



TUGAS AKHIR - SF141501

# RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA GELOMBANG MIKROSEISMIC DENGAN AKSELEROMETER MEMS

BADRI GIGIH SETIYAWAN  
NRP 01111340000100

Dosen Pembimbing  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si  
Dr. Sungkono, M.Si

Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**TUGAS AKHIR - SF141501**

**RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA  
GELOMBANG MIKROSEISMIK DENGAN  
AKSELEROMETER MEMS**

**BADRI GIGIH SETIYAWAN  
NRP 01111340000100**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si  
Dr. Sungkono, M.Si**

**Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**DESIGN OF MICROSEISMIC WAVE DATA  
ACQUISITION SYSTEM WITH MEMS  
ACCELEROMETER**

**BADRI GIGIH SETIYAWAN  
NRP 01111340000100**

**Advisor  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si  
Dr. Sungkono, M.Si**

**Department of Physics  
Faculty of Natural Science  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

# RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA GELOMBANG MIKROSEISMIK DENGAN AKSELEROMETER MEMS

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Bidang Fisika Instrumentasi  
Program Studi S-1 Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Badri Gigih Setiyawan**

**01111340000100**

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir:

Pembimbing I  
**Drs. Bachtera Indarto, M.Si**

Pembimbing II  
**Dr. Sungkono, M.Si**

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



# **RANCANG BANGUN SISTEM AKUISISI DATA GELOMBANG MIKROSEISMİK DENGAN AKSELEROMETER MEMS**

**Nama Mahasiswa : Badri Gigih Setiyawan**  
**NRP : 01111340000100**  
**Jurusan : Fisika**  
**Dosen Pembimbing: Drs. Bachtera Indarto, M.Si**  
**Dr. Sungkono, M.Si.**

## **Abstrak**

Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang sistem akuisisi data gelombang mikroseismik dengan menggunakan akselerometer MEMS dimana yang digunakan yaitu MMA7361L. MMA7361L dipilih sebagai alternatif sensor getaran karena memiliki sensitivitas yang cukup tinggi jika dibandingkan akselerometer MEMS yang lainnya yakni mencapai 800 mV/g. Pengujian yang dilakukan terbagi menjadi dua yaitu pengujian laboratorium dan pengujian lapangan. Pengujian laboratorium meliputi karakterisasi sensor MMA7361L untuk mengetahui respon sensor terhadap frekuensi rendah dan pengujian rangkaian low-pass filter, sedangkan pengujian lapangan yakni membandingkan alat yang telah dirancang dengan alat komersil (*Sara SL06 Seismograph & Sara SS45 Electrodynamic Sensor*) dengan cara diletakkan pada titik dan waktu yang bersamaan guna merekam gelombang mikroseismik. Hasilnya ialah MMA7361L memiliki respon frekuensi pada frekuensi rendah dari rentang frekuensi uji 2-20 Hz. Selain itu, jika dibandingkan dengan alat pembanding kurang menunjukkan puncak spektrum pada frekuensi yang sama karena sensitivitas berbeda.

***Kata Kunci : Frekuensi, Mikroseismik, MMA7361L***

# DESIGN OF MICROSEISMIC WAVE DATA ACQUISITION SYSTEM BASED ON MEMS ACCELEROMETER

**Name** : Badri Gigih Setiyawan  
**NRP** : 01111340000100  
**Major** : Physics  
**Advisor** : Drs. Bachtera Indarto, M.Si  
Dr. Sungkono, M.Si.

## Abstract

This Final Project to design a system of microseismic wave data acquisition using MEMS accelerometer where it uses MMA7361L. MMA7361L is chosen as an alternative vibration sensor because it has a high sensitivity when compared to other MEMS accelerometers that reach 800 mV/g. Test of the result contain two types of test, laboratory testing and field testing. Laboratory tests include the characterization of the MMA7361L sensor to determine the sensor response to low frequency and low-pass filter circuit testing, whereas field testing comparing tools that have been designed with commercial tools (*Sara SLO6 Seismograph & Sara SS45 Electrodynamic Sensor*) commonly used microseismic recording to record the microseismic wave at the same point and time. The results is MMA7361L has frequency response at low frequency with range of test around 2-20 Hz, but when compared with comparing tools not enough to show peak spectrum at the same frequency because sensitivity different of them.

**Keywords** : *Frequency, Microseismic, MMA7361L*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir di jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul:

### **“Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Gelombang Mikroseismik Dengan Akselerometer MEMS”**

Penulis menyadari bahwa terselesaikan penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Bachtera Indarto, M.Si. dan Bapak Dr. Sungkono, M.Si. selaku dosen pembimbing yang sangat luar biasa dalam memberi dukungan, bimbingan, dan wawasan sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng dan Dr. rer. nat. Eko Minarto, selaku Ketua Jurusan dan Seketaris Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah sampai terselesainya Tugas Akhir ini.
3. Kedua orang tua tercinta Bapak Abdul Salam (Almarhum) dan Ibu Musmini yang telah memberi pengajaran dan pemahaman terbaik bagi penulis sejak kecil sampai dewasa.
4. Teman satu bimbingan dan seperjuangan yaitu : Ashari, Asrofi, Aulia'ur Rohman, Nurul Huda, Husein, Adhistya, Noviantika, Silvi terimakasih atas semangat dan perjuangan yang telah kita lewati dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman yang telah membantu dalam pengambilan data pada malam hari yaitu : Bekti, Dani, Farhan, Mas Yaka.
6. Segenap teman-teman Fisika 2013 yang telah memberikan dukungan terbaik untuk penulis dan mengisi keseharian penulis dengan keceria dan kerjasama selama masa belajar Penulis.

7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini terdapat kesalahan. Sehingga penulis meminta kritik dan saran pembaca yang dapat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Januari 2018  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	2
1.3    Tujuan Penelitian.....	2
1.4    Batasan masalah .....	2
1.5    Manfaat penelitian.....	3
1.6    Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Gelombang Seismik .....	5
2.2    Akselerometer .....	7
2.3 <i>Operational Amplifier</i> (Op-Amp).....	8
2.4    Penguat Instrumentasi .....	11
2.5    Rangkaian Filter .....	12
2.6    Arduino.....	14
2.7 <i>Fast Fourier Transform</i> .....	16
BAB III METODOLOGI .....	17
3.1    Diagram Alir Tugas Akhir .....	17
3.2    Alat dan Bahan .....	18

3.3	Perancangan Umum Sistem.....	18
3.4	Perancangan Penguat Instrumentasi .....	19
3.5	Perancangan <i>Low-Pass Filter</i> .....	20
3.6	Perancangan <i>Data Logger</i> dan <i>Real Time Clock</i> .....	20
3.7	Perancangan <i>Interface</i> untuk LCD .....	21
3.8	Pengujian Alat .....	22
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....		23
4.1	Karakterisasi Sensor .....	23
4.1.1	Pengujian Output Sensor .....	23
4.1.2	Respon Sensor terhadap Frekuensi Rendah.....	24
4.2	Pengujian Low-Pass Filter.....	28
4.3	Pengujian Lapangan .....	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		37
5.1	Kesimpulan.....	37
5.2	Saran .....	37
DAFTAR PUSTAKA.....		39

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Spesifikasi Arduino Due.....	15
<b>Tabel 4. 1</b> Pengukuran output sensor.....	24

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Struktur akselerometer MEMS .....	8
<b>Gambar 2. 2</b>	(a) Konfigurasi pin, (b) Simbol rangkaian .....	9
<b>Gambar 2. 3</b>	Rangkaian op-amp inverting .....	9
<b>Gambar 2. 4</b>	Rangkaian op-amp non-inverting.....	10
<b>Gambar 2. 5</b>	Rangkaian dasar penguat instrumentasi .....	11
<b>Gambar 2.6</b>	(a) Sinyal keluaran lowpass filter (b) rangkaian sederhana lowpass filter. ....	12
<b>Gambar 2. 7</b>	(a) Sinyal keluaran highpass filter, (b) rangkaian sederhana highpass filter .....	13
<b>Gambar 2. 8</b>	(a) Sinyal keluaran bandpass filter, (b) rangkaian sederhana bandpass filter.....	14
<b>Gambar 2. 9</b>	<i>Board Arduino Due</i> .....	15
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram alir penelitian.....	17
<b>Gambar 3. 2</b>	Diagram blok sistem .....	18
<b>Gambar 3. 3</b>	Rangkaian penguat instrumentasi .....	19
<b>Gambar 3. 4</b>	Rangkaian 10Hz lowpass filter .....	20
<b>Gambar 3. 5</b>	Modul data logger dan RTC.....	21
<b>Gambar 3. 6</b>	Rangkaian LCD dengan I2C .....	21
<b>Gambar 3. 7</b>	Sara SL06 & Sara SS45 .....	22
<b>Gambar 4. 1</b>	Posisi dan output MMA7361L.....	23
<b>Gambar 4. 2</b>	Frekuensi 2 Hz pada sumbu x.....	25
<b>Gambar 4. 3</b>	Frekuensi 2 Hz pada sumbu Y .....	25
<b>Gambar 4. 4</b>	Frekuensi 2 Hz pada sumbu Z.....	25
<b>Gambar 4. 5</b>	Frekuensi 4 Hz sumbu x .....	26
<b>Gambar 4. 6</b>	Frekuensi 4 Hz sumbu y .....	26

<b>Gambar 4. 7</b>	Frekuensi 4 Hz sumbu z .....	27
<b>Gambar 4. 8</b>	Spektrum untuk frekuensi yang diujikan pada sensor .....	27
<b>Gambar 4. 9</b>	FFT Sinyal $f < 10\text{Hz}$ tanpa filter .....	28
<b>Gambar 4. 10</b>	FFT Sinyal $f < 10\text{Hz}$ dengan 10Hz low-pass filter	29
<b>Gambar 4. 11</b>	FFT sinyal $> 10\text{Hz}$ tanpa filter .....	29
<b>Gambar 4. 12</b>	FFT sinyal $> 10\text{Hz}$ dengan 10Hz low-pass filter	30
<b>Gambar 4. 13</b>	Frekuensi terekam pada alat pembanding (titik 1) .....	31
<b>Gambar 4. 14</b>	Frekuensi terekam pada alat rancang bangun (titik 1).....	31
<b>Gambar 4. 15</b>	Frekuensi terekam pada alat pembanding (titik 2) .....	32
<b>Gambar 4. 16</b>	Frekuensi terekam pada alat rancang bangun (titik 2).....	32
<b>Gambar 4. 17</b>	Spektrum pada pengukuran titik 1 .....	33
<b>Gambar 4. 18</b>	Spektrum pada pengukuran titik 2 .....	34

## **DAFTAR LAMPIRAN**

<b>LAMPIRAN A</b>	Respon Sensor .....	41
<b>LAMPIRAN B</b>	Pengujian Filter.....	49

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Letak geografis Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama antara lain lempeng Indo-Australia di bagian selatan, lempeng Eurasia di bagian utara, dan lempeng Pasifik di bagian timur (Ibrahim, 2005). Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi kawasan yang rawan bencana geologis seperti gempa bumi. Pada tahun 2017, sampai bulan Juni 2017 sudah tercatat terjadi gempa bumi sebanyak 12 kali. Hal ini juga menyebabkan ratusan rumah dan puluhan fasilitas umum mengalami kerusakan ([dibi.bnpb.go.id](http://dibi.bnpb.go.id)). Jumlah gempa bumi ini masih dapat bertambah banyak pada tahun ini akibat pengaruh letak geografis Indonesia. Umumnya wilayah yang rawan dan sering terjadi gempa bumi yaitu terletak dekat dengan zona tumbukan lempeng (Marsyelina, 2014).

Sampai saat ini fenomena alam gempa bumi belum dapat diprediksi waktu dan tempat kejadiannya secara pasti. Oleh karena itu, bahaya dari gempa bumi tidak dapat dihindarkan. Dampak dari gempa bumi dapat dikurangi dengan melakukan penelitian tentang karakteristik suatu tempat, yakni parameter frekuensi dan amplifikasi. Hasil pengkajian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan metode untuk mengurangi resiko dari gempa bumi.

Kajian frekuensi dan amplifikasi tanah setempat dapat dilakukan dengan menggunakan alat mikrotremor. Alat ini berguna untuk merekam gelombang mikro (mikroseismik). Mikroseismik merupakan getaran dengan amplitudo rendah yang dapat dijadikan sebagai data untuk mengetahui respon seismik pada suatu tempat. Mikroseismik bersumber dari segala arah akibat berbagai penyebab alami seperti angin, gelombang laut, lalu lintas, hentakan, aktivitas manusia dan sebagainya (Mirzaouglu dan Dýkmen, 2003). Dikarenakan mikroseismik memiliki sumber dari segala arah, maka untuk pengambilan data diperlukan sensor yang

memiliki tiga sumbu pengukuran atau tiga dimensi. Secara umum sensor untuk mendeteksi mikroseismik adalah sensor piezoelektrik karena memiliki sensitivitas yang tinggi. Sensitivitas yang tinggi membuat harga dari sensor ini sangat mahal. Akselerometer MEMS merupakan sensor yang mendeteksi getaran berbasis perubahan kapasitansi yang terjadi karena perubahan percepatan yang dialami sensor terhadap percepatan gravitasi bumi. Akselerometer MEMS pada umumnya digunakan pada perangkat elektronik seperti *smartphone*, konsol game, *virtual reality*, dan sebagainya. Walaupun telah ada beberapa aplikasi akselerometer MEMS untuk akuisisi data seismik, penggunaannya dalam bidang ini masih sangat jarang terutama untuk perekam gelombang mikroseismik. Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini akan digunakan MEMS 3-axis akselerometer MMA7361L untuk aplikasi pendeteksi getaran mikroseismik. MMA7361L dinilai mendekati untuk aplikasi ini karena memiliki sensitivitas yang tinggi jika dibandingkan akselerometer MEMS pada umumnya, *noise* yang rendah dan harga yang terjangkau.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan pada Tugas Akhir ini yaitu bagaimana merancang sistem akuisisi data gelombang mikroseismik dengan menggunakan sensor akselerometer MEMS.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari Tugas Akhir ini yaitu untuk merancang sistem akuisisi data gelombang mikroseismik dengan menggunakan sensor akselerometer MEMS.

## **1.4 Batasan masalah**

Pada tugas akhir ini, permasalahan dibatasi pada penggunaan akselerometer MEMS MMA7361L sebagai sensor untuk mendeteksi gelombang mikroseismik. Rancang bangun ini diuji dengan *Sara SL06 Seismograph* dengan *Sara SS45 Electrodynamic Sensor* sebagai pembanding.

### **1.5 Manfaat penelitian**

Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai salah satu rancang bangun sistem akusisi data gelombang mikroseismik.
2. Dapat sebagai acuan atau referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

1. Abstrak – menggambarkan tentang gambaran umum penelitian.
2. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
3. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
4. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi alat dan bahan, data penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
5. Bab IV – Analisa Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil-hasil yang didapat dari pengerjaan pada penelitian ini, yaitu hasil pengujian sistem pada masing-masing blok dan secara keseluruhan serta berisi data dan analisa data dari hasil pengujian yang telah dilakukan.
6. Bab V – Penutup, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
7. Lampiran, berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gelombang Seismik**

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang menyalurkan energi menembus lapisan bumi. Kecepatan penyaluran gelombang seismik ditentukan oleh karakteristik lapisan dimana gelombang tersebut menjalar. Kecepatan gelombang seismik dipengaruhi oleh rigiditas (kekakuan) dan rapat massa medium. Gelombang yang merambat melewati dua bidang batas dapat mengalami refleksi dan refraksi, hal ini tergantung dari kontras impedansinya. Selain itu, terdapat gelombang atau getaran bawah permukaan tanah yang amplitudonya jauh lebih kecil dari gelombang seismik yang biasa disebut mikroseismik. Mikroseismik atau mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 1983). Lang (2004) mendefinisikan mikroseismik sebagai noise periode pendek yang berasal dari sumber artifisial. Gelombang ini bersumber dari segala arah yang saling beresonansi. Mikroseismik dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak dilapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Karakteristik mikroseismik mencerminkan karakteristik batuan di suatu daerah. Penelitian mikroseismik juga banyak dilakukan pada studi penelitian struktur tanah (*soil investigation*) untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah. Penelitian mikroseismik dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (amplifikasi) (Auditia, 2016). Gelombang mikrotremor memiliki rentang frekuensi yang berbeda-beda untuk tiap sumber gelombang, seperti gelombang laut, kondisi meteorologi lokal ataupun dalam skala luas, aktivitas manusia, dll,

sebagaimana dalam tabel 2.1 yaitu perbedaan nilai frekuensi untuk beberapa jenis gelombang.

Tabel 2. 1 Sumber Mikrotremor berdasarkan nilai frekuensinya

Sumber	Menurut Gutenberg	Menurut Asten
Gelombang laut	0.05 – 0.1 Hz	0.5 – 1.2 Hz
Gangguan meteorology dengan skala besar ( <i>monsoon</i> )	0.1 – 0.25 Hz	0.16 – 0.5 Hz
Badai siklon di sepanjang laut	0.3 – 1 Hz	0.5 – 3 Hz
Kondisi meteorologi skala local	1.4 – 5 Hz	-
Tremor vulkanik	2 – 10 Hz	-
Kepadatan penduduk	1 – 100 Hz	1.1 – 30 Hz

(Gautenberg (1958) dan Asten (1978, 1984))

Sejak Omori mengamati mikroseismik untuk pertama kalinya tahun 1908, beberapa para ahli seismologi menyelidiki mikroseismik, baik dari segi ilmiah maupun terapannya. Studi mikroseismik ini telah digunakan untuk menganalisa karakteristik tanah, yaitu frekuensi natural ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A_m$ ), ketebalan sedimen ( $h$ ), dan indeks kerentanan tanah ( $k_g$ ) atau secara aplikasi kegunaan mikroseismik diantaranya (Harahap, 2013):

1. Mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan periode dominan yang harganya spesifik untuk tiap jenis tanah, sebab tanggapan bangunan terhadap getaran gempa bumi sebagian besar bergantung pada komposisi tanah di tempat bangunan berdiri.
2. Dari penyelidikan di Jepang telah ditetapkan bahwa mikroseismik digunakan tidak hanya sebagai alat untuk mengantisipasi sifat gerakan gempa bumi tetapi juga untuk

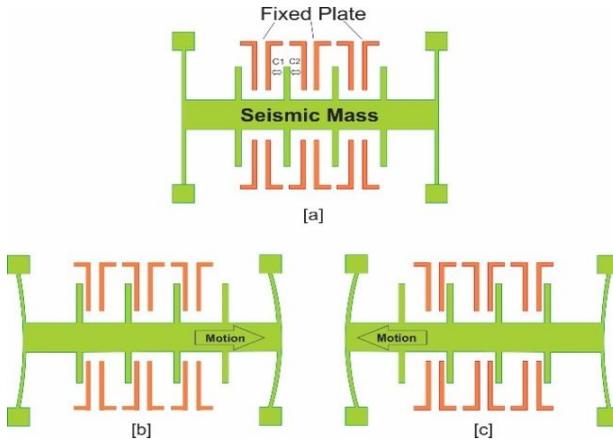
membuktikan koefisien gaya yang telah ditetapkan dalam perencanaan bangunan tahan gempa.

3. Menjelaskan struktur bawah permukaan tanah di tempat mikroseismik diamati.
4. Mengidentifikasi lokasi yang berpotensi hidrokarbon
5. Pemetaan daerah rawan longsor.

## 2.2 Akselerometer

Akselerometer merupakan sensor yang mengukur percepatan fisis yang dialami oleh objek berdasarkan gaya inersia atau mekanika eksitasi. Secara umum akselerometer bekerja karena massa teredam pada pegas. Ketika akselerometer mengalami percepatan, massa tersebut berpindah dan perpindahan tersebut terukur untuk mencatat percepatan (Lawrence, 1993). Piezoelektrik, piezoresistif, dan kapasitif merupakan jenis akselerometer yang paling banyak digunakan untuk mengubah gerakan mekanik ke dalam sinyal listrik. Akselerometer piezoelektrik tersusun dari piezokeramik atau kristal tunggal. Piezoelektrik merupakan tipe yang paling baik digunakan untuk rentang frekuensi tinggi, dan rentang suhu tinggi. Pada piezoresistif lebih memiliki performa yang baik pada aplikasi getaran tinggi. Sedangkan kapasitif memiliki performa yang sangat baik pada rentang frekuensi rendah dan dapat dioperasikan dalam mode servo untuk mendapatkan stabilitas dan linearitas yang tinggi (Prasad, 2010).

Akselerometer modern seringkali berupa integrated circuit (IC) berukuran kecil yang merupakan *Micro Electromechanical Systems* (MEMS). MEMS merupakan istilah yang diciptakan sekitar tahun 1989 oleh Prof. R. Howe untuk menggambarkan bidang penelitian yang sedang berkembang, dimana elemen mekanik diproduksi dalam skala yang lebih mirip *microelectronic circuit*. akselerometer MEMS tersusun dari *movable proof mass* dengan plat yang dilekatkan melalui sistem suspensi ke kerangka referensi. Plat yang bergerak dengan plat yang tetap diam menggambarkan sebuah kapasitor sebagaimana Gambar 2.1.

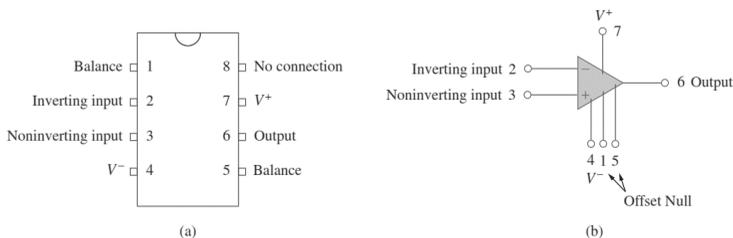


**Gambar 2. 1** Struktur akselerometer MEMS

Secara sederhana prinsip kerja akselerometer dapat dilihat pada Gambar 2.1 dimana pada gambar (a) merupakan struktur akselerometer dan gambar (b) ketika *seismic mass* atau *moveable proof mass* bergerak ke kanan serta gambar (c) ketika bergerak ke kiri, pergerakan tersebut yang kapasitansi diferensial nilainya berubah yang kemudian tercatat nilai perubahannya dalam bentuk sinyal analog. Dengan kata lain, defleksi dari *movable proof mass* terukur menggunakan kapasitansi diferensial (Matej, 2008).

### 2.3 Operational Amplifier (Op-Amp)

*Operasional Amplifier* (Op-Amp) adalah suatu penguat sinyal yang terintegrasi dalam sebuah chip IC yang memiliki dua input *inverting* dan *non-inverting* dengan sebuah terminal output. Dalam mengendalikan karakteristik tanggapan keseluruhan yang dihasilkan op-amp, dapat di tambahkan rangkaian umpan balik. Simbol untuk op-amp dapat di lihat pada Gambar 2.2. Op-Amp ini digunakan untuk membentuk fungsi-fungsi linier yang bermacam-macam atau dapat juga digunakan untuk operasi-operasi tak linier, dan seringkali disebut sebagai rangkaian terpadu linier dasar. Op-amp merupakan komponen elektronika analog yang berfungsi sebagai amplifiier multiguna dalam bentuk IC dan memiliki simbol seperti Gambar 2.2.

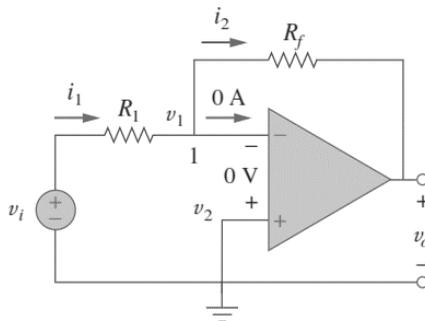


**Gambar 2. 2** (a) Konfigurasi pin, (b) Simbol rangkaian

Pada op-amp ini terdapat dua input, yaitu *input inverting* dan *input non inverting* yang secara berurutan ditunjukkan oleh tanda negatif dan tanda positif. Pada saat *input* yang digunakan *input non inverting* maka sinyal yang dihasilkan memiliki polaritas yang sama dengan *output* yang dihasilkan. Namun, saat yang digunakan merupakan *input inverting* maka sinyal yang dihasilkan memiliki polaritas yang berlawanan. Berdasarkan polaritas yang dihasilkan, op-amp dibagi dua jenis yaitu *inverting* dan *non-inverting* (Sadiku, 2013).

#### a. *Inverting*

Op-Amp *inverting* adalah rangkaian penguatan sinyal masukan yang memiliki polaritas berkebalikan dengan sinyal yang dihasilkan. Rangkaian dasar op-amp *inverting* ditunjukkan seperti Gambar 2.3



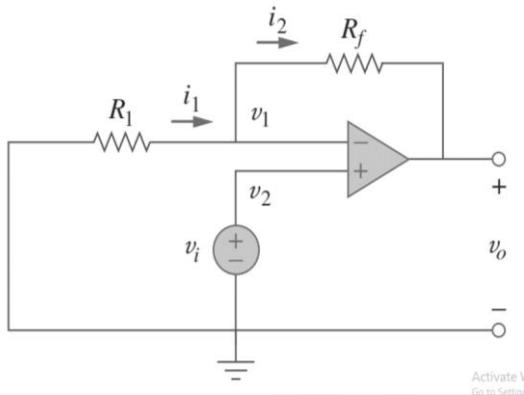
**Gambar 2. 3** Rangkaian op-amp *inverting*

Pada Gambar 2. 3 Rangkaian *op-amp* *inverting*, input *non-inverting* dihubungkan dengan *ground*, dan  $v_i$  input dihubungkan pada pin input *inverting* yang melewati sebuah tahanan  $R_1$  dan tahanan sebagai umpan balik dihubungkan di antara *inverting input* dan *output*. Besar tegangan *output* yang dihasilkan secara matematis dapat ditulis seperti persamaan 2.1:

$$v_o = -\frac{R_f}{R_1} v_i \quad (2.1)$$

b. *Non-Inverting*

Op-Amp *inverting* adalah rangkaian penguat sinyal masukan yang memiliki polaritas yang sama dengan sinyal yang dihasilkan. Gambar 2.4 menunjukkan rangkaian sederhana op-amp *non-Inverting*.



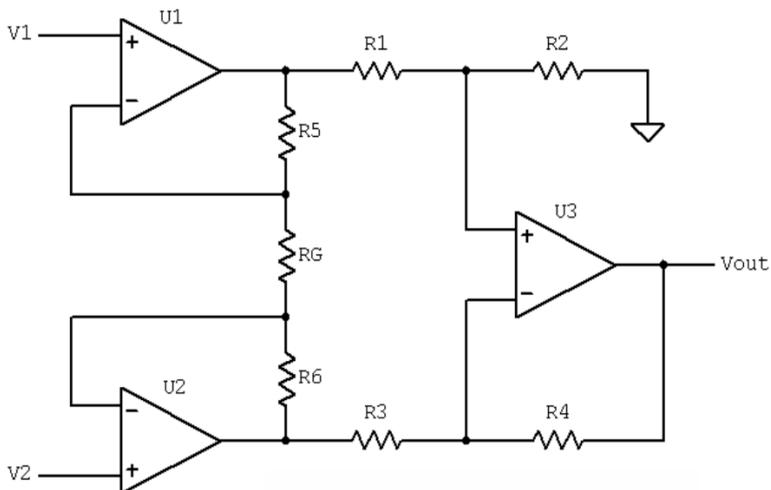
**Gambar 2. 4** Rangkaian op-amp *non-inverting*

Pada rangkaian op-amp *non-inverting*, tegangan *input* dihubungkan langsung ke pin *non-inverting* dan resistor  $R_1$  dihubungkan di antara *ground* dan pin *inverting* serta resistor sebagai umpan balik ( $R_f$ ) dihubungkan di antara *inverting input* dan *output*. Secara matematis tegangan *output* yang dihasilkan dapat ditulis sebagaimana persamaan (2.2).

$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_i \quad (2.2)$$

## 2.4 Penguat Instrumentasi

Dalam pengambilan data atau pembacaan data terkadang diperlukan suatu rangkaian penguat yang berfungsi menguatkan sinyal-sinyal rendah supaya dapat di deteksi oleh alat yang digunakan. Salah satu rangkaian penguat yang dapat digunakan adalah penguat instrumentasi yang biasa disebut juga penguat transduser atau penguat beda. Penguat instrumentasi ini terdiri dari rangkaian Op-Amp yang digunakan untuk memperkuat sinyal dari transduser. Umumnya sinyal yang diukur sangat rendah dan di dalam sinyal *common* yang besar, *offset* yang rendah dan CMMR yang tinggi. Pada dasarnya, penguat instrumentasi terdiri dari tiga buah penguat operasional (*operasional amplifier*) dengan tujuh resistor sebagaimana pada Gambar 2.5.



**Gambar 2. 5** Rangkaian dasar penguat instrumentasi

Gambar 2.5 menunjukkan dua buah op-amp pertama sebagai *buffer* sedangkan op-amp ketiga sebagai penguat beda (*differensial amplifier*). Penguat instrumentasi memiliki semua sifat dari op-amp, yaitu penguatan besar, impedansi *input* tinggi, impedansi *output* rendah, tegangan *offset* rendah dan CMRR (*common Mode Rejection Ratio*) tinggi (Wijaya, 2007). Penguat instrumentasi

secara umum seperti Gambar 2.5 memiliki besar penguatan dengan fungsi transfer sesuai persamaan 2.3.

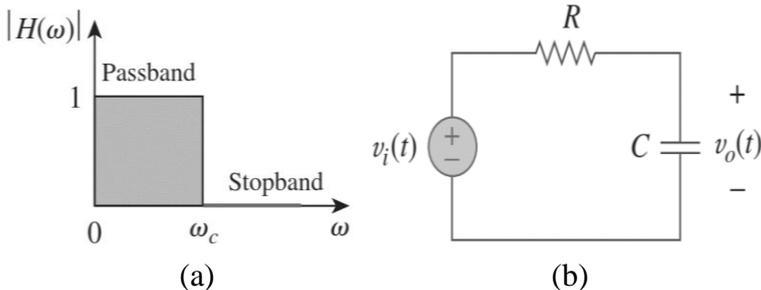
$$V_{out} = (V1 - V2) \left( \frac{R2}{R1} \right) \left( 1 + \frac{2R5}{Rg} \right) \quad (2.3)$$

## 2.5 Rangkaian Filter

Rangkaian filter merupakan suatu rangkaian yang mempunyai fungsi transfer tertentu untuk meloloskan sinyal masukan pada frekuensi-frekuensi tertentu dan menyaring / memblokir / melemahkan sinyal masukan pada frekuensi – frekuensi yang lain. Berdasarkan tingkat frekuensi yang diloloskan, filter dibedakan menjadi tiga macam, yaitu *low-pass* filter, *band-pass* filter, dan *high-pass* filter. Sedangkan menurut penggunaan komponennya, filter dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu filter aktif dan filter pasif. Filter pasif menggunakan rangkaian resistor dan kapasitor. Sedangkan filter aktif selain menggunakan resistor dan kapasitor, filter ini menggunakan komponen aktif yaitu *operational amplifier* (op-amp). Filter aktif selain dapat digunakan sebagai filter frekuensi juga dapat menghasilkan penguatan terhadap sinyal inputnya (Faulkenberry, 1982).

### a. *Low-pass* filter

*Lowpass* filter adalah jenis filter yang berfungsi untuk melewatkan sinyal *output* yang memiliki frekuensi rendah dan meredam frekuensi tinggi. Rangkaian sederhana *lowpass* filter dapat dideskripsikan sebagaimana Gambar 2.5.



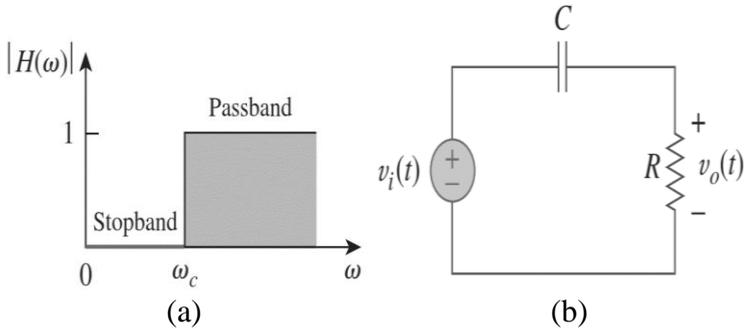
**Gambar 2.6** (a) Sinyal keluaran lowpass filter (b) rangkaian sederhana lowpass filter.

Pada Gambar 2.5 menunjukkan bahwa *low-pass* filter terbentuk ketika *output* sebuah rangkaian RC terletak pada kapasitor. *Low-pass* filter dideskripsikan sebagaimana Persamaan 2.4 yang merupakan fungsi transfer untuk *low-pass* filter.

$$H(\omega) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{1/j\omega C}{R+1/j\omega C} = \frac{1}{1+j\omega RC} \quad (2.4)$$

b. *High-pass* filter

*High-pass* filter adalah jenis filter yang melewatkan sinyal *output* yang memiliki frekuensi tinggi dan meredam frekuensi rendah. Rangkaian sederhana dari *high-pass* filter ditunjukkan sebagaimana pada Gambar 2.6.



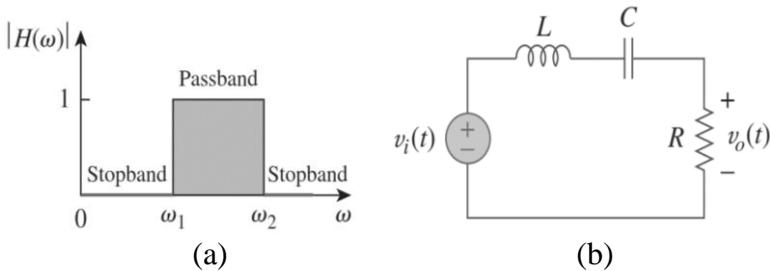
**Gambar 2.7** (a) Sinyal keluaran highpass filter, (b) rangkaian sederhana highpass filter

Dari Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa *high-pass* filter terbentuk ketika *output* sebuah rangkaian RC terletak pada resistor. Persamaan (2.5) merupakan fungsi transfer dari *high-pass* filter.

$$H(\omega) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R}{R+1/j\omega C} = \frac{j\omega RC}{1+j\omega RC} \quad (2.5)$$

c. *Band-pass* filter

*Band-pass* filter adalah jenis filter yang melewatkan sinyal *output* yang memiliki frekuensi pada rentang tertentu dan meredam frekuensi yang di luar rentang tersebut. Rangkaian sederhananya ditunjukkan sebagaimana pada Gambar 2.7



**Gambar 2. 8** (a) Sinyal keluaran bandpass filter, (b) rangkaian sederhana bandpass filter

Pada Gambar 2.7 menunjukkan resonansi yang terjadi pada rangkaian RLC menghasilkan *band-pass* filter ketika output terletak pada resistor. Fungsi transfer dari *band-pass* filter seperti pada persamaan (2.6).

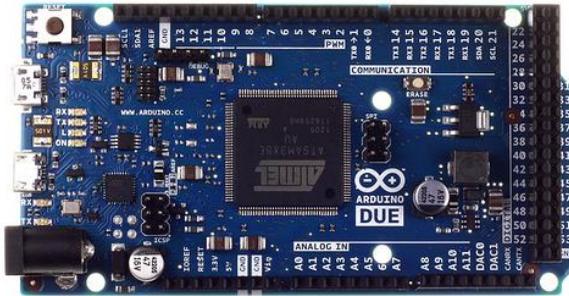
$$H(\omega) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{R}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})} \quad (2.6)$$

## 2.6 Arduino

Arduino adalah *platform* pembuatan prototipe elektronik yang berfisfat *open-source hardware* yang didasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan sangat mudah digunakan jika dibandingkan dengan mikrokontroler jenis lain. Arduino pada awalnya dikembangkan di Ivrea, Italia. Nama arduino adalah sebuah nama maskulin yang berarti teman yang kuat. *Platform* arduino terdiri dari arduino *board*, *shield*, bahasa pemrograman arduino, dan arduino *development environment*. Arduino *board* biasanya memiliki sebuah chip dasar mikrokontroler Atmel AVR ATmega8 berikut turunannya.

Bahasa pemrograman Arduino umum digunakan untuk membuat perangkat lunak yang ditanamkan pada arduino board. Bahasa pemrograman Arduino mirip dengan bahasa pemrograman C++. Pada perancangan sebuah alat ukur yang akurat pada umumnya menggunakan Arduino Due, karena memiliki basis data yang lebih baik dibandingkan dengan tipe Arduino lainnya. Pada akuisisi data seismik yang merekam sinyal getaran atau gelombang

diperlukan hardware yang dapat merekam dengan frekuensi sampling yang tinggi, sehingga Arduino Due lebih sering digunakan untuk pengukuran. Penampang board mikrokontroler Arduino Due seperti pada Gambar 2.8 dengan spesifikasi sebagaimana Tabel 2.2.



**Gambar 2.9** Board Arduino Due

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Due

<i>Microcontroller</i>	AT91SAM3X8E
<i>Operating Voltage</i>	3.3V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12V
<i>Input Voltage (limits)</i>	6-16V
<i>Digital I/O Pins</i>	54 (of which 12 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	12
<i>Analog Output Pins</i>	2 (DAC)
<i>Total DC Output Current on all I/O lines</i>	130 mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	800 mA
<i>DC Current for 5V Pin</i>	800 mA
<i>Flash Memory</i>	512 KB all available for the user applications
<i>SRAM</i>	96 KB (two banks: 64KB and 32KB)
<i>Clock Speed</i>	84 MHz
<i>Length</i>	101.52 mm
<i>Width</i>	53.3 mm
<i>Weight</i>	36 g

Arduino Due adalah papan mikrokontroler berdasarkan Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU. Ini adalah papan pertama Arduino didasarkan pada 32-bit mikrokontroler ARM inti. Ini memiliki 54 digital pin *input / output* (yang 12 dapat digunakan sebagai output PWM), 12 analog *input*, 4 UART (*hardware port serial*). Arduino Due bekerja pada tegangan kerja 3.3V berbeda dengan Arduino tipe lain yang bekerja pada tegangan 5V.

### **2.7 Fast Fourier Transform**

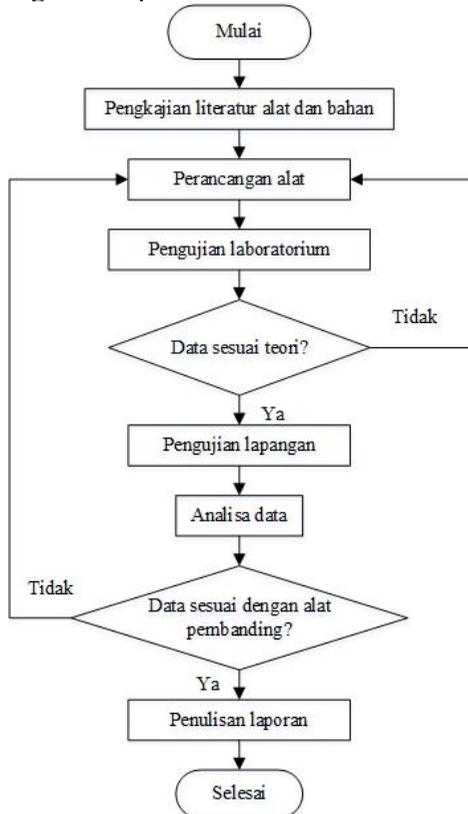
Proses penting dalam pemrosesan sinyal digital adalah menganalisis suatu sinyal *input* maupun *output* untuk mengetahui karakteristik sistem fisis tertentu dari sinyal. Proses analisis dan sintesis dalam domain waktu memerlukan analisis cukup panjang dengan melibatkan turunan dari fungsi, yang dapat menimbulkan ketidaktekelitian hasil analisis. Analisis dan sintesis sinyal akan lebih mudah dilakukan pada domain frekuensi, karena besaran yang paling menentukan suatu sinyal adalah frekuensi. Oleh karena itu, untuk dapat bekerja pada domain frekuensi dibutuhkan suatu formulasi yang tepat sehingga proses manipulasi sinyal sesuai dengan kenyataan. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengubah dari domain waktu ke domain frekuensi adalah dengan menggunakan transformasi fourier.

*Fast Fourier Transform* (FFT) adalah suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. FFT diterapkan dalam beragam bidang, mulai dari pengolahan sinyal digital, memecahkan persamaan diferensial parsial, dan untuk algoritma untuk mengalikan bilangan bulat besar. *Fast Fourier Transform* (FFT) yang ditemukan tahun 1965 merupakan pengembangan dari Fourier Transform (FT). Penemu FT adalah J. Fourier pada tahun 1822. FT membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks (Sipasulta, 2014).

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

Pada tahap ini akan dijelaskan langkah-langkah dalam melakukan penelitian tentang rancang bangun sistem akuisisi data mikroseismik. Langkah-langkah penelitian ini disajikan pada diagram alir sebagaimana pada Gambar 3.1.



**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

Pengkajian literatur bertujuan untuk mencari referensi tentang bagian-bagian dari sistem yang akan dirancang. Selain itu,

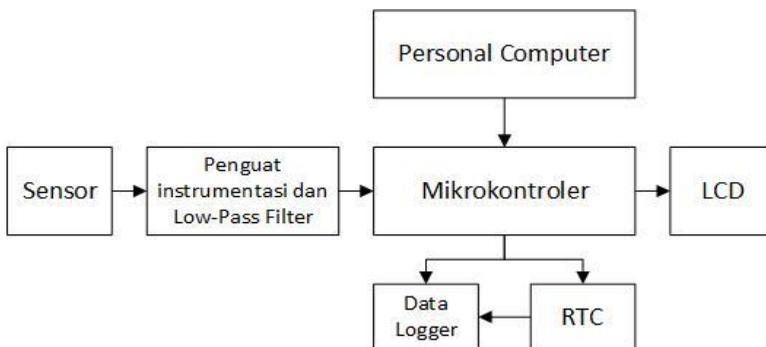
pengkajian literatur juga bertujuan dasar pemilihan-pemilihan komponen yang akan digunakan dalam perancangan. Perancangan sistem yang telah selesai harus diuji terlebih dahulu tiap-tiap bagiannya, pengujian yang dilakukan dilaboratorium meliputi pengujian respon sensor terhadap frekuensi rendah, dan pengujian *low-pass filter*. Setelah dilakukan pengujian laboratorium dan jika hasilnya telah sesuai dengan teori yang ada, maka dilakukan pengujian lapangan. Pengujian lapangan dilakukan dengan menempatkan alat yang telah dirancang bersamaan dengan alat pembanding pada titik penempatan yang sama untuk melakukan pengambilan data selama beberapa menit. Hasil yang diperoleh dari kedua alat akan diolah dan dibandingkan menggunakan metode FFT.

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini meliputi akselerometer MMA7361L, mikrokontroler Arduino Due, rangkaian penguat sinyal dan *low-pass filter*, box sensor, *data logger*, *real time clock* (RTC), baterai 12V-7Ah, LCD 20x4, kabel, tang, mesin bor, gunting, solder, timah dan multimeter.

### 3.3 Perancangan Umum Sistem

Tugas Akhir ini terdiri dari dua sistem yaitu sistem perangkat keras (*hardware*) dan sistem perangkat lunak (*software*) atau dapat digambarkan melalui diagram blok pada Gambar 3.2.

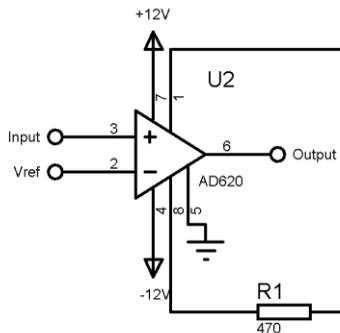


**Gambar 3. 2** Diagram blok sistem

Pada sistem perangkat keras terdiri dari lima bagian yaitu rangkaian sensor beserta penguat dan low-pass filter, rangkaian data logger, rangkaian komunikasi serial LCD, rangkaian *real-time clock*, dan mikrokontroler yang sudah meliputi ADC dan komunikasi serial. Terdapat dua bagian pada sistem perangkat lunak yaitu pemrograman mikrokontroler menggunakan perangkat lunak *Arduino IDE* dan perancangan rangkaian elektronika menggunakan *Proteus 8.4 Profesional*.

### 3.4 Perancangan Penguat Instrumentasi

Pada perancangan penguat instrumentasi bertujuan untuk menguatkan sinyal yang didapat. Penguat instrumentasi dipilih karena lebih memiliki performa yang lebih baik untuk penguatan yang besar dibandingkan rangkaian op-amp biasa. Penguat instrumentasi yang digunakan yaitu AD620 dengan rangkaian seperti pada Gambar 3.3



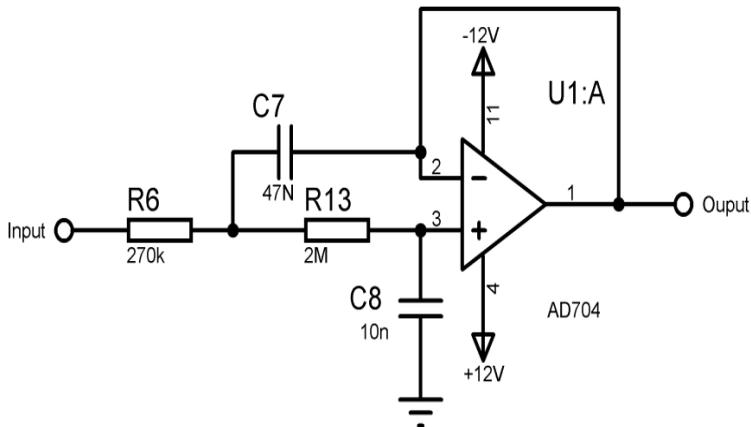
**Gambar 3. 3** Rangkaian penguat instrumentasi

AD620 merupakan penguat instrumentasi yang memiliki CMRR yang cukup tinggi yakni mencapai 90-130 dB, bergantung pada besar penguatan yang digunakan. Nilai penguatan AD620 sebagaimana Persamaan 3.1 dengan  $R_g$  merupakan besar resistansi *gain*.

$$G = \frac{49.4k\Omega}{R_g} + 1 \quad (3.1)$$

### 3.5 Perancangan *Low-Pass Filter*

Pada perancangan *low-pass filter* ini menggunakan *low-pass filter* aktif. Filter aktif yang dirancang dengan range frekuensi 0-10Hz menggunakan penguat operasional atau op-amp AD704 sebagaimana Gambar 3.4.

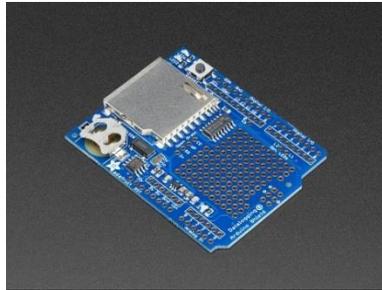


**Gambar 3. 4** Rangkaian 10Hz *lowpass filter*

AD704 dipilih karena memiliki respon yang baik untuk meloloskan frekuensi rendah. Pada Gambar 3.4 menunjukkan *low-pass filter* orde dua, hal ini digunakan agar menghindari adanya *ripple* pada sinyal disekitar frekuensi *cut-off*.

### 3.6 Perancangan *Data Logger dan Real Time Clock*

Pada perancangan Tugas Akhir ini diperlukan sebuah *data logger* yang berguna sebagai penyimpanan data. Penyimpanan data ini merupakan bagian yang sangatlah penting, dikarenakan keperluan dalam pengolahan data dengan menggunakan berbagai macam *software* maka diperlukan media penyimpanan data yang telah direkam, sehingga dapat memudahkan saat pengolahan data. *Data logger* yang digunakan ialah modul arduino *data logger* beserta *sd card* sebagai media penyimpanan data sebagaimana Gambar 3.5.

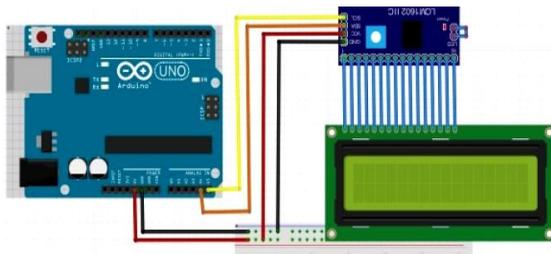


**Gambar 3. 5** Modul *data logger* dan *RTC*

Data yang akan disimpan berupa data keluaran dari filter. Selain data dari sensor yang disimpan dalam data logger, waktu pengambilan data juga disimpan dalam data logger secara real time. Waktu pengambilan data diperoleh dari rangkaian *real time clock* yang pada modul *data logger* sudah terdapat rangkaian *real time clock*. Data yang tersimpan memiliki format “TXT” dikarenakan format tersebut dapat dibaca oleh beberapa *software*.

### 3.7 Perancangan *Interface* untuk LCD

Pada saat pengambilan data diperlukan suatu *interface* yang terdapat pada alat yang akan digunakan. *Interface* tersebut berfungsi hanya untuk menampilkan status pada alat. Status yang akan ditampilkan seperti status waktu, pengaturan frekuensi sampling, dan status *data logger*. Oleh karena itu, *interface* cukup menggunakan LCD dengan resolusi 20x4. LCD dilengkapi modul I2C sebagai komunikasi dengan Arduino dengan skematik sebagaimana Gambar 3.6.



**Gambar 3. 6** Rangkaian LCD dengan I2C

LCD yang digunakan dilengkapi dengan beberapa *push button* sebagai pemberi instruksi untuk pengaturan pada mikrokontroler. Komunikasi serial untuk LCD menggunakan I2C dengan tujuan dapat meminimalkan penggunaan pin pada board mikrokontroler.

### 3.8 Pengujian Alat

Sistem yang telah dirancang kemudian akan diuji agar diketahui karakteristik data yang dihasilkan. Pengujian dalam penelitian ini dibagi menjadi dua bagian pengujian yaitu pengujian laboratorium dan pengujian lapangan. Pengujian laboratorium digunakan untuk mengetahui fungsi dari sensor, rangkaian penguat instrumentasi dan rangkaian filter. Pengujian filter dan penguat instrumentasi dilakukan dengan menggunakan sinyal generator sebagai pemberi sinyal yang ditampilkan pada osiloskop sehingga dapat diketahui karakteristik dari rangkaian filter yang telah dibuat.

Pengujian lapangan lakukan dengan membandingkan dengan alat komersil, dalam hal ini yaitu *Sara SL06 Seismograph* & *Sara SS45 Electrodynamic Sensor* sebagaimana Gambar 3.7.



**Gambar 3. 7** Sara SL06 & Sara SS45

Pengujian lapangan dilakukan dengan melakukan pengukuran gelombang mikroseismik pada suatu tempat dengan meletakkan alat yang telah dirancang dengan alat pembanding pada titik dan waktu yang sama. Kemudian hasil yang diperoleh dari kedua alat dibandingkan frekuensi-frekuensi yang terekam.

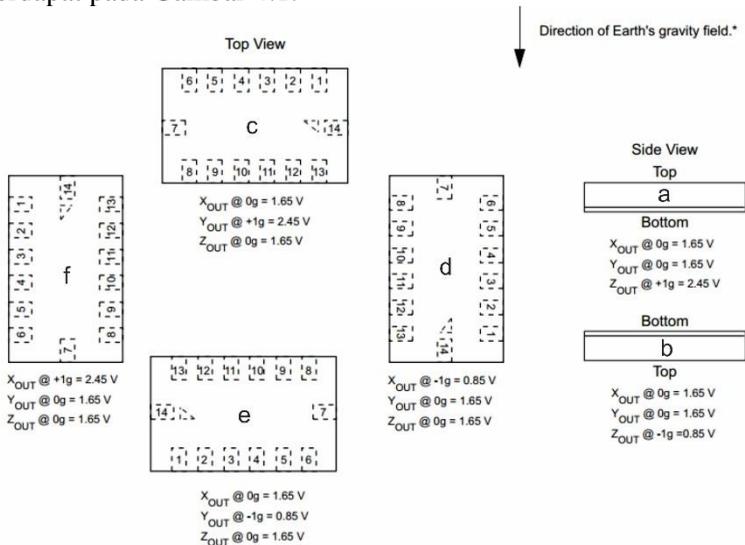
## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakterisasi Sensor

Pada tahap ini dilakukan proses karakterisasi sensor yang digunakan, karakterisasi dilakukan untuk mengetahui karakter dari sensor. Beberapa tahapan dilakukan untuk proses karakterisasi sensor dimana sensor yang digunakan adalah akselerometer MEMS MMA7361L antara lain menguji kesesuaian output sinyal dengan *datasheet* yang dikeluarkan oleh pabrikannya dan menguji respon dari MMA7361L untuk membaca getaran mikroseismik yang mana memiliki frekuensi yang rendah.

#### 4.1.1 Pengujian Output Sensor

Tahapan pertama yaitu menguji kesesuaian output sensor yang terbaca dengan yang terdapat dalam datasheet. Pada datasheet terdapat sinyal yang dikeluarkan dengan posisi-posisi peletakan sensor tertentu. Untuk ilustrasi posisi-posisi sensor sebagaimana terdapat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** Posisi dan *output* MMA7361L

Pada rancang bangun alat ini digunakan posisi a sebagaimana pada Gambar 4.1, oleh karena itu dilakukan pengukuran *ouput* sensor dengan posisi a dengan menggunakan alat ukur multimeter dan dibandingkan dengan pada *datasheet*.

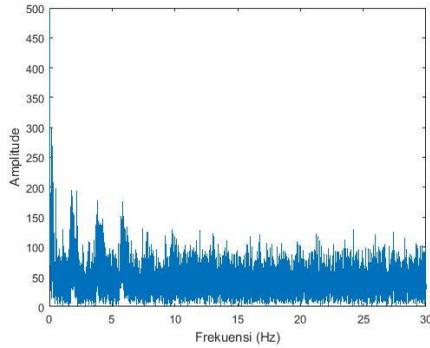
**Tabel 4. 1** Pengukuran output sensor

Posisi	Pengukuran	X (Volt)	Y(Volt)	Z(Volt)
A	Datasheet	1.65	1.65	2.45
	Multimeter	1.631	1.64	2.024
B	Datasheet	1.65	1.65	0.86
	Multimeter	1.644	1.661	0.458

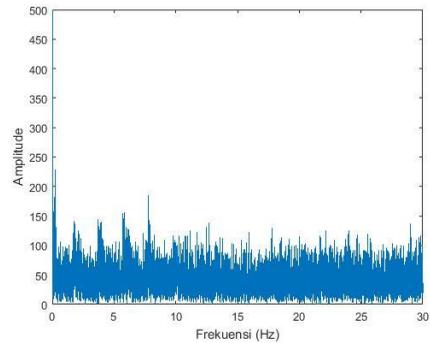
Hasil pengukuran menunjukkan ketidak sesuaian terhadap *datasheet* yang dikeluarkan oleh pabrikan, akan tetapi perbedaan tersebut tidak menunjukkan adanya penurunan nilai atau fungsinya, hanya saja menunjukkan pergeseran nilai. Pada Tabel 4.1 nilai Z keluaran yang perbedaannya paling jauh, menunjukkan selisih yang sama jika posisinya diubah menjadi sebaliknya (posisi a ke posisi b) maka dapat perbedaan nilai tersebut hanya berupa pergeseran nilai dari yang tertera dalam *datasheet*.

#### 4.1.2 Respon Sensor terhadap Frekuensi Rendah

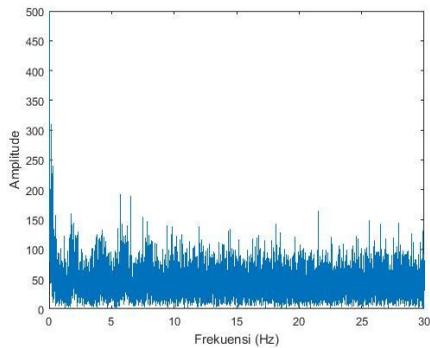
Karakterisasi yang kedua dilakukan untuk mengetahui respon sensor terhadap getaran dengan frekuensi rendah. Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor pada sumber getaran, sumber getaran yang digunakan yaitu speaker dengan pengatur keluaran frekuensi menggunakan *software Realtime Analyzer*. Pengujian dilakukan dengan memberikan frekuensi dari frekuensi 2 Hz - 20 Hz, dikarenakan pada rancangan filter nantinya digunakan 10 Hz *low-pass* filter. Pengujian tiap frekuensi dilakukan dengan durasi waktu selama 5 menit dan frekuensi sampling sebesar 100 Hz. Kemudian data getaran yang diperoleh dilakukan pengolahan menggunakan metode FFT untuk mengetahui frekuensi yang terbaca oleh sensor. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini untuk frekuensi 2Hz dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4.



**Gambar 4. 2** Frekuensi 2 Hz pada sumbu x

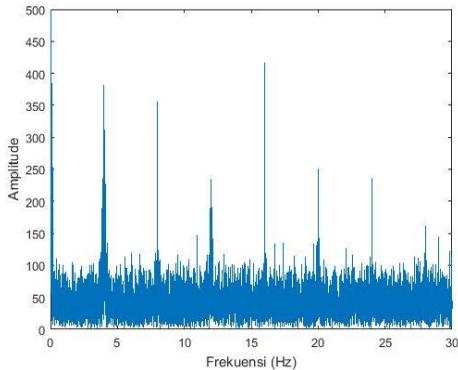


**Gambar 4. 3** Frekuensi 2 Hz pada sumbu Y

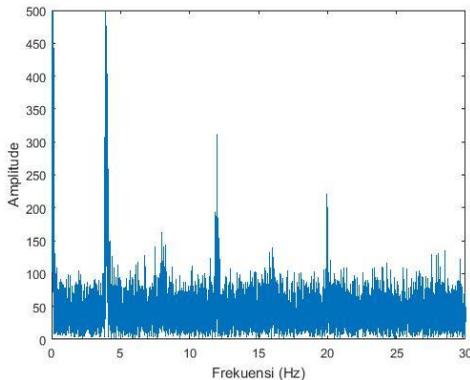


**Gambar 4. 4** Frekuensi 2 Hz pada sumbu Z

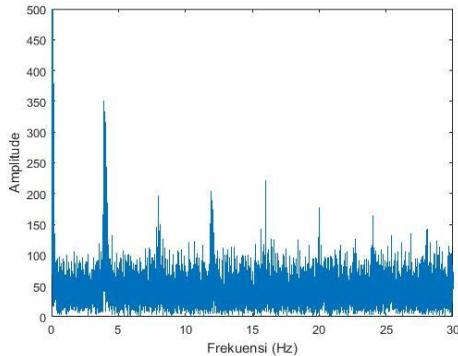
Pada frekuensi 2 Hz setelah dilakukan FFT diperoleh hasil untuk frekuensi yang tertangkap terdapat frekuensi disekitar 2 Hz dan memiliki amplitudo yang lebih besar daripada pada frekuensi 2 Hz pada sumbu y. Sedangkan untuk frekuensi diatas 2 Hz, frekuensi yang tertangkap oleh sensor sesuai dengan frekuensi dari sumber getaran. Misal untuk frekuensi 4 Hz hasil grafik FFT dari sinyal tersebut sebagaimana pada Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



**Gambar 4. 5** Frekuensi 4 Hz sumbu x



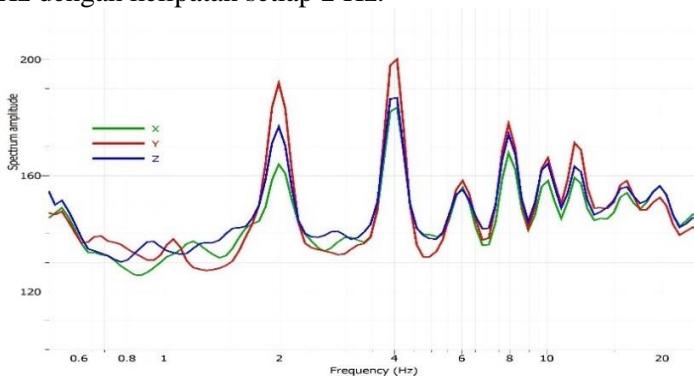
**Gambar 4. 6** Frekuensi 4 Hz sumbu y



**Gambar 4. 7** Frekuensi 4 Hz sumbu z

Pada frekuensi 4 Hz dapat terlihat jelas terdapat peak pada frekuensi 4 Hz, begitu juga untuk frekuensi diatas 4 Hz sebagaimana terlampir pada Lampiran A. Hal ini menunjukkan sensor memiliki respon pada frekuensi rendah.

Pada pengolahan menggunakan FFT, menunjukkan grafik yang memiliki *peak* disekitar frekuensi yang diujikan, oleh karena itu untuk lebih jelasnya frekuensi yang terekam pada sensor dapat diketahui dengan grafik spektrum amplitude. Pada Gambar 4.8 dapat diketahui spektrum yang dihasilkan untuk frekuensi uji 2-20Hz dengan kelipatan setiap 2 Hz.

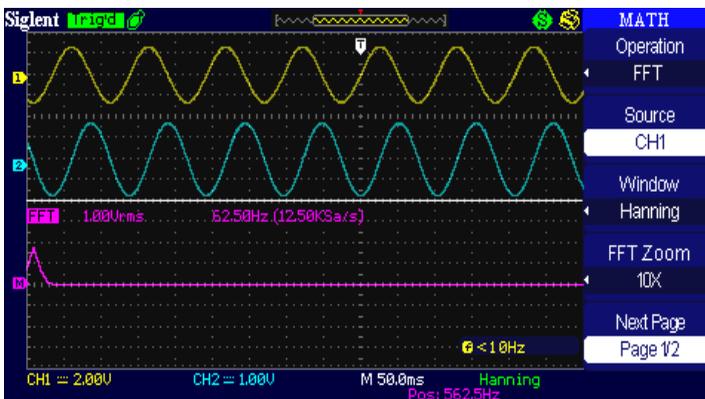


**Gambar 4. 8** Spektrum untuk frekuensi yang diujikan pada sensor

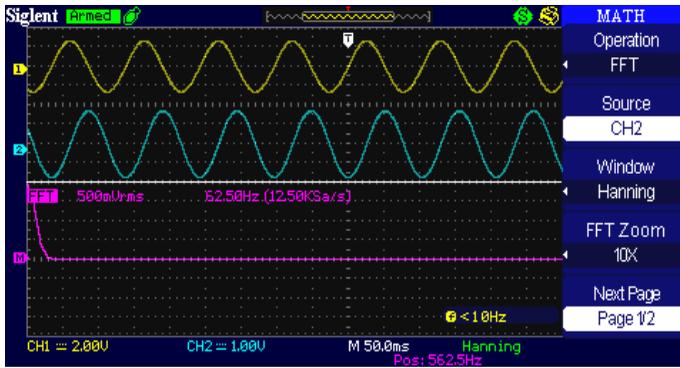
Dari grafik spektrum pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa sensor dapat menangkap getaran dengan frekuensi yang diujikan. Dapat dikatakan bahwa sensor memiliki respon pada frekuensi rendah yang baik. Namun, pada grafik FFT maupun grafik spektrum menunjukkan adanya frekuensi dibawah 0,6 Hz yang juga terekam pada sensor padahal frekuensi-frekuensi tersebut tidak diujikan. Hal ini dapat diduga merupakan *noise* dari sensor itu sendiri, namun untuk lebih jelasnya perlu dilakukan pengujian lagi dengan cara yang berbeda (pada penelitian ini dapat dilihat pada pengujian lapangan).

## 4.2 Pengujian Low-Pass Filter

Pengujian *low-pass* filter bertujuan untuk mengetahui fungsi dari filter yang telah dirancang. Pengujian menggunakan sinyal generator untuk memberikan sinyal dengan frekuensi-frekuensi tertentu sesuai yang dipilih. *Input* dari filter yang tersambung ke *output* sinyal generator dimana *output* filter tersambung dengan osiloskop. Frekuensi yang digunakan dimulai dari frekuensi sekitar 9 – 100 Hz, dikarenakan kemampuan dari sinyal generator yang mampu mengeluarkan output sinyal paling kecil berkisar pada frekuensi 9 Hz. Pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 merupakan grafik pengujian pada frekuensi 9 Hz. Sedangkan Gambar 4.11 dan 4.12 merupakan grafik dari frekuensi uji  $>10$  Hz.

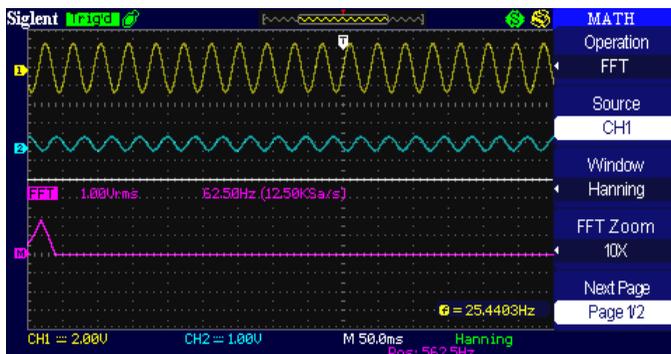


Gambar 4. 9 FFT Sinyal  $f < 10$ Hz tanpa filter

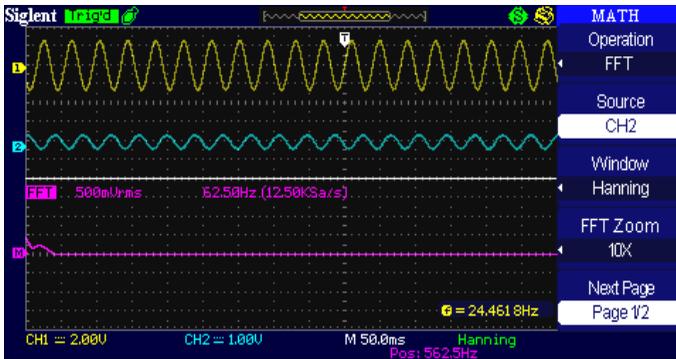


**Gambar 4. 10** FFT Sinyal  $f < 10\text{ Hz}$  dengan  $10\text{ Hz}$  low-pass filter

Dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 terdapat sinyal berwarna kuning dan biru dimana sinyal kuning merupakan sinyal yang dikeluarkan langsung dari sinyal generator dalam artian tidak melewati rangkaian *low-pass* filter (channel 1). Sedangkan pada sinyal berwarna biru merupakan sinyal dari keluaran rangkaian *low-pass* filter (channel 2). Pada sinyal berwarna ungu merupakan hasil FFT dari salah satu channel. Dari Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 sama-sama menunjukkan grafik naik pada frekuensi dibawah  $10\text{ Hz}$ , perbedaannya hanya pada besarnya *peak* yang berbeda. Hal tersebut hanya karena ukuran kurva yang berbeda, pada channel 1 menggunakan  $1\text{ Vrms/Div}$  sedangkan pada channel 2 menggunakan  $500\text{ mVrms/Div}$ .



**Gambar 4. 11** FFT sinyal  $> 10\text{ Hz}$  tanpa filter

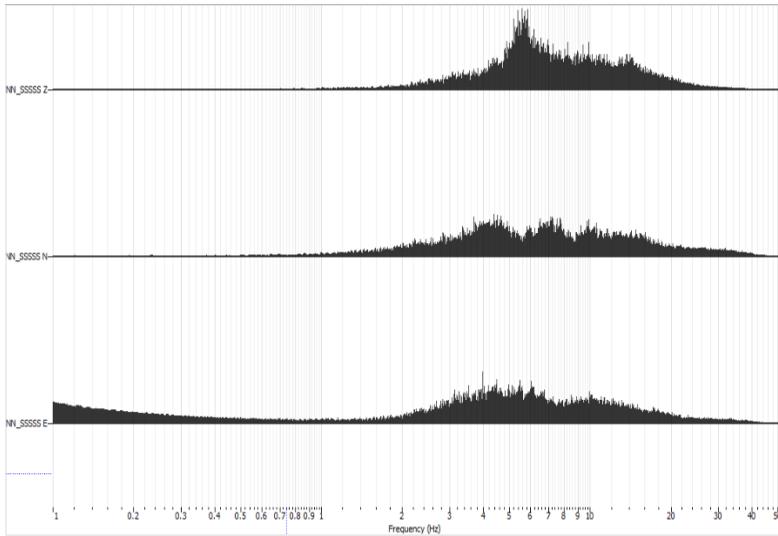


**Gambar 4. 12** FFT sinyal >10Hz dengan 10Hz low-pass filter

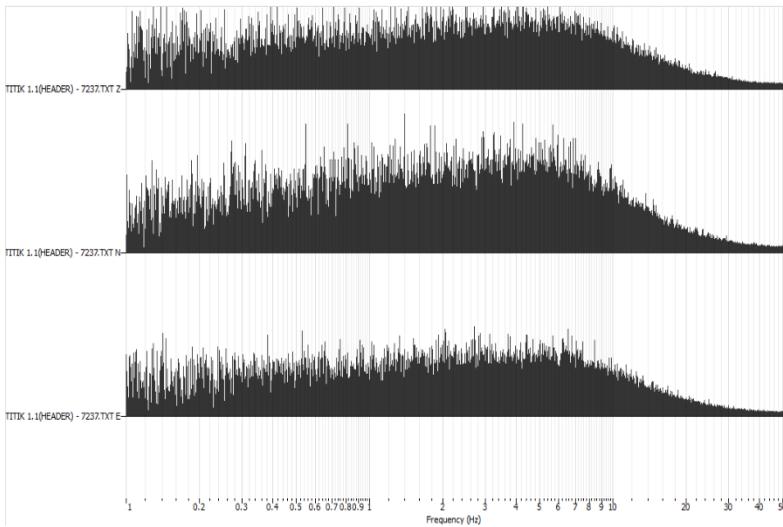
Pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 yang mana seperti pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, akan tetapi pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 frekuensi yang digunakan lebih dari 10 Hz untuk membuktikan rangkaian *low-pass* filter. Pada Gambar 4.12 terlihat bahwa sinyal yang seharusnya bernilai sekitar 25 Hz tidak dilewatkan dari rangkaian *low-pass* filter.

### 4.3 Pengujian Lapangan

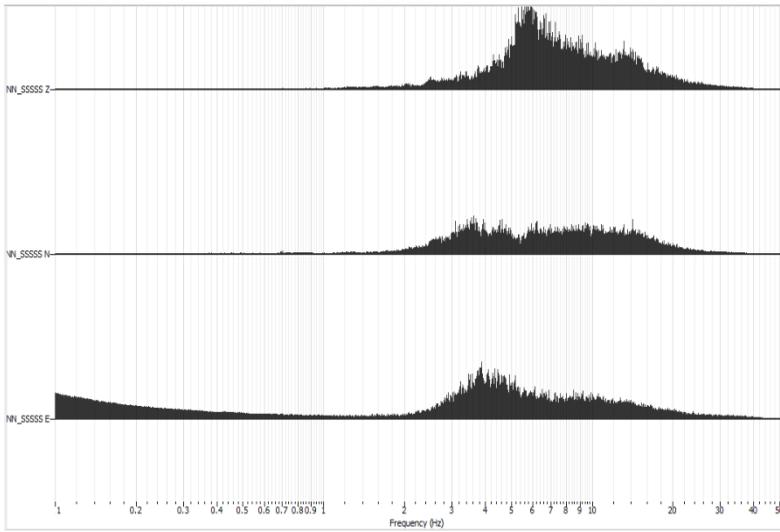
Pengujian lapangan dilakukan dengan melakukan pengukuran pada suatu tempat dengan meletakkan alat yang telah dirancang dengan alat pembanding yaitu *Sara SL06 Seismograph & Sara SS45 Electrodynamic Sensor* pada titik dan waktu yang sama. Pengujian dilakukan pada 2 titik pengukuran. Pengukuran dilakukan pada 2 titik daerah depan Stadion Pertamina ITS. Pengukuran titik pertama dilakukan pada pukul 23:07 WIB dengan durasi pengukuran selama 30 menit dan frekuensi sampling sebesar 100 Hz. Pada pengukuran kedua dilakukan pada pukul 00:32 WIB dengan durasi dan frekuensi sampling yang sama yaitu 30 menit dan frekuensi 100 Hz. Setelah dilakukan pengambilan data, pengolahan data digunakan *software Geopsy* yang diperoleh hasil nilai frekuensi yang terekam oleh masing-masing alat. Pada pengukuran titik pertama ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan 4.14, sedangkan untuk titik kedua ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan 4.16.



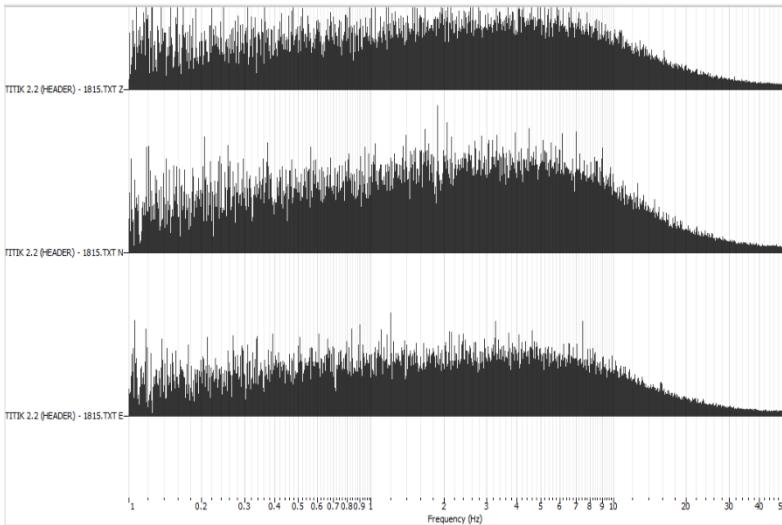
**Gambar 4. 13** Frekuensi terekam pada alat pembanding (titik 1)



**Gambar 4. 14** Frekuensi terekam pada alat rancang bangun (titik 1)

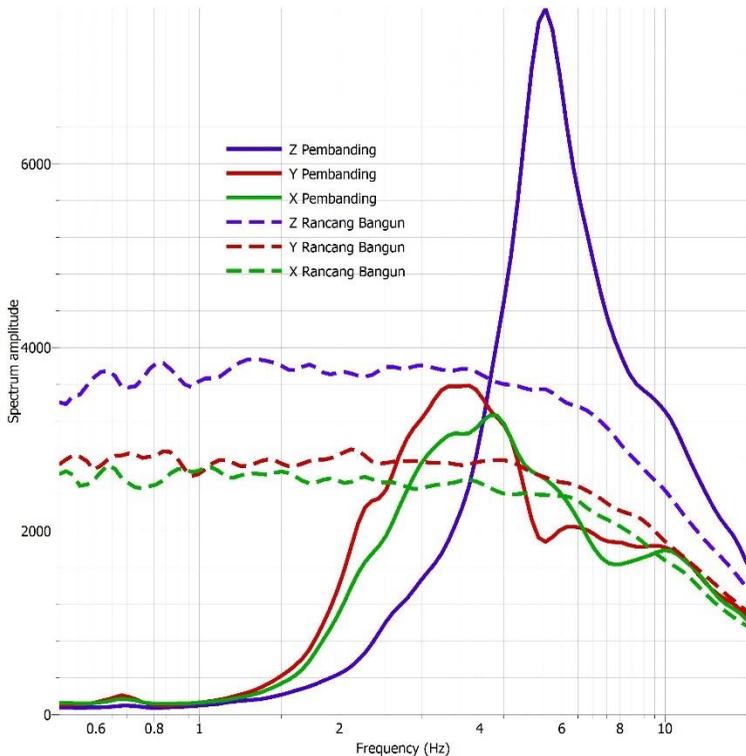


**Gambar 4. 15** Frekuensi terekam pada alat pembanding (titik 2)

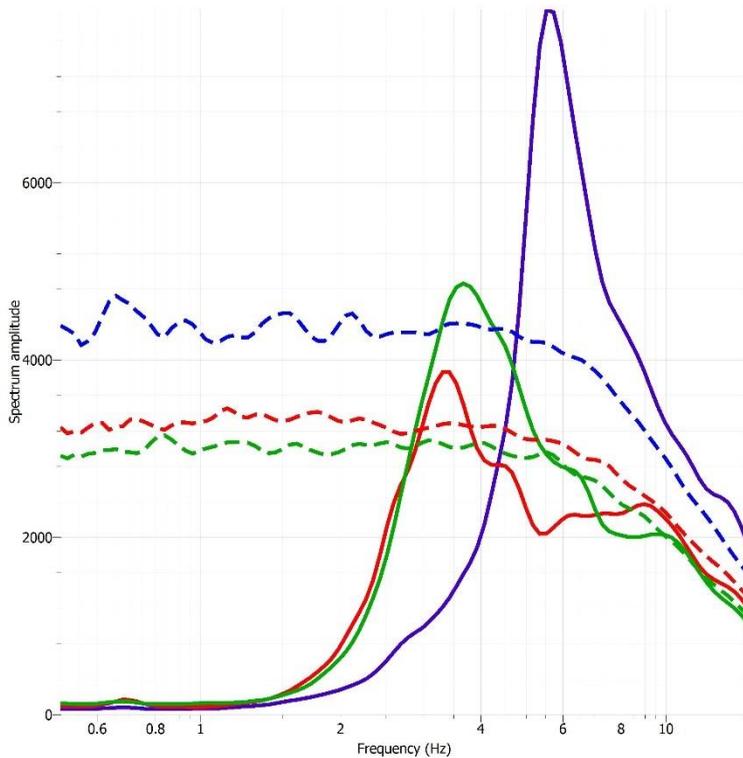


**Gambar 4. 16** Frekuensi terekam pada alat rancang bangun (titik 2)

Pada grafik frekuensi untuk alat pembanding terekam jelas *peak* untuk frekuensi yang terekam, hal ini terdapat pada kedua titik pengukuran. Sedangkan untuk alat pada rancang bangun tidak menunjukkan perbedaan frekuensi yang cukup jelas baik dari titik pertama maupun titik kedua. Sehingga belum dapat diambil kesimpulan tentang hasil frekuensi yang terekam. Untuk lebih jelasnya dilihat dari grafik spektrum amplitudo terhadap frekuensi untuk masing-masing alat. Grafik spektrum tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17 untuk pengukuran titik pertama dan Gambar 4.18 untuk pengukuran titik kedua.



**Gambar 4. 17** Spektrum pada pengukuran titik 1



**Gambar 4. 18** Spektrum pada pengukuran titik`2

Pada grafik spektrum dapat terlihat jelas amplitudo pada tiap frekuensi yang terekam, pada alat yang telah dirancang kurang dapat membaca getaran mikroseismik yang amplitudonya sangat kecil, berbeda dari grafik yang ditunjukkan pada alat pembanding yang memiliki *peak* yang cukup jelas. Hal ini diduga disebabkan oleh sensitivitas sensor yang kurang begitu besar dan cukup untuk mendeteksi gelombang mikroseismik. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa MMA7361L kurang baik jika digunakan untuk pengukuran pasif seperti perekaman gelombang mikroseismik.

Pada grafik spektrum juga dapat dilihat adanya *beberapa peak* yang kecil pada frekuensi 0-0,6 Hz, merujuk pada pengujian sensor yang telah disebutkan pada Subbab 4.1.2 dimana juga terdapat *peak* pada frekuensi dibawah 0,6 Hz dimana pada frekuensi tersebut tidaklah termasuk frekuensi yang diujikan. maka dapat disimpulkan bahwa MMA7361L memiliki *noise* pada frekuensi 0-0,6 Hz, sehingga untuk perancangan selanjutnya diperlukan *band-pass* filter untuk frekuensi *cut off* 0,6 Hz sampai frekuensi yang diinginkan.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari hasil pengolahan data disimpulkan bahwa telah dapat dibuat rancang bangun sistem akuisisi data mikroseismik dengan menggunakan akselerometer MEMS MMA7361L dimana sensor ini memiliki respon frekuensi pada frekuensi rendah dari rentang frekuensi uji 2-20 Hz. Selain itu, jika dibandingkan dengan alat pembanding kurang menunjukkan puncak spektrum pada frekuensi yang sama karena sensitivitas yang berbeda.

#### **5.2 Saran**

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan perbandingan dalam penelitian yang akan lebih lanjut, di antara lain sebagai berikut :

1. Pemilihan sensor akselerometer MEMS yang lebih sesuai sehingga dapat diketahui akselerometer MEMS yang lebih sesuai untuk pengukuran mikroseismik.
2. Sensor akselerometer MEMS dapat diujikan untuk rancang bangun alat yang merekam gelombang seismik dengan amplitude yang lebih besar dibanding dengan gelombang mikroseismik, seperti seismik dengan metode aktif atau diaplikasikan monitoring pada daerah seperti gunung berapi
3. Mencari alat ukur sebagai pembanding nilai yang diperoleh yang berbasis akselerometer MEMS.

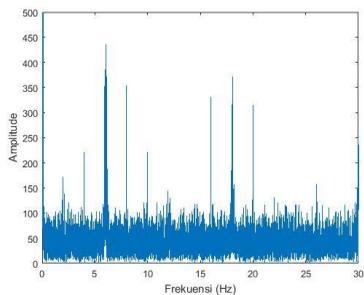
*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

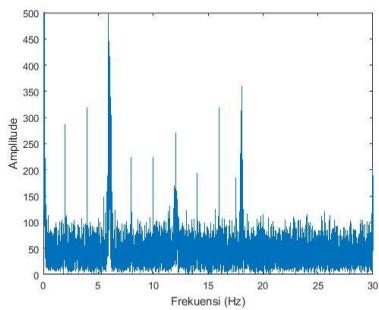
- Arduino. *Getting started with the Arduino Due*. Diakses melalui <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoDue>. pada 20 September 2017.
- Auditia, Cantika, 2016. *Zonasi Rawan Bencana Daerah Kota Agung dengan Menggunakan Metode Mikroseismik Berdasarkan Nilai Amplifikasi (HVSR) dan Frekuensi Dominan*. Universitas Lampung: Lampung.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2017. *Statistik Bencana Indonesia 2017*. Diakses melalui <http://dibi.bnppb.go.id/> pada 20 September 2017.
- Faulkenberry, Lucus M., 1982, *An introduction to Operational Amplifier 2<sup>nd</sup> edition*. John Wiley and sons, Canada.
- Harahap, R. A. P, dkk., *Analisa Mikroseismik Dengan Metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) untuk Pemetaan Mikrozonasi di Kelurahan Kejawan Putih Tambak Surabaya*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, (2013) 1-4
- Ibrahim, Gunawan dan Subarjo., 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Kanai, K., 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo University: Japan.
- Lang, D. H., 2004. *Damage Potential of Seismik Ground Motion Considering Local Site Effects*. Doctoral Dissertation. University of Weimar : Weimar.
- Lawrence, A., 1993. *Modern Inertial Technology (Navigation, guidance and Coontrol)*. Newyork : Springer – verlag.
- Marsyelina, Merizka, dkk., 2014. *Karakteristik mikroseismik dan analisis seismisitas pada jalur sesar Opak, kabupaten Bantul, Yogyakarta*. Jurnal Sains Dasar, Vol. 3, No. 1.
- Matej Andrejašič. MEMS Akselerometers. *Seminar on University of Ljubljana Faculty for mathematics and physics*. Department of physics, March 2008.

- Mirzaoglu, Mete. And Dýkmen, Ünal. 2003. *Application of mikroseismiks to seismik microzoning procedure*. Balkan: Jurnal of the Balkan Geophysical, Vol. 6, No. 3
- Prasad, Siva, 2010. *Design Simulation and Fabrication of Micromachined Acceleration Sensor*. Jawaharlal Nehru Technological University: Hyderabad.
- Sadiku, M.N.O. dan Alexander, C.K., 2013. *Fundamentals Of Electric Circuits, 5<sup>th</sup> Edition*. McGraw-Hill, New York.
- Sipasulta, Reonaldo Yohanes, dkk. 2014. *Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform)*. UNSRAT: Manado
- Wijaya, Sastra Kusuma, 2007, *Materi Kuliah Elektronika I, Departemen Fisika, FMIPA UI, Depok*.

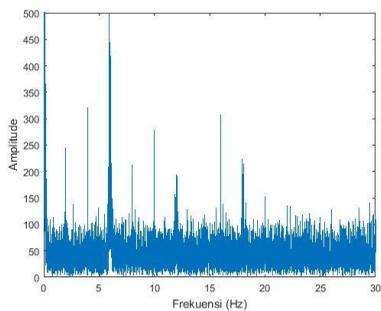
## LAMPIRAN A Respon Sensor



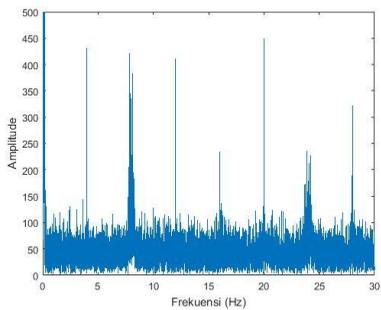
Gambar 1 Frekuensi 6 Hz sumbu x



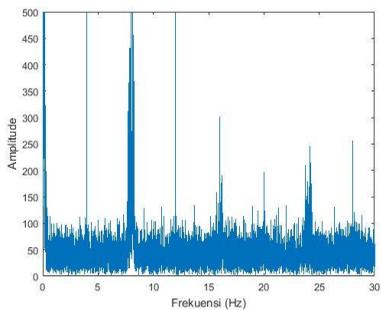
Gambar 2 Frekuensi 6 Hz sumbu y



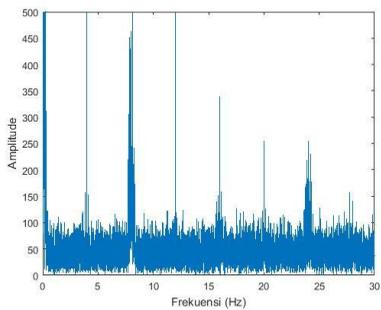
Gambar 3 Frekuensi 6 Hz sumbu z



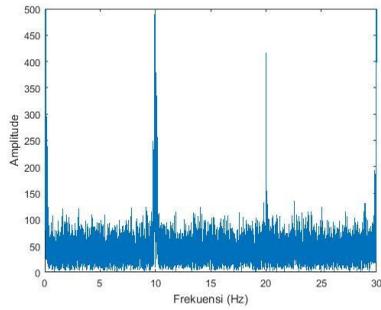
Gambar 4 Frekuensi 8 Hz sumbu x



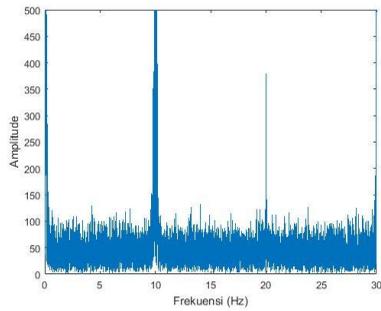
Gambar5 Frekuensi 8 Hz sumbu y



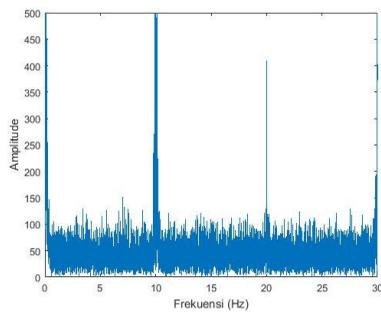
Gambar 6 Frekuensi 8 Hz sumbu z



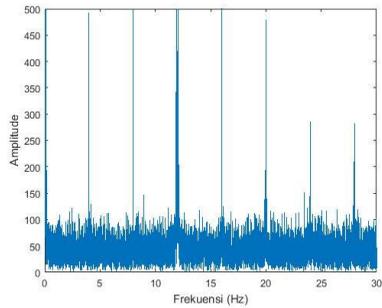
Gambar 7 Frekuensi 10 Hz sumbu x



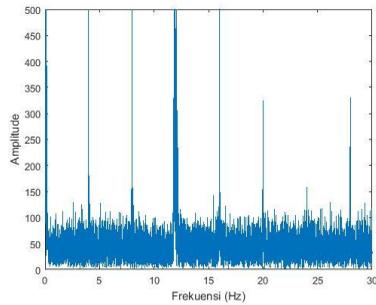
Gambar 8 Frekuensi 10 Hz sumbu y



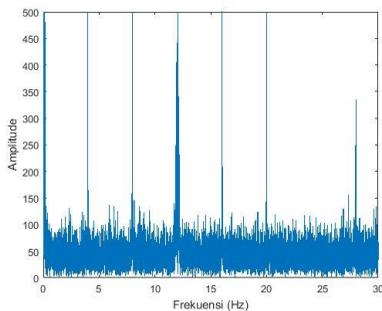
Gambar 9 Frekuensi 10 Hz sumbu z



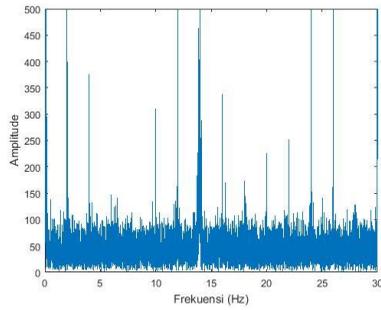
Gambar 10 Frekuensi 12 Hz sumbu x



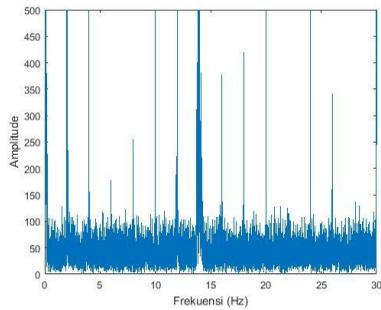
Gambar 11 Frekuensi 12 Hz sumbu y



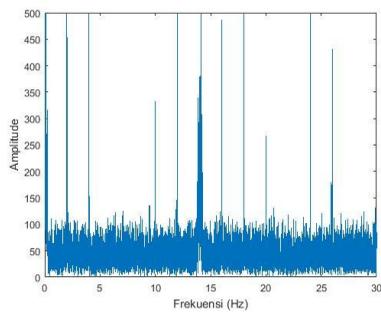
Gambar 12 Frekuensi 12 Hz sumbu z



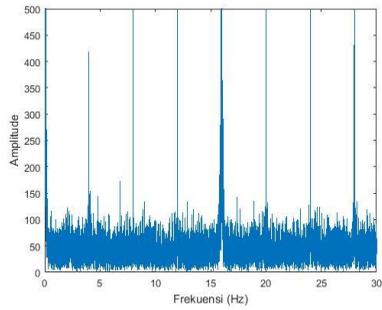
Gambar 13 Frekuensi 14 Hz sumbu x



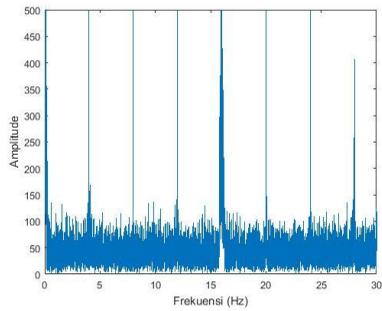
Gambar 14 Frekuensi 14 Hz sumbu y



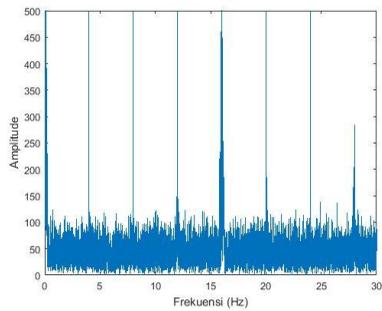
Gambar 15 Frekuensi 14 Hz sumbu z



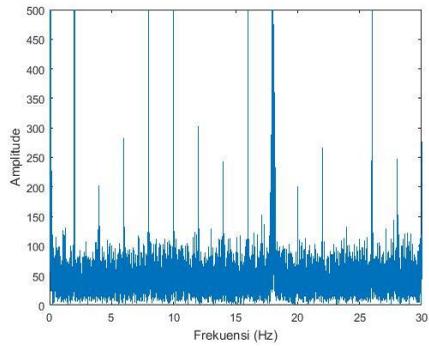
Gambar 16 Frekuensi 16 Hz sumbu x



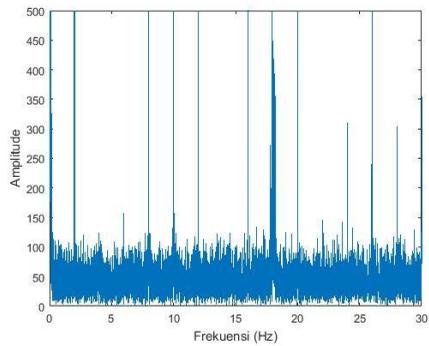
Gambar 17 Frekuensi 16 Hz sumbu y



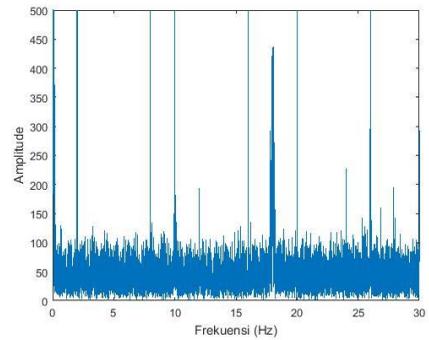
Gambar 18 Frekuensi 16 Hz sumbu z



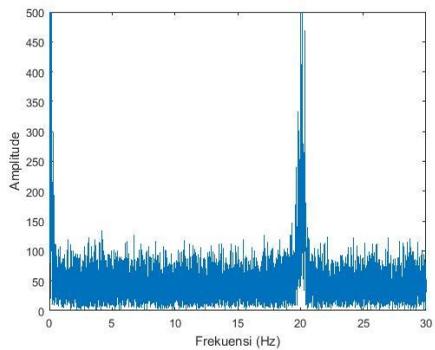
Gambar 19 Frekuensi 18 Hz sumbu x



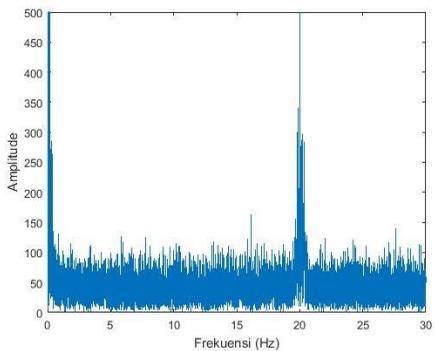
Gambar 20 Frekuensi 18 Hz sumbu y



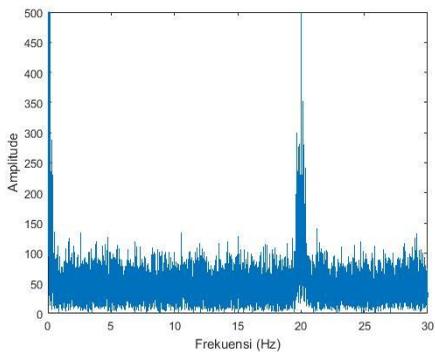
Gambar 21 Frekuensi 18 Hz sumbu z



Gambar 22 Frekuensi 20 Hz sumbu x



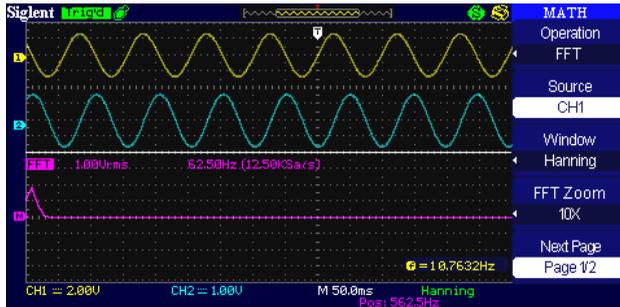
Gambar 23 Frekuensi 20 Hz sumbu y



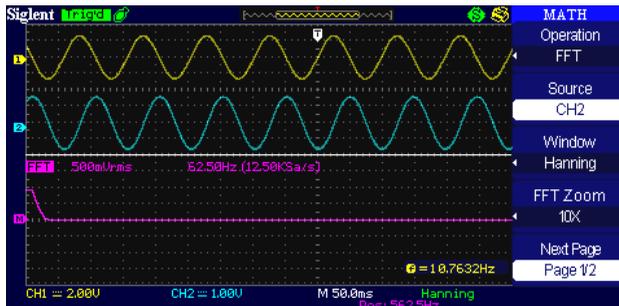
Gambar 24 Frekuensi 20 Hz sumbu z

## LAMPIRAN B

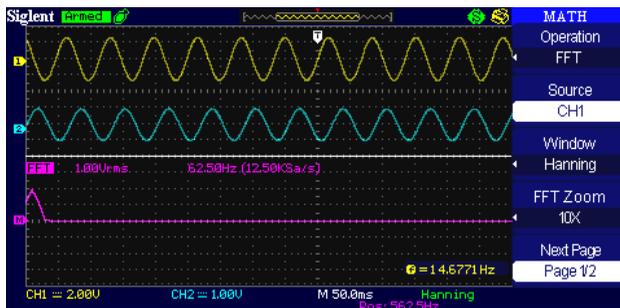
### Pengujian Filter



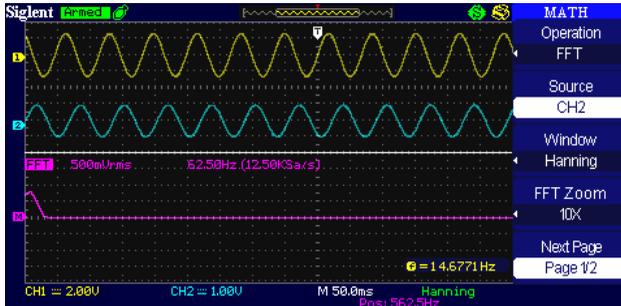
Gambar 19 FFT Sinyal  $f = \pm 10$  Hz tanpa filter



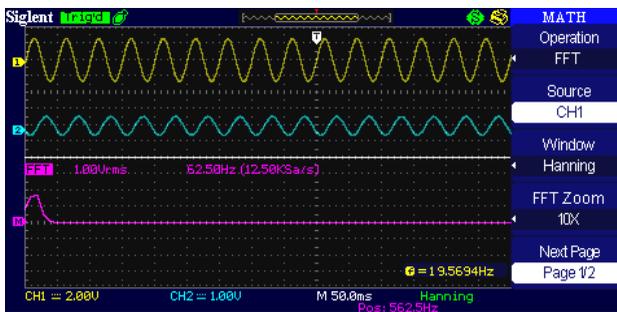
Gambar 20 FFT Sinyal  $f = \pm 10$  Hz dengan 10Hz low-pass filter



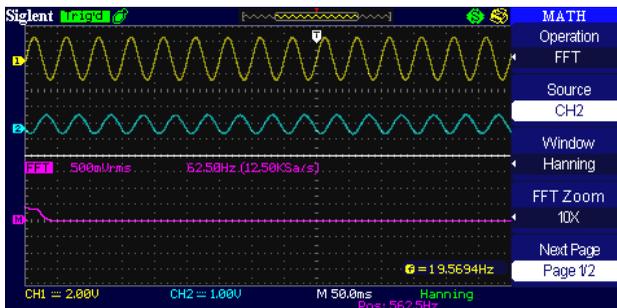
Gambar 21 FFT Sinyal  $f = \pm 14$  Hz tanpa filter



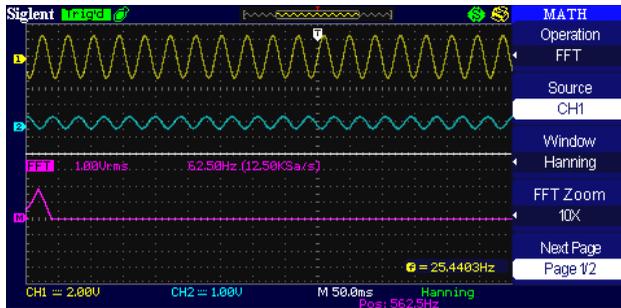
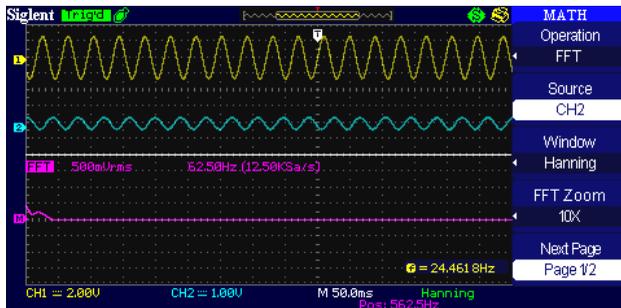
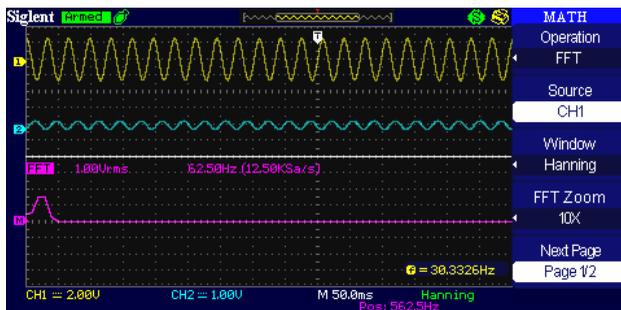
Gambar 22 FFT Sinyal  $f = \pm 14$  Hz dengan 10Hz low-pass filter

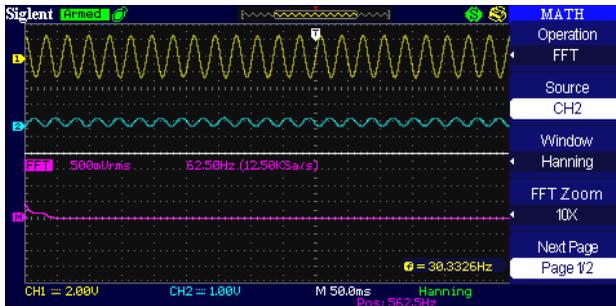


Gambar 23 FFT Sinyal  $f = \pm 19$  Hz tanpa filter

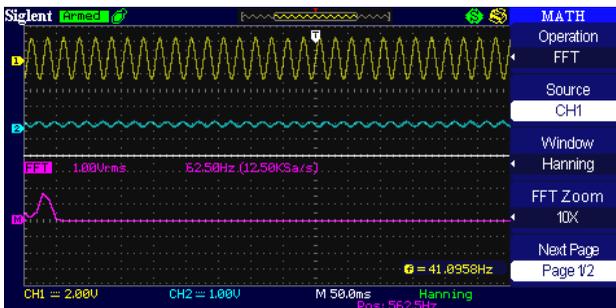


Gambar 24 FFT Sinyal  $f = \pm 19$  Hz dengan 10Hz low-pass filter

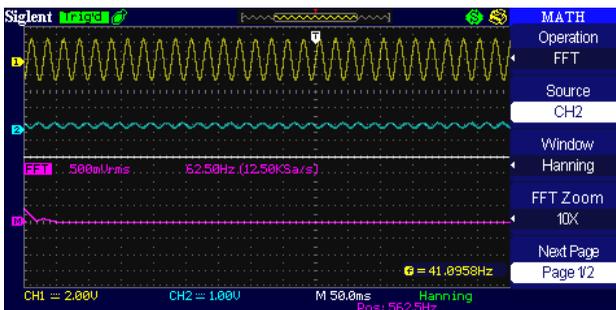
Gambar 25 FFT Sinyal  $f = \pm 25$  Hz tanpa filterGambar 26 FFT Sinyal  $f = \pm 25$  Hz dengan 10Hz low-pass filterGambar 25 FFT Sinyal  $f = \pm 30$  Hz tanpa filter



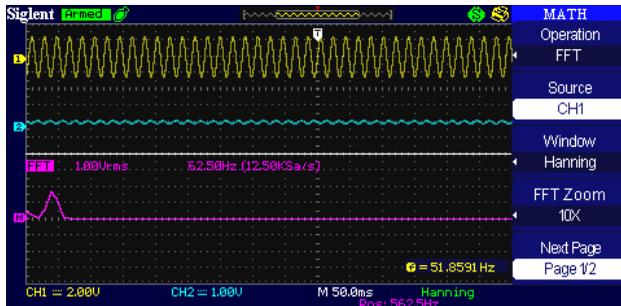
Gambar 28 FFT Sinyal  $f = \pm 30$  Hz dengan 10Hz low-pass filter



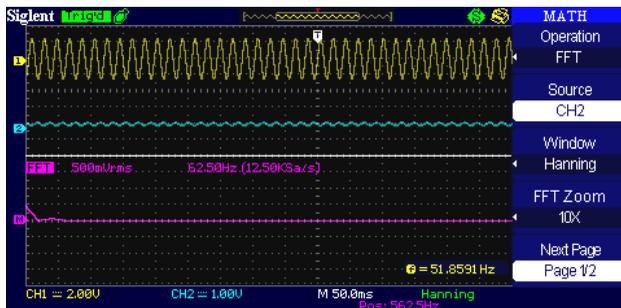
Gambar 29 FFT Sinyal  $f = \pm 41$  Hz tanpa filter



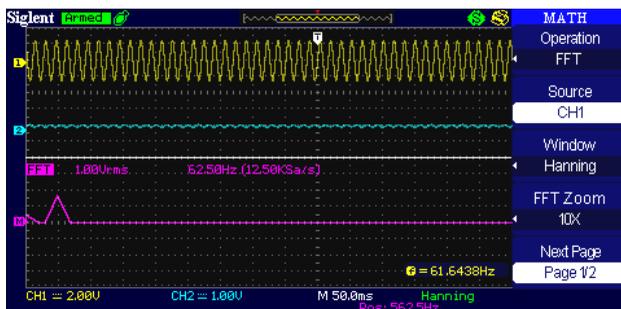
Gambar 30 FFT Sinyal  $f = \pm 41$  Hz dengan 10Hz low-pass filter



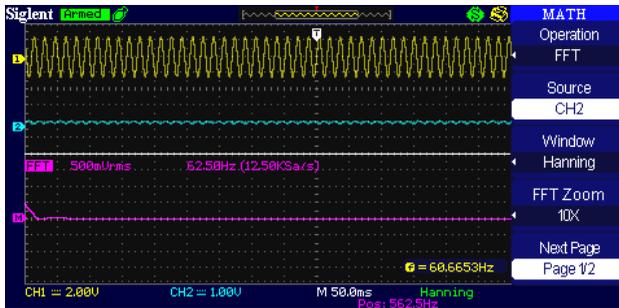
Gambar 31 FFT Sinyal  $f = \pm 51$  Hz tanpa filter



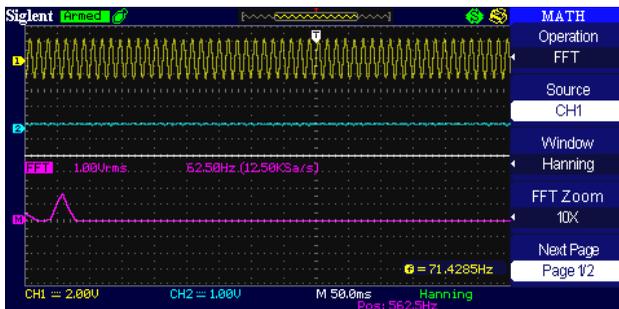
Gambar 32 FFT Sinyal  $f = \pm 51$  Hz dengan 10Hz low-pass filter



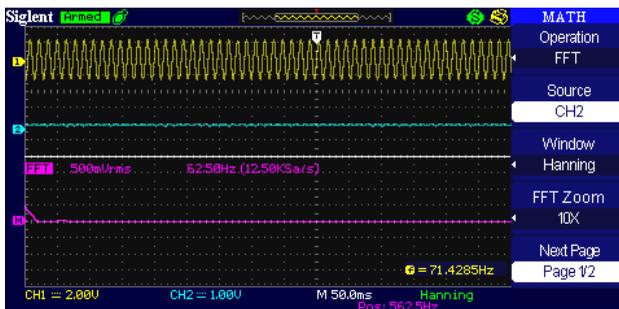
Gambar 33 FFT Sinyal  $f = \pm 61$  Hz tanpa filter



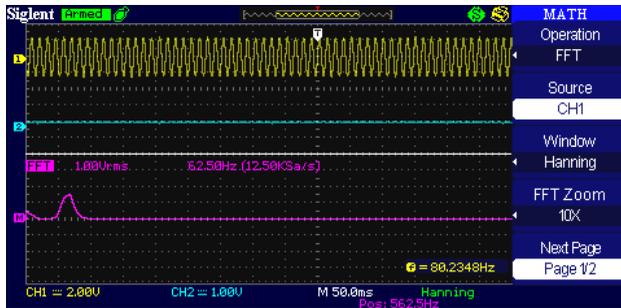
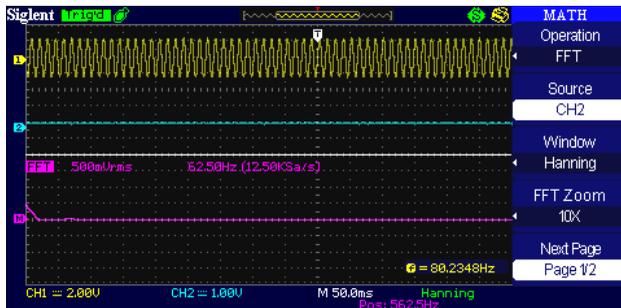
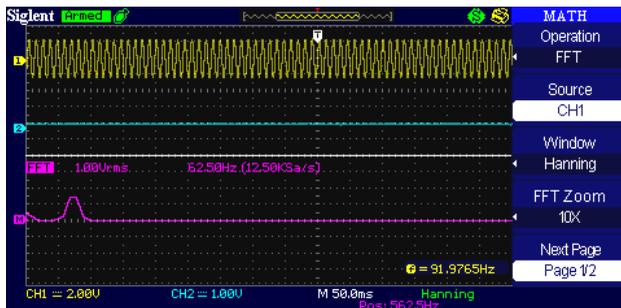
Gambar 34 FFT Sinyal  $f = \pm 61$  Hz dengan 10Hz low-pass filter

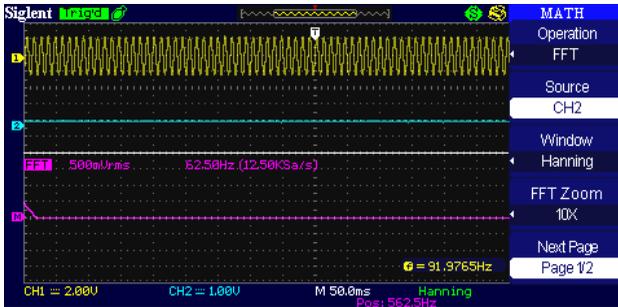
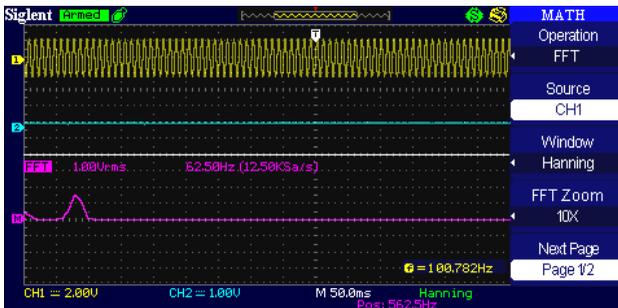
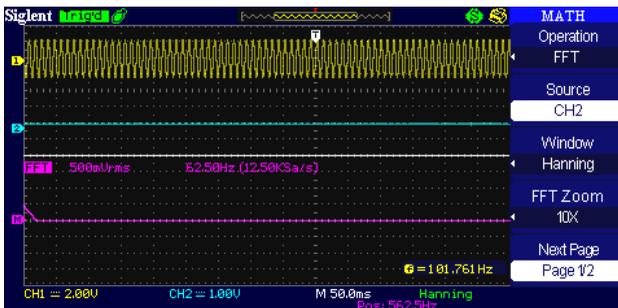


Gambar 35 FFT Sinyal  $f = \pm 71$  Hz tanpa filter



Gambar 36 FFT Sinyal  $f = \pm 71$  Hz dengan 10Hz low-pass filter

Gambar 37 FFT Sinyal  $f = \pm 80$  Hz tanpa filterGambar 38 FFT Sinyal  $f = \pm 80$  Hz dengan 10 Hz low-pass filterGambar 39 FFT Sinyal  $f = \pm 91$  Hz tanpa filter

Gambar 40 FFT Sinyal  $f = \pm 91$  Hz dengan 10Hz low-pass filterGambar 41 FFT Sinyal  $f = \pm 100$  Hz tanpa filterGambar 42 FFT Sinyal  $f = \pm 100$  Hz dengan 10Hz low-pass filter

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Badri Gigih Setiyawan biasa dipanggil Badri atau Gigih. Penulis merupakan anak terakhir dari dua bersaudara, dilahirkan di Sidoarjo, 11 Mei 1995. Semasa kecil penulis menempuh Pendidikan formil antara lain di SD Negeri Klagen, SMP Negeri 1 Taman, SMA Negeri 1 Sedayu, dan pada tahun 2013 diterima di Jurusan Fisika ITS. Selama perkuliahan penulis juga bergabung dengan beberapa organisasi dan kepanitiaan antara

Himasika ITS, Forum Studi Islam Kaffah (Fosif), Ramadan di Kampus (RDK), aktif sebagai anggota penerima beasiswa Karya Salemba Empat (KSE) periode 2016-2017. Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan penelitian selanjutnya. Kritik dan saran kepada penulis dapat disampaikan ke [badri.gigih@gmail.com](mailto:badri.gigih@gmail.com).

