

## *Portable Early Warning System* untuk Gempa bumi

Elfitra Desifatma<sup>1,\*</sup>, Iftitah Rahmi Kadir<sup>2</sup>), Arizal Taufik<sup>3</sup>), Prihandhanu Mukti Pratomo<sup>4</sup>)

<sup>1),2)</sup> FT, Universitas Nurtanio

<sup>3),4)</sup> FMIPA, Institut Teknologi Bandung

Email korespondensi : elfitra10@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v19i1.9509>

Submitted: 16 November 2020 ; Accepted: 26 September 2021

**ABSTRAK-** Indonesia merupakan negara yang rawan akan gempa bumi. Gempa bumi membuat banyak kerugian, baik dari segi fisik maupun moral. Untuk mengurangi dampak dari gempa bumi, diperlukan suatu alat yang dapat mendeteksi gempa bumi sedini mungkin. Penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu *early warning system* yang ekonomis, efektif, dan *portable* sehingga bisa ditempatkan di lokasi yang diinginkan dan gampang digunakan. Fokus penelitian adalah membuat sebuah perangkat seismometer yang terintegrasi dan adaptif terhadap lingkungan sehingga bisa diterapkan dalam mitigasi bencana gempa bumi. Prototipe alat dibuat terlebih dahulu sebelum membuat alat sebenarnya, lalu disisipkan program menggunakan *arduino* IDE. Program dibuat melalui proses pengujian dan evaluasi. Setelah itu, perakitan komponen sebenarnya dimulai. Alat menggunakan sensor *accelerometer* sebagai pendeteksi getaran. Getaran yang diterima selanjutnya dianalisis. Pengolahan sinyal getaran dan *smoothing* data dilakukan oleh sistem *arduino* dengan menggunakan *power supply* sebagai sumber tegangan. *Arduino* digunakan sebagai *microcontroller* berbasis ATmega328 yang memproses data yang nantinya digunakan sebagai indikator untuk bunyi alarm. Alat *early warning system* untuk gempa bumi dibuat untuk memberikan informasi lebih cepat dengan cara mengintergrasikan ke komputer dan alarm menggunakan sensor getaran *accelerometer* Adxl335. Secara sederhana, alat ini akan memberikan peringatan berupa alarm jika terjadi getaran dengan amplitudo yang cukup besar yang diidentifikasi sebagai gempa bumi. Data *realtime* terekam dan dapat ditampilkan pada komputer berupa data pulsa tegangan terhadap waktu. Saat terjadi getaran gelombang yang dihasilkan akan memiliki simpangan yang besar. Alat yang dibuat sebagai *early warning system* gempa bumi dapat bekerja dengan baik dan dapat memberikan peringatan berupa alarm jika mendeteksi getaran gempa bumi.

**KATA KUNCI:** *Accelerometer; Arduino; Gempa bumi; Subduksi;*

**ABSTRACT-** Indonesia is a country that is prone to earthquakes. Earthquakes cause a lot of losses, both physically and morally. To reduce the impact of an earthquake, we need a tool that can detect earthquakes as early as possible. This study aims to design an economical, effective, and portable early warning system so that it can be placed in the desired location and easy to use. The focus of research is to make a seismometer device that is integrated and adaptive to the environment so that it can be applied in earthquake disaster mitigation. The prototype of the tool is made first before making the actual tool, then the program is inserted using the *arduino* IDE. The program is made through a process of testing and evaluation. After that, the actual component assembly begins. The tool uses an accelerometer sensor as a vibration detector. The received vibrations are then analyzed. Vibration signals and data smoothing are carried out by the *arduino* system using a power supply as a voltage source. *Arduino* is used as an ATmega328-based microcontroller that processes data which will later be used as an indicator for alarm sounds. An early warning system tool for earthquakes is made to provide faster information by integrating it into a computer and an alarm using the Adxl335 accelerometer vibration sensor. In simple terms, this tool will provide a warning in the form of an alarm if a vibration with large enough amplitude that is identified as an earthquake. Realtime data recorded and can be displayed on a computer in the form of voltage pulse data against time. When a vibration occurs, the resulting wave will have a large deviation. Tools that are made as an earthquake early warning system can work properly and can provide a warning in the form of an alarm if it detects earthquake vibrations.

**KEYWORDS :** *Accelerometer; Arduino; Earthquake; Subduction;*

## PENDAHULUAN

Indonesia berada di zona subduksi dimana lempeng samudera menabrak lempeng benua, selain itu kondisi geologi yang kompleks membuat Indonesia rentan terhadap bencana khususnya gempa bumi. Gempa bumi memiliki ancaman yang serius bagi kehidupan terutama di lingkungan yang dekat dengan sesar aktif utama baik di darat maupun di zona subduksi di daerah pantai (Wu & Kanamori, 2008). Hal ini terbukti dengan terjadinya beberapa gempa bumi di Indonesia yang menelan banyak korban serta menimbulkan kerugian yang sangat besar. Dampak yang dapat ditimbulkan dari gempa bumi adalah kehilangan nyawa, cedera, kerusakan properti, dan bahkan berdampak ke perekonomian (Strauss & Allen, 2016).

Untuk mengurangi dampak bencana dari gempa bumi, dibutuhkan suatu *early warning system* gempa bumi yang terintegrasi. Tujuan dari *early warning system* ini adalah untuk mengetahui intensitas seismik maksimum dan peringatan dini saat gelombang S pertama muncul pada setiap area sekitar sebelum guncangan kuat terjadi (Kamigaichi et al., 2009). *Early warning system* berperan untuk mengurangi dampak bencana pada industri padat penduduk khususnya, mitigasi gempa bumi, ledakan, dan pelepasan bahan berbahaya terkait dengan fasilitas strategis dan jalur kehidupan (Alcik, Ozel, Apaydin, & Erdik, 2009). Sampai saat ini *early warning system* gempa bumi masih mengandalkan informasi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan media massa. Kendala akan muncul jika masyarakat dengan akses yang terbatas dan informasi yang kurang cepat tersebar membuat *early warning system* menjadi kurang efektif. Tantangan yang nyata adalah penyediaan peralatan dengan fungsi yang sama dengan alat *early warning system* yang dimiliki lembaga khususnya BMKG yang ekonomis dan terjangkau sehingga masyarakat luas bisa merasakan manfaat *early warning system* gempa bumi.

*Early warning system* telah sukses diterapkan di beberapa negara. *early warning system* sukses diimplementasikan di Jepang,

Turki, Amerika, Taiwan, China, dan negara lainnya dengan variasi tingkat kecanggihan dan cakupan yang berbeda-beda (Nakamura, Saita, & Sato, 2011). Sehingga diharapkan dapat juga diimplementasikan di Indonesia.

Gempa bumi merupakan guncangan di permukaan bumi yang dihasilkan dari pelepasan energi secara tiba-tiba dari litosfer bumi yang menciptakan gelombang seismik (Grover & Sharma, 2017). Gempa bumi disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis di sepanjang patahan. Pelepasan energi berkaitan dengan gempa bumi yang dihasilkan oleh penjalaran gelombang seismik melalui bawah permukaan bumi dan sepanjang permukaan bumi hingga jarak yang jauh (L. W. Braile, 2009). Gempa bumi menghasilkan 2 gelombang, yaitu gelombang-P atau gelombang primer yang bergerak dengan kecepatan tinggi keluar dari sumber namun jarang menyebabkan kerusakan dan gelombang-S atau gelombang sekunder yang bergerak lambat dan tertinggal dari gelombang-P namun menghasilkan guncangan yang lebih intens sehingga menyebabkan kerusakan (Burkett et al., 2014) (Given et al., 2018). Pergerakan gelombang gempa bumi dimulai di beberapa lokasi dan berkembang jauh dari hiposenter ke segala arah di sepanjang permukaan patahan. Gelombang geser menghasilkan gerakan periodik sekitar 1 Hz yang paling merusak struktur bangunan, terutama bangunan yang memiliki periode resonansi yang sama. Intensitas efek jarak jauh seperti itu sangat tergantung pada kondisi tanah lokal di wilayah tersebut (Chusni, 2017).

*Early warning system* dibuat terintegrasi dengan komputer sehingga data *realtime* yang terekam dapat ditampilkan pada komputer. Sistem diintegrasikan juga dengan sirine atau alarm ke setiap rumah sehingga informasi bisa lebih tersampaikan, mengingat korban akibat gempa yang terjadi di malam hari, biasanya dalam kondisi tertidur sehingga tidak bisa menyelamatkan diri. Alat *early warning system* gempa bumi dibuat dengan memanfaatkan *arduino* sebagai *microcontroller* dan beberapa modul sensor untuk menunjang kinerja sistem,

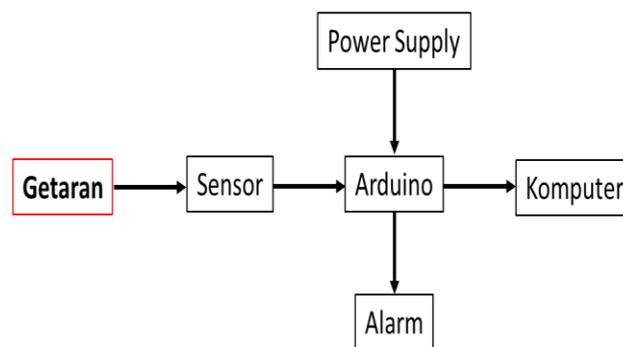
diantaranya *accelerometer* dan seismometer, serta integrasi dengan komputer dan alarm. Seismometer adalah sensor yang digunakan untuk mengukur getaran di permukaan tanah sehingga dapat merekam sinyal gempa dan memiliki sensitivitas tinggi terhadap getaran tanah, termasuk *noise* (Rahman, Zahara, & Nurjanah, 2020). Untuk merekam sinyal seismik, digunakan sensor periode pendek, dengan frekuensi sudut 1 Hz. Sensor merekam getaran tanah pada arah vertikal, utara-selatan dan timur-barat (Soler-Llorens *et al.*, 2019). Sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi aktifitas gelombang yaitu *accelerometer* dimana bisa secara tiga dimensi atau *triaxial* dalam memonitor propagasi gelombang, namun diperlukan filter untuk menyelaraskan dan mengklasifikasikan gelombang mana yang akan kita pantau dan amati lebih lanjut. Pada detik pertama setelah gelombang-P terdeteksi, *accelerator* dapat memperkirakan parameter gempa bumi, dapat menilai bahaya gerakan gempa bumi, dan dapat menyebarkan informasi serta alarm berdasarkan *accelerator* dalam *realtime* (Burkett *et al.*, 2014). Secara umum, gelombang-P memiliki frekuensi yang lebih tinggi dan kecepatan yang lebih cepat daripada gelombang-S yang memiliki amplitudo lebih besar.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat suatu *early warning system* gempa bumi yang ekonomis, efektif, dan *portable*. Harapan dari penelitian ini adalah dimana setiap rumah dan bangunan memiliki *early warning system* yang terpasang di rumahnya masing-masing. Penelitian berfokus dalam membuat sebuah perangkat seismometer yang terintegrasi dan adaptif terhadap lingkungan sehingga bisa diterapkan dalam mitigasi bencana gempa bumi.

## METODE PENELITIAN

Alat *early warning sistem* gempa bumi ini menggunakan sensor *accelerometer* sebagai pendeteksi getaran. Pada dasarnya sensor ini merupakan sensor dengan *output* sinyal analog yang masih berupa sinyal kasar, sehingga harus dilakukan proses *smoothing* data dengan

cara meningkatkan sampling data. Proses *smoothing* data dilakukan oleh *arduino* dengan menyimpan data ukur tiap waktu dan merataratakannya. Penggunaan *arduino* sudah sangat luas dan populer sehingga sistem tersebut memberikan kemudahan dalam membuat skema peralatan dengan biaya yang terjangkau. Sinyal yang telah diubah menjadi digital diolah dan selanjutnya diklasifikasikan sebagai gelombang yang disebabkan oleh gempa bumi. Nilai keluaran dari sensor lalu dikonversi menjadi data tegangan, nilai tegangan yang dibaca merepresentasikan nilai gelombang yang terekam. Adapun skema pembuatan alat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema penggunaan *arduino* sebagai *microcontroller*

Komponen-komponen perakitan alat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1:

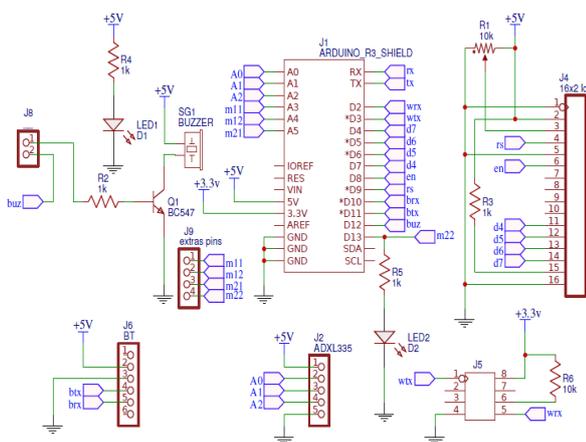
Tabel 1 Komponen-komponen perakitan alat

No.	Komponen
1	Arduino Nano V3
2	Adxl 335 Accelerometer
3	LCD Display
4	LCD I2C Driver
5	DC Regulator
6	LED
7	Toggle
8	DC Jack
9	Tiny RTC
10	Arduino nano Extension Board
11	PCB dot
12	Mini Breadboard
13	Kabel Jumper
14	DC Charger 5V
15	Neo GPS
16	USB cable 1.5 m

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari 3 tahapan, yaitu :

1. Menyusun rancangan pengujian
  2. Melakukan pengujian
  3. Analisa terhadap data hasil kesimpulan.
- Rancangan pengujian dilakukan dengan mengikuti tahapan –tahapan di bawah ini:
1. Menentukan *output* atau hasil yang diinginkan dari pengujian. Hasil atau *output* dari pengujian ini berupa pola gelombang seismik di tempat pengujian dengan keakuratan yang tinggi.
  2. Menentukan desain algoritma eksperimen. Pada desain algoritma dilakukan peningkatan dan pemilahan sinyal gelombang yang merupakan karakteristik gelombang seismik gempa bumi.
  3. Integrasi dengan alarm dan server.
  4. Instalasi di gedung atau rumah warga sebagai evaluasi dan efisiensi sistem.

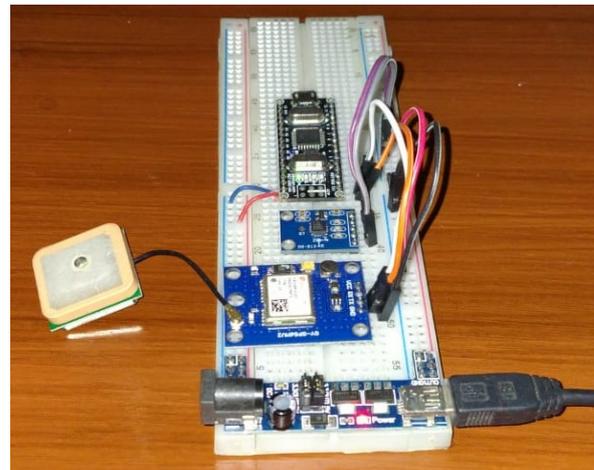
Adapun skema rancangan alat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Skematik peralatan pendeteksi gempa bumi

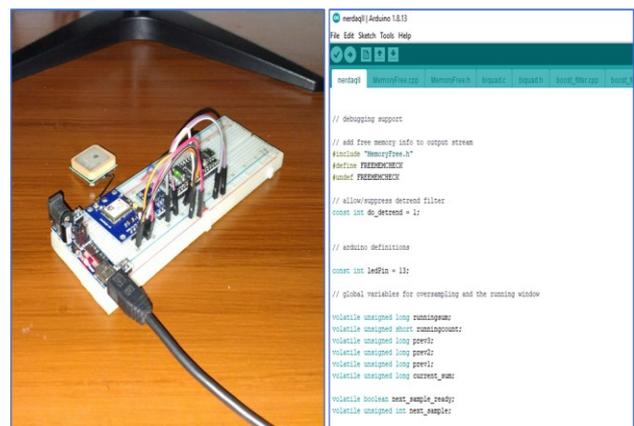
Sensor utama yang digunakan adalah sensor *accelerometer adxl335 triaxial*. Sinyal yang diaplikasikan tidak selalu sinyal yang baik, maka digunakan skema *Analog to Digital Converter (ADC)*. Untuk mendapatkan data yang presisi maka dilakukan *filtering bandpass filter* dalam algoritma program. *Arduino* digunakan sebagai *microcontroller*, selain mengontrol dari kinerja sensor *microcontroller* juga memproses data untuk dijadikan parameter indikator kapan alarm harus berbunyi ketika

terjadi getaran. Sistem peringatan yang dipilih berupa alarm, indikator *Light Emitting Diode (LED)* dan tampilan peringatan pada layar *Liquid Crystal Display (LCD)*. Hal ini dipilih karena lebih cepat memberikan peringatan dan menarik perhatian orang. Data gelombang dapat dimonitor dengan menghubungkan peralatan ke komputer menggunakan kabel *Universal Serial Bus (USB)* dari *arduino*. Rancangan alat berupa *prototype* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Prototype dari peralatan *early warning system* untuk mendeteksi gempa bumi

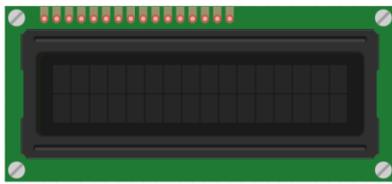
Prototype dibuat sebelum menggunakan komponen peralatan yang sebenarnya. Pemrograman dibuat dengan menggunakan *Software Arduino IDE* pada Gambar 4 yang merupakan bahasa pemrograman yang khusus digunakan untuk menanamkan program ke *hardware*. Simulasi dan evaluasi kinerja sistem dan sensor perlu dilakukan untuk melihat bagaimana sistem tersebut bekerja.



Gambar 4 Proses pemrograman sistem peralatan

Setelah pemrograman selesai, maka langkah selanjutnya dilakukan pengujian pemrograman. Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah algoritma yang diterapkan telah sesuai dengan yang diharapkan atau belum. Jika sudah memenuhi kriteria, maka dilanjutkan ke tahap perakitan komponen.

Tanda peringatan diperlihatkan pada LCD di Gambar 5. Peringatan ini akan aktif bersamaan dengan alarm peringatan yang sudah diintegrasikan dengan sistem. Gempa bumi memicu pergerakan tanah dan bangunan. Proses ini direkam dalam sistem, yang selanjutnya diproses oleh *microcontroller*. Gelombang yang terekam sebagai amplitudo tinggi akan didefinisikan sebagai gempa bumi. Sistem akan memberikan informasi berupa alarm yang akan berbunyi ketika terjadi gempa bumi atau gerakan bangunan.



Gambar 5 Penambahan komponen LCD

## HASIL DAN PEMBAHASAN

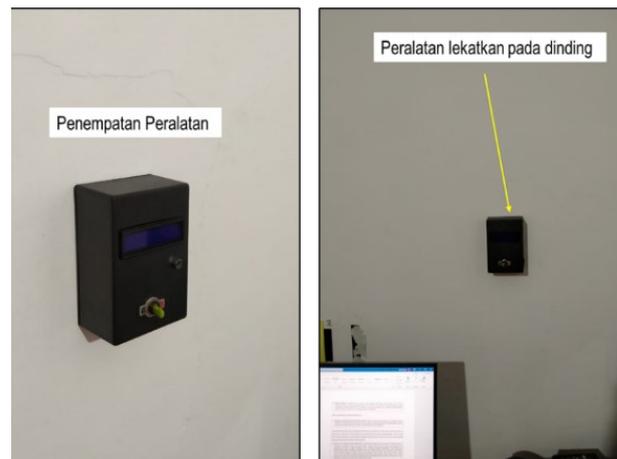
Hasil dari perakitan alat dapat dilihat pada Gambar 6 dan cara pemasangan alat dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6 Penampilan peralatan setelah perakitan

Alat *early warning system* ditempelkan pada tembok atau bidang datar lainnya. Gelombang yang merambat melalui medium tanah merupakan bagian yang paling memberikan kerusakan pada fenomena gempa bumi. Ketika fenomena gempa bumi terjadi,

efek getaran paling besar akan dirasakan oleh dinding bangunan. Hal ini yang mendasari penempatan peralatan disarankan ditempatkan pada dinding. Alat ini dibuat *portable* agar mudah diaplikasikan. Peralatan memonitor secara *realtime* selama terhubung ke *power supply*. Peringatan yang diberikan alat ketika terjadi gempa bumi berupa peringatan suara alarm. *Early warning system* ini diharapkan memberikan kesempatan untuk menyelamatkan diri dari runtuhnya bangunan sebelum getaran gempa bumi yang kuat datang.



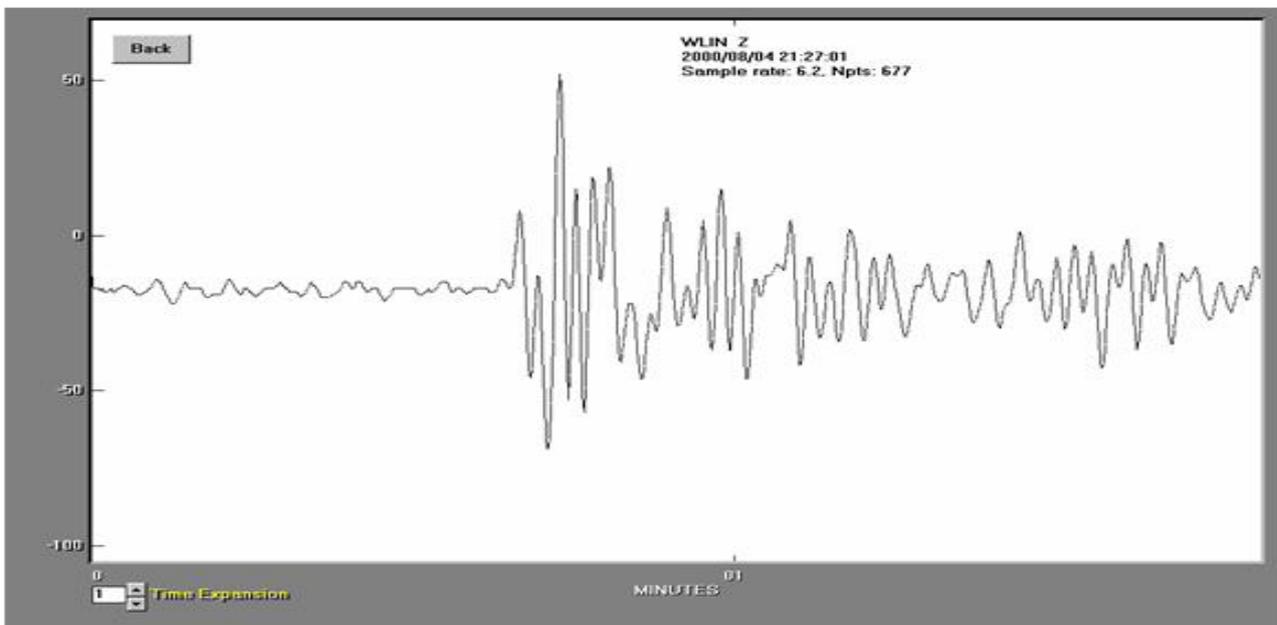
Gambar 7 Penempatan peralatan pendeteksi gempa bumi

Gempa bumi hanya terjadi dengan interval pendek dan biasanya berlangsung kurang dari satu menit. Secara umum gelombang yang ditangkap oleh *seismograph* dibagi menjadi tiga gelombang utama, yaitu gelombang P, gelombang S, dan gelombang permukaan. Gelombang permukaan inilah yang menyebabkan kerusakan pada bangunan-bangunan yang ada di permukaan bumi. Gelombang yang direkam pada alat dapat dilihat pada Gambar 10.

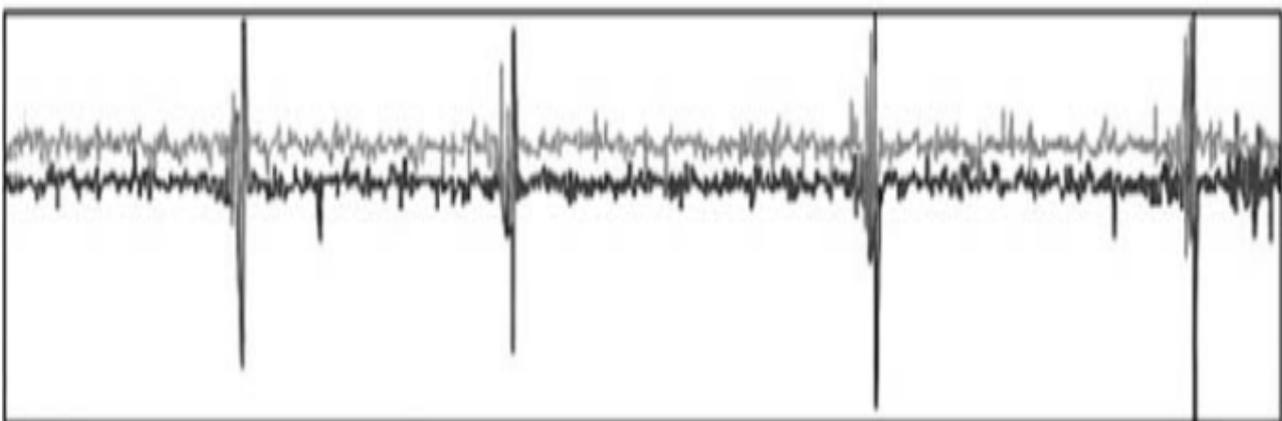
Untuk menguji alat dapat dilakukan dengan merekam gelombang permukaan dengan cara memberikan gelombang buatan berupa pemberian getaran pada dinding. Pemberian getaran pada dinding bertujuan untuk menghasilkan data rekaman gelombang, karena *event* gempa bumi tidak dapat diprediksi dan juga hal yang tidak diharapkan terjadi. Uji coba alat dilakukan dua kali. Percobaan pertama dengan memberikan

getaran sekali pukulan dan percobaan kedua dengan memberikan getaran pada dinding dengan terus menerus. Hasil menunjukkan bahwa kedua percobaan memberikan hasil yang sama, yaitu berupa bunyi alarm dan bentuk grafik yang kurang lebih sama. Jika dilakukan *plotting*, maka didapatkan gelombang dengan amplitudo yang besar saat ada getaran yang merupakan gelombang permukaan ditunjukkan pada Gambar 10. Hal ini menjadi indikasi terjadinya gempa bumi dan secara bersamaan alarm akan berbunyi. Hasil *plotting* dapat dibandingkan dengan gelombang yang direkam menggunakan *Software Amaseis* pada Gambar 8 (L. Braile, 2019) dan hasil penelitian dari Saraò *et al.*, (2016) pada Gambar 9.

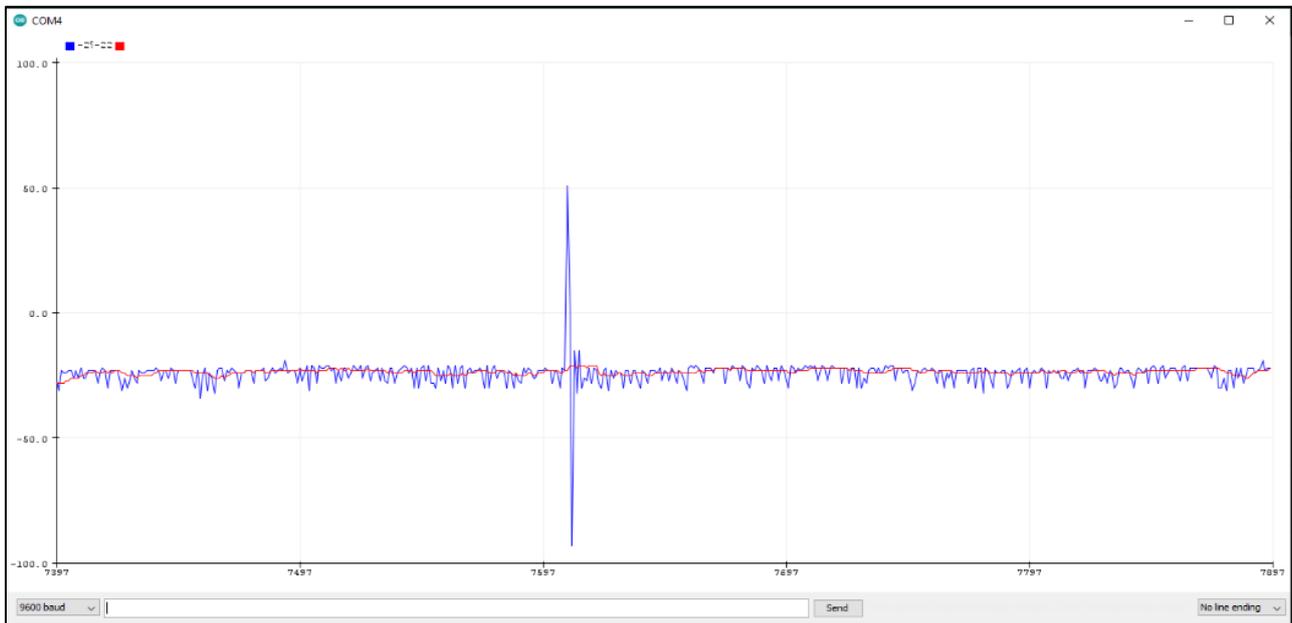
Gambar 8 merupakan hasil plot gelombang permukaan menggunakan *Software Amaseis* pada gempa bumi Islandia 21 Juni 2000. Dari data tersebut dapat dilihat ada gelombang P yang sangat kuat di dekat awal sinyal. Amplitudo gelombang yang diberikan getaran lebih besar yang mengindikasikan bahwa telah terjadi gempa bumi. Gambar 9 merupakan hasil plot gelombang dari getaran yang diberikan dimana Saraò *et al.*, (2016) menggunakan dua buah sensor, yaitu sensor getaran Adlx345 dan sensor suara. Hasil menunjukkan bahwa sensor adlx dapat merekam gerakan tanah yang disebabkan oleh gelombang seismik.



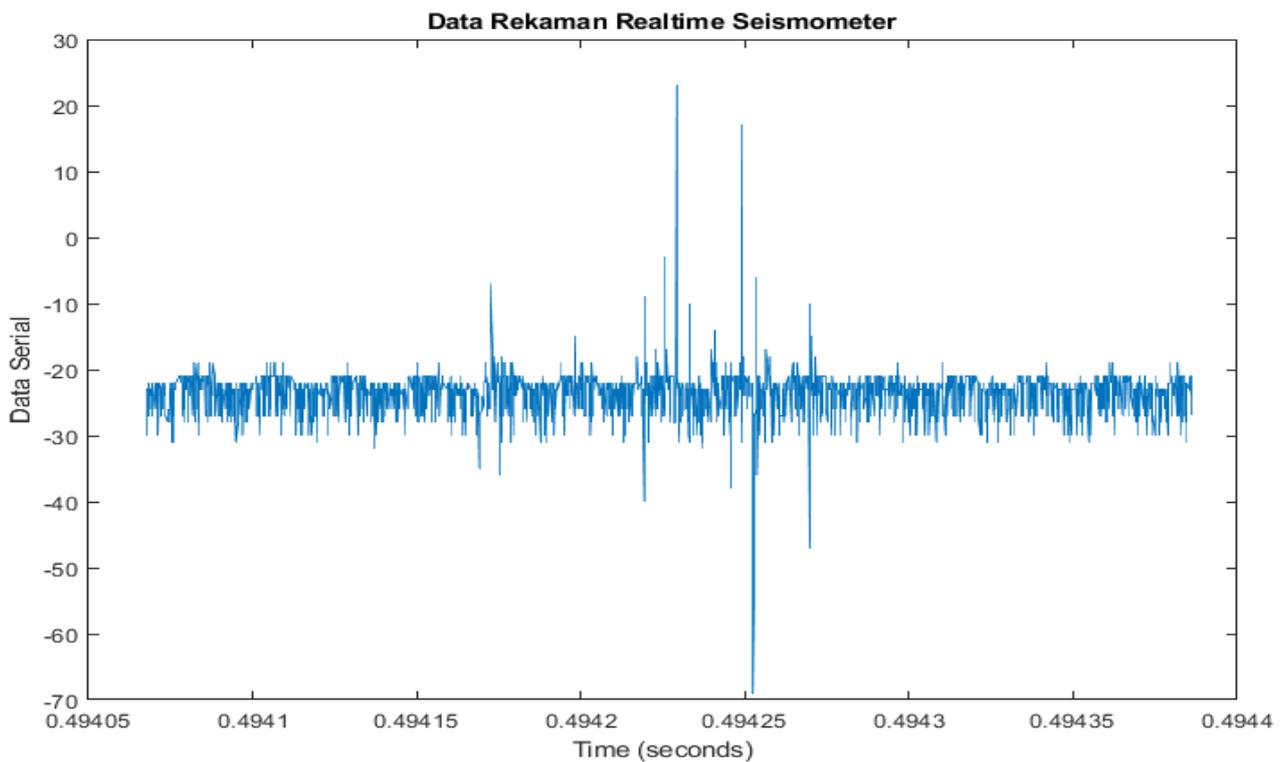
Gambar 8 Gelombang yang direkam dengan *Software Amaseis* (L. Braile, 2019)



Gambar 9 Visualisasi pergerakan tanah yang terekam oleh sensor pada seismograf arduino (Saraò *et al.*, 2016)



Gambar 10 Gelombang buatan yang terekam ditampilkan dalam serial plotter secara *real time*



Gambar 11 Plot ulang data *output* dari alat

Hasil plot alat pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa gelombang yang diberi getaran atau usikan dapat direspon oleh sensor. Hasil plot dibandingkan dengan gelombang menggunakan *Software Amaseis*, didapatkan hasil gelombang yang menyerupai. Hasil juga dibandingkan dengan penelitian serupa oleh Saraò *et al.*, (2016) dimana didapatkan hasil uji alat yang serupa,

dimana gelombang dengan adanya getaran memiliki amplitudo yang lebih besar. *Early warning system* untuk peringatan gempa bumi dapat bekerja dengan baik dan dapat merekam aktifitas seismik.

Gambar 10 merupakan salah satu hasil dari pengambilan data dengan cara memberikan getaran pada dinding pada jarak tertentu dari alat. Hasil grafik merupakan

*output* dari sinyal yang diterima sensor, arah x merupakan waktu dalam satuan sekon dengan interval 10ms dan arah y merupakan nilai data *output* sensor berupa nilai ADC. Sinyal pulsa tegangan diubah dalam bentuk tegangan listrik. Kemudian tegangan listrik diubah ke dalam bentuk data digital oleh microcontroller dan data dikirim ke komputer sehingga data digital dapat diinterpretasi dalam bentuk grafik. Ketika terjadi event gempa atau gelombang dengan *magnitude* besar maka sensor akan memberikan nilai ADC yang besar begitupun sebaliknya, hal ini bisa kita gunakan sebagai data yang merepresentasikan getaran yang dihasilkan oleh gempa bumi. Penelitian ini berfokus pada pembuatan alat yang *portable* dan terjangkau sehingga masih perlu dilakukan pengolahan data lebih lanjut untuk mengetahui besaran gempa yang terjadi. Alat belum bisa dibandingkan dengan dengan alat terstandar karena peneliti tidak memiliki akses alat tersebut.

**Tabel 2 Data *output* dari peralatan**

Time (s)	Nilai data <i>output</i> sensor
0,494067870	-23
0,494067870	-23
0,494067870	-30
0,494067870	-23
0,494068264	-23
0,494068264	-27
0,494068264	-22
0,494068669	-24
0,494068669	-23
0,494068669	-23
0,494068669	-24
0,494069063	-23
0,494069063	-26
0,494069063	-24
0,494069456	-23
0,494069456	-27

Hasil uji coba dapat diplot kembali untuk melihat gambaran yang lebih jelas yang dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil dapat dilihat dari pola gelombang yang direkam. Energi getaran yang diberikan sebanding dengan getaran yang diterima oleh sensor. *Serial plotter* dapat digunakan untuk melihat data gelombang secara *realtime*, namun pada

pengaplikasian di lokasi-lokasi terbatas tidak harus menampilkan data gelombang. Hal ini karena peralatan tetap bekerja untuk memberikan peringatan berupa alarm. *Output* berupa data waktu dengan interval 10 ms, namun akibat dari proses instrumentasi, waktu yang dihasilkan lebih panjang dari seharusnya namun tetap memberikan hasil yang baik. *Output* alat berupa data *real-time* terhadap nilai data *output* sensor berupa nilai ADC. Saat terjadinya getaran yang cukup besar maka grafik menunjukkan perubahan.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa data *output* alat pada rentang waktu tertentu, namun saat keadaan biasa grafik cenderung stabil tidak terjadi simpangan yang signifikan.

## KESIMPULAN

Peralatan yang dibangun yaitu *early warning system* gempa bumi menggunakan sensor ADXL335 dengan sistem *microcontroller arduino Nano berbasis microcontroller ATmega328*. ADXL335 merupakan sebuah sistem pengukuran percepatan *triaxial* yang lengkap. ADXL335 memiliki *Bandwidth* frekuensi yang bisa dipilih sesuai kebutuhan, dengan rentang dari 0,5 Hz sampai 1.600Hz untuk sumbu X,Y, dan rentang 0.5 Hz sampai 550 Hz untuk sumbu Z. Alat ini dapat memberikan peringatan berupa alarm ketika terjadi getaran dengan amplitudo dan energi yang besar. Alat sudah terintegrasi dengan komputer sehingga dapat dilihat data gelombang secara *realtime*. Ketika terjadi gempa atau gelombang dengan amplitudo besar maka sensor akan memberikan nilai ADC yang besar. Pada grafik akan muncul gelombang dengan amplitudo yang lebih besar yang mengindikasikan terjadinya gempa bumi.

Pada penelitian ini masih diperlukan telaah dan pengembangan, baik dari segi data ataupun sistemnya. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengolah data untuk mendapatkan besar magnitudo dari gempa bumi. Alat yang dibuat masih dapat dikembangkan lagi dengan mengintegrasikannya melalui internet.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih pada Ristekdikti yang telah membantu mendanai penelitian ini dan terimakasih kepada Universitas Nurtanio, khususnya LPPM Universitas Nurtanio yang turut membantu penelitian ini, dan terimakasih untuk Institut Teknologi Bandung yang telah meminjamkan lab kerja.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alcik, H., Ozel, O., Apaydin, N., & Erdik, M. (2009). A study on warning algorithms for Istanbul earthquake early warning system. *Geophysical Research Letters*, 36(4), L00B05. <https://doi.org/10.1029/2008GL036659>
- Braile, L. (2019). *Interpreting seismograms-A tutorial for the AS-1 seismograph*.
- Braile, L. W. (2009). Seismic monitoring. *Geological Monitoring: Boulder, Colorado, Geological Society of America*, 229–244.
- Burkett, E. R., Given, D. D., Jones, L. M., Erin R. Burkett, Given, D. D., & Jones, L. M. (2014). ShakeAlert-An Earthquake Early Warning System for the United States West Coast. *U.S. Geological Survey Fact Sheet*, (February). Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/fs/2014/3083/pdf/fs2014-3083.pdf> <https://pubs.usgs.gov/publication/fs20143083>
- Chusni, M. M. (2017). Penentuan Besar Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Ayunan Matematis Dengan Berbagai Metode Pengukuran. *Scientiae Educatia: Jurnal Pendidikan Sains*, 6(1), 47–53.
- Given, D. D., Allen, R. M., Baltay, A. S., Bodin, P., Cochran, E. S., Creager, K., ... Yelin, T. S. (2018). Revised technical implementation plan for the ShakeAlert system—An earthquake early warning system for the West Coast of the United States. In *Open-File Report*. Virginia. <https://doi.org/10.3133/ofr20181155>
- Grover, V., & Sharma, A. (2017). Prediction of Earthquake Using 3 Axis Accelerometer Sensor (ADXL335) and ARDUINO UNO. *IEEE International Journal of Science and Research*, 6(9).
- Kamigaichi, O., Saito, M., Doi, K., Matsumori, T., Tsukada, S., Takeda, K., ... Watanabe, Y. (2009). Earthquake early warning in Japan: Warning the general public and future prospects. *Seismological Research Letters*, 80(5), 717–726. <https://doi.org/10.1785/gssrl.80.5.717>
- Nakamura, Y., Saita, J., & Sato, T. (2011). On an earthquake early warning system (EEW) and its applications. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(2), 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.04.012>
- Rahman, M., Zahara, S., & Nurjanah, M. (2020). Design and build of shaking table prototype as short-period seismometer calibrator based on microcontroller. *Journal of Physics: Conference Series*, 1434(1), 12007. IOP Publishing.
- Sarà, A., Clocchiatti, M., Barnaba, C., & Zuliani, D. (2016). Using an arduino seismograph to raise awareness of earthquake hazard through a multidisciplinary approach. *Seismological Research Letters*, 87(1), 186–192. <https://doi.org/10.1785/0220150091>
- Soler-Llorens, J. L., Galiana-Merino, J. J., Nassim-Benabdeloued, B. Y., Rosa-Cintas, S., Ortiz Zamora, J., & Giner-Caturla, J. J. (2019). Design and Implementation of an Arduino-Based Plug-and-Play Acquisition System for Seismic Noise Measurements. *Electronics*, 8(9), 1035.
- Strauss, J. A., & Allen, R. M. (2016). Benefits and costs of earthquake early warning. *Seismological Research Letters*, 87(3), 765–772. <https://doi.org/10.1785/0220150149>
- Wu, Y. M., & Kanamori, H. (2008). Development of an earthquake early warning system using real-time strong motion signals. *Sensors*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.3390/s8010001>