

## DESAIN DAN REALISASI ACCELEROMETER BERBASIS ARDUINO SEBAGAI INSTRUMEN PENDETEKSI MIKROTREMOR

Ahmad Amiruddin<sup>1</sup>, Suharno<sup>2</sup>, Karyanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung

Corresponding author : [ahmadamir2626@gmail.com](mailto:ahmadamir2626@gmail.com)

Manuscript received : June 11, 2019, revised :30 June, 2019;

Approved: September 17, 2019; available online: November 11, 2019

**Abstrak** - Untuk melakukan investigasi zona kerawanan tanah salah satunya dengan analisa mikrotremor untuk menganalisa karakteristik tanah berdasarkan frekuensi alami lapisan tanah. Namun, teknologi yang digunakan untuk mendapatkan data tersebut masih mahal dan belum bisa digunakan banyak orang. Mengingat kebutuhan teknologi ini, maka penelitian ini dilakukan untuk merancang alat untuk analisis mikrotremor berupa *accelerometer* berbasis Arduino yang terjangkau biaya dan lebih mudah digunakan. Penelitian ini bertujuan membuat rancang bangun *accelerometer*, membuat sistem dan program *accelerometer* dan melakukan validasi hasil pengukuran. Hasilnya, rancang bangun tubuh alat berbentuk *box* dengan ukuran 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. Perancangan program mulai dari akuisisi, hingga penyimpanan data dengan *sampling rate* maksimal 500/s. Seluruh komponen dan program dan diuji agar bekerja secara efisien dan optimal. Hasil uji validasi dari masing-masing titik dari alat uji menghasilkan nilai  $f_0$  dari kurva *HVSR* berkisar antara 0,19 Hz – 0,93 Hz. Sedangkan dari alat *Reftek Accelerograph* menghasilkan nilai kisaran 0,18 Hz – 0,90 Hz. Selisih terkecil antara kedua alat pengukuran yaitu 0,007 Hz di titik 1 dan selisih terbesar yaitu 0,12 Hz di titik 3. Rata rata selisih kedua nilai  $f_0$  pengukuran yaitu 0,03 Hz.

**Abstract** - To investigate soil vulnerability zones, one of the methods 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 which is affordable and easier to use. 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 the 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 - 0.90 Hz. The smallest difference between the two measurement tools is 0.0072 Hz at point 1 and the biggest difference is 0.1299 Hz at point 3. The average difference between the two values of  $f_0$  is 0.0377 Hz.

**Keyword** : *Microtremor, Arduino, Accelerometer, Instrument*

### How to cite this article:

Amiruddin, A., Suharno dan Karyanto, 2019, Desain dan Realisasi Accelerometer Berbasis Arduino Sebagai Instrumen Pendeteksi Mikrotremor, *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5 (3) p.162-173. doi: 10.23960/jge.v5i3.31

## 1. PENDAHULUAN

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. 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.

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.

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.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 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 perangkaian elektronik pada 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. Papan Arduino Mega ditunjukkan pada **Gambar 1**. ([www.theengineer ingprojects.com](http://www.theengineer ingprojects.com)).

### 2.2 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. Sensor ADXL345 ditunjukkan pada **Gambar 2** ([www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com)).

### 2.3 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 pengolah data yang di deteksi oleh sensor *accelerometer* dan sensor getar.

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.

### 2.4 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.

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%.

### 3. TEORI DASAR

#### 3.1 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* (Aster, 2011).

##### 3.1.1 Gelombang badan (*body wave*)

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar di dalam bumi sebagai media elastik dan arah perambatannya keseluruhan bagian di dalam bumi. Berdasarkan sifat pergerakan partikel dan arah penjalarnya, 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 (Aster, 2011).

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 (Aster, 2011).

##### 3.1.2 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 penjalarnya. 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 penjalarnya paralel dengan permukaannya (McGuire, 2004).

#### 3.2 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 oleh gangguan buatan seperti aktivitas lalu lintas, mesin pabrik, dan sebagainya.

Mikrotremor terjadi secara terus menerus, terjadi saat getaran harmonik alami tanah yang 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. Penelitian mikrotremor dapat digunakan untuk

mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter frekuensi dominannya dan faktor penguatan gelombangnya (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003).

### 3.3 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan adalah frekuensi yang muncul sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di suatu wilayah yang 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) pada **Tabel 1**.

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).

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

$T_0$  = Periode Dominan (s)  
 $f_0$  = frekuensi dominan (Hz)

### 3.4 Metode HVSR

Teknik *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* pada analisis mikrotremor telah digunakan secara luas untuk studi efek lokal dan mikrozonasi. Selain sederhana dan bisa dilakukan kapan dan dimana saja, teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi secara langsung tanpa harus mengetahui struktur kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah permukaan lebih dulu. Menurut Nakamura (1989) bahwa metode *HVSR* dalam analisis mikrotremor bisa digunakan untuk memperoleh frekuensi natural sedimen (Aini, dkk., 2012).

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

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

$S_m(w)$  = *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

## 4. METODELOGI PENELITIAN

### 4.1 Alat dan Bahan

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

1. Laptop
2. Arduino Mega2560
3. Sensor ADXL345 *RTC Module, SD Card Module dan 20x4 LCD*
4. Kabel, Saklar, *box* listrik dan *bubble waterpass*
5. *Software* Arduino IDE

### 4.2 Prosedur Penelitian

#### 4.2.1 Perancangan Elektronik

Perancangan perangkat elektronik terdiri dari rangkaian komponen berupa sensor ADXL345, *microcontroller* Arduino, *RTC, Data Logger, LCD Display* dan sistem *power*.

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.

#### 4.2.2 Perancangan Sistem Program

Pada perancangan sistem program seperti **Gambar 3** ini, alat yang dibuat ber-

tujuan 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*.

#### 4.3 Pengujian (Validasi)

Pengujian ini dilakukan untuk yang dilakukan dilakukan ketika alat dan sistem telah selesai dibuat. Adapun tahap pengujian yang dilakukan yaitu validasi dengan metode *HVSR*.

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)

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Perancangan Elektronik

Perancangan sistem elektronik bertujuan untuk menentukan proses urutan sistem yang bekerja seluruhnya dengan proses kerja yang efisien dan optimal. Pengujian telah dilakukan untuk mengetahui kecepatan yang dibutuhkan untuk memproses seluruh modul secara bersamaan dengan beberapa sambungan serial maupun paralel dan kemudian menghasilkan sambungan yang dapat berjalan dengan baik jika beberapa modul tidak disambungkan secara seri dengan modul yang lain untuk mempercepat proses akuisisi data penyimpanan data dan *display* data.

Pada **Gambar 4**, 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 yang ringan sehingga mudah dibawa. Untuk kaki sebagai *leveling*, terbuat dari aluminium berjumlah 3 dengan jarak *leveling* dari permukaan 3 cm – 5 cm. Bagian atas tutup terdapat layar *LCD* untuk menampilkan status alat saat pengukuran, tombol *on-off*, tombol *light LCD*, lubang sebagai penglihatan *leveling waterpass* di dalam alat. Bagian samping *box* terdapat *push button*.

### 5.2 Perancangan Sistem Program

Perancangan urutan kerja dimulai dari menghidupkan *power* dan pastikan sumber tenaga masih stabil dan dapat digunakan selama akuisisi. Kemudian melakukan inisialisasi seluruh perangkat apakah tersambung atau belum tersambung yang kemudian statusnya ditampilkan ke layar *LCD*. Jika sudah siap maka akan menampilkan status siap untuk pengukuran.

Untuk mulai melakukan pengukuran, tekan tombol hingga status berubah ditampilkan pada layar *LCD* dengan status sedang melakukan akuisisi. Seluruh program yang dijalankan, dibuat dengan menggunakan pemrograman pada *software* Arduino IDE. Selain itu, data yang disimpan dalam format biner hanya dapat dilakukan konversi dengan mesin Arduino yang telah diprogram dengan program yang sama pada saat penyimpanan dengan format biner. Dari pengujian yang telah dilakukan, *sampling rate* 500/s dapat dilakukan dengan normal hingga selesai pengukuran.

Untuk akuisisi selama 30 menit umumnya memerlukan 20 menit waktu untuk konversi. Dalam melakukan pengujian, dalam proses konversi, dapat mengalami kegagalan atau berhenti bekerja. Jika terjadi maka perlu dilakukan konversi ulang dari data biner tersebut.

Untuk pengaturan parameter *data rate*, pengaturan dilakukan melalui *script* Arduino IDE. Untuk pengujian, *data rate* yang digunakan 0,002 s. Data yang telah dikonversi memiliki format \*.csv dengan format *header* waktu mulai, *ti* (durasi

pengukuran dalam *microsecond* dimulai dari 0), ax (data sumbu x), ay (data sumbu y) dan az (data sumbu z) dengan *delimiter comma*.

### 5.3 Validasi Hasil Pengukuran

#### 5.3.1 Titik 1

Hasil dari pengukuran titik 1 dari alat uji coba menghasilkan nilai  $f_0 = 0,211477$  Hz dan nilai dari alat *Reftek* menghasilkan  $f_0 = 0,204226$  Hz. Kurva *HVSR* memiliki selisih sebesar 0,007251 Hz. Dengan *filter window* yang digunakan sebesar 50s dengan banyak *window* 30.

#### 5.3.2 Titik 2

Kurva dari alat uji coba menghasilkan nilai  $f_0 = 0,206845$  Hz dan dari alat *Reftek* menghasilkan nilai  $f_0 = 0,182166$  Hz. Selisih antara kedua nilai *HVSR* sebesar 0,024679 Hz. Gelombang yang dilakukan pengambilan sebagai data tremor memiliki lebar *window* 55s sebanyak 26 *window*.

#### 5.3.3 Titik 3

Dari kurva *HVSR* yang telah dihasilkan, dari alat uji menghasilkan nilai  $f_0 = 0,331194$  Hz dan dari alat *Reftek* menghasilkan  $f_0 = 0,292988$  Hz dengan selisih sebesar 0,12996 Hz. Ukuran *window* yang digunakan sebesar 47s dengan banyak *window* 33.

#### 5.3.4 Titik 4

Dari analisis kurva *HVSR* alat uji, menghasilkan nilai  $f_0 = 0,9377$  Hz dan dari alat *Reftek* menghasilkan nilai  $f_0 = 0,907173$  Hz. Selisih nilai antara kedua nilai tersebut adalah 0,026527 Hz. Lebar *window* yang dipilih yaitu 30s dengan banyak *window* 40 dengan dipilih waktu *window* yang sama diantara kedua data.

#### 5.3.5 Titik 5

Dari analisis kurva *HVSR* alat uji menghasilkan nilai  $f_0 = 0,24771$  Hz dan dari kurva *HVSR Reftek* menghasilkan nilai  $f_0 = 0,220728$  Hz. Selisih antara kedua kurva tersebut sebesar 0,026982 Hz. Lebar *window* yang dipilih adalah sebesar 49s dengan banyak *window* 24 dengan *pick*

tremor di waktu yang sama antara kedua alat

#### 5.3.6 Titik 6

Dari pengukuran titik 6 menghasilkan nilai  $f_0$  dari kurva *HVSR* dari alat uji sebesar  $f_0 = 0,193777$  Hz dan *Reftek* sebesar  $f_0 = 0,204774$  Hz. Dengan selisih nilai  $f_0$  sebesar 0,010997 Hz. Ukuran *window* yang digunakan sebesar 57s dengan *window* sebanyak 19.

### 5.4 Analisis Hasil Validasi

Dari seluruh nilai  $f_0$  yang telah dilakukan analisis, 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.

Untuk membuktikan tingkat kepercayaan kurva *HVSR* yang telah dianalisis, dilakukan pengujian *curve reliability* dengan syarat kurva pada **Tabel 2**.

Dari syarat yang dibutuhkan, berdasarkan kriteria *curve reliability*, maka nilai  $f_0$  hasil pengukuran dan proses data lulus terhadap syarat dari kurva *HVSR* yang ditunjukkan oleh nilai hasil kalkulasi pada **Tabel 3** dan semua nilai  $f_0$  yang dihasilkan memiliki kategori jenis tanah yang sama dari alat uji maupun *reftek accelerograph* di dalam kategori IV menurut klasifikasi Kanai (1983).

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 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 *Reftex 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.

## 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.
- Aqeel, A., 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.
- 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.
- Aster, R., 2011, *The Seismic Wave Equation*. Socorro: New Mexico Tech.
- Kanai, K., 1983, *Engineering Seismology*, Tokyo University, Japan.
- McGuire, R. K., 2004, Seismic Hazard and Risk Analysis. *Earthquake Engineering Research Institute MNO-10*.
- Mirzaoglu, M. dan Dykmen, U, 2003, Application of Mikrotremor 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.
- Purwowibowo, 2017, Desain Akselerometer Menggunakan Mikrokontroler Arduino DUE, *Instrumentasi Vol. 41 No. 1*, Puslit Metrologi LIPI Serpong Tangerang Banten.
- SESAME, 2004, *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*, Europe: SESAME European research project.

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

**LAMPIRAN**

**Tabel 1.** 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, lumpur</i> , dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal
Tipe I				

**Tabel 2.** Syarat *Curve Reliability HVSR* (SESAME, 2004)

i)	$f_0 > 10/lw$
ii)	$nc (f_0) > 200$
$lw = \text{window length}$ $nw = \text{number of windows}$ $nc = lw \cdot nw \cdot f_0$ $f_0 = \text{peak frequency}$	

**Tabel 3.** Nilai  $f_0$  (a) Alat Uji dan (b) *Reftek* untuk nilai *curve reliability*

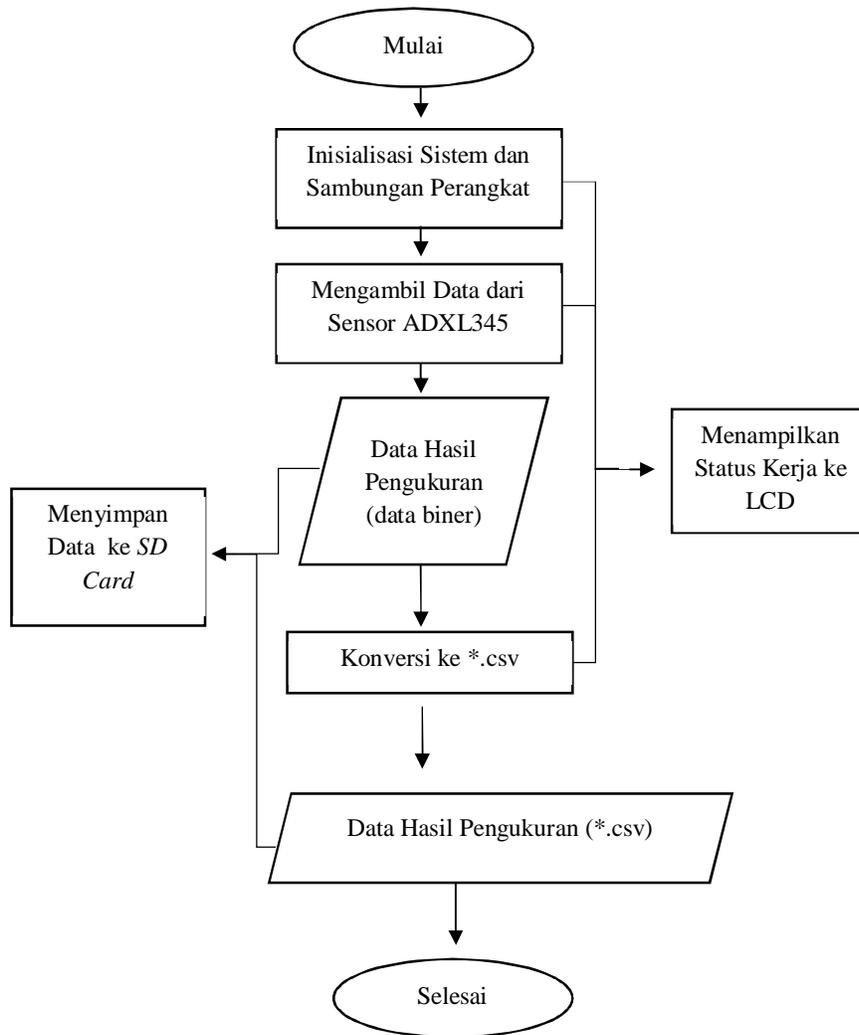
Titik	$f_0(a)$	$f_0(b)$	Length Window (s)	Number of Window	Min. $f_0$	$N_c(a)$	$N_c(b)$
1	0.21	0.20	50	30	0.2	316.5	306
2	0.206	0.18	55	26	0.18	294.58	260.26
3	0.29	0.42	47	33	0.21	452.89	654.52
4	0.93	0.90	30	40	0.33	1119.6	1088.4
5	0.24	0.22	49	24	0.20	290.47	258.72
6	0.19	0.20	57	19	0.17	209.01	220.93



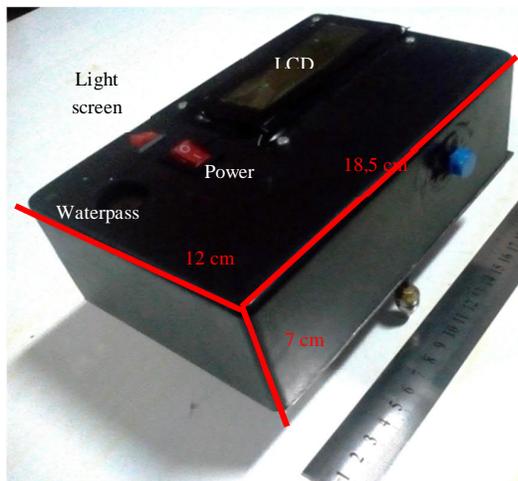
**Gambar 1.** Arduino Mega2560 ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc))



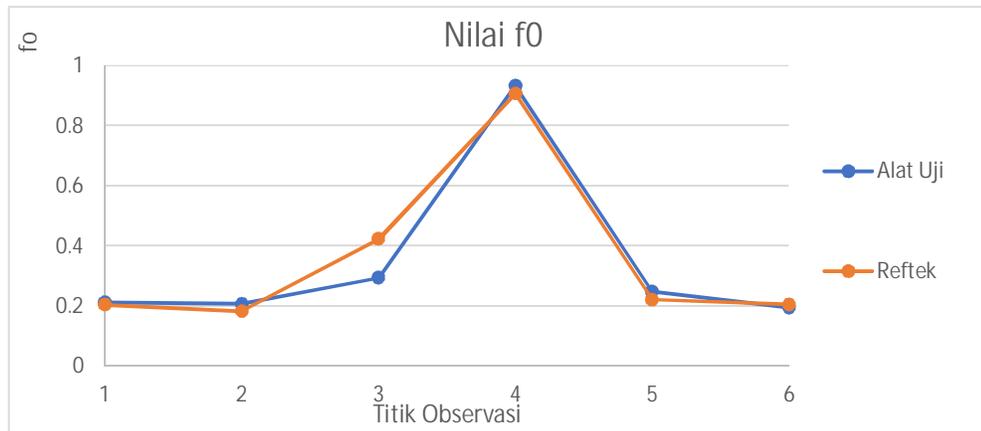
**Gambar 2.** ADXL345 ([www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com))



**Gambar 3.** Flow Chart Penelitian



**Gambar 4.** Hasil Rancang Bangun Tubuh Alat



**Gambar 5.** Titik observasi dan nilai  $f_0$  HVSR di titik observasi



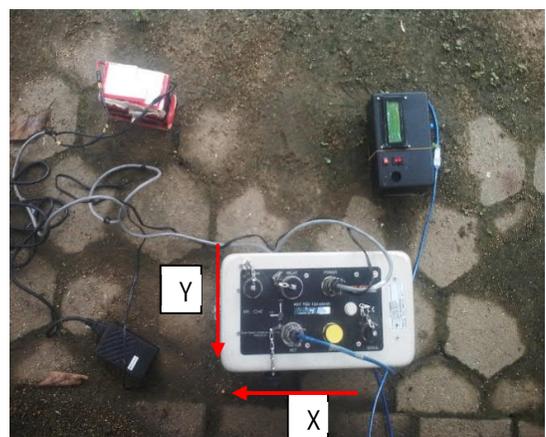
**Gambar 6.** Lokasi Pengukuran Titik



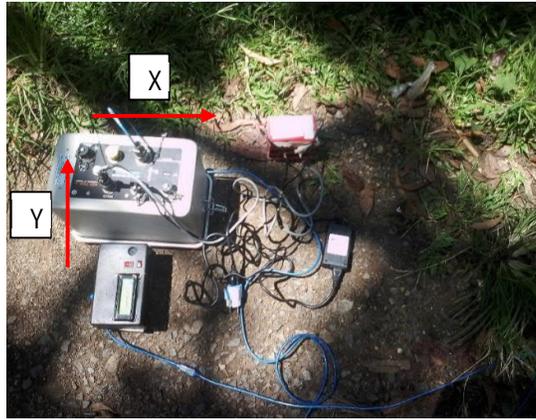
**Gambar 7.** Lokasi Pengukuran Titik



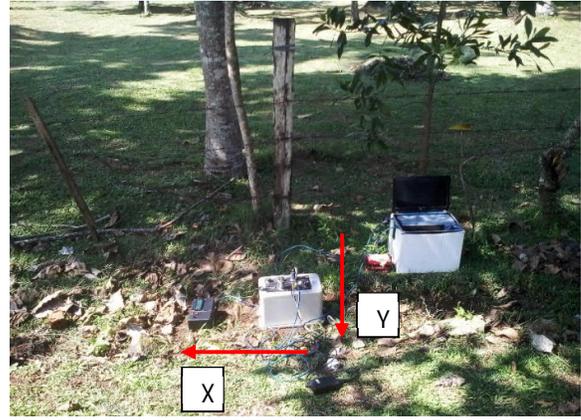
**Gambar 8.** Lokasi Pengukuran Titik 3



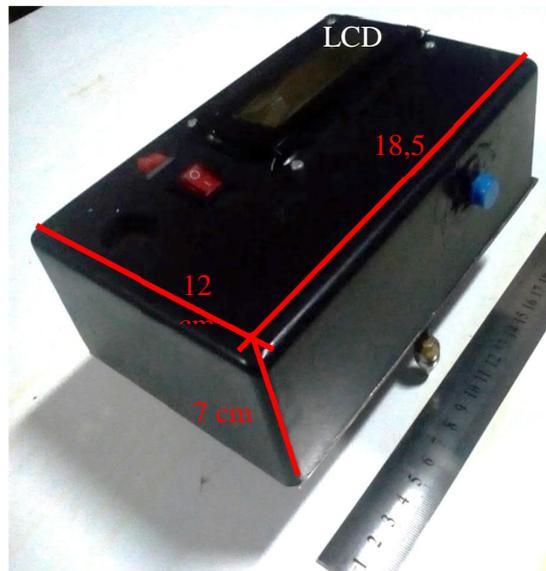
**Gambar 9.** Lokasi Pengukuran Titik 4



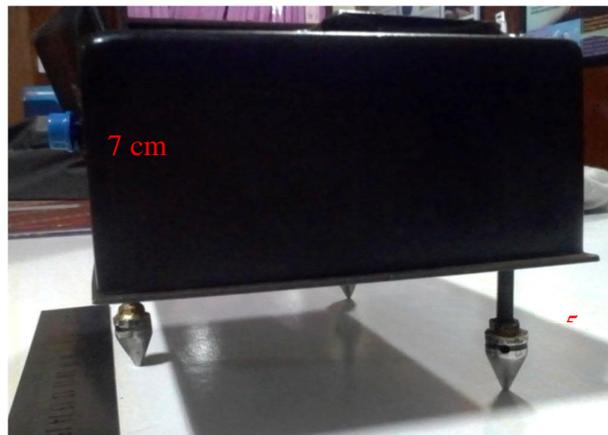
**Gambar 10.** Lokasi Pengukuran Titik 5



**Gambar 11.** Lokasi Pengukuran Titik 6



**Gambar 12.** Hasil Rancang Bangun 1



**Gambar 13** Hasil Rancang Bangun 2