

**DESAIN DAN REALISASI AKSELEROMETER BERBASIS
ARDUINO SEBAGAI INSTRUMEN PENDETEKSI
MIKROTREMOR**

(Skripsi)

Oleh

AHMAD AMIRUDDIN



**KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

ABSTRACT

DESIGN AND REALIZATION OF ACCELEROMETER BASED ON ARDUINO AS MICROTREMOR IDENTIFICATION INSTRUMENT

By

AHMAD AMIRUDDIN

To investigate soil vulnerability zones, one of the method is microtremor analysis to analyze soil characteristics based on the natural frequency of the soil layer. However, the technology used to obtain the data is still expensive. Considering the need for this technology, this research was conducted to design a tool used as a microtremor analysis with Arduino-based accelerometer that is affordable and easier to use. This study aims to design accelerometer, create system and accelerometer program and validate the measurement test results. As a result, the design of the accelerometer body size is 18.5 cm x 12 cm x 7 cm with the bottom side of the box made of iron plate as a vibration medium and the lid box is made of mica. The program system can work efficiently with a maximum sampling rate of data collection of 500/s. From the validation test, the f_0 value of the HVSR curve from the accelerometer tool ranges from 0.19 Hz - 0.93 Hz. Whereas from the reference tool Reftek Accelerograph produces a range of 0.18 Hz - 0.9 Hz. The smallest difference between the two measurement tools is 0.0072 Hz at point 1 and the biggest difference is 0.129 Hz at point 3. The average difference between the two values of f_0 is 0.037 Hz.

Keyword: Mikrotremor, Arduino, *Accelerometer*, Instrumen

ABSTRAK

DESAIN DAN REALISASI AKSELEROMETER BERBASIS ARDUINO SEBAGAI INSTRUMEN PENDETEKSI MIKROTREMOR

Oleh
AHMAD AMIRUDDIN

Investigasi zona kerawanan tanah salah satunya dengan analisa mikrotremor untuk menganalisa karakteristik tanah berdasarkan frekuensi alami yang lapisan tanah. Namun, teknologi untuk mendapatkan data tersebut masih mahal dan belum bisa digunakan banyak orang. Mengingat kebutuhan akan teknologi ini, maka penelitian ini dilakukan untuk merancang alat yang digunakan sebagai analisis mikrotremor berupa akslerometer berbasis Arduino yang lebih terjangkau biaya dan lebih mudah digunakan. Mikrokontroller Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancang bangun akslerometer, membuat sistem dan program akslerometer dan melakukan validasi hasil uji pengukuran. Hasilnya, bentuk tubuh alat berukuran 18,5 cm x 12 cm x 7 cm dengan alas *box* terbuat dari plat besi sebagai medium getaran dan tutup *box* terbuat dari mika. Dari pemrograman yang sudah dibuat menghasilkan program yang dapat bekerja dengan segi kecepatan dan energi yang dibutuhkan saat bekerja dengan *sampling rate* pengambilan data maksimal 500/s. Dari hasil uji validasi, menghasilkan nilai f_0 dari kurva *HVSR* dari alat yang telah dibuat berkisar antara 0,19 Hz – 0,93 Hz. Sedangkan dari *Reftek Accelerograph* menghasilkan nilai 0,18 Hz – 0,9 Hz. Selisih terkecil antara kedua alat pengukuran yaitu 0,0072 Hz di titik 1 dan selisih terbesar yaitu 0,129 Hz di titik 3. Rata rata selisih antara kedua nilai f_0 pengukuran yaitu 0,037 Hz.

Kata Kunci: Mikrotremor, Arduino, *Accelerometer*, Instrumen

**DESAIN DAN REALISASI AKSELEROMETER BERBASIS
ARDUINO SEBAGAI INSTRUMEN PENDETEKSI
MIKROTREMOR**

Oleh
AHMAD AMIRUDDIN

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

**Judul Skripsi : DESAIN DAN REALISASI
AKSELEROMETER BERBASIS ARDUINO
SEBAGAI INSTRUMEN PENDETEKSI
MIKROTREMOR**

Nama Mahasiswa : Ahmad Amiruddin

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415051005

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Pembimbing II

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Nandi Haerudin, M.Si.
NIP 19750911 200012 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

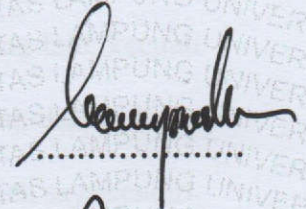
Ketua

: Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.



Sekretaris

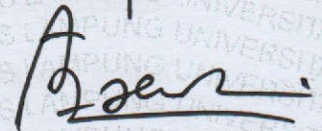
: Karyanto, S.Si., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.

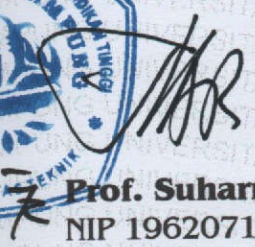


Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 April 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Mei 2019



Ahmad Amiruddin
1415051005

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 20 Juni 1996, dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Pasangan Bapak Syamsul Huda. dan Ibu Sugiarti.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK. Darul Hikmah Bandar Lampung pada tahun 2002, pendidikan Sekolah Dasar di SD Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2008, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2011, pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Al-Kautsar Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2014.

Pada tahun 2014, penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi kampus. Penulis terdaftar sebagai anggota KRT Hima TG Bhuwana. Anggota Society of Exploration Geophysicist (SEG) Chapter Universitas Lampung di bidang Course.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan atas ridho dari Allah SWT

kan ku persembahkan skripsi ini kepada :

Kedua Orangtua,
(Bapak Syamsul Huda. dan Ibu Sugiarti)

Kakak,
(Atikasari)

Almamater kebanggaanku,
(Teknik Geofisika Universitas Lampung)

MOTTO

**“APAPUN YANG KITA PIKIR DAN PERBUAT AKAN KEMBALI
KE DIRI KITA SENDIRI DALAM BENTUK YANG TERLIHAT
ATAU TIDAK TERLIHAT, DALAM HAL BAIK ATAU BURUK”**

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa shalawat serta salam saya ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Skripsi yang berjudul “**DESAIN DAN REALISASI AKSELEROMETER BERBASIS ARDUINO SEBAGAI INSTRUMEN PENDETEKSI MIKROTREMOR**” merupakan hasil dari Tugas Akhir yang dilaksanakan penulis di Laboratorium Teknik Geofisika pada Desember 2018 – April 2019, dibantu dan dibimbing oleh pembimbing dan teman-teman laboratorium. Penulis menyadari bahwa penulis memiliki keterbatasan dalam beberapa hal dan segala sesuatu tidak ada yang sempurna, demikian pula dengan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna.

Untuk itu jika ditemukan kesalahan dalam penulisan skripsi ini, kiranya dapat memberikan kritik dan saran. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Demikianlah kata pengantar yang dapat penulis sampaikan, apabila ada salah kata saya mohon maaf dan kepada Allah SWT saya mohon ampun.

Penulis

Ahmad Amiruddin

SAN WACANA

Selama menjalani Tugas Akhir dan pembuatan skripsi ini tentu saja tidak terlepas dari banyak pihak yang sangat membantu, bukan saja dari segi keilmuan tetapi juga dari segi pengalaman yang tidak mungkin penulis dapatkan hanya di bangku kuliah saja. Maka dari pada itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga memberikan kelancaran dalam menulis skripsi ini.
2. Kedua orangtuaku tercinta, Bapak Syamsul Huda. dan Ibu Sugiarti yang telah memberikan doa, dukungan dan kasih sayang yang tiada henti. Serta kakak satu-satunya, Atikasari yang telah memberikan dukungan dan doa selama menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr.Nandi Haerudin, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika.
4. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D selaku Pembimbing I dan pembimbing akademik yang telah meluangkan waktunya untuk bimbingan disela-sela kesibukan, memberikan masukan, ilmu, kritik dan saran hingga penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Karyanto, S.Si., M.T., selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi, memberikan ilmu, kritik dan saran dalam penyusunan skripsi.
6. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., selaku penguji yang telah banyak membagikan ilmu, kritik dan bimbingan dalam pengujian skripsi.

7. Bapak I Gede Boy Darmawan, M. Eng. selaku dosen pembimbing kerja laboratorium yang banyak memberikan ilmu, ide dan saran setiap hari di laboratorium.
8. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Unila, Pak Legino, Pak Pujono, Mbak Dhea, Pak Marsuno dan Mas Dayat yang memberi bantuan dalam proses administrasi.
9. Seluruh dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah mendidik, membimbing dan memberikan ilmu pengetahuan.
10. Teman-teman TG 2014 : Agnes, Agra, Agung, Budi, Andi, Alfa, Alfian, Arief, Aul, Aziz, Cinthia, Delvia, Desta, Diana, Dicky, Dimas, Ewin, Evi, Fajar, Faqih, Fhera, Filza, Fitria, Gaffar, Galang, Ghiat, Helbrat, Ida, Ikhwan, Ilham, Indra, Isti, Jefri, Martin, Azri, Morales, Farizi, Asrin, Niko, Zaki, Romi, Nabila, Nana, Norman, Ideng, Nupit, Tiwi, Pungky, Malik, Iqbal, Rhaka, Ridho, Aldi, Rita, Pakde, Dharta, Sofyan, Kiki, Umidiana, Ipeh, Viska, Ino, Witta dan Yuda.
11. Teman-teman seperjuangan lab karantina yang telah banyak direpotkan : Andi, Galang, Martin, Aziz, Jefri, Azri, Nana, Desta, Ipeh dan Norman.
12. Adik-adik tingkat seperjuangan skripsi : Rindi, Nopi, Maul, Ayu, Rani, Risma, Sunar, Yogi, Fauzan, Angga, Ester, Tiara, Dyna, Nurman, Agam, Satria dan Dersan.
13. Serta para civitas Jurusan Teknik Geofisika dan semua pihak yang terlibat, yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir hingga penyelesaian skripsi ini.

Penulis

Ahmad Amiruddin

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
MOTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Arduino Mega2560	5
B. Sensor ADXL345	8
C. Perancangan Sistem Pendeteksi Gempa.....	9
D. Desain Akselerometer Menggunakan Microcontroller Arduino DUE.....	11
E. Studi Mikrotremor Untuk Pemetaan Distribusi Frekuensi Tanah....	13
F. Penentuan Frekuensi Natural dan Arah Pergerakan Gelombang.	15

III. TEORI DASAR

A. Gelombang Seismik	16
B. Mikrotremor	19
C. Frekuensi Dominan	21
D. Metode <i>HVSR</i>	23

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
B. Alat dan Bahan.....	26
C. Prosedur Penelitian	27
1. Perancangan Elektronik	27
2. Perancangan Sistem Program.....	28
3. Pengujian (Kalibrasi)	30

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Elektronik	33
B. Perancangan Sistem Program	37
C. Validasi Hasil Pengukuran	42
D. Analisis Hasil Validasi	56

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	58
---------------------	----

B. Saran59

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Arduino Mega2560	5
Gambar 2. ADXL345	9
Gambar 3. Hasil Uji <i>Accelerometer</i> Alat dengan <i>Smartphone</i>	11
Gambar 4. Peta Sebaran Frekuensi Dominan.....	15
Gambar 5. Hasil Pengolahan <i>HVSR</i>	16
Gambar 6. Gelombang P	18
Gambar 7. Gelombang S	18
Gambar 8. Gelombang Love dan Rayleigh	19
Gambar 9. Perbedaan bentuk Gelombang yang disebabkan Tremor dan Gelombang Gempa.....	21
Gambar 10. Urutan Sistem Kerja <i>Accelerometer</i>	30
Gambar 11. Filter <i>frequency</i> untuk menganalisis kandungan sinyal.....	31
Gambar 12. <i>Flowchart</i> Kalibrasi dan Validasi Hasil Pengukuran	32
Gambar 13. Rancang Bangun Alat	34
Gambar 14. Konfigurasi Sambungan Modul sinyal	36
Gambar 15. Perancangan Sistem Program	37
Gambar 16. Status siap akuisisi pada (A) Layar <i>LCD</i> (B) <i>Serial</i> <i>Monitor</i> Program.....	39

Gambar 17. Status pada saat akuisisi pada (A) Layar <i>LCD</i> (B) <i>Serial Monitor</i> Program.....	39
Gambar 18. Status pada saat konversi (A) Layar <i>LCD</i> (B) <i>Serial Monitor</i> Program.....	40
Gambar 19. Kurva <i>HVSR</i> (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 1	43
Gambar 20. <i>Pick tremor window</i> hasil pengukuran (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 1	43
Gambar 21. Kurva <i>HVSR</i> (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 2	45
Gambar 22. <i>Pick tremor window</i> hasil pengukuran (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 2	46
Gambar 23. Kurva <i>HVSR</i> (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 3	47
Gambar 24. <i>Pick tremor window</i> hasil pengukuran (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 3	48
Gambar 25. Kurva <i>HVSR</i> (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 4	49
Gambar 26. <i>Pick tremor window</i> hasil pengukuran (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 4	50
Gambar 27. Kurva <i>HVSR</i> (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 5	51
Gambar 28. <i>Pick tremor window</i> hasil pengukuran (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 5	52
Gambar 29. Kurva <i>HVSR</i> (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 6	54
Gambar 30. <i>Pick tremor window</i> hasil pengukuran (A) Alat Uji (B) <i>Reftek</i> titik 6	55
Gambar 31. Titik Observasi dan nilai f_0 <i>HVSR</i> di titik observasi	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Pin pada ADXL345	9
Tabel 2. Hasil Uji Pembacaan Akselerometer.....	12
Tabel 3. Hasil Uji Akselerasi Frekuensi 20 Hz – 80 Hz	13
Tabel 4. Klasifikasi tanah oleh Kanai.....	23
Tabel 5. Rencana Waktu dan Kegiatan Penelitian	26
Tabel 6. Konfigurasi Pin Arduino dan Modul.....	28
Tabel 7. Konfigurasi Sambungan Modul	35
Tabel 8. Format <i>header</i> hasil pengukuran pada <i>file *.csv</i>	42
Tabel 9. Syarat <i>Curve Reliability</i> dari kurva <i>HVSR</i>	56
Tabel 10. Nilai f_0 (a) Alat Uji dan (b) <i>Reftek</i> untuk nilai <i>curve reliability</i>	57

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi bencana alam yang tinggi disebabkan karena posisi geografis yang terletak diantara lempeng tektonik aktif. Bencana alam gempa bumi dan pergerakan tanah disebabkan oleh tingkat kerawanan tanah yang tinggi pada daerah tanah yang belum kompak. Bencana yang sering terjadi ini tidak sedikit memakan korban jiwa dan kerusakan infrastruktur. Bencana alam tidak dapat dihentikan namun dapat dikurangi dampaknya dengan cara mitigasi.

Salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi dan pergerakan tanah adalah melakukan analisis kerawanan tanah pada daerah yang diindikasikan memiliki potensi bencana atau kerentanan tinggi. Pergerakan tanah umumnya dapat terjadi di lereng merupakan proses dari pencapaian keseimbangan baru suatu bidang lapisan akibat adanya gangguan terhadap lereng tersebut. Hal ini juga dipengaruhi oleh jenis tanah dan besarnya gangguan kesetimbangan.

Untuk melakukan investigasi zona kerawanan tanah salah satunya dengan analisa mikrotremor. Mikrotremor adalah metoda geofisika yang digunakan untuk menganalisa karakteristik tanah berdasarkan kecepatan gelombang

seismik dengan menganalisis variasi amplitudo periode dan frekuensi terhadap waktu yang disebabkan oleh gempa bumi maupun sumber getaran yang lain. Hasil dari mikrotremor berupa klasifikasi tanah dan perhitungan faktor amplifikasi lapisan sedimen permukaan.

Aplikasi mikrotremor juga dapat digunakan pada daerah perkotaan yang padat untuk mengukur ketahanan tanah untuk bangunan maupun lereng sebagai identifikasi kekuatan tanah. Namun, teknologi yang digunakan untuk mendapatkan data tersebut masih mahal dan belum bisa digunakan banyak orang. Mengingat kebutuhan akan teknologi ini, maka perlu dilakukan penelitian untuk merancang alat yang digunakan sebagai analisis mikrotremor berupa *accelerometer* berbasis Arduino yang lebih terjangkau biaya dan lebih mudah digunakan.

Karena itu, penelitian ini dilakukan sebagai alternatif dari penggunaan alat *accelerograph* berbasis Arduino untuk merancang alat yang lebih terjangkau dan dapat secara efektif digunakan di masyarakat. Beberapa penelitian sebelumnya yang telah menggunakan Arduino sebagai *microcontroller* seperti yang dilakukan oleh Ardhi (2018) mengenai alat pendeteksi gempa menggunakan Arduino dengan sensor *accelerometer* dan menghasilkan suatu sistem pendeteksi gempa sederhana yang lebih mudah dirancang dan digunakan. Selain itu, pada penelitian oleh Purwowibowo (2017) yaitu melakukan desain *accelerometer* menggunakan Arduino untuk aplikasi pada identifikasi getaran mesin sebagai identifikasi kerusakannya dan mengetahui

stabilitas *accelerometer* yang digunakan. Dari penelitian tersebut, maka penelitian mengenai perancangan *accelerometer* berbasis Arduino sebagai instrumen identifikasi mikrotremor dapat memiliki manfaat sebagai identifikasi nilai kerentanan suatu wilayah yang teknologinya relatif lebih murah dan dapat dilakukan pengembangan lebih lanjut.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem dan rancang bangun *accelerometer* agar dapat lebih mudah dan murah digunakan dalam masyarakat?
2. Bagaimana cara mengetahui *accelerometer* yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik dan menghasilkan data yang baik?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat rancang bangun *accelerometer* berbasis Arduino.
2. Membuat sistem dan program alat *accelerometer*
3. Melakukan validasi hasil uji pengukuran.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian pada penelitian yaitu pada pembuatan rancang bangun dan sistem *accelerometer* berbasis Arduino dengan tujuan sebagai analisis mikrotremor sebagai aplikasinya. Kemudian melakukan validasi hasil pengukuran.

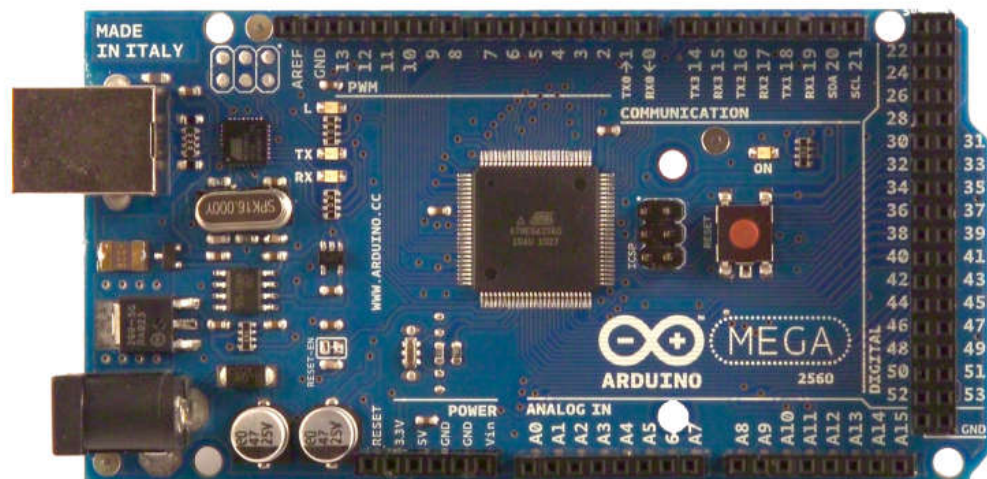
E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah adanya *accelerometer* yang dapat lebih terjangkau harganya dan lebih mudah digunakan oleh masyarakat sebagai analisis mikrotremor di daerah rawan bencana.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Arduino Mega2560

Arduino adalah suatu papan elektronik berbasis *microcontroller* yang berisi suatu rangkaian elektronik memiliki suatu *chip IC (integrated circuit)* yang dapat diprogram dengan komputer melalui Arduino IDE dan memiliki sifat *open source*. Tujuan dari rangkaian elektronik pada *microcontroller* Arduino ini adalah untuk membaca *input*, melakukan proses dan menghasilkan proses sesuai dengan *input* program yang telah dimasukkan ke dalam *microcontroller* berdasarkan proses dalam rangkaian elektronik.



Gambar 1. Arduino Mega2560 (www.arduino.cc)

Pemrograman *board* Arduino menggunakan IDE Arduino *software* dengan bahasa pemrograman dan juga *library* yang dibutuhkan. Proses program yang dilakukan oleh Arduino Mega dilakukan oleh *Chip* ATmega2560 yang terdapat pada Arduino Mega. *Chip* ATmega2560 atau disebut *bootloader* bertugas melakukan program dan menerjemahkan ke dalam bahasa yang lebih sederhana yang kemudian menjadi perintah yang diinput ke dalam *microcontroller*.

Board Arduino Mega2560 dapat menggunakan *power supply* dari koneksi kabel *USB* atau eksternal. *Power Supply* eksternal dapat diperoleh dari *adaptor AC-DC* atau baterai melalui jack *DC* atau melalui *port GND* dan *Vin* pada *board* dengan tegangan 6V hingga 20V. Jika diberi tegangan kurang dari 7V, maka penggunaan pin 5V tidak dapat memberikan tegangan yang murni dan bila tegangan lebih dari 12V, regulator tegangan dapat mengalami *overheat* dan membuat rusak rangkaian *PCB* sehingga rekomendasi tegangan yang digunakan adalah 7V hingga 12V.

Arduino Mega2560 memiliki 54 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menerima arus sebesar 20mA, dan tahanan *pull-up* sekitar 20k-50k ohm (secara *default* dalam posisi *disconnect*).

Beberapa pin yang terdapat pada Arduino Mega2560:

- *GND* adalah *ground* atau negatif.

- *Vin* adalah pin sebagai *power supply* langsung ke *board* Arduino dengan rentang tegangan yang disarankan 7V - 12V.
- Pin 5V adalah pin *output* untuk memberikan sumber tegangan 5V yang melalui regulator
- 3V3 adalah pin *output* yang memberikan sumber tegangan 3,3V yang melalui regulator
- IOREF adalah pin yang memberikan tegangan *microcontroller*. Biasanya digunakan pada *board shield* agar memperoleh tegangan yang sesuai, apakah 5V atau 3,3V
- Pin *Serial*, memiliki 4 *serial* yang masing-masing terdiri dari 2 pin. Serial 0 : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Serial 1 : pin 19 (RX) dan pin 18 (TX). Serial 2 : pin 17 (RX) dan pin 16 (TX). Serial 3 : pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). RX digunakan untuk menerima dan TX untuk *transmit data* serial TTL. *Chip USB to TTL ATmega16U2* digunakan oleh Pin 0 dan pin 1.
- *External Interrupts* terdiri dari pin 2 untuk *interrupt* 0, pin 3 *interrupt* 1, pin 18 *interrupt* 5, pin 19 *interrupt* 4, pin 20 *interrupt* 3, dan pin 21 *interrupt* 2. Arduino Mega2560 memiliki 6 pin *interrupt* yang dapat digunakan dengan fungsi *attachInterrupt()* untuk mengatur *interrupt* tersebut.
- *PWM*: Pin 2 - pin 13 dan pin 44 - pin 46, menyediakan *output PWM* dengan fungsi *analogWrite()*
- SPI : Pin 50 MISO, 51 MOSI, 52 SCK, dan 53 SS mendukung koneksi *SPI* (*SPI Library*).

- *LED* : Pin 13. Pada pin 13 menghubungkan *built-in LED* dikendalikan dari digital pin no 13. Dengan fungsi *HIGH* untuk menyalakan *LED* dan fungsi *LOW* untuk memadamkan pin.
- *TWI* : menggunakan Pin 20 *SDA* dan pin 21 *SCL* yang terhubung dengan *TWI* dengan menggunakan *Wire Library*

Input analog Arduino Mega2560 R3 terdapat 16 buah. Pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits. Secara otomatis, pin-pin dihubungkan dari ground ke 5V, dapat juga menggunakan pin *AREF* menggunakan fungsi *analogReference()*. Beberapa pin lainnya pada *board* ini adalah :

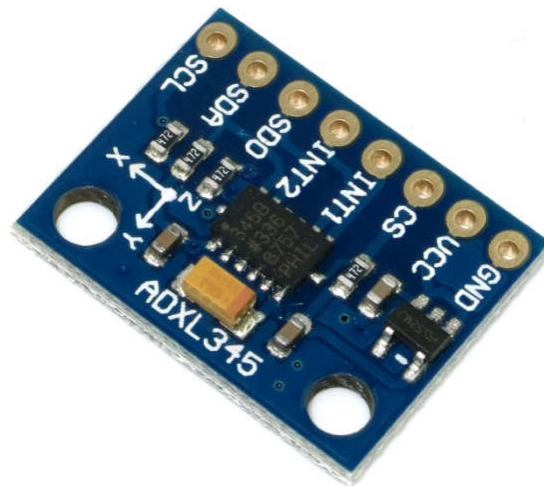
- *AREF*. Sebagai sumber tegangan *input* analog.
- *Reset*. Untuk melakukan reset terhadap *microcontroller*, hubungkan ke *LOW* (www.theengineeringprojects.com).

B. Sensor ADXL345

ADXL345 adalah salah satu sensor yang dapat merespon percepatan berdasarkan getaran maupun kemiringan. ADXL345 memiliki sensor 3 sumbu dan memiliki resolusi 13 bit dengan jangkauan 2g, 4g, 8g dan 16g.

Spesifikasi dari *accelerometer* ADXL345 yang dipakai adalah:

- Supply voltage range*: 2,0 V to 3,6 V I/O.
- SPI (3- and 4-wire) and I2C digital interfaces*.
- Bekerja pada temperatur (-40°C to +85°C).
- 10,000 g maksimal *shock*.
- 3 mm × 5 mm × 1 mm *LGA package*.



Gambar 2. ADXL345 (www.sparkfun.com)

Tabel 1. Pin pada ADXL345 (www.analog.com)

No	Simbol	Tipe	Keterangan
1	<i>GND</i>	S	<i>Ground</i>
2	<i>VCC</i>	S	<i>Power Supply</i>
3	<i>CS</i>	I	Komunikasi <i>I2C</i>
4	<i>INT 1</i>	O	Interupsi <i>Output</i>
5	<i>INT 2</i>	O	Interupsi <i>Output</i>
6	<i>SDO</i>	O	<i>Serial Data Output I2C</i>
7	<i>SDA</i>	I	<i>Serial Data Input I2C</i>
8	<i>SCL</i>	I	<i>Clock pada I2C</i>

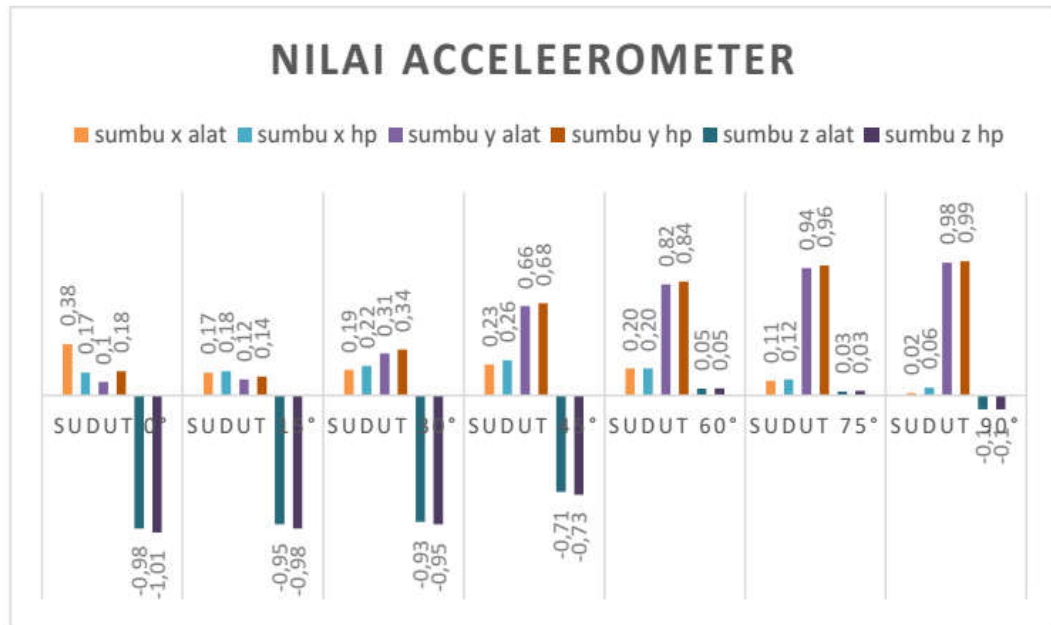
C. Perancangan Sistem Pendeteksi Gempa

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ardhi (2018) yang bertujuan untuk merancang sistem pendeteksi gempa berbasis Arduino dan sensor *accelerometer*. Studi ini dilakukan untuk melihat kegunaan Arduino dan sensor *accelerometer* untuk diaplikasikan pada sistem pendeteksi gempa. Sistem ini terdiri dari *microcontroller* Arduino Uno, sensor *accelerometer* dan sensor getar. *Microcontroller* Arduino Uno digunakan sebagai penerima dan pengolah sinyal yang diterima oleh sensor *accelerometer* dan sensor getar.

Sensor *accelerometer* digunakan untuk mengetahui kondisi tanah dalam keadaan diam atau bergerak yang menghasilkan respon berupa nilai x, y dan z. Pada perancangan perangkat keras menggunakan Arduino Uno, sensor ADXL335, Sensor 801S *Vibration* dan *LCD*. Kemudian pada perancangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE sebagai pemrograman sebagai kompilernya sistem sensor.

Setelah dilakukan perancangan, dilakukan uji perbedaan nilai pengukuran dengan menggunakan sensor *accelerometer* pada *smartphone*. Selisih perbedaan nilai hasil pengukuran *accelerometer* yang didapatkan oleh sensor ADXL335 dengan nilai *accelerometer* pada *smartphone* pada sumbu x adalah 0,42%, pada sumbu y 0,164% dan pada sumbu z 0,035%. Perbedaan ini disebabkan oleh nilai resultan dari rangkaian sensor ADXL335. Nilai hasil ukur sensor ADXL335 kurang presisi dengan nilai *accelerometer smartphone*

karena adanya nilai *error* 1,7% pada sumbu x, 1,64% pada sumbu y, dan 0,35% pada sumbu z.



Gambar 3. Hasil Uji *Accelerometer* Alat dengan *Smartphone* (Ardhi, 2018)

D. Desain Akselerometer Menggunakan *Microcontroller* Arduino DUE

Penelitian yang dilakukan oleh Purwowibowo (2017) bertujuan untuk mendesain sistem *accelerometer* sebagai alat pendeteksi getaran pada alat-alat industri untuk mengetahui ada atau tidaknya kerusakan pada mesin-mesin tersebut. Oleh karena itu, dilakukan uji sensor ADXL345 untuk mengetahui seberapa stabil atau konsisten getaran yang dapat dideteksi oleh sensor *accelerometer* tersebut.

Dalam penelitian ini, menggunakan Arduino DUE, sensor ADXL345, *LCD Display*, *SD Card* dan *RTC*. Perekaman data disesuaikan dengan waktu yang

kemudian data langsung disimpan kedalam *SD Card* dan ditampilkan ke *LCD*. Hasil pengukuran kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui besar ketidakpastian alat ukur akselerometer.

Tabel 2. Hasil Uji Pembacaan Akselerometer (Purwowibowo, 2018)

Frek. (Hz)	Pembacaan UUT						Pembacaan STD (g-rms)	Koreksi (g-rms)	SD	Uncertainty (%)		
	L1	L2	L3	L4	L5	Rata rata				UA	U95	Stated
	Acceleration											
10	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,3	0,14	0,007	0,683	2,3	2,5
20	0,7	0,68	0,71	0,69	0,69	0,69	0,5	0,19	0,011	0,678	2	2,3
31,5	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1	0,08	0	0	1,4	1,6
40	1,76	1,76	1,76	1,73	1,76	1,75	1,5	0,25	0,011	0,279	1,4	1,6
50	2,15	2,12	2,11	2,15	2,15	2,14	2	0,14	0,018	0,369	1,4	1,7
63	2,38	2,35	2,37	2,37	2,3	2,35	2,5	-0,15	0,032	0,614	1,6	1,9
80	2,42	2,41	2,41	2,42	2,42	2,42	3	-0,58	0,004	0,082	1	1,3
100	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	3,5	-1,13	0	0	1	1,3
125	2,26	2,24	2,23	2,26	2,26	2,25	4	-1,75	0,014	0,287	1,2	1,5
160	2,1	2,1	2,08	2,08	2,08	2,09	4,5	-2,41	0,009	0,189	1,2	1,4
200	1,9	1,9	1,9	1,89	1,89	1,9	5	-3,1	0,009	0,208	1,2	1,4

Berdasarkan hasil pengukuran, akselerasi yang dilakukan dalam berbagai frekuensi (10-200) Hz menunjukkan ADXL345 hanya bekerja dengan baik pada frekuensi dibawah 80 Hz. Kemudian, hasil pembacaan sensor UUT dengan frekuensi diatas 63 Hz jauh dari pembacaan sensor standar dan akan terus meningkat diatas 63 Hz. Karena itu ditarik kesimpulan hasil pengukuran untuk (2-5) g tidak layak. Karena itu, frekuensi yang digunakan dalam pengukuran 3g sampai 5g tidak sampai 63 Hz.

Tabel 3. Hasil Uji Akselerasi Frekuensi 20 Hz – 80 Hz (Purwowibowo, 2018)

Frekuensi (Hz)	Range (g)	Akselerasi (g)		
		Standar	UUT	Koreksi
20	2	1	1,08	-0,08
31,5			1,08	-0,08
40			1,08	-0,08
50			1,06	-0,06
63			0,94	0,06
80			0,78	0,22

Kemudian dilakukan pengukuran ulang dengan batas frekuensi maksimum 63 Hz, dengan rentang 3 g hingga 5 g. Dalam pengukuran ini, terdapat beberapa bagian yang memiliki frekuensi konstan dengan nominal akselerasi standar yang berbeda-beda sehingga dapat dianalisis dan dilihat pengaruhnya dari perubahan nominal akselerasi standar terhadap kinerja sensor ADXL345. Sehingga kesimpulannya, kinerja ADXL345 sangat bergantung pada kondisi pengukuran yaitu frekuensi dan nominal akselerasi yang diukur. Kemampuan pengukuran ADXL345 paling optimal pada frekuensi 31,5 Hz dan 40 Hz dengan nominal akselerasi 1 g dan 1,5 g. Pada titik tersebut, ketidakpastian mencapai 1,6%.

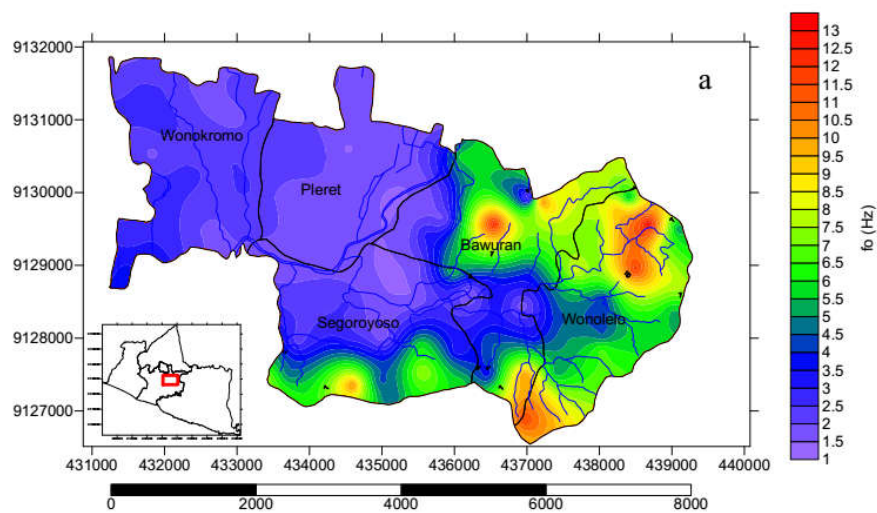
E. Studi Mikrotremor Untuk Pemetaan Distribusi Frekuensi Tanah

Kerusakan struktur bangunan dan infrastruktur adalah hasil dari gempa bumi yang diakibatkan oleh getaran yang merusak. Tingkat kerusakan yang terjadi bergantung dari kekuatan dan kualitas bangunan termasuk geotektonik lokasi bangunan, dan percepatan getaran tanah di lokasi bangunan karena dari getaran suatu gempa bumi. Untuk mengetahui tingkat resiko yang diakibatkan gempa,

dapat dibuat studi mengenai *site effect* untuk mengetahui frekuensi diri atau frekuensi fundamental dari medium yang ditempati. Studi mengenai hal ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pembangunan daerah setempat untuk mitigasi bencana gempa. Teknik *HVSR* dapat digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi dasar lapisan lapuk. Metode ini menunjukkan adanya korelasi bagus dengan frekuensi resonansi dasar medium pada lapisan yang lapuk (*soft soil*) (Gueguen dkk, 2000).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Arruzi (2008), persebaran nilai frekuensi resonansi untuk wilayah kecamatan pleret. Nilai frekuensi resonansi untuk keseluruhan wilayah ini berkisar antara 1 Hz hingga 13 Hz. Nilai frekuensi resonansi rendah (1 Hz – 4 Hz) terdapat di desa Wonokromo, Pleret dan sebagian Segoroyso. Sedangkan nilai frekuensi resonansi tinggi antara 4 Hz hingga 13 Hz terdapat pada daerah sisi sebelah timur wilayah kecamatan pleret yakni desa Bawuran, Wonolelo dan sebagian Segoroyoso.

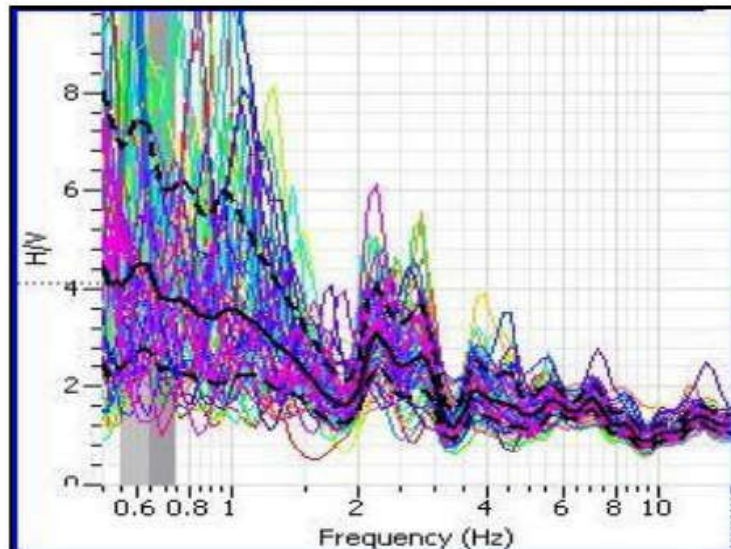
Penelitian yang dilakukan oleh Arruzi (2008) membuktikan bahwa metode mikrotremor dapat dilakukan untuk mengetahui kerentanan tanah berdasarkan analisis frekuensi yang dihasilkan dari pengukuran yang berhubungan dengan jenis lapisan tanah.



Gambar 4. Peta Sebaran Frekuensi Dominan (Arruzi, 2008)

F. Penentuan Frekuensi Natural dan Arah Pergerakan Gelombang

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rusli (2017), menggunakan *software* geopsy untuk analisis *HVSR* dan *particle motion*. Dengan menggunakan analisis *HVSR* dapat ditentukan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi. Hasilnya pada **Gambar 5** menunjukkan garis putus paling atas dan bawah merupakan standar deviasi rasio spektrum yang dihasilkan. Garis tebal yang berada di tengah adalah nilai rata-rata oleh analisis *FFT* dari seluruh nilai rasio *H/V*, sedangkan garis berwarna-warni merupakan hasil dari *FFT* kurva *H/V* dari masing-masing *window*. Frekuensi natural diketahui dari puncak *HVSR*, dan nilai puncak *HVSR* adalah amplifikasi.



Gambar 5. Hasil Pengolahan *HVSR* (Rusli dan Maulidya, 2017)

Nilai frekuensi dominan dari pengolahan data tersebut memiliki nilai berkisar 0,62 sampai 4,34 Hz. Nilai rata-rata frekuensi dominan berkisar 1,21 Hz. Nilai ini menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan dari bangunan adalah lebih dari 1 Hz. Menurut *SESAME European Research Project* (2004), pada frekuensi tinggi 0,5 sampai 1-10 Hz menunjukkan terkait dengan aktifitas manusia. Kendaraan yang melewati jembatan memiliki frekuensi di atas 0,5 Hz akan mempengaruhi elastisitas jembatan, karena frekuensi natural jembatan yang diatas 1 Hz akan mengakibatkan resonansi pada jembatan tersebut.

Pengaruh densitas material dan kecepatan gelombang geser menjadi faktor amplifikasi. Nilai puncak *HVSR* atau amplifikasi pada wilayah penelitian ini cukup tinggi yaitu berkisar 1,54 - 5,47. Dari seluruh wilayah penelitian menunjukkan nilai rata-rata amplifikasi berkisar 3 sampai 4. Nilai amplifikasi tertinggi pada titik pengukuran ke-5 yaitu berkisar 5,47 (Rusli, 2017).

III. TEORI DASAR

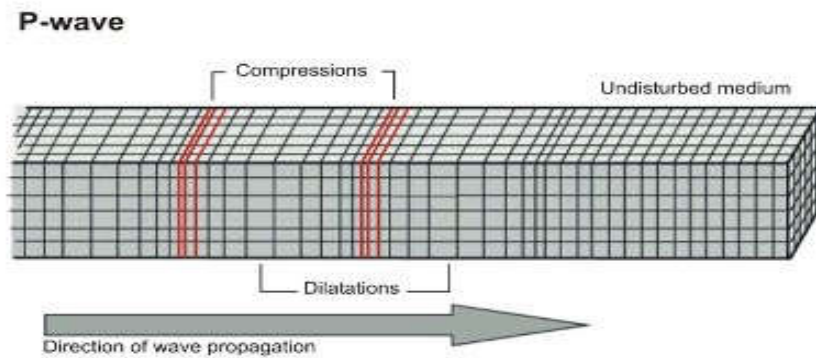
A. Gelombang Seismik

Gelombang seismik diartikan sebagai suatu gelombang yang merambat di permukaan dan di dalam bumi. Gelombang yang merambat di permukaan bumi disebut *surface wave* dan yang merambat melalui interior bumi disebut *body wave*. Sumber gelombang seismik dapat terjadi secara alami dan buatan. Sumber alami dapat terjadi karena adanya gempa tektonik, gempa vulkanik dan runtuh atau longsor, sedangkan buatan dapat berupa aktivitas manusia yang dibuat sengaja untuk memberikan getaran dan menghasilkan gelombang. (Susilawati, 2008).

1. Gelombang badan (*body wave*)

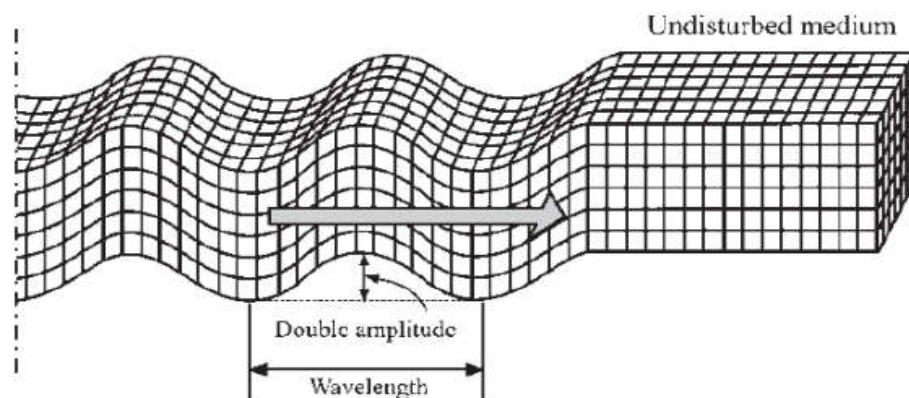
Gelombang badan adalah gelombang yang merambat di bawah permukaan bumi dan arah perambatannya keseluruhan bagian di dalam bumi seperti pada **Gambar 6**. Berdasarkan sifat pergerakan partikel dan arah penjarannya, gelombang dapat dibedakan menjadi gelombang P dan S.

Gelombang P disebut juga sebagai gelombang kompresi. gelombang longitudinal. Gelombang P memiliki cepat rambat paling tinggi dan dapat merambat pada medium cair maupun padat (Susilawati, 2008).



Gambar 6. Gelombang P (Elshanai dan Sarno, 2008)

Sedangkan gelombang S disebut gelombang geser atau shear atau transversal. Kecepatan rambat gelombang ini lebih lambat dibandingkan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat. Gelombang S bergerak tegak lurus terhadap arah rambat. Perambatan gelombang S disertai dengan gerakan partikel yang berputar sehingga lebih berbahaya dibanding gelombang P karena dapat menyebabkan pergeseran.

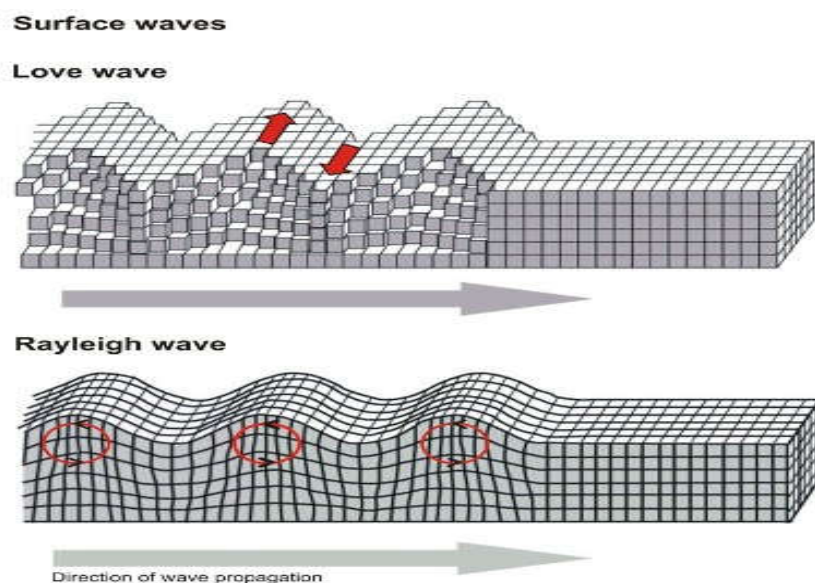


Gambar 7. Gelombang S (Elshanai dan Sarno, 2008)

2. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang seismik yang merambat di permukaan maupun pada batas permukaan medium. Gelombang permukaan memiliki frekuensi rendah dan amplitudo yang besar karena penjalaran diakibatkan oleh efek *free surface*, dimana terdapat perbedaan sifat elastik yang besar. Gelombang permukaan terdiri dari gelombang *rayleigh* dan gelombang *love*.

Gelombang *rayleigh* memiliki orbit gerakan elips yang bergerak tegak lurus dengan permukaan dan arah penjalarannya. Gelombang ini terjadi akibat interferensi antara gelombang tekan (*pressure*) dengan gelombang geser (*shear*) secara konstruktif. Gelombang *love* merambat di permukaan dalam bentuk gelombang transversal dan merupakan hasil dari gelombang S horizontal yang penjalarannya paralel dengan permukaannya (Susilawati, 2008).



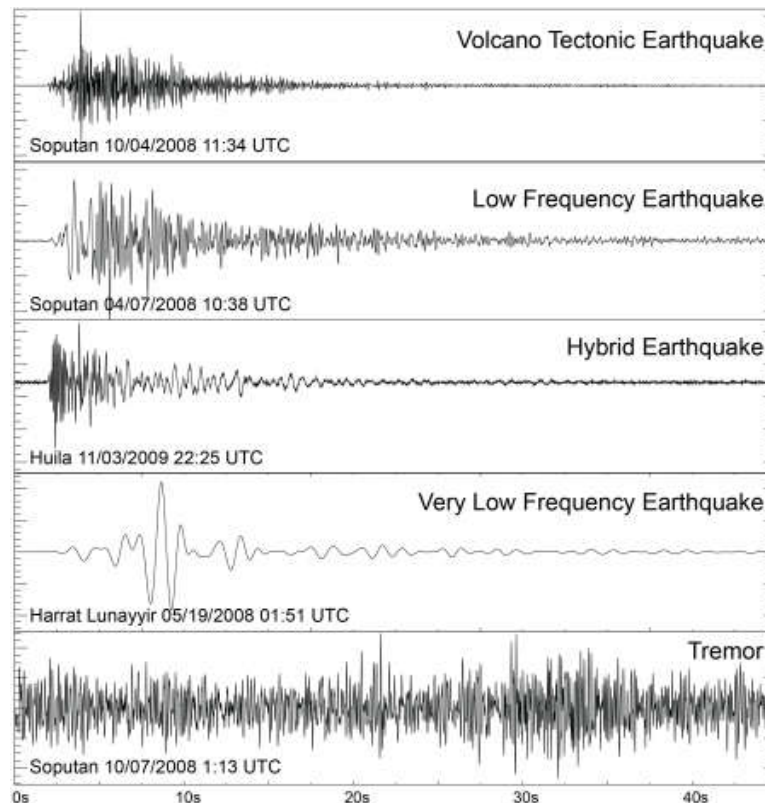
Gambar 8. Gelombang Love dan Rayleigh (Elshanai dan Sarno, 2008)

Perbedaannya, gelombang *rayleigh* bersifat P-SV, partikel medium bergerak pada bidang vertikal mengikuti pola elips sementara penjalar ke arah lateral sedangkan gelombang *love* bertipe P-SH, partikel medium bergerak mengikuti pola elips pada bidang horizontal sementara penjalaran ke arah lateral.

B. Mikrotremor

Tremor dapat diartikan sebagai suatu getaran yang terus menerus terjadi dikarenakan berbagai sumber getaran. Mikrotremor sendiri dikenal sebagai suatu vibrasi tanah dengan *amplitude displacement* sekitar 0,1-1 mikron dengan *amplitude velocity* 0,001-0,01 cm/s (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003). Getaran ini dapat disebabkan gangguan buatan seperti aktivitas lalu lintas, mesin pabrik, dan sebagainya.

Mikrotremor terjadi secara terus menerus, terjadi dikarenakan di lapisan sedimen permukaan terjadi getaran harmonik alami tanah yang menyebabkan gelombang terjebak dan terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan dan permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Penelitian mikrotremor dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter frekuensi dominannya dan faktor penguatan gelombangnya/amplifikasi (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003).



Gambar 9. Perbedaan bentuk Gelombang yang disebabkan Tremor dan Gelombang Gempa (*volcanoes.usgs.gov*)

Pada frekuensi rendah yaitu dibawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Frekuensi sekitar 0,2 Hz diakibatkan oleh gelombang laut menghasilkan sinyal *ambient vibration* sekitar 0,5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Aktivitas di atmosfer diasosiasikan dengan frekuensi di bawah 0,1 Hz. Angin dan aliran air menghasilkan frekuensi tinggi di atas 1 Hz. Aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan lainnya berada pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz.

Adanya sumber buatan atau sumber berupa gempa bumi pada perekaman mikrotremor tidak dibutuhkan karena yang direkam merupakan gelombang

yang timbul dari alam. *Spectra ambient noise* yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk menentukan respon lokasi khususnya frekuensi dari puncak utama atau frekuensi resonansi lapisan sedimen. Respon lokasi pada daerah pengukuran mikrotremor berhubungan dengan ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser sehingga respon lokasi yang diperoleh dari teknik perbandingan spektra dapat digunakan untuk menentukan ketebalan sedimen.

Sesuai dengan kajian teknik kegempaan, bila digoncang gelombang gempa bumi, litologi yang lebih lunak mempunyai resiko yang lebih tinggi, karena mengalami penguatan (amplifikasi) gelombang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. Pada rekaman seismograf, gempa bumi dan tremor dapat dibedakan dengan mudah. Perkiraan kerusakan yang timbul akibat bencana gempa bumi telah banyak digunakan dalam kajian mikrotremor. Dalam memperkirakan tingkat resiko disebabkan oleh aktivitas seismik kajian mikrotremor sangat tepat dengan kondisi geologi (Nakamura, 2008).

C. Frekuensi Dominan

Frekuensi yang muncul sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di suatu wilayah disebut sebagai frekuensi dominan dan menunjukkan karakteristik serta jenis batuan yang ada di bawah permukaan tanah (Sungkono, 2011). Hal ini dapat diketahui berdasarkan klasifikasi tanah dan nilai frekuensi dominan tanah yang diklasifikasikan oleh Kanai (1983).

Tabel 4. Tabel Klasifikasi Tanah (Kanai, 1983).

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis I	6,7 - 20	Batuan terser atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hardy Sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	Jenis II	4 -6,7	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 - 10 m
Tipe III	Jenis III	2,5 - 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan > 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll	Kategori sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 - 30 m
Tipe II	Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal
Tipe I				

Nilai frekuensi dominan merupakan parameter yang sangat berguna dalam perencanaan dan pembangunan bangunan yang rentang terhadap gangguan vibrasi seperti gempa bumi, angin, kendaraan ataupun aktifitas manusia. Nilai frekuensi dominan (f_0) yang dimiliki struktur bangunan seperti jembatan tidak boleh memiliki kesamaan dengan nilai frekuensi dominan (f_0) yang dimiliki oleh gangguan vibrasi yang salah satunya aktifitas manusia karena akan mengalami resonansi jika f_0 dari kendaraan menyamai

f_0 jembatan. Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan berikut ini (Arifin, dkk., 2013).

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana : T_0 = Periode Dominan (s)

f_0 = frekuensi dominan (Hz)

D. Metode *HVSR*

Metode *HVSR* merupakan getaran gelombang geser yang terukur pada medium sedimen atau medium yang berada di atas *bedrock*. Pada analisis mikrotremor, teknik *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) telah digunakan secara luas sebagai studi efek lokal dan mikrozonasi. Tanpa harus mengetahui struktur kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah permukaan, teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi. Menurut Nakamura (1989) bahwa metode *HVSR* dalam analisis mikrotremor bisa digunakan untuk memperoleh frekuensi natural sedimen (Aini, dkk., 2012).

Metode *HVSR* diperkenalkan oleh Nogoshi dan Iragashi untuk menyatakan hubungan antara perbandingan komponen kurva eliptisitas pada gelombang Rayleigh dengan komponen horizontal dan vertikal yang kemudian disempurnakan oleh Nakamura yang menyatakan bahwa perbandingan

spektrum H/V sebagai fungsi frekuensi berhubungan erat dengan fungsi gelombang S. Nakamura (1989) dalam Mirzaoglu dan Dykmen (2005), menunjukkan bahwa rasio antara komponen horizontal dan vertikal rekaman *ambient noise* berhubungan dengan frekuensi alami tanah dan dapat diperoleh faktor amplifikasi.

Nakamura mengembangkan teknik tersebut dengan memformulasikan tiga hipotesis :

1. *Ambient noise* dibangkitkan oleh pemantulan dan pembiasan gelombang S di lapisan tanah dan oleh gelombang permukaan, terutama gelombang Rayleigh.
2. Sumber *noise* local tidak mempengaruhi *ambient noise* di lapisan bawahnya yang kompak.
3. Lapisan tanah yang lapuk tidak mengamplifikasi komponen vertical *ambient noise*

Adapun persamaan $HVSR$ dinyatakan sebagai berikut (Nakamura, 2008):

$$S_m(w) = \frac{\sqrt{(H_{SN}(w))^2 + (H_{WE}(w))^2}}{V_S(w)} \dots\dots\dots(2)$$

$S_m(w)$ = $HVSR$ (Horizontal to Vertical Seismic Ratio)

$H_{SN}(w)$ = Nilai amplitudo spectrum frekuensi komponen Utara-Selatan

$H_{WE}(w)$ = Nilai amplitudo spectrum frekuensi komponen Barat -Timur

$V_S(w)$ = Nilai Amplitude spektrum frekuensi komponen vertikal

IV. METODELOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung dengan rencana penelitian seperti pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Rencana Waktu dan Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan ke					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Studi literature dan perencanaan rancang bangun	■	■				
2	Penulisan Skripsi		■	■	■	■	■
3	Seminar proposal			■			
4	Rancang Bangun			■	■	■	
5	Validasi			■	■	■	
6	Seminar hasil					■	
7	Sidang akhir skripsi						■

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. Arduino Mega2560
3. Sensor ADXL345
4. *RTC Module, SD Card Module dan 20x4 LCD*

5. Kabel, Saklar, *box* listrik dan *bubble waterpass*
6. *Software* Arduino IDE

C. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Perancangan Elektronik

Perancangan perangkat elektronik terdiri dari rangkaian komponen berupa sensor ADXL345, *microcontroller* Arduino, *RTC*, *Data Logger*, *LCD Display* dan sistem *power*. Kebutuhan daya eksternal pada rangkaian ini adalah 7V – 12V. Sebagai sumber listrik dapat digunakan baterai atau aliran listrik *AC* dengan *adaptor*. Layar *LCD* yang digunakan sebagai penampil status pengukuran berupa layar *LCD 20x04 backlight* dengan *wire I2C* untuk *transfer* data. *SD card* berupa *memory card* sebagai penyimpanan data yang telah diukur atau data *logger* menggunakan modul *SD Card* dengan *wire SPI* sebagai transfer data. *RTC (Real Time Clock)*. berfungsi sebagai informasi status waktu secara langsung pada saat pengukuran dengan waktu yang telah di set di awal. *RTC* menggunakan baterai *CMOS* sebagai energi utama saat tidak disambungkan dengan *power source*.

Untuk mengetahui *board* Arduino apakah dapat bekerja dengan normal, pertama melakukan test pin *LED*. Yaitu mengatur kedipan lampu *LED* melalui Arduino IDE. Jika interval hidupnya lampu sesuai dengan yang telah diprogram maka *board* Arduino siap digunakan. Kemudian menghubungkan pin *RTC* yaitu pin *SDA*, *SCL*, *VCC*, *GND*.

Tabel 6. Konfigurasi Pin Arduino dan Modul

Arduino	<i>Real Time Clock</i>	<i>SD Card</i>	<i>LCD 20x4</i>	ADXL345 Sensor
GND	<i>GND</i>	<i>GND</i>	<i>GND</i>	<i>GND</i>
5V	<i>Vcc</i>	<i>Vcc</i>	<i>Vcc</i>	
3,3V	-	-	-	<i>Vcc</i>
Pin 50	-	<i>MISO</i>	-	-
Pin 51	-	<i>MOSI</i>	-	-
Pin 52	-	<i>SCK</i>	-	-
Pin 53	-	<i>CS</i>	-	-
<i>SDA</i>	<i>SDA</i>	-	<i>SDA</i>	<i>SDA</i>
<i>SCL</i>	<i>SCL</i>	-	<i>SCL</i>	<i>SCL</i>

Proses rancang bangun dimulai dari menyatukan semua konfigurasi pin sesuai tabel kemudian menyusun rencana peletakan masing-masing komponen dalam suatu wadah berukuran 25cm x 12cm x 5cm. Untuk perencanaannya, tubuh alat sebagai wadah komponen terbuat dari mika plastik yang cukup untuk dapat menahan getaran dan desain bagian bawah menggunakan plat besi agar dapat merambatkan getaran dan tidak meredam getaran.

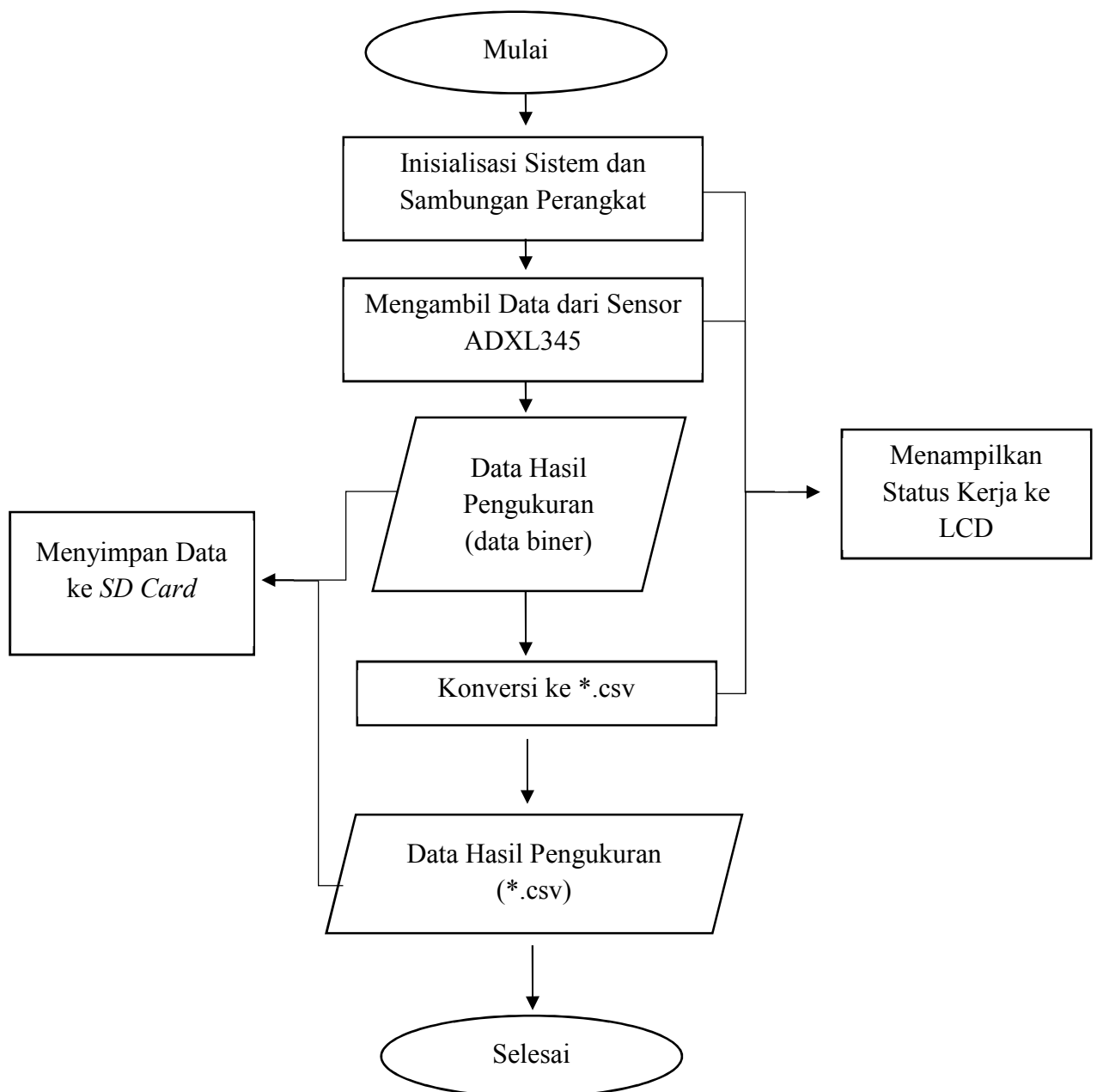
2. Perancangan Sistem Program

Pada perancangan sistem program ini, alat yang dibuat bertujuan untuk merespons terhadap getaran horizontal (E-W), (N-S) dan vertikal (Z) yang dibaca melalui ADXL345 berdasarkan domain waktu bersamaan dengan

bekerjanya komponen *RTC* sebagai pemberi informasi waktu (*clock*) dan kemudian hasil pembacaan langsung disimpan kedalam *SD Card* melalui modul *SD Card* dan ditampilkan ke *LCD* dengan modul *LCD*.

Pengaturan program pertama, yaitu pengecekan sambungan masing-masing perangkat apakah dapat bekerja dengan baik mulai dari *RTC*, *Memory Card* dan sensor *ADXL345*. Jika terdapat komponen yang tidak tersambung atau tidak terbaca, maka konfigurasi sistem akan mengulang terus (*reboot*) hingga komponen tersambung dengan baik. Kemudian pengambilan data dari sensor yang dilakukan terus menerus dalam domain waktu. Untuk sampling waktu pengukuran dapat diatur pada program dalam satuan *milisecond*.

Setelah didapat data pengukuran, nilai *X*, *Y*, *Z* dan waktu yang terukur akan ditampilkan ke layar *LCD* untuk mengetahui pembacaan berjalan dengan baik atau tidak. Kemudian data hasil pembacaan sensor secara otomatis dibuat kedalam suatu *file .txt* yang diurutkan sesuai domain waktu dan tersimpan secara otomatis di dalam *SD Card* untuk dapat dilakukan pengecekan. Susunan *file* yang ditulis dalam **.txt* berupa pengambilan data getaran pada sumbu *x*, *y*, *z* dan waktu pengukuran (*hh:mm:ss,tanggal, hari, bulan, tahun*). Urutan kerja alat dan program yang dibuat ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Urutan Sistem Kerja *Accelerometer*

3. Pengujian (Validasi)

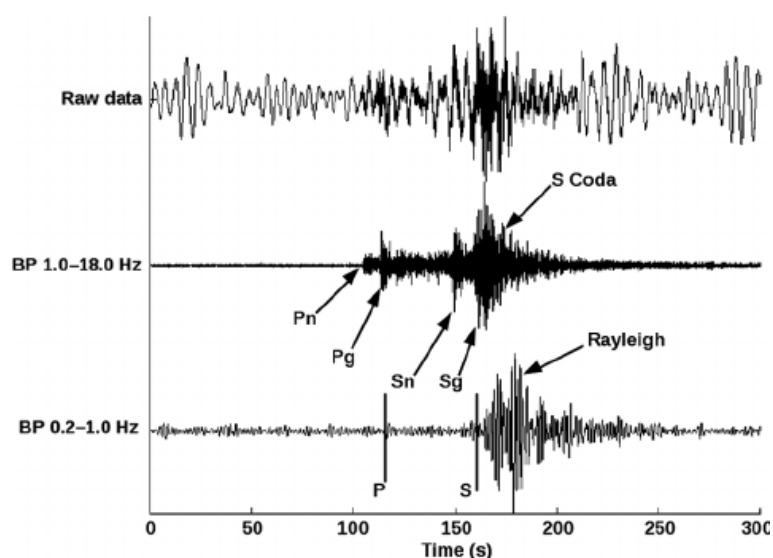
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan dari perancangan alat dan sistem yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan

dilakukan ketika alat dan sistem telah selesai dibuat. Adapun tahap pengujian sebagai berikut:

a) Validasi (*HVSR*)

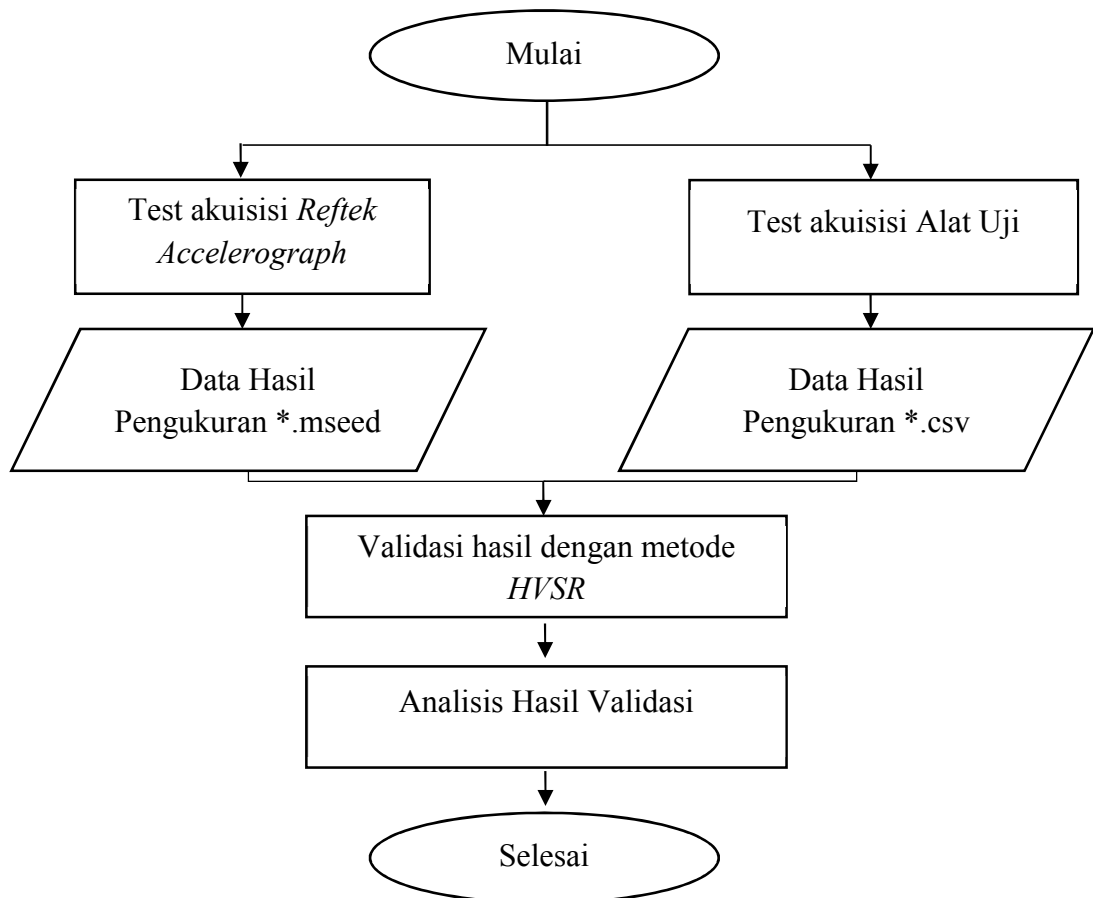
Tahap pertama adalah *windowing* dengan waktu tertentu. Panou, dkk (2004) menyarankan *window* 20 detik untuk hasil yang cukup bagus. Algoritma ini berdasarkan pada perbandingan antara rata-rata amplitudo sinyal jangka pendek (*STA=Short Term Average*), (0.5-2.0 detik) dengan rata-rata amplitudo sinyal jangka panjang (*LTA=Long Term Average*), (puluhan detik) (SESAME, 2004).

Pengolahan ini bertujuan untuk mendapatkan rasio *spectrum horizontal to vertical (H/V)*. Data mentah yang diperoleh dari pengukuran lapangan berupa tiga komponen sinyal dalam fungsi waktu. Kemudian sinyal tersebut dilakukan *filtering* untuk memilih *range* frekuensi. Setelah itu dilakukan transformasi *fourier (FFT)* komponen sinyal (SESAME, 2004).



Gambar 11. Filter *frequency* untuk menganalisis kandungan sinyal (Enrico, 2015)

Pada setiap *window* dilakukan analisis *FFT* untuk mengubah domain waktu pada data mikrotremor awal menjadi domain frekuensi. Kemudian dilakukan proses *smoothing* atau *filtering*. *Smoothing* dilakukan untuk memperhalus data hasil dari proses *FFT*. Setelah proses *smoothing* selesai maka dilakukan perhitungan komponen horizontal dan vertikal ke dalam analisis *HVSR*. Selanjutnya energi spektrum *HVSR* diplot untuk setiap titik pengukuran. Dari analisis *HVSR* akan diperoleh kurva *H/V* yang menunjukkan nilai frekuensi natural (f_0) dan amplifikasi (A). Dari nilai tersebut dapat dilihat pola persebaran nilainya untuk mengetahui hubungan kedua parameter tersebut. Urutan prosedur validasi ditunjukkan pada *flowchart* **Gambar 12**.



Gambar 12. *Flowchart* Validasi Hasil Pengukuran

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil rancang bangun bentuk tubuh alat berbentuk *box* dengan ukuran 18,5 cm x 12 cm x 7 cm. Bagian alas *box* terbuat dari bahan plat besi yang dapat merambatkan getaran dengan baik dan tutup *box* terbuat dari mika. Dengan ukuran *box* tersebut, komponen dapat disusun secara efisien dan dapat bekerja dengan optimal berdasarkan uji pengukuran.
2. Rancang sistem elektronik dan pemrograman *accelerometer* berbasis Arduino berhasil dilakukan dimulai dari pemasangan seluruh modul elektronik, membuat program yang dapat bekerja dengan efisien dari segi kecepatan dan energi yang dibutuhkan saat bekerja dengan *sampling rate* pengambilan data maksimal 500/s.
3. Dari hasil uji validasi, dihasilkan nilai f_0 dari kurva *HVSR* dari masing-masing titik dari alat uji berkisar antara 0,193 Hz – 0,933 Hz. Sedangkan dari alat *Reftek Accelerograph* menghasilkan nilai kisaran 0,182 Hz – 0,907 Hz. Selisih terkecil antara kedua alat pengukuran yaitu 0,00725 Hz di titik 1 dan selisih terbesar yaitu 0,129 Hz di titik 3. Rata rata selisih antara kedua nilai f_0 pengukuran yaitu 0,037 Hz.

B. Saran

Penelitian ini dapat dijadikan acuan sebagai pengembangan sistem akuisisi berbasis Arduino dan dapat lebih banyak dikembangkan dan lebih bermanfaat. Untuk pengembangan selanjutnya, diperlukan penggunaan sensor yang lebih sensitif dalam menangkap getaran dan juga rancang bangun yang lebih kompak.

DAFTAR PUSTAKA

- ADXL345 Overview, 2019, <https://www.analog.com/en/products/adxl345.html>, Diakses pada 14 Januari 2019 pukul 14:53 WIB
- Aini, D., Utama, W. dan Bahri, A., 2012, Penaksiran Resonansi Tanah dan Bangunan Menggunakan Analisis Mikrotremor Wilayah Surabaya Jawa Timur. *Jurnal Teknik POMITS*, pp. 1-5.
- Arduino, 2019, *Introduction to Arduino Mega 2560 Rev 3*, <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>, Diakses pada 14 Januari 2019 pukul 15.00 WIB
- Ardhi, C., 2018, Perancangan Alat Pendeteksi Gempa Menggunakan Sensor Accelerometer Dan Sensor Getar. Tugas Akhir :Universitas Telkom: Bandung.
- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, dan Setianegara, R., 2014, Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi *HVSR* Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya, *Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 2/No.1*. Universitas Lampung, Lampung.
- Arruzi, K, Suheri, S. dan Wijaya, R., 2008, Studi Mikrotremor Untuk Pemetaan Distribusi Frekuensi Fundamental Tanah dan Korelasinya dengan Tingkat Kerusakan Akibat Gempa Bantul, *PKM 2008*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Caldwell, G.E., 1999, Coefficient of Cross Correlation and The Time Domain Correspondence, *Journal of Electromyography and Kinesiology* 9 385-389.
- Elshani, S.A dan Sarno, D.L., 2008, *Fundamental of Earthquake Engineering*, John Wiley and Sons. Hongkong.

- Guéguen, P., Chatelain, J.-L., Guillier, B. dan Yepes, H., 2000, An indication of the soil top most layer response in Quito (Ecuador) using noise *H/V* spectral ratio, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19 (2000)* 127–133
- Introduction to Arduino Mega 2560, 2019, <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-mega-2560.html>, Diakses pada 14 Januari 2019 pukul 15.30 WIB
- Kanai, K., 1983, *Engineering Seismology*, Tokyo University, Japan.
- Mirzaoglu, M. dan Dykmen, U, 2003, Application of Microtremor to Seismic Microzoning Procedure, *Journal of The Balkan Geophysical Society, Vol.6 No.3*.
- Nakamura, Y, 2008, On The *H/V* Spectrum, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17 Beijing, China.
- Panou, A.A., Theodulidis, N., Hatzidimitriou, P.M., Papazachos, C.B., dan Stylianidis, K., 2004, Ambient Noise Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio for Assessing Site Effect in Urban Environments: The Case of Thessaloniki City, *Buletin of the Geological Society of Greece Vol. 36, 2004* 1467-1476.
- Purwowibowo, 2017, Desain Akselerometer Menggunakan Mikrokontroler Arduino DUE, *Instrumentasi Vol. 41 No. 1*, Puslit Metrologi LIPI Serpong Tangerang Banten.
- Rusli dan Maulidya, S., 2017, Penentuan Frekuensi Natural Dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang), *Jurnal MIPA UNSRAT Online 6 (1)* 1-7, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Susilawati, 2008, *Karya Ilmiah : Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
- SESAME, 2004, *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*, Europe: SESAME European research project.
- USGS, 2019, *Monitoring Volcano Seismicity Provides Insight to Volcanic Structure* <https://volcanoes.usgs.gov>, Diakses pada 14 Januari 2019 pukul 14:53 WIB.
- Sungkono, 2011, Evaluation Of building Strength from Microtremor Analysis, *International Journal of Civil and Environment Engineering IJCEE-IJENS Vol:11 No:5*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.