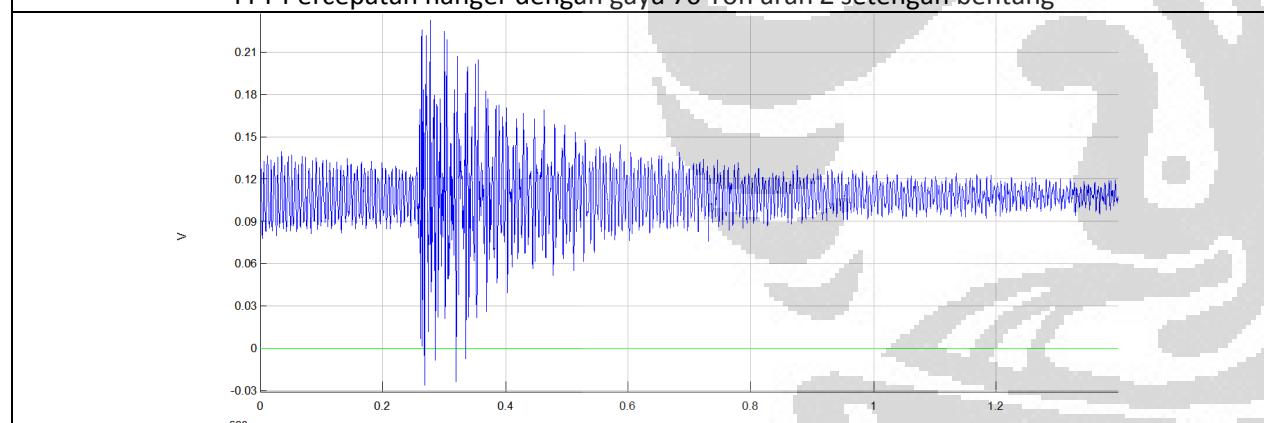
FFT Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah Z setengah bentang



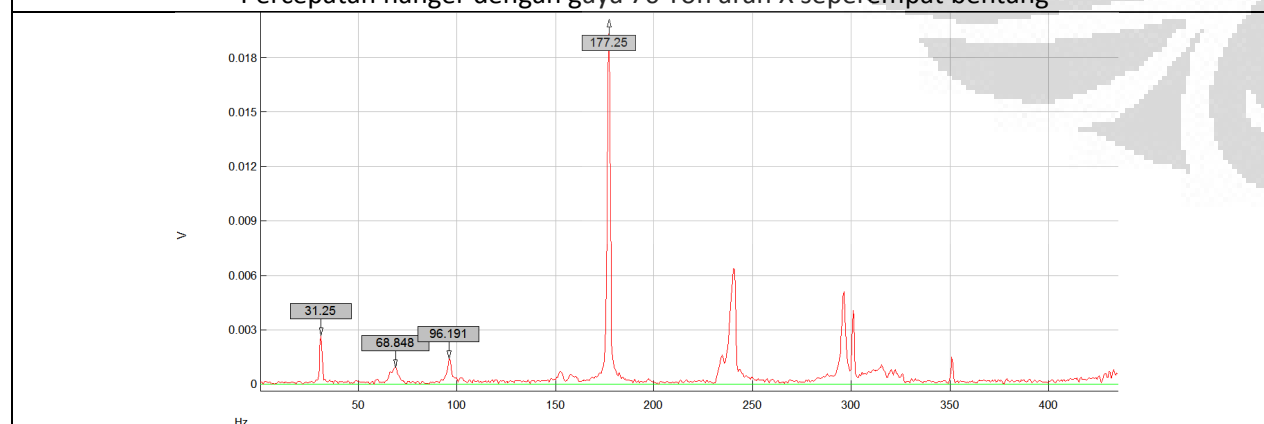
Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah Y seperempat bentang



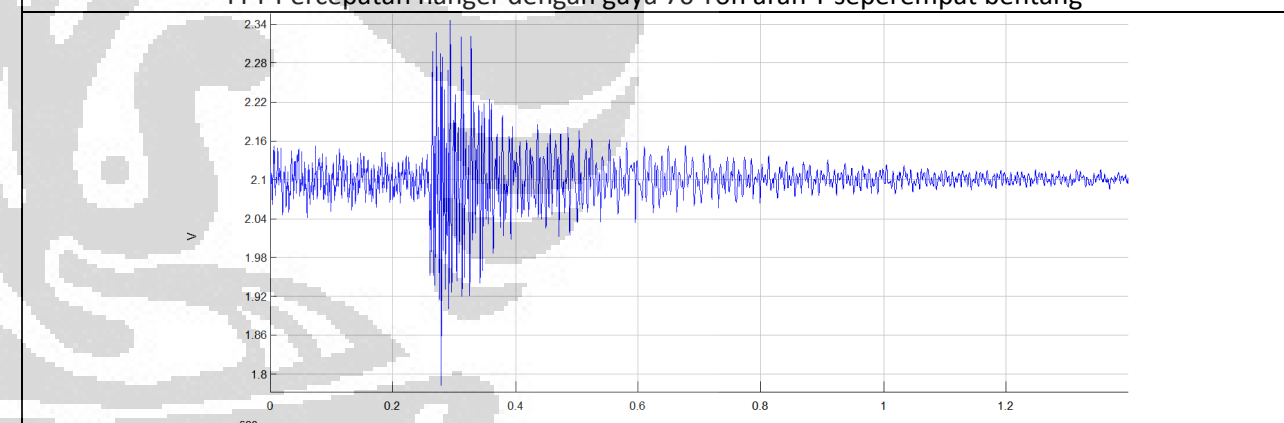
FFT Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah Y seperempat bentang



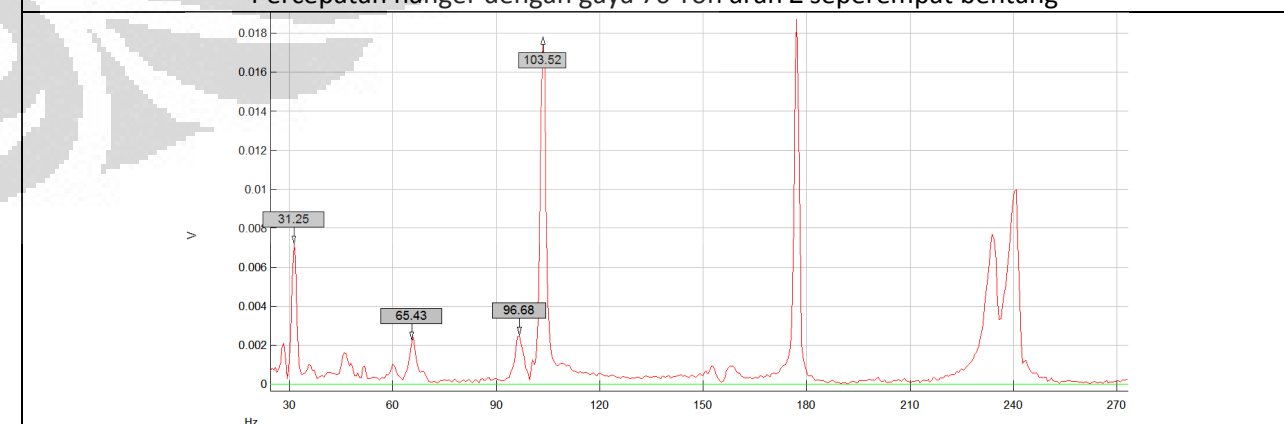
Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah X seperempat bentang



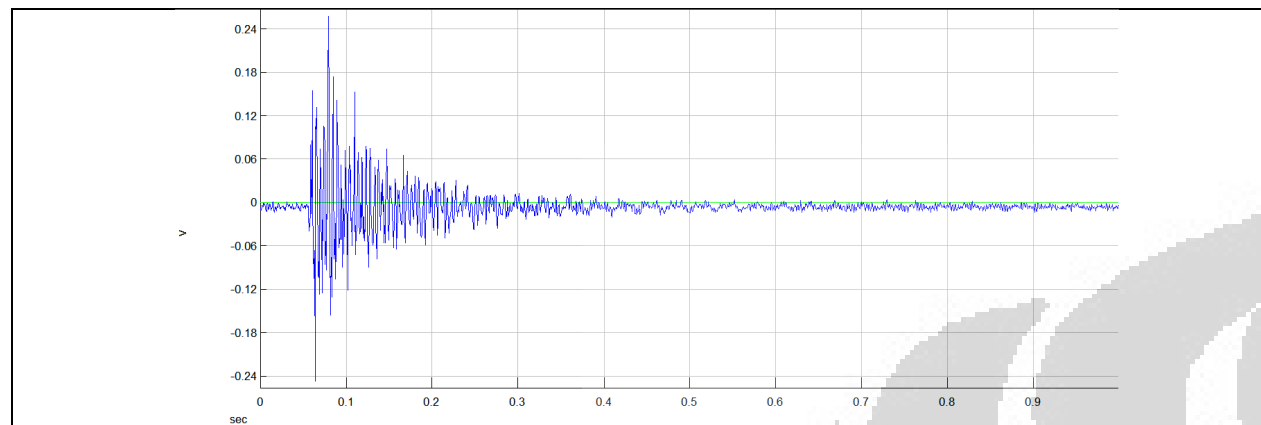
FFT Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah X seperempat bentang



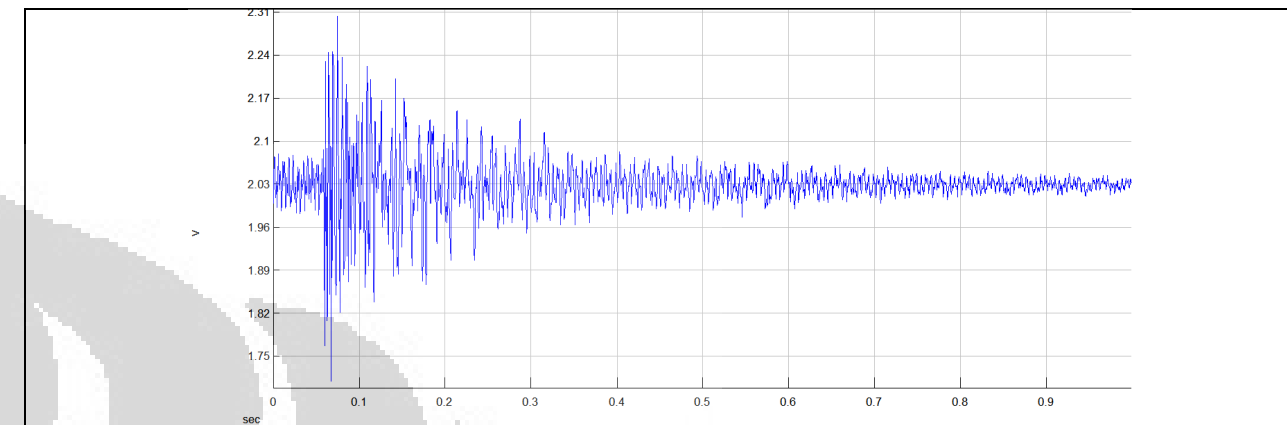
Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah Z seperempat bentang



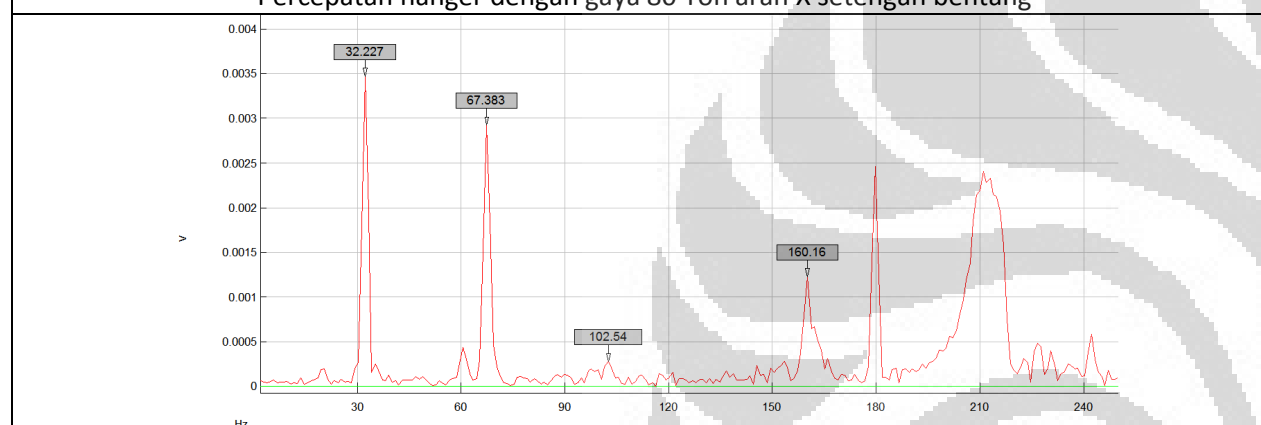
FFT Percepatan hanger dengan gaya 70 Ton arah Z seperempat bentang



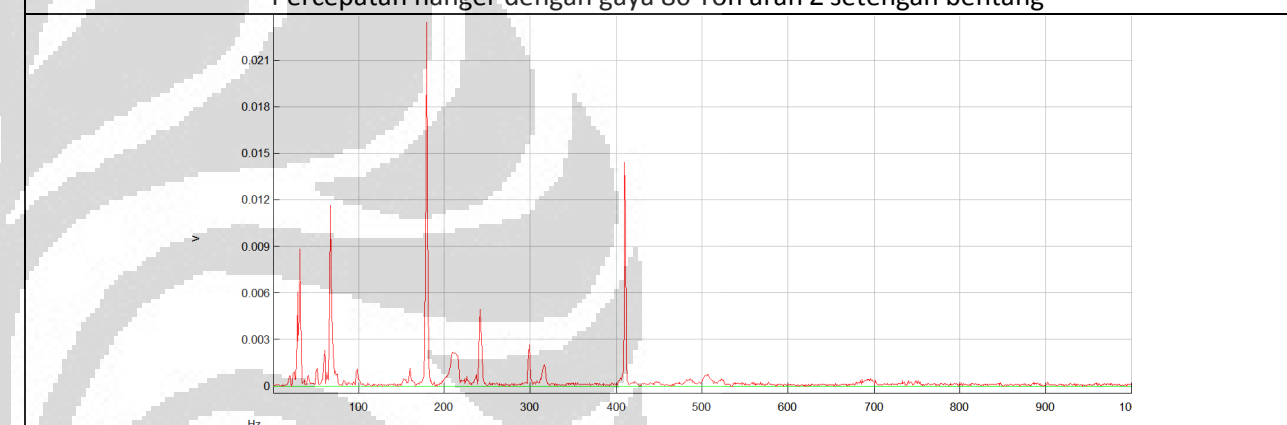
Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah X setengah bentang



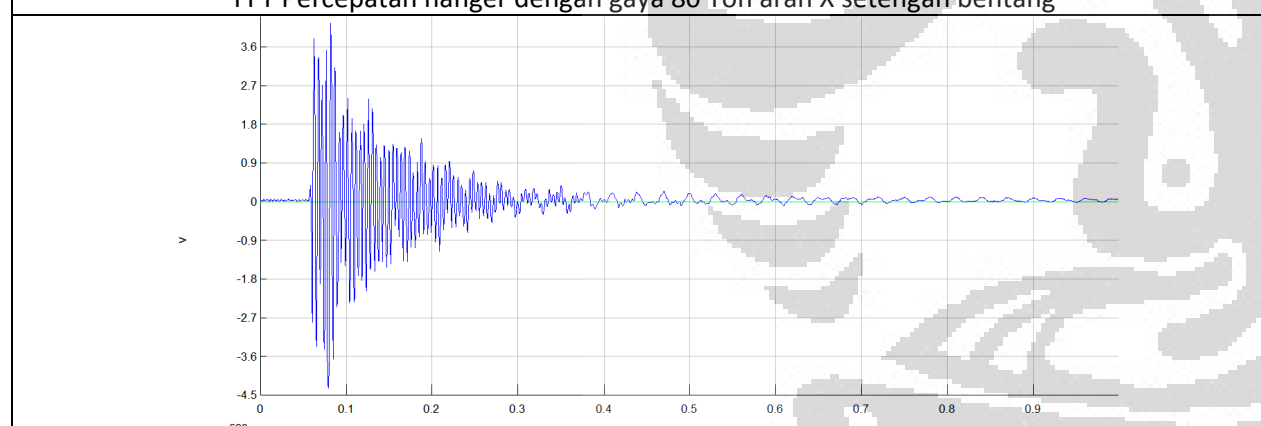
Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah Z setengah bentang



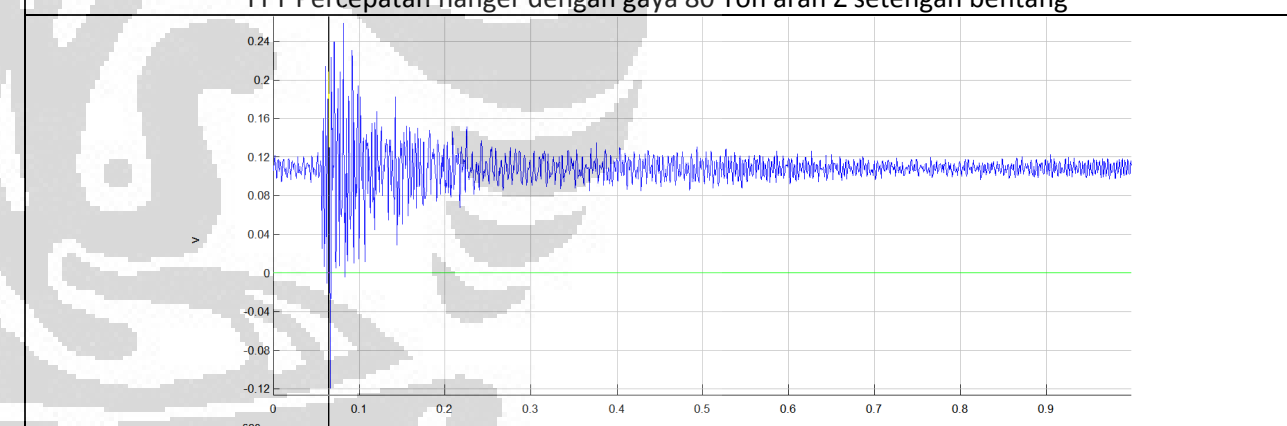
FFT Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah X setengah bentang



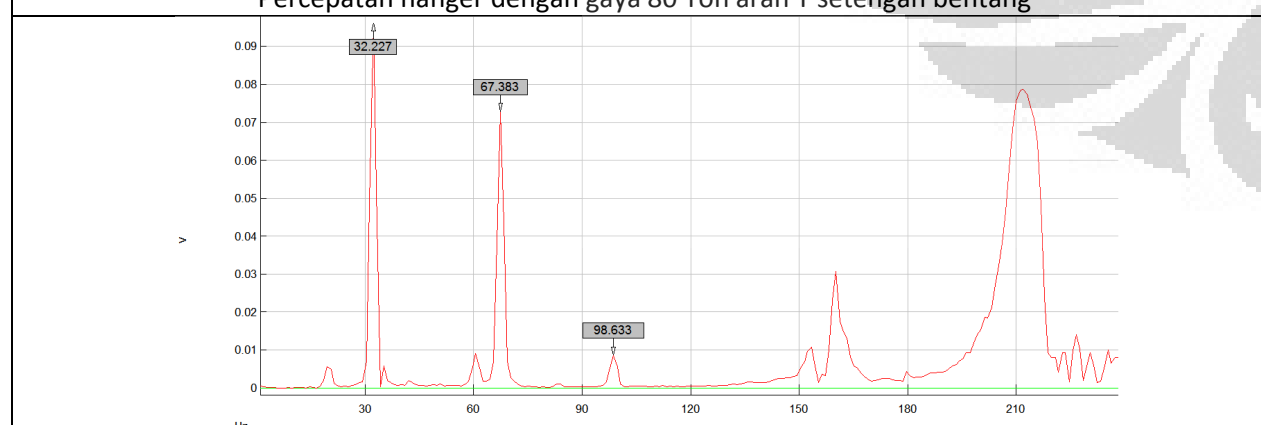
FFT Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah Z setengah bentang



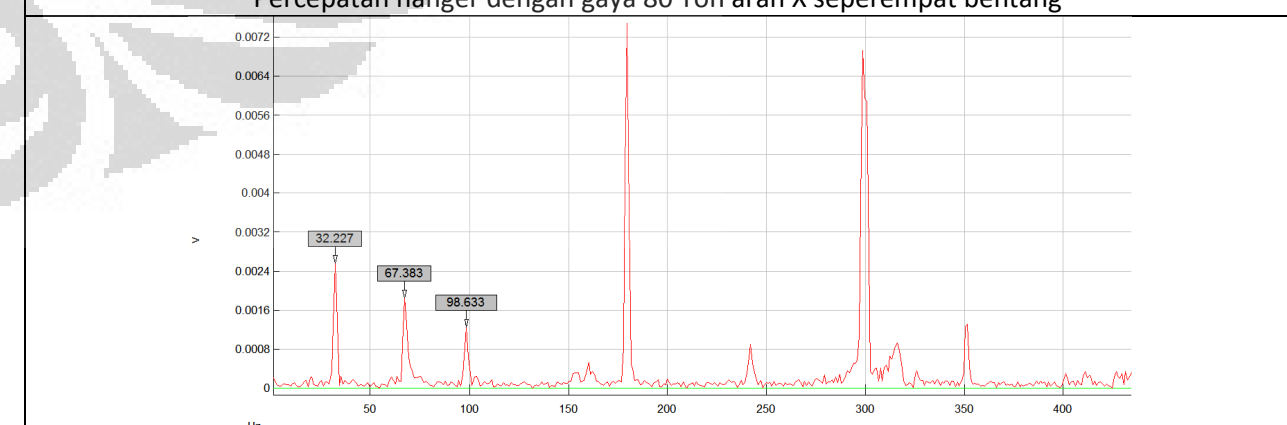
Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah Y setengah bentang



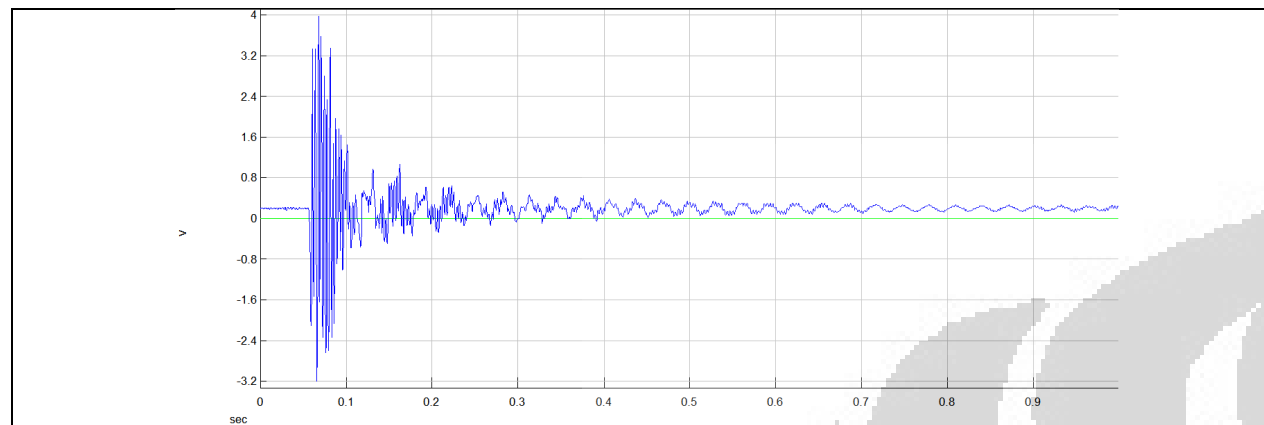
Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah X seperempat bentang



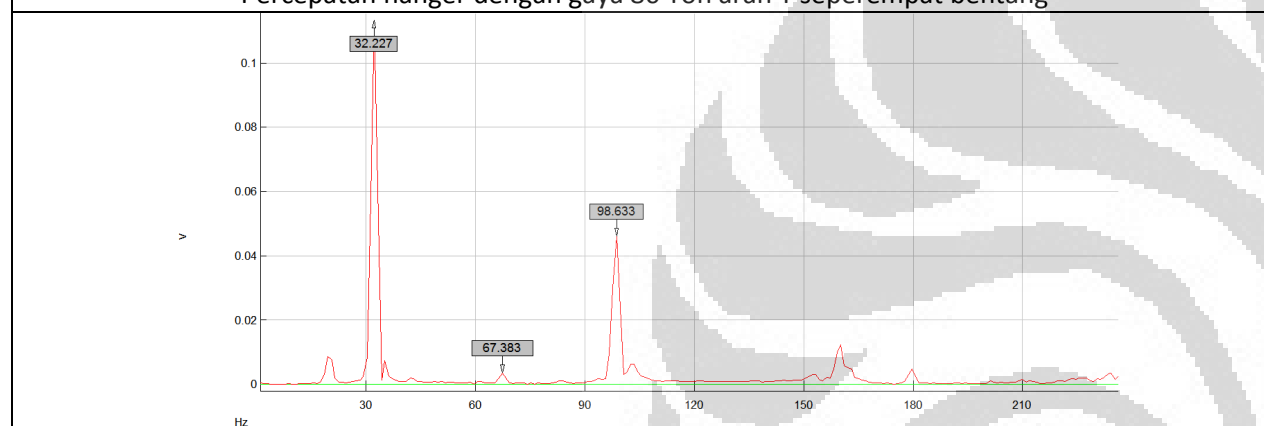
FFT Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah Y setengah bentang



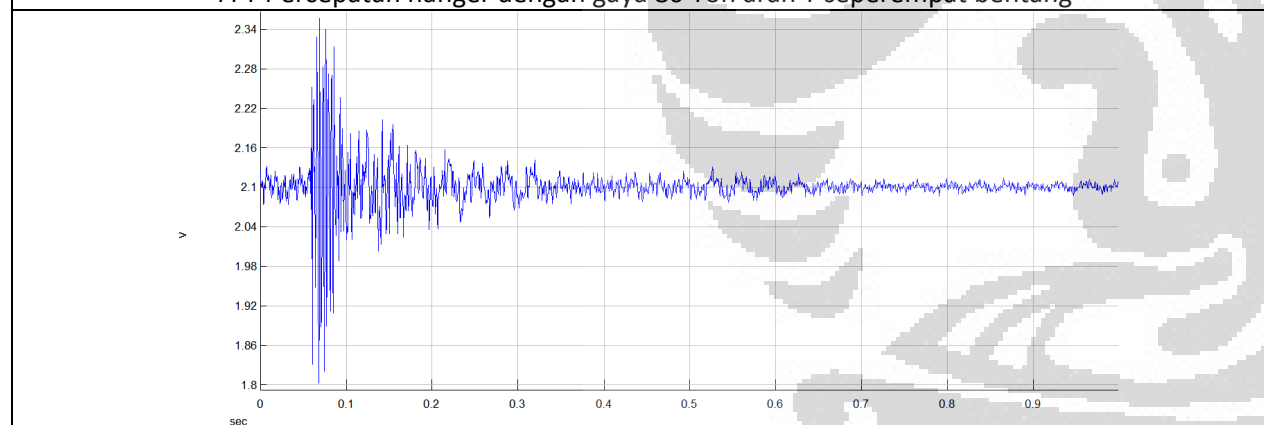
FFT Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah X seperempat bentang



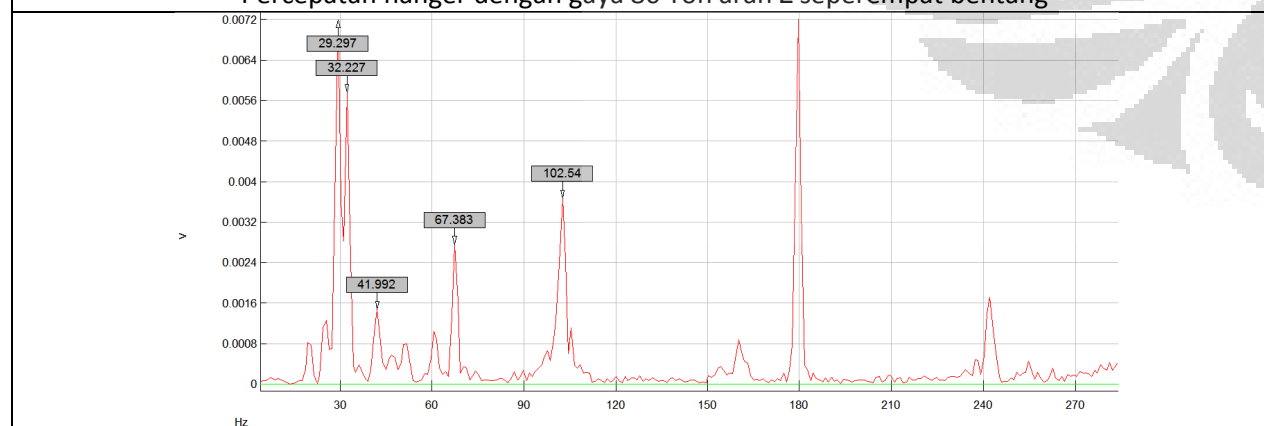
Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah Y seperempat bentang



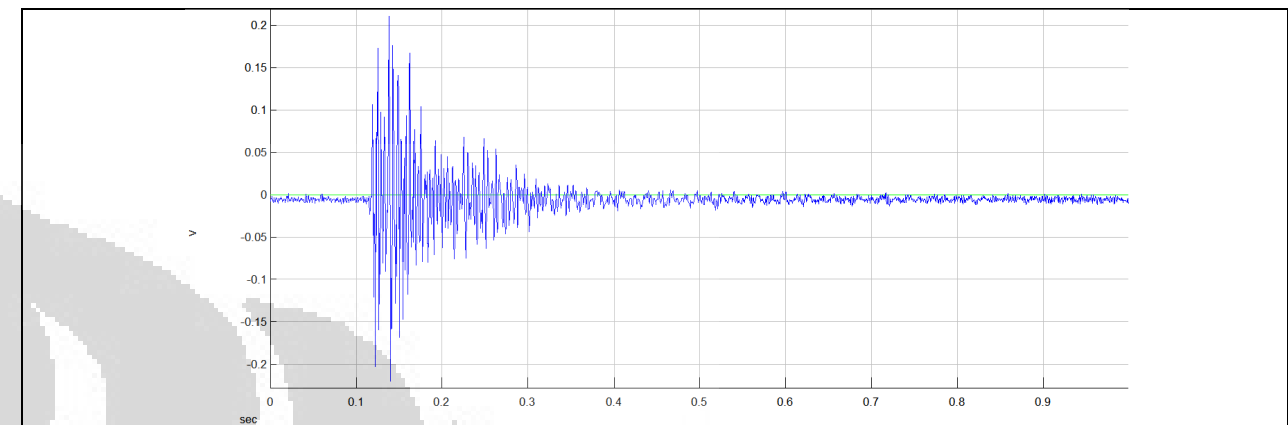
FFT Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah Y seperempat bentang



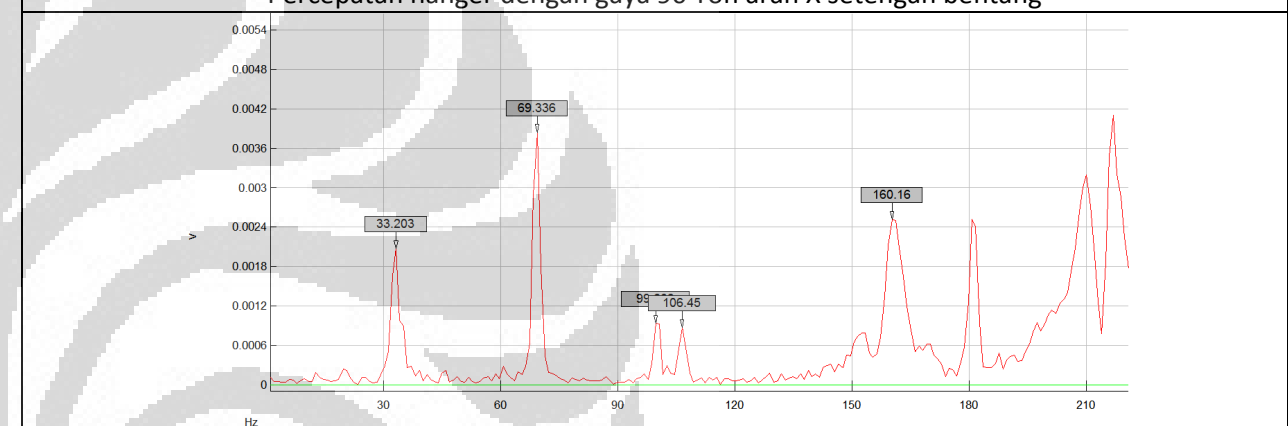
Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah Z seperempat bentang



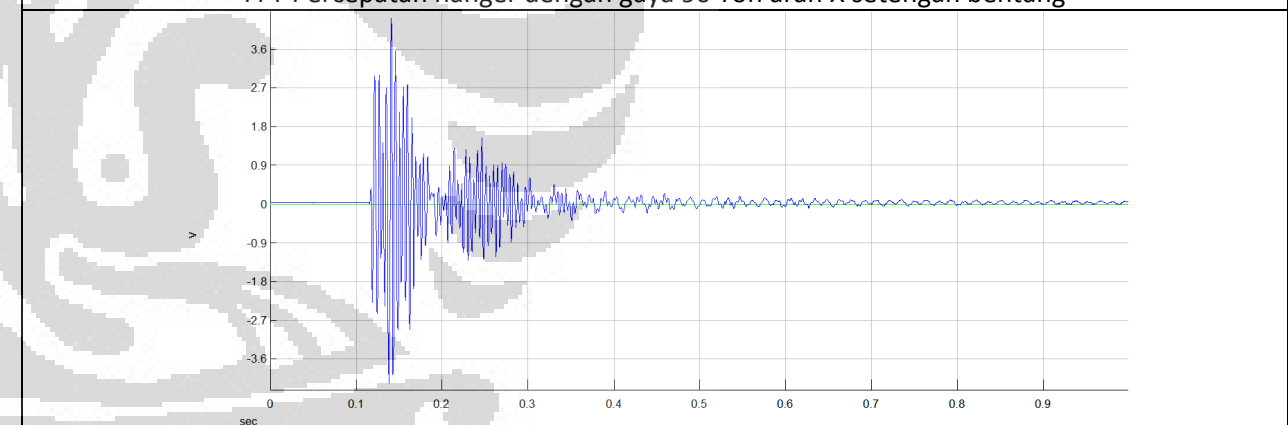
FFT Percepatan hanger dengan gaya 80 Ton arah Z seperempat bentang



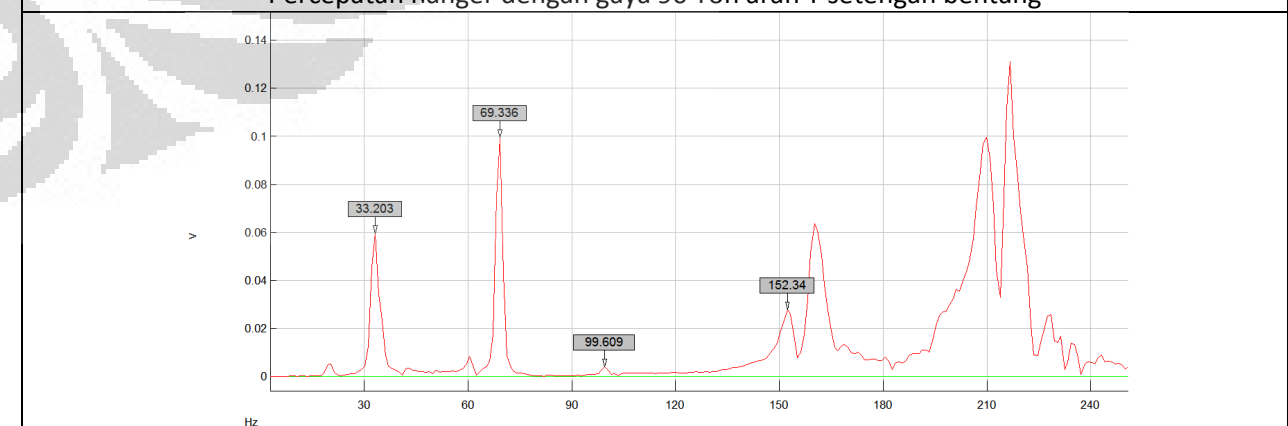
Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah X setengah bentang



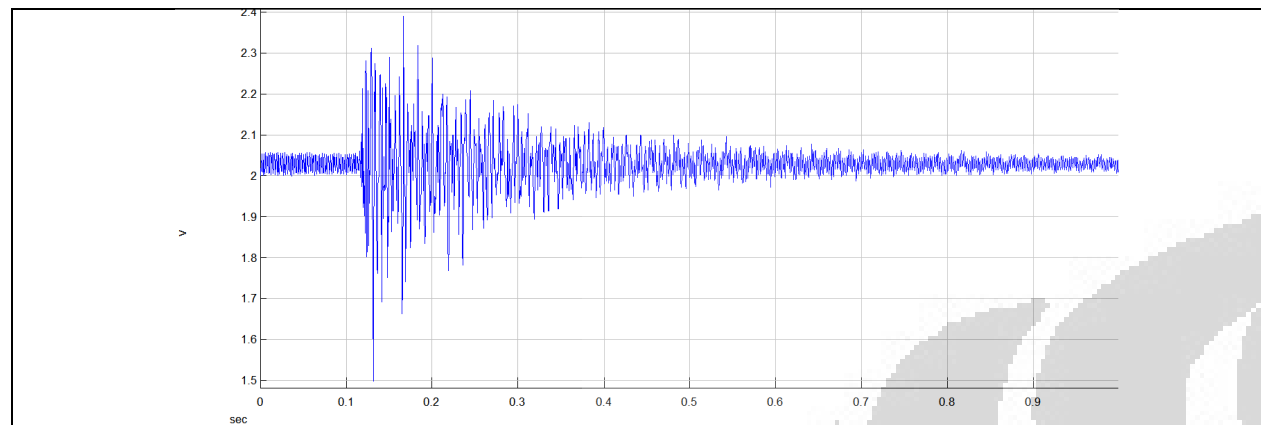
FFT Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah X setengah bentang



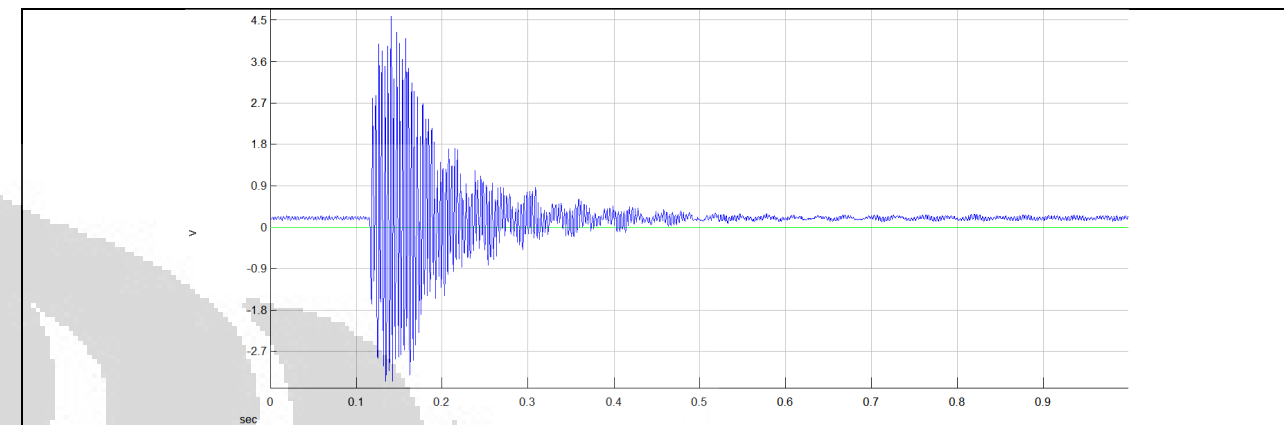
Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah Y setengah bentang



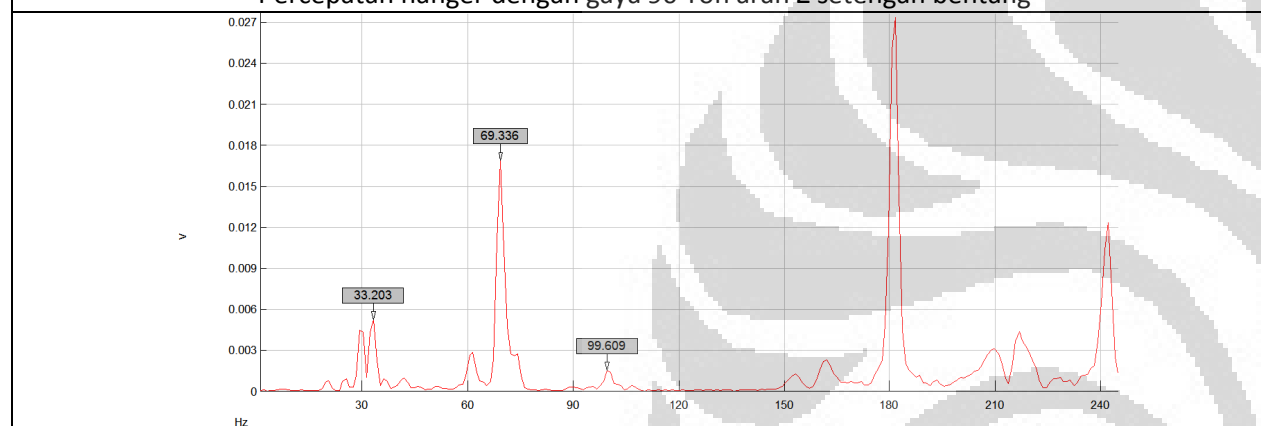
FFT Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah Y setengah bentang



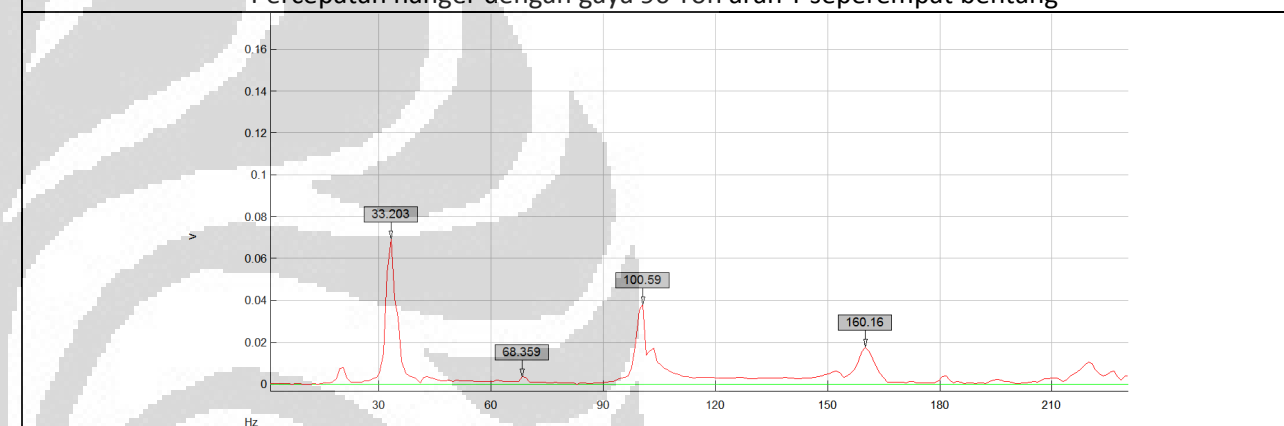
Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah Z setengah bentang



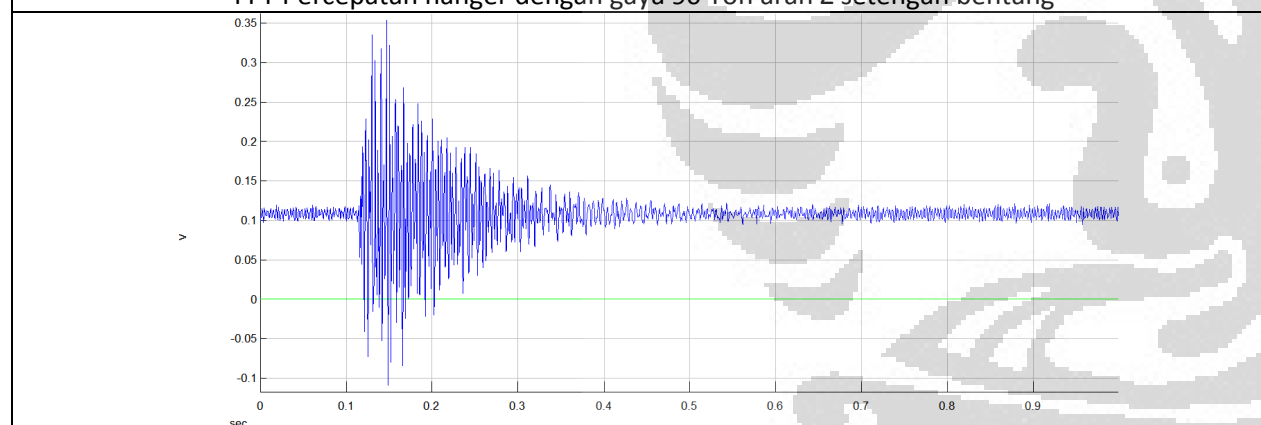
Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah Y seperempat bentang



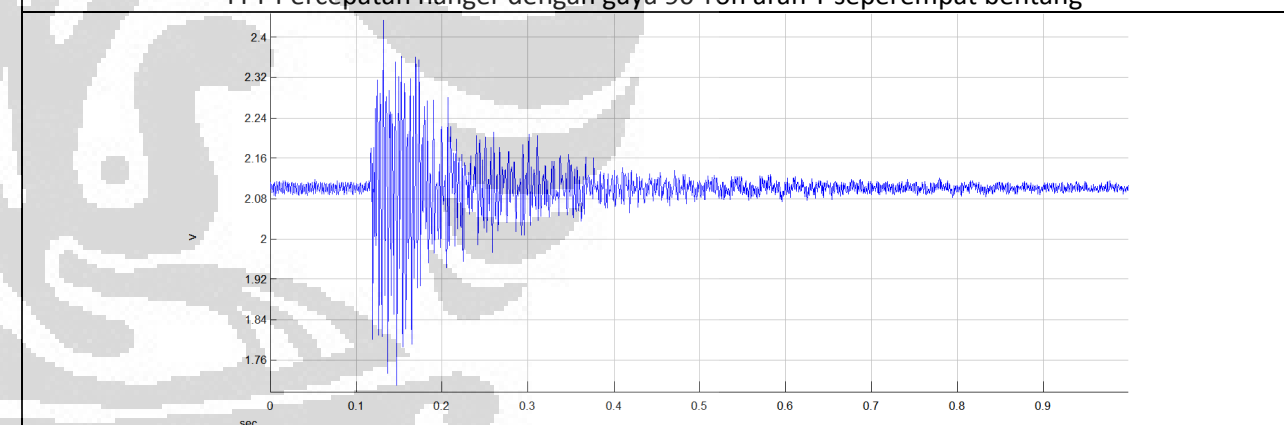
FFT Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah Z setengah bentang



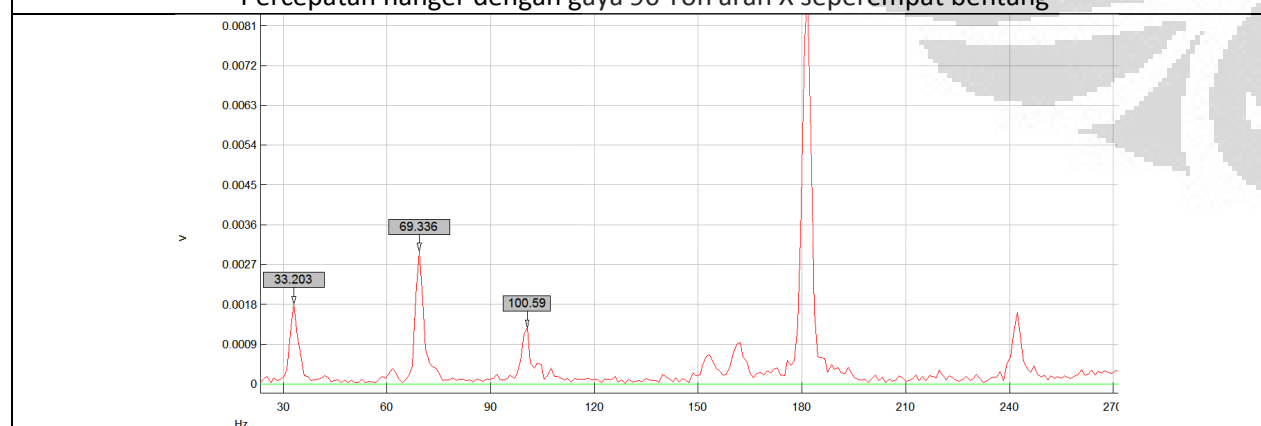
FFT Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah Y seperempat bentang



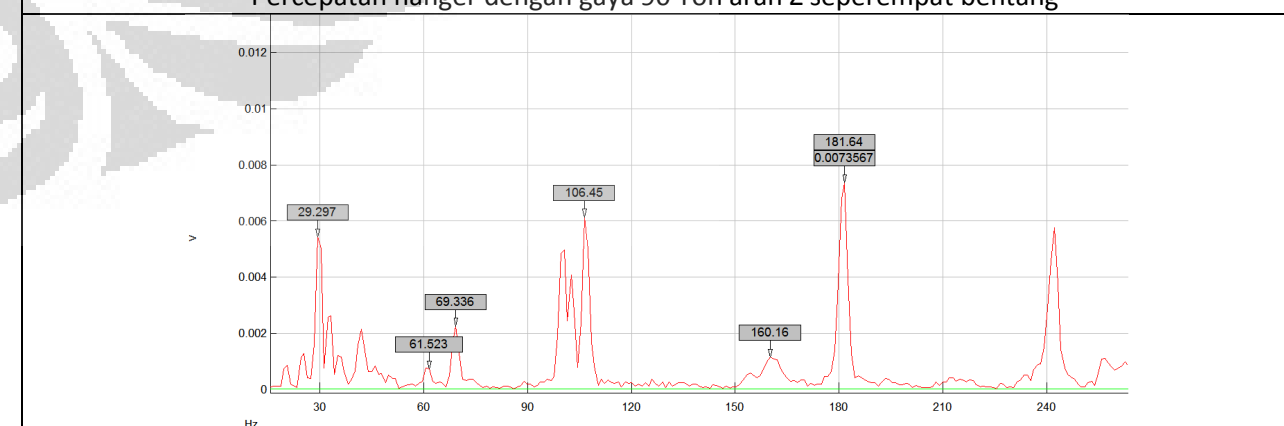
Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah X seperempat bentang



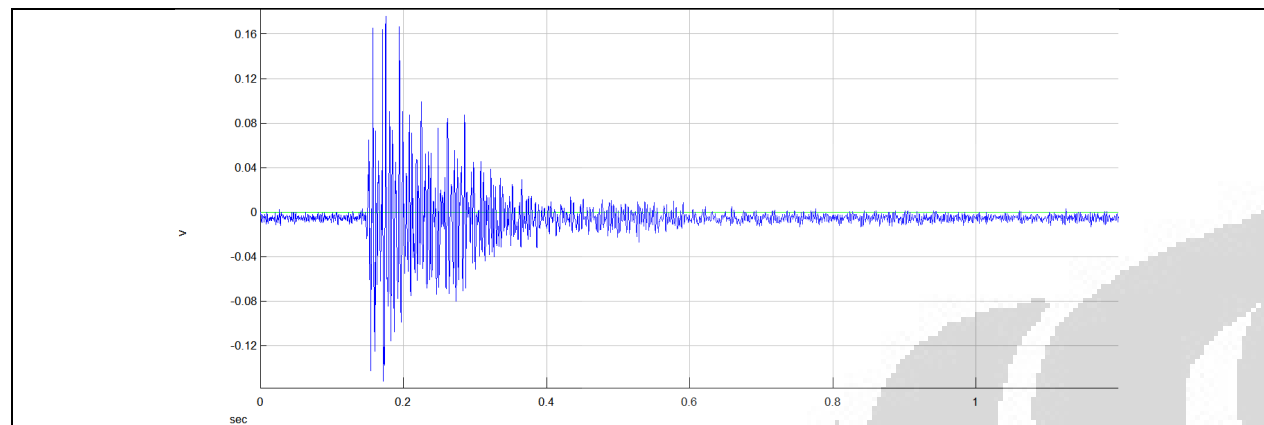
Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah Z seperempat bentang



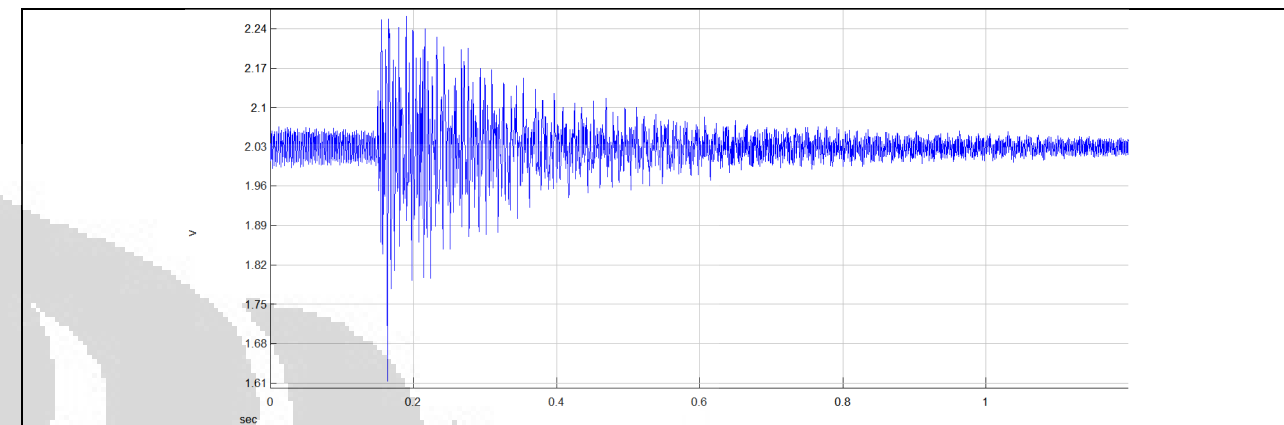
FFT Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah X seperempat bentang



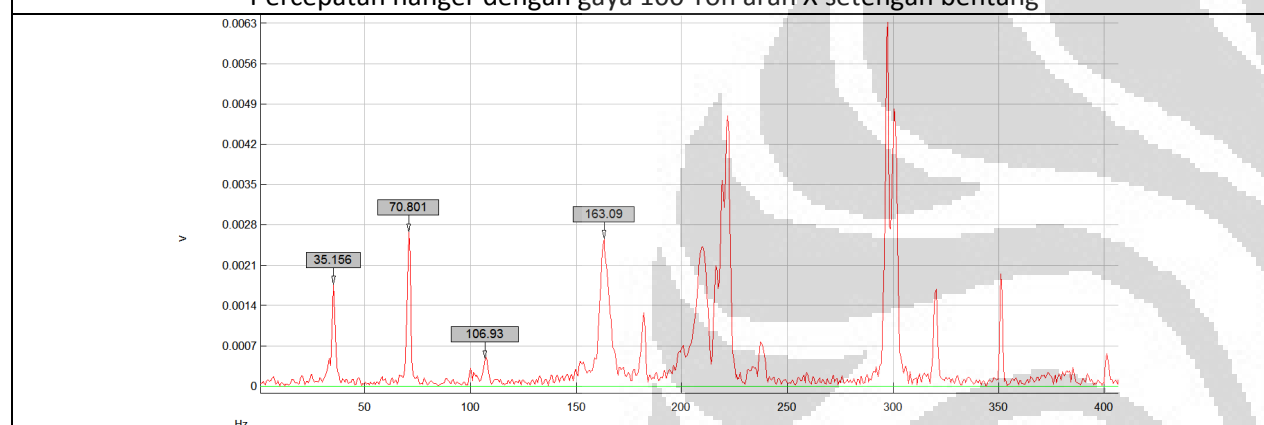
FFT Percepatan hanger dengan gaya 90 Ton arah Z seperempat bentang



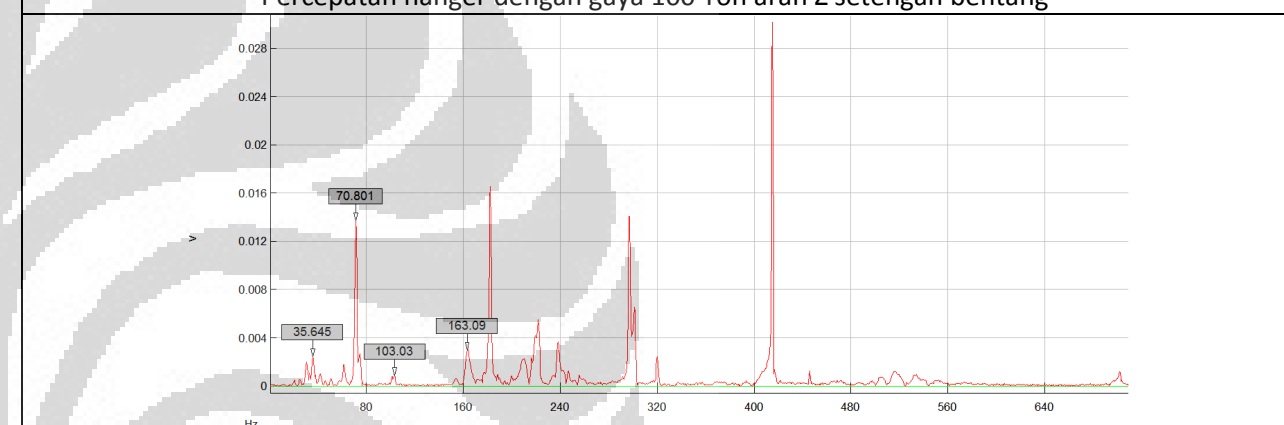
Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah X setengah bentang



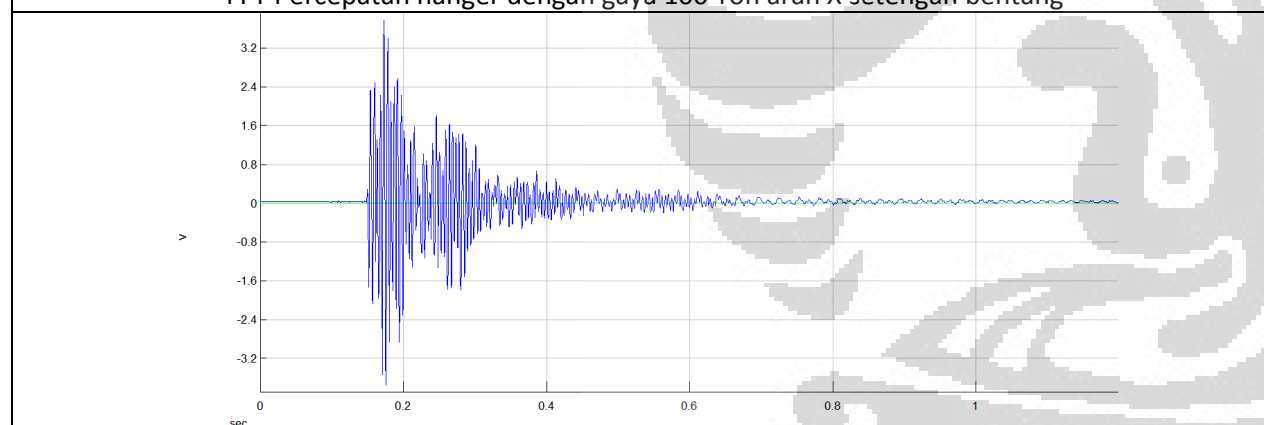
Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah Z setengah bentang



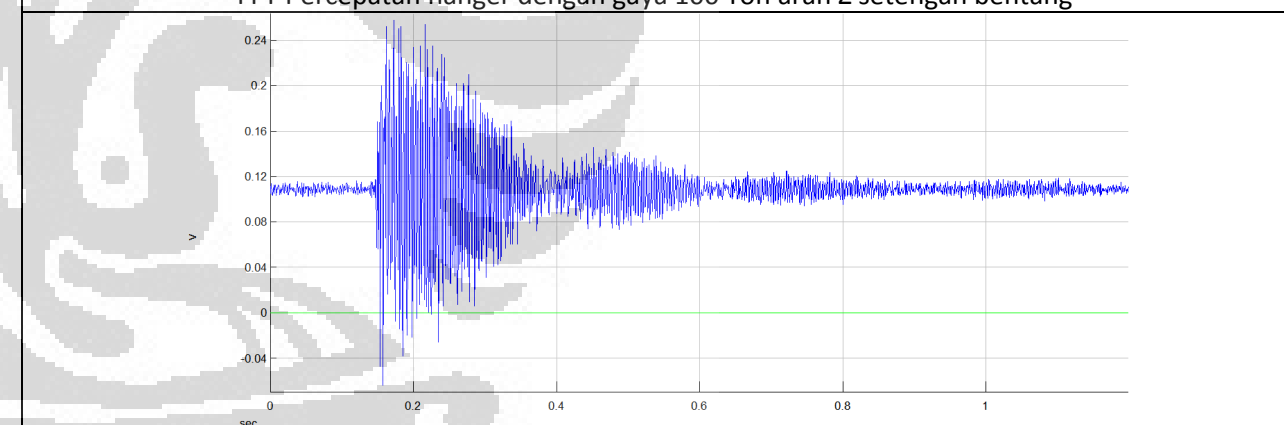
FFT Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah X setengah bentang



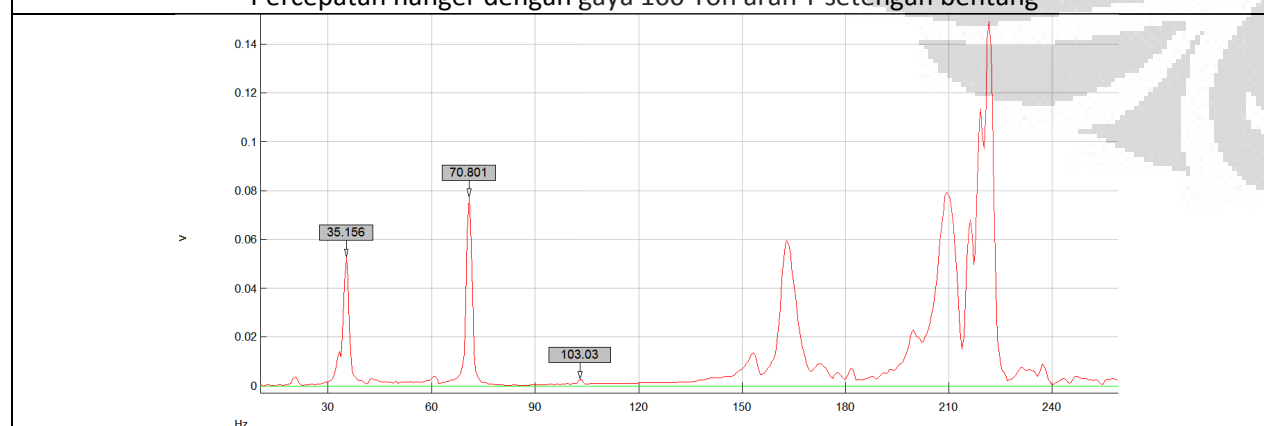
FFT Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah Z setengah bentang



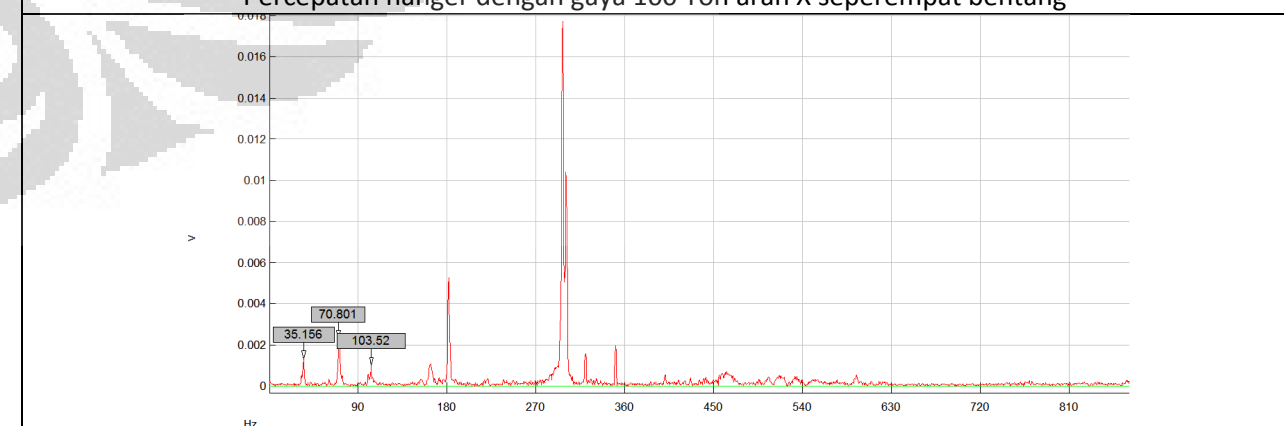
Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah Y setengah bentang



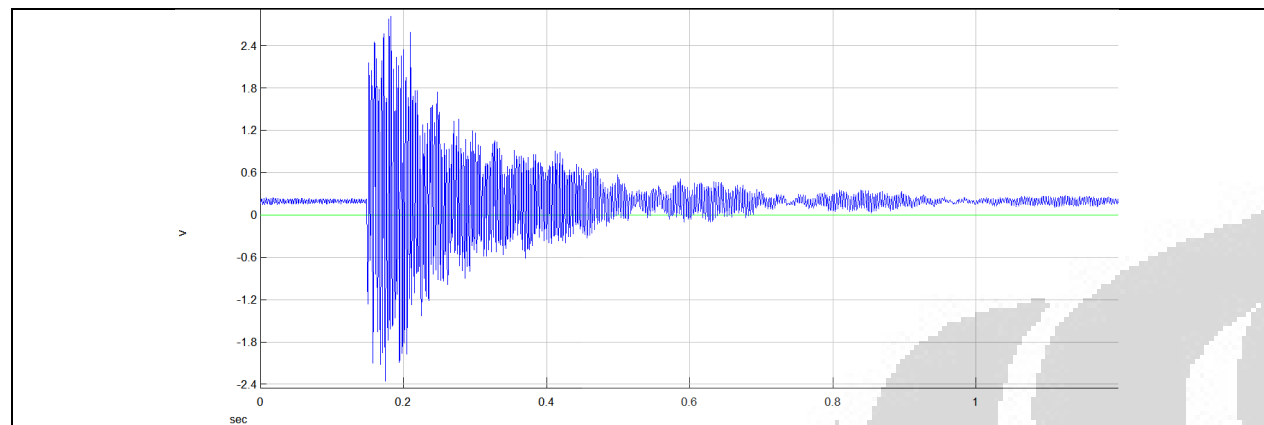
Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah X seperempat bentang



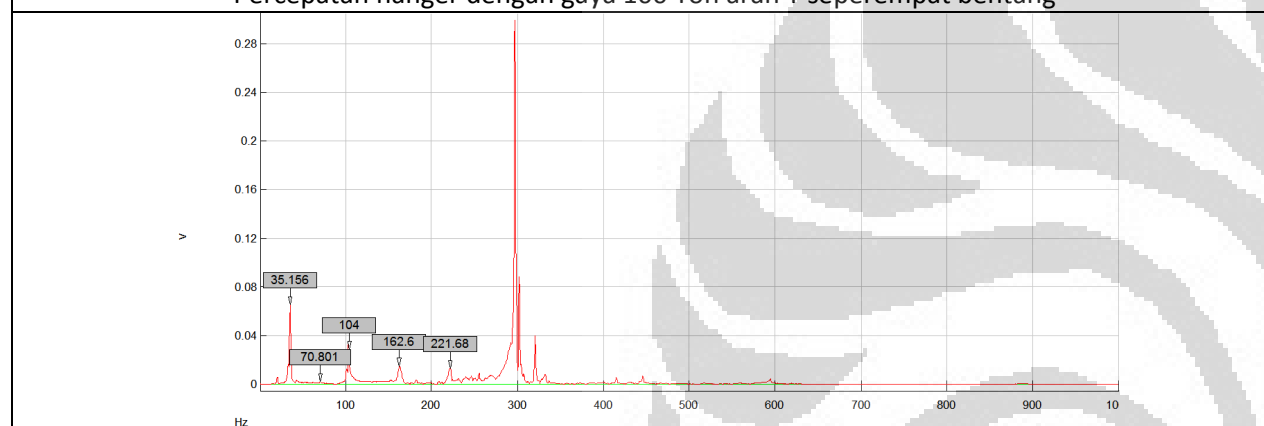
FFT Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah Y setengah bentang



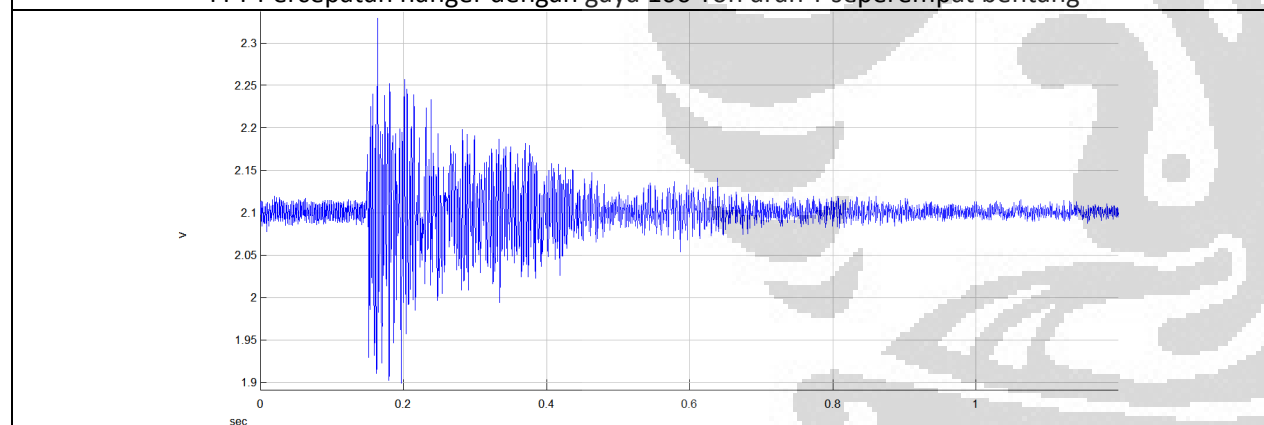
FFT Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah X seperempat bentang



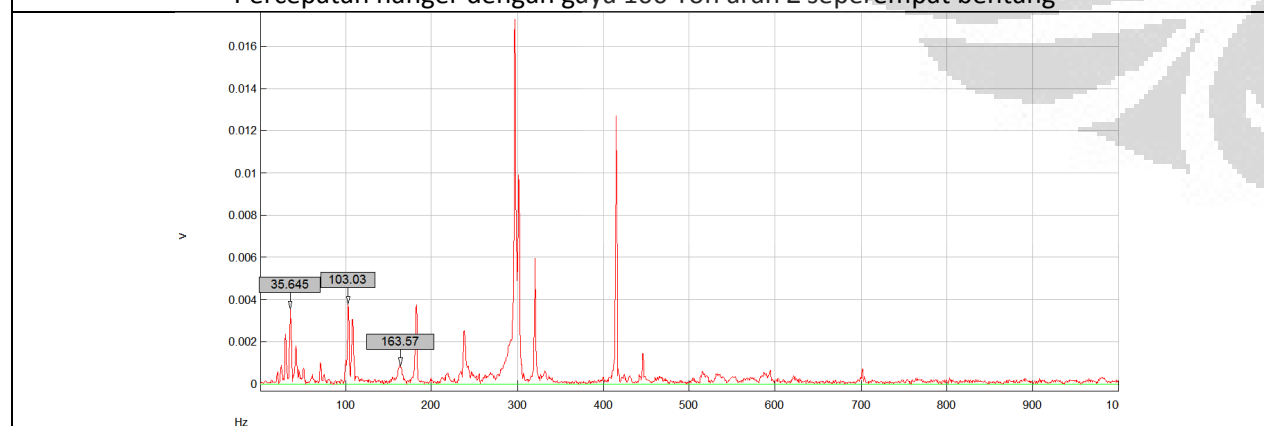
Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah Y seperempat bentang



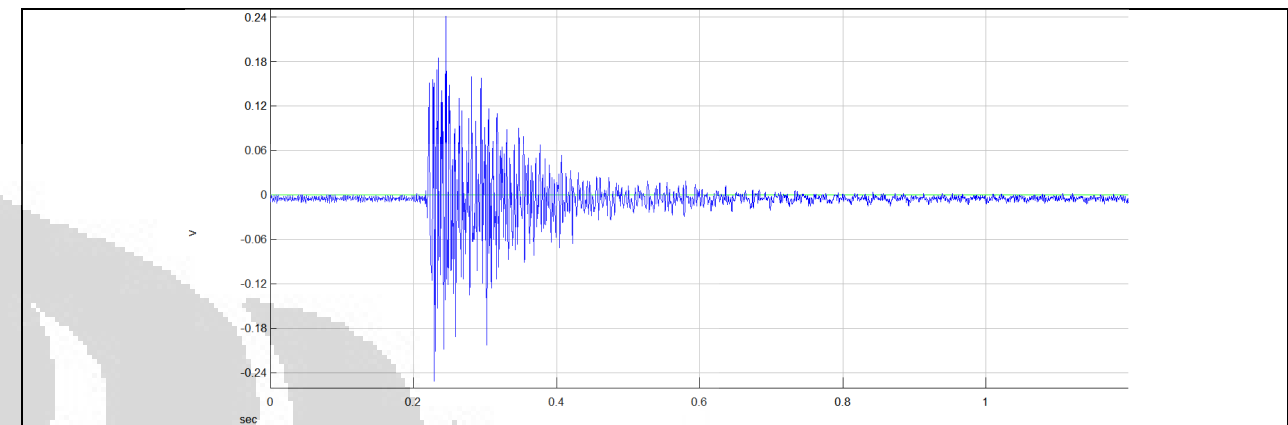
FFT Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah Y seperempat bentang



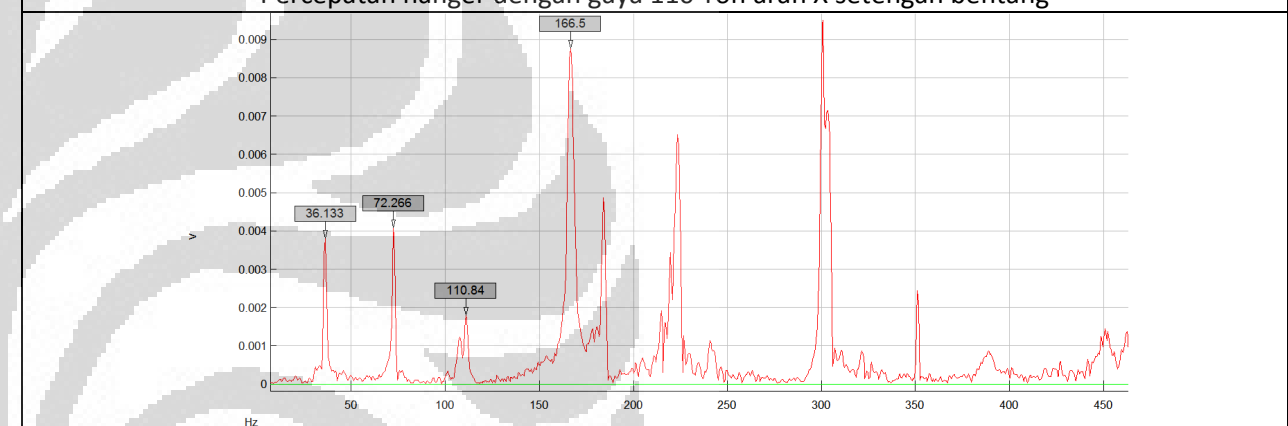
Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah Z seperempat bentang



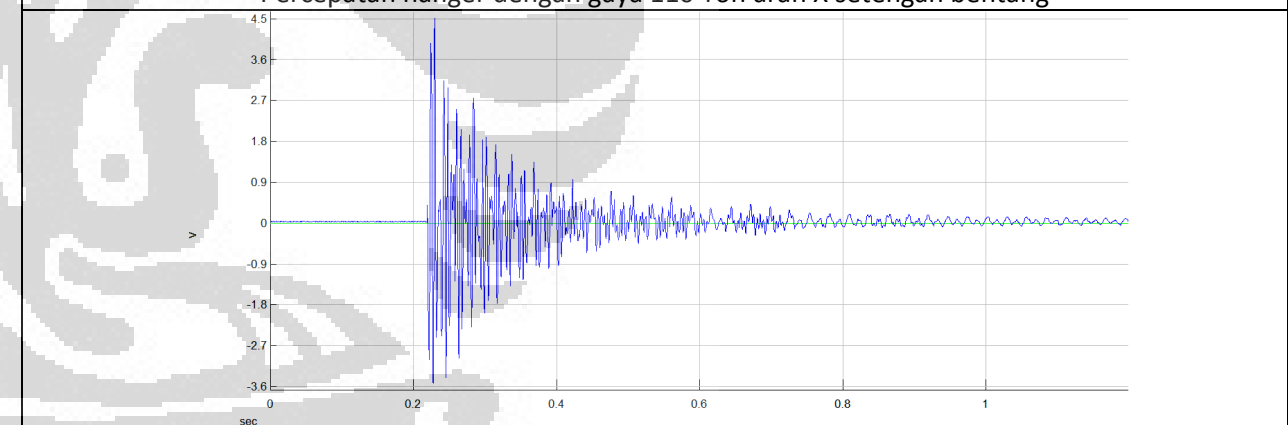
FFT Percepatan hanger dengan gaya 100 Ton arah Z seperempat bentang



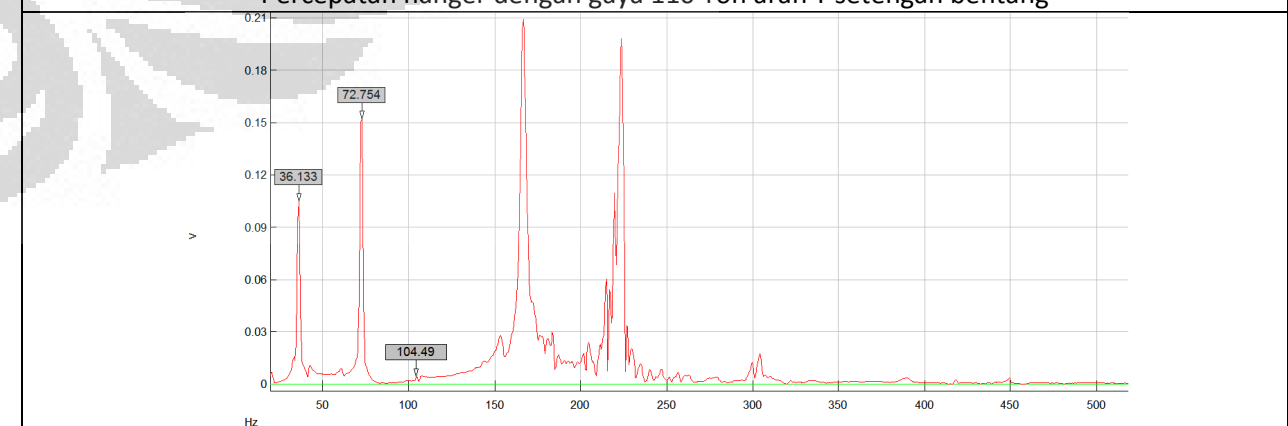
Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah X setengah bentang



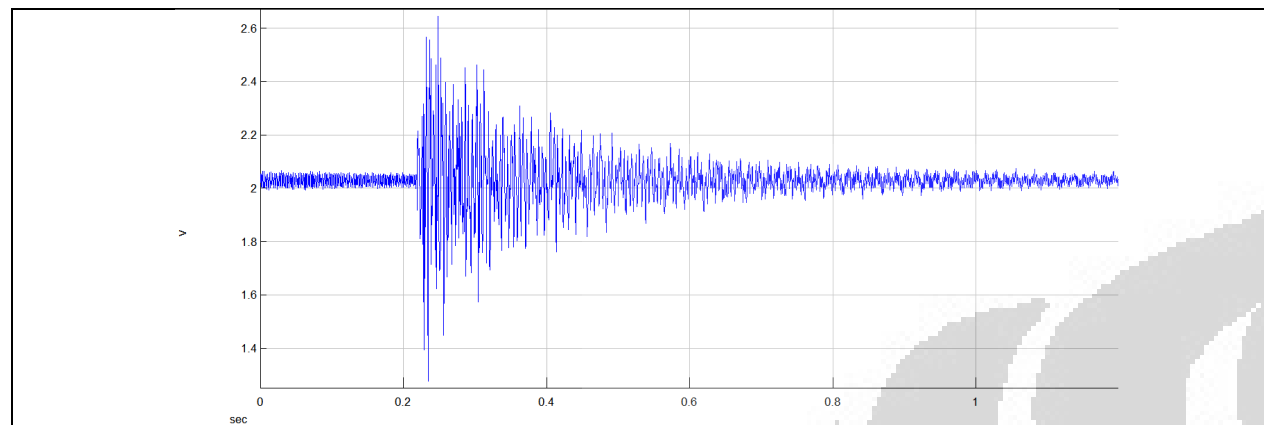
Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah X setengah bentang



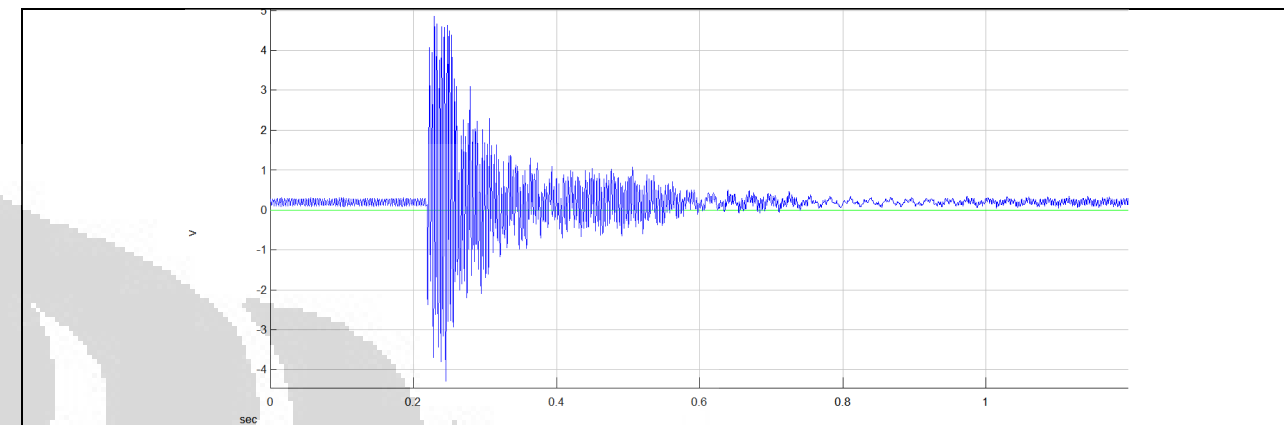
Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah Y setengah bentang



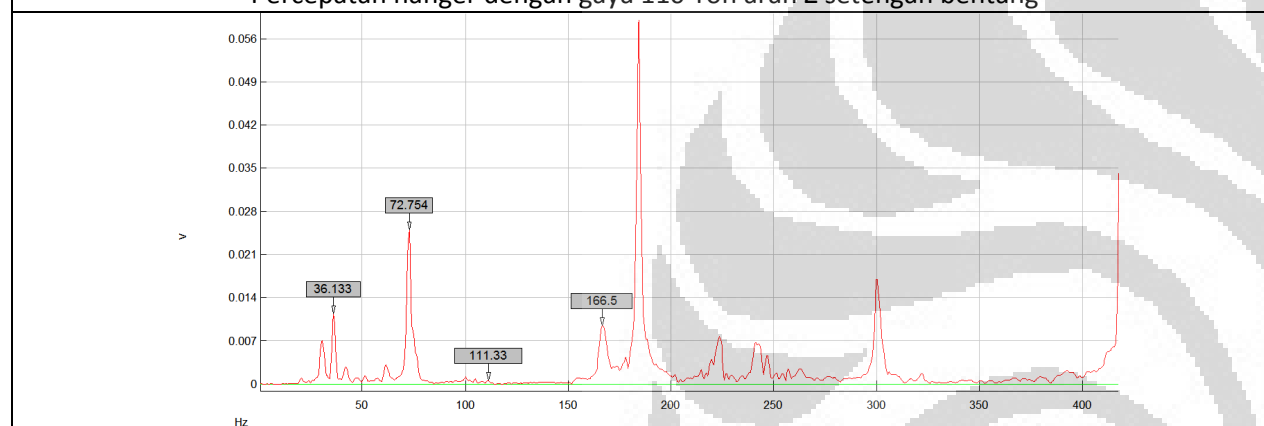
FFT Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah Y setengah bentang



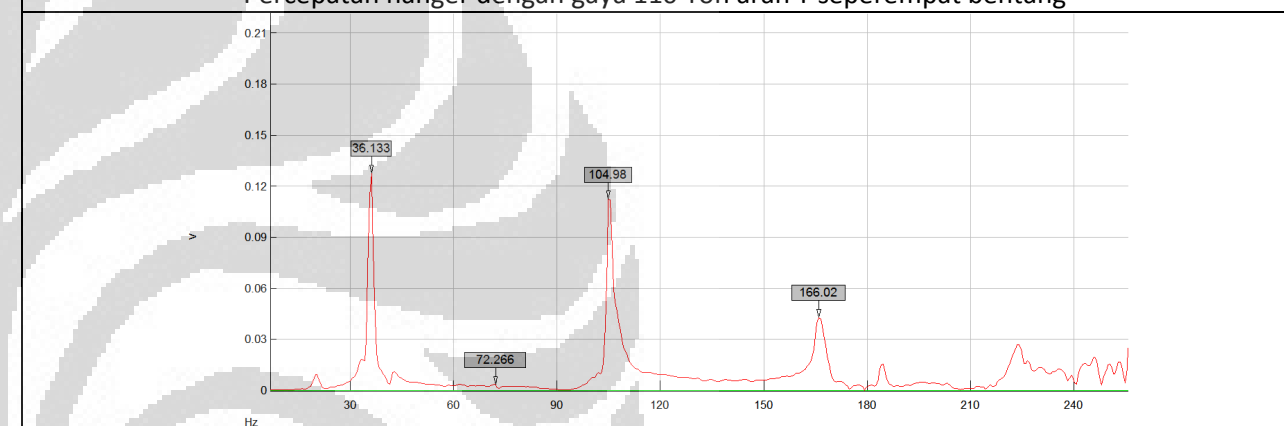
Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah Z setengah bentang



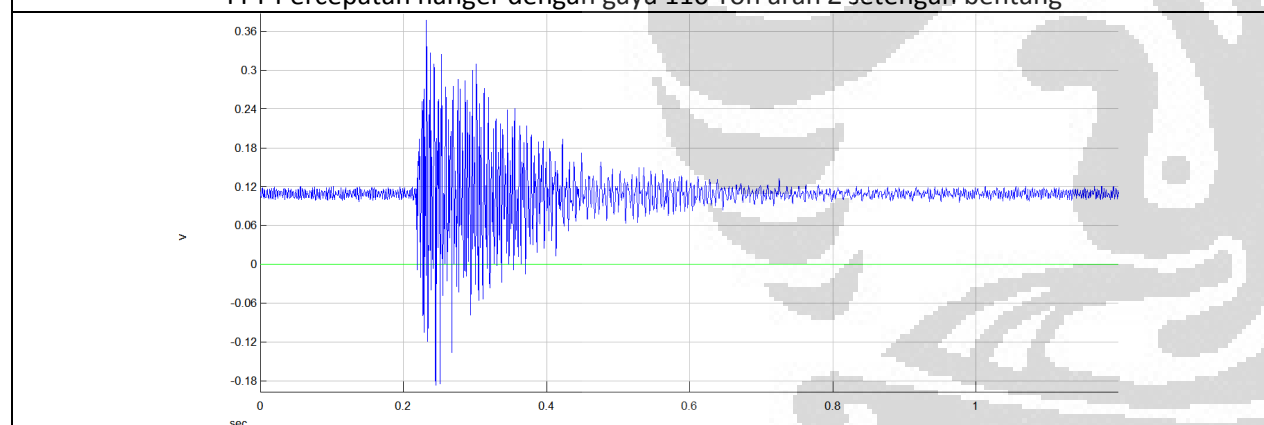
Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah Y seperempat bentang



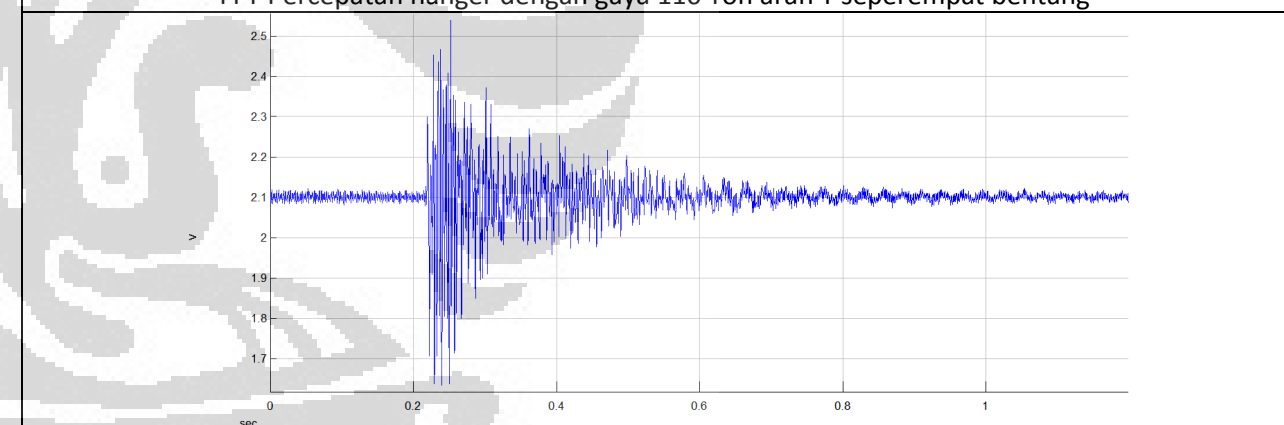
FFT Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah Z setengah bentang



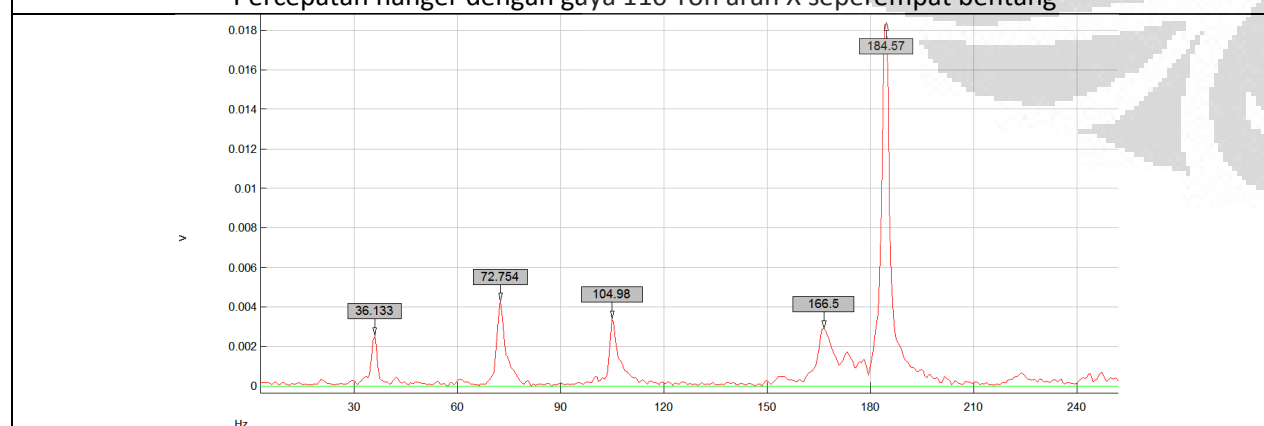
FFT Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah Y seperempat bentang



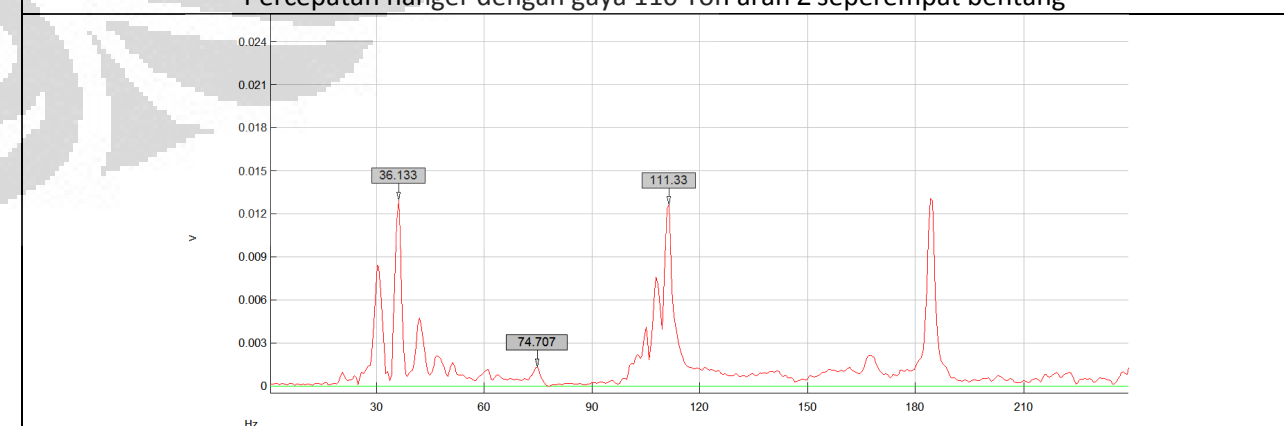
Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah X seperempat bentang



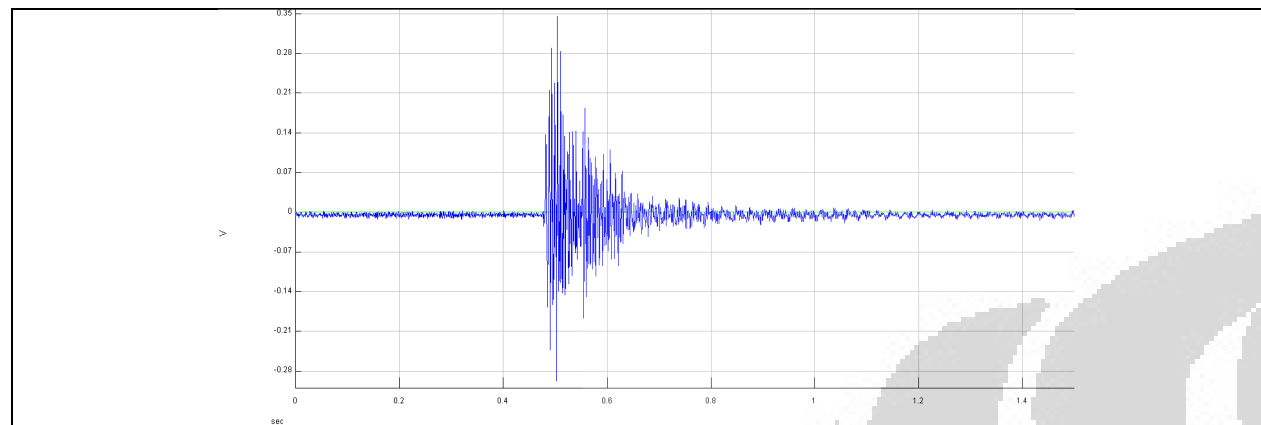
Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah Z seperempat bentang



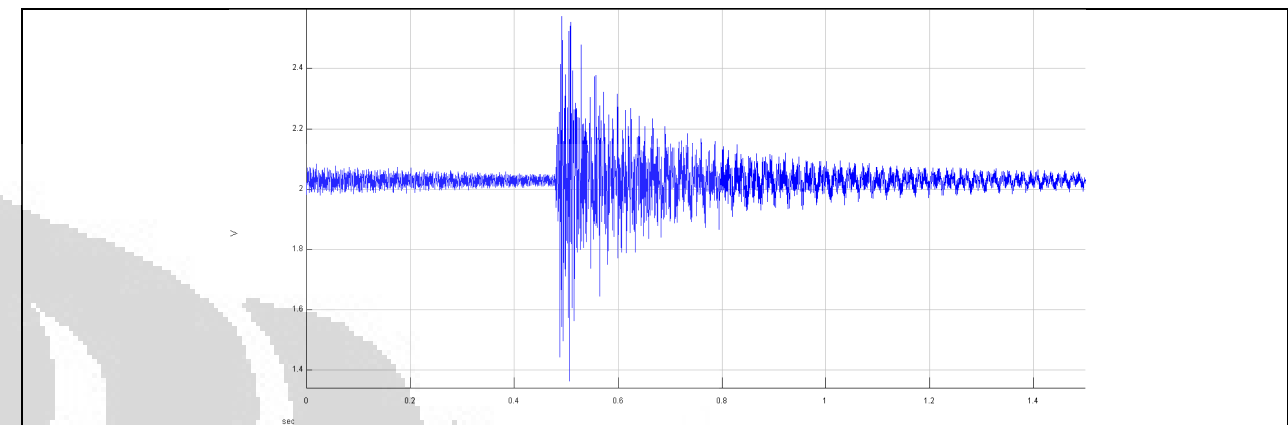
FFT Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah X seperempat bentang



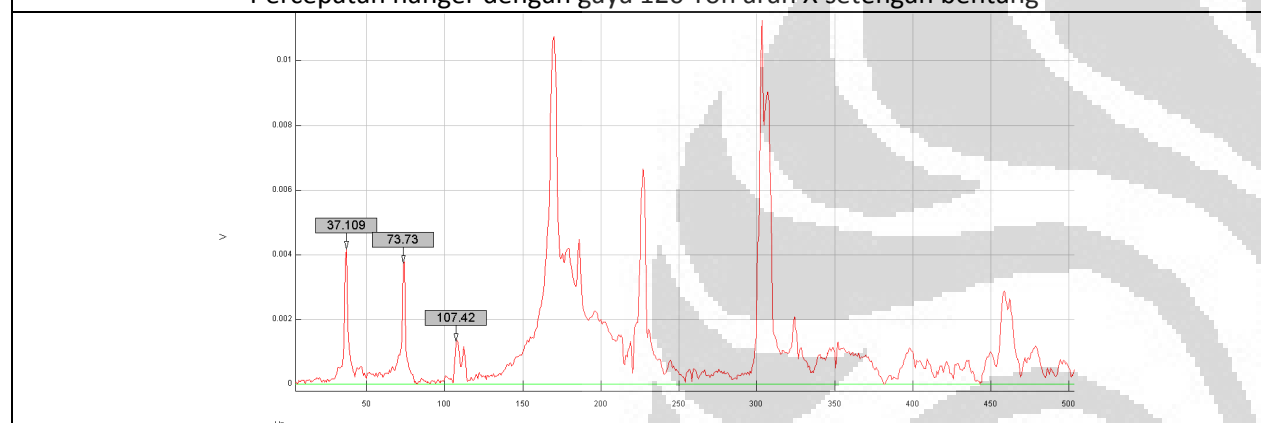
FFT Percepatan hanger dengan gaya 110 Ton arah Z seperempat bentang



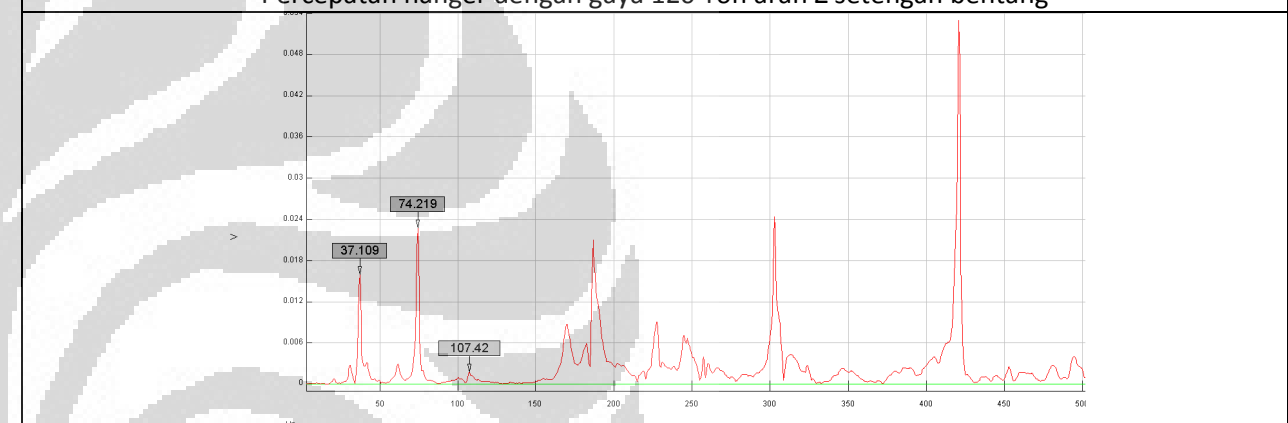
Percepatan hanger dengan gaya 120 Ton arah X setengah bentang



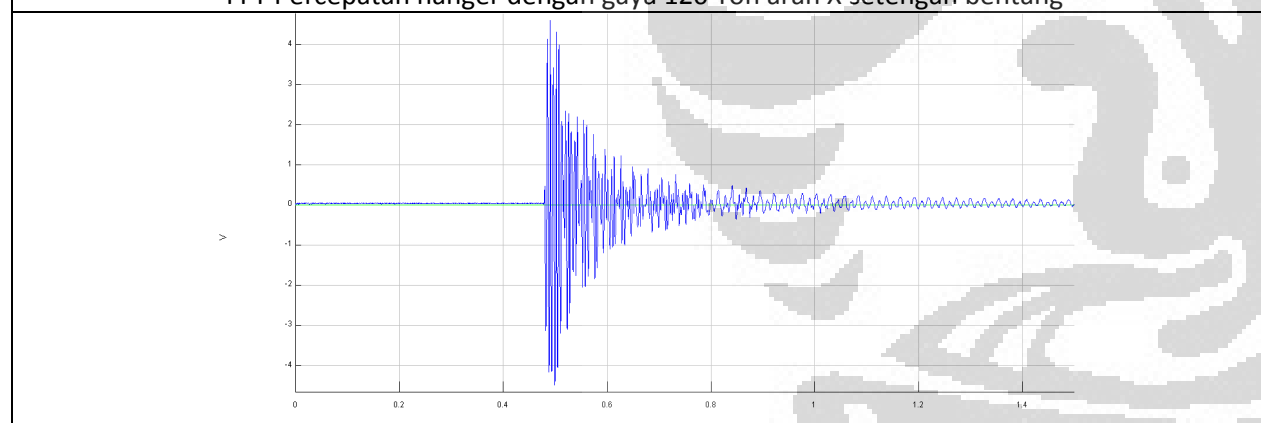
Percepatan hanger dengan gaya 120 Ton arah Z setengah bentang



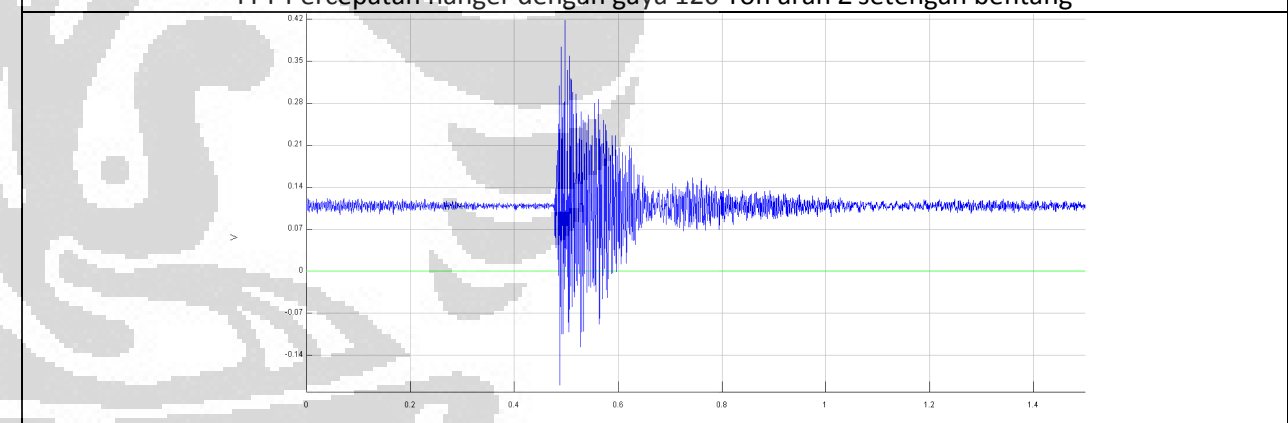
FFT Percepatan hanger dengan gaya 120 Ton arah X setengah bentang



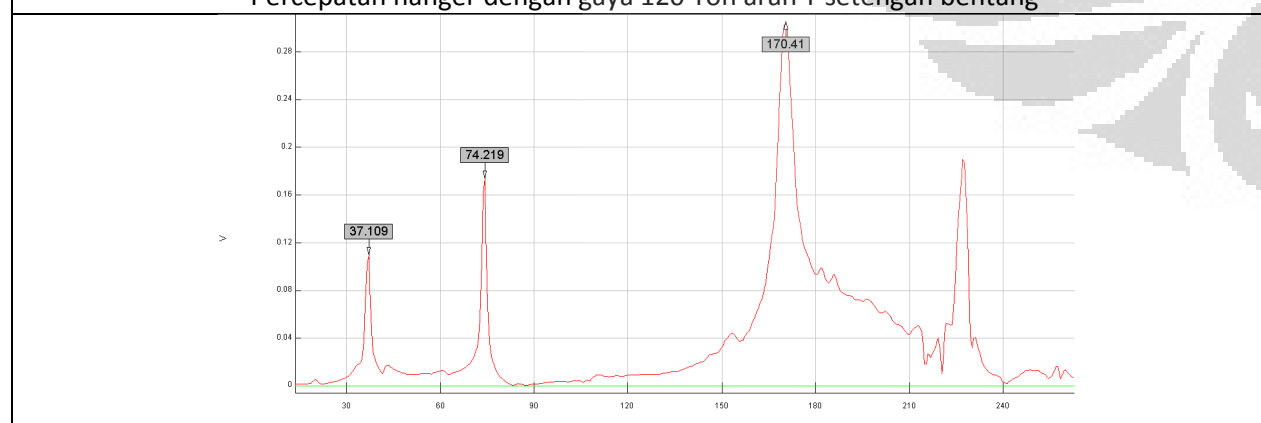
FFT Percepatan hanger dengan gaya 120 Ton arah Z setengah bentang



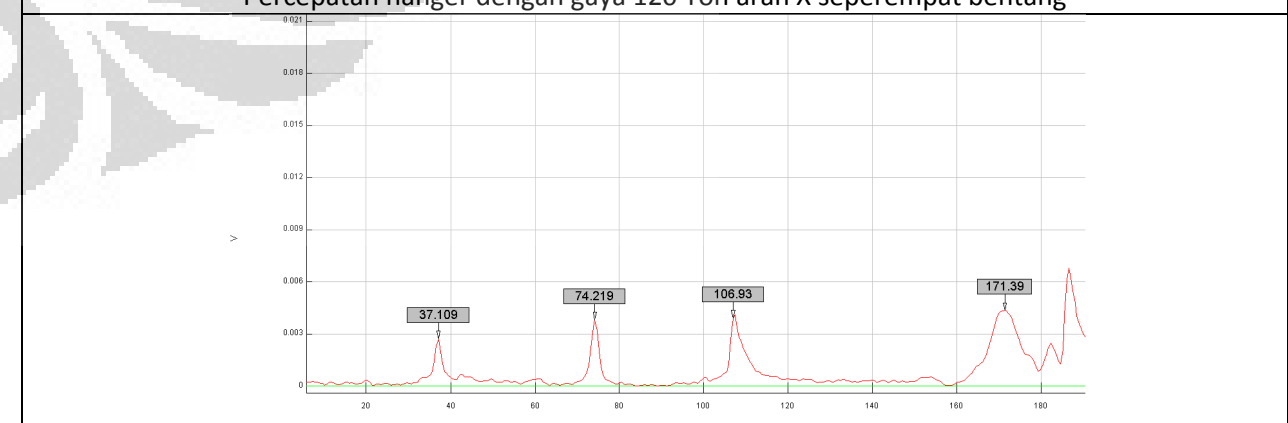
Percepatan hanger dengan gaya 120 Ton arah Y setengah bentang



Percepatan hanger dengan gaya 120 Ton arah X seperempat bentang



FFT Percepatan hanger dengan gaya 120 Ton arah Y setengah bentang



FFT Percepatan hanger dengan gaya 120 Ton arah X seperempat bentang

