

Rancang Bangun Seismometer 3 Komponen Berbasis Arduino Uno serta GUI yang Berbasis Python

Muh. Riswan Anas Sukri^{1*}, Swenly Yolanda², Hedwig I. Vioresi³

^{1,2,3}Universitas Pattimura, Kota Ambon

*Penulis Korespondensi, email: muh.riswan.as@gmail.com

Received: 25/05/2024

Revised: 08/06/2024

Accepted: 11/06/2024

Abstract. Rocks that are continuously subjected to pressure will eventually fracture, especially if the rock's ability to withstand the pressure is exceeded. Such fractures can be one of the triggers for earthquakes. An earthquake is a vibration within the earth caused by the sudden release of energy accumulated in rocks undergoing deformation. To mitigate the consequences of disasters caused by earthquakes, an integrated early warning system for earthquakes is needed. The primary goal of this research is to create an economical, effective, and portable seismometer. Additionally, this research focuses on developing a Python-based GUI to display the three-component seismometer graph in real-time. The approach used in this research consists of several stages, including design planning, preparation of equipment and components, device construction, programming the device with Arduino IDE, and creating the Graphical User Interface (GUI) using the Python programming language. The seismometer constructed in this project detects earthquakes using the ADXL335 sensor installed on an Arduino Uno microcontroller system. The ADXL335 is a triaxial acceleration measurement system. This sensor has an adjustable frequency bandwidth ranging from 0.5 Hz to 1,600 Hz for the X and Y axes, and 0.5 Hz to 550 Hz for the Z axis. When it detects vibrations with high amplitude and energy, the device can issue a warning in the form of an alarm. To monitor the waveform data from the three components in real-time, the device is integrated with a Python-based GUI. The sensor will produce high ADC values when a wave or earthquake with a large amplitude occurs. The graph will show large amplitude waves, indicating an earthquake. Based on the comparison with the Vibrometer application, the X-axis has an average error of 0.0518, the Y-axis has an average error of 0.049, and the Z-axis has an average error of 0.093.

Keywords: ADXL335, Arduino, Python, Seismometer

Abstrak. Batuan yang terus-menerus ditekan akhirnya akan mengalami patah, terutama jika batas kemampuan batuan untuk menahan tekanan telah terlampaui. Patahan tersebut dapat menjadi salah satu pemicu terjadinya gempa bumi. Gempa bumi adalah getaran dalam bumi yang timbul karena pelepasan secara mendadak energi yang terakumulasi dalam batuan yang mengalami deformasi. Untuk mengurangi konsekuensi bencana yang diakibatkan oleh gempa bumi, diperlukan sistem peringatan dini gempa bumi yang terintegrasi. Penelitian ini memiliki tujuan utama menciptakan seismometer yang ekonomis, efektif, dan portabel. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada pengembangan GUI berbasis python untuk menampilkan grafik tiga komponen seismometer secara *real-time*. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, meliputi desain perancangan, persiapan peralatan dan komponen, pembuatan perangkat, pemrograman perangkat dengan Arduino IDE, serta pembuatan *Graphical User Interface* (GUI) menggunakan bahasa pemrograman Python. Seismometer yang dibangun ini mendeteksi gempa bumi dengan sensor ADXL335 yang dipasang pada sistem mikrokontroler Arduino Uno. ADXL335 adalah sistem pengukuran percepatan triaxial. Sensor ini memiliki *bandwith* frekuensi yang dapat disesuaikan yang mencakup 0,5 Hz hingga 1.600 Hz untuk sumbu X dan Y, dan 0,5 Hz hingga 550 Hz untuk sumbu Z. Jika mendeteksi getaran dengan amplitudo dan energi yang tinggi, alat ini dapat memberikan peringatan berupa alarm. Untuk memantau data gelombang dari ketiga komponen secara *real-time*, perangkat ini sudah terintegrasi dengan GUI berbasis Python. Sensor akan menghasilkan nilai ADC yang tinggi saat gelombang atau gempa dengan amplitudo besar terjadi. Grafik menunjukkan gelombang amplitudo besar yang menunjukkan gempa bumi. Berdasarkan perbandingan dengan aplikasi Vibrometer pada sumbu X memiliki galat rata-rata 0.0518, pada sumbu Y memiliki galat rata-rata 0.049 serta pada sumbu Z memiliki galat rata-rata sebesar 0.093.

Kata Kunci: ADXL335, Arduino, Python, Seismometer

I. PENDAHULUAN

Batuan yang terus-menerus ditekan akhirnya akan mengalami patah, terutama jika batas kemampuan batuan untuk menahan tekanan telah terlampaui. Patahan tersebut dapat menjadi salah satu pemicu terjadinya gempa bumi [1]. Gempa bumi adalah getaran dalam bumi yang timbul karena pelepasan secara mendadak energi yang terakumulasi dalam batuan yang mengalami deformasi [2]. Gempa bumi menciptakan dua kategori gelombang, yaitu gelombang-P atau gelombang primer yang merambat dengan cepat dari sumber dan umumnya tidak menimbulkan kerusakan yang signifikan. Di sisi lain, terdapat gelombang-S atau gelombang sekunder yang bergerak dengan kecepatan yang lebih rendah daripada gelombang-P, namun memiliki potensi untuk menciptakan guncangan intens yang dapat menyebabkan kerusakan yang serius [3]. Konsekuensi yang mungkin timbul dari kejadian bencana gempa bumi meliputi hilangnya nyawa, luka-luka, kerusakan properti, dan bahkan dapat berpengaruh pada sektor ekonomi [4].

Salah satu upaya manusia untuk mengurangi korban jiwa pada saat gempa bumi adalah dengan membuat alat peringatan dini yang akan mengeluarkan bunyibunyian saat terjadi gempa. Alat peringatan dini ini, ada yang bekerja secara mekanik dan ada juga yang bekerja dengan menggunakan komponen elektronika [5]. Sistem peringatan dini dikembangkan dengan integrasi ke komputer, memungkinkan tampilan data *real-time* pada layar komputer. Sistem ini juga terhubung dengan sirine atau alarm di setiap rumah untuk meningkatkan efektivitas pengiriman informasi, terutama mengingat bahwa korban gempa seringkali berada dalam kondisi tidur pada malam hari, di mana sulit untuk menyelamatkan diri. Alat sistem peringatan dini gempa bumi menggunakan arduino sebagai mikrokontroler dan beberapa modul sensor, termasuk *accelerometer* dan seismometer, untuk mendukung kinerja sistem. Seismometer, sebagai sensor yang mengukur getaran di permukaan tanah, digunakan untuk merekam sinyal gempa dengan sensitivitas tinggi terhadap getaran tanah, termasuk *noise* [6].

Accelerometer, sebuah sensor yang dapat mendeteksi aktivitas gelombang dalam tiga dimensi atau *triaxial* untuk memantau propagasi gelombang, memerlukan filter untuk menyelaraskan dan mengklasifikasikan gelombang yang akan dimonitor dan diamati lebih lanjut. Saat gelombang-P terdeteksi pada detik pertama, *accelerometer* dapat mengestimasi parameter gempa bumi, mengevaluasi bahaya gerakan gempa bumi, serta menyampaikan informasi dan alarm secara langsung berdasarkan data *accelerometer* dalam *realtime* [3].

Menurut [7], pada penelitiannya menggunakan sensor getar SW-420 pada *prototype* pendeteksi dini gempa. Sensor getar tersebut pun diuji menggunakan getaran dari alat pijit dengan level getaran 1-5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor getar tidak aktif pada level 1-2 alat pijit, dan pada level 3-5 menghasilkan pulsa 15.322,-28.602,4 yang dikonversikan menjadi 5-10 Skala Richter (SR), [8] membuat alat yang dapat mendeteksi gempa dengan menggunakan sensor getar dan sensor percepatan ADXL335. Untuk menguji alat, beban 1 kilogram, 2 kilogram, dan 3 kilogram dijatuhkan dari jarak 0 cm, 15 cm, dan 25 cm dari sistem. Uji sensitivitas sensor ADXL335 juga dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran sensor dan membandingkannya dengan *accelerometer smartphone*. Sensitivitas dan *error rate* sensor ADXL335 pada sumbu x adalah 0,30% dan 0,296 V/g, pada sumbu y adalah 0,30% dan 0,2885 V/g, dan pada sumbu z adalah 0,017% dan 0,33 V/g. Seperti yang ditunjukkan oleh *British Geological Survey*, sistem dapat mendeteksi dan memberi peringatan gempa bumi. Melanjutkan studi mengenai deteksi gempa, dalam penelitian [9], Uji validasi *accelerometer* ADXL345 dilakukan dengan membandingkan nilai frekuensi dominan sensor dengan SMHR-*Accelerograph* REFTEK, *accelerometer* buatan pabrik. Pengukuran dilakukan pada 30 titik akuisisi di Universitas Lampung. Sensor ADXL345 berhasil mendeteksi pola kerentanan gempa yang sesuai dengan *accelerometer* REFTEK dengan nilai korelasi 62%. Untuk proyek *low budget* dan membutuhkan sensor untuk deteksi getaran pada 3 sumbu, maka dapat menggunakan sensor *accelerometer* ADXL330,

ADXL335, ADXL345, MPU6050 maupun H48C, Sementara apabila hanya membutuhkan sensor untuk deteksi getar, maka sensor SW-420 dapat menjadi pilihan [10]. Sebagai tambahan, [11] menemukan bahwa alat yang dibuat menggunakan *accelerometer* ADXL335 sebagai *early warning system* gempa bumi dapat bekerja dengan baik dan dapat memberikan peringatan berupa alarm jika mendeteksi getaran gempa bumi.

Berdasarkan pemaparan diatas, penelitian ini memiliki tujuan utama menciptakan seismometer yang ekonomis, efektif, dan portabel. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada pengembangan GUI berbasis python untuk menampilkan grafik tiga komponen seismometer secara *real-time*. Untuk memudahkan pengambilan dan penyimpanan data, penelitian ini melibatkan pembuatan *logger* data seismik tiga komponen berbasis modul Arduino Uno dan sensor *accelerometer*. Alat ini dirancang mampu menyimpan data tanpa memerlukan sumber daya besar. Sistem *logger* data yang dihasilkan menggunakan SD Card sebagai media penyimpanan data dengan format penyimpanan dalam bentuk txt, memudahkan analisis data hasil pengukuran. Harapannya alat ini dapat membantu masyarakat yang berada di daerah rawan gempa sehingga bisa diterapkan dalam mitigasi bencana gempa bumi.

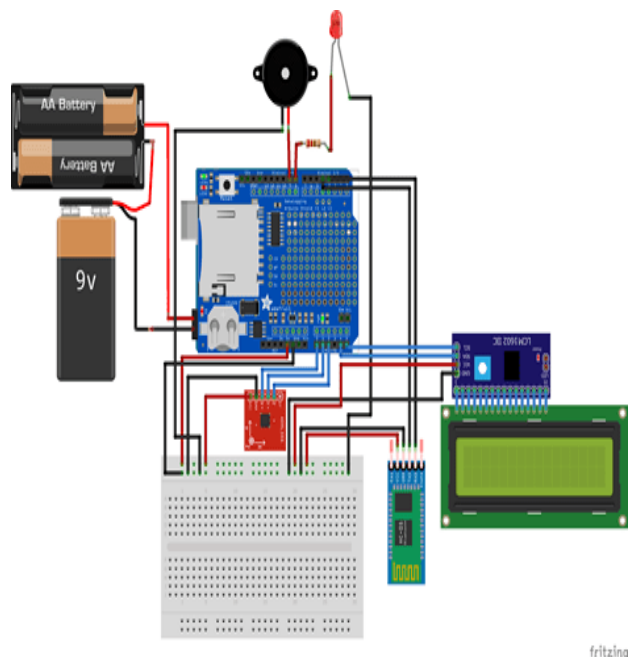
II. METODOLOGI

Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian ini dapat dibagi menjadi serangkaian tahapan, mencakup perancangan desain, persiapan peralatan dan komponen, pembuatan perangkat, memprogram perangkat menggunakan Arduino IDE, dan pembuatan *Graphical User Interface* (GUI) dengan menggunakan bahasa pemrograman Python.

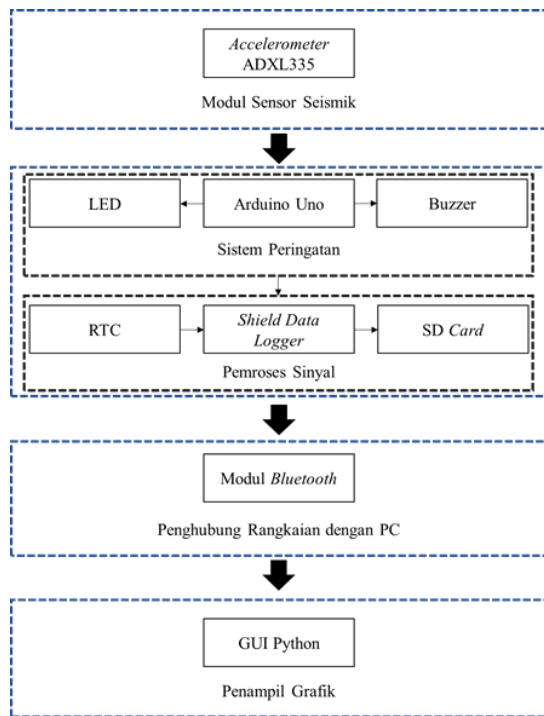
A. Tahap pembuatan desain rancangan

Tahap perancangan ini merupakan bagian dari proses perancangan yang mencakup perancangan model rangkaian yang sederhana (Gambar 1) dan perancangan sistem operasi rangkaian (Gambar 2). Rancangan sistem secara menyeluruh diuraikan sebagai berikut:

- Modul sensor seismik menggunakan *Accelerometer* ADXL335, yang dapat mendeteksi gelombang seismik dalam tiga sumbu: X (lateral), Y (horizontal), dan Z (vertikal).
- Pemroses sinyal terdiri dari modul Arduino Uno dan *shield data logger* dengan *Real Time Clock* (RTC) dan *slot memory card*. RTC bertindak sebagai pewaktu dan penanggal sesuai dengan waktu sebenarnya, sementara *slot memory card* digunakan untuk menyimpan data pengukuran sensor seismik.
- Sistem peringatan melibatkan modul Arduino Uno, *buzzer*, dan LED yang berfungsi memberikan peringatan saat terjadi guncangan yang signifikan.
- Modul *bluetooth* berperan sebagai perangkat komunikasi antara alat dan PC, mengirimkan data ke PC untuk ditampilkan dalam bentuk grafik.
- GUI python berfungsi sebagai antarmuka pengguna grafis untuk memvisualisasikan guncangan gempa.



Gambar 1. Desain rancangann



Gambar 2. Diagram alir rancangan sistem.

B. Tahap persiapan alat dan komponen

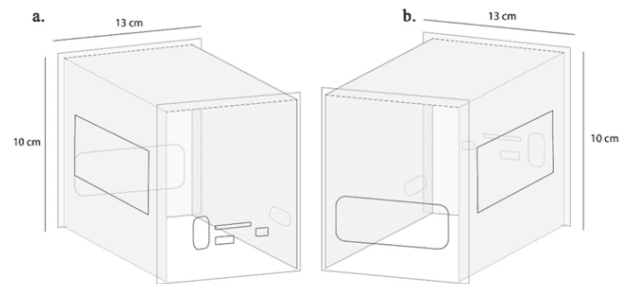
Pada tahap ini, dipersiapkan berbagai alat dan komponen yang akan digunakan. Berdasarkan desain rancangan yang telah dibuat, adapun alat yang digunakan ialah laptop, lem, solder, USB, dan SD card 64 GB. Sedangkan komponen yang digunakan ialah Arduino Uno, Arduino Proto Shield, sensor accelerometer ADXL335, modul bluetooth HC-05, buzzer, baterai 12 V, LCD 20x4, LED, resistor, shield data logger plus RTC, dan kabel jumper.

C. Pembuatan rangkaian

Setelah mendesain rangkaian dan menyiapkan alat beserta komponennya, langkah selanjutnya adalah melakukan pembuatan seismometer. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan alat antara lain :

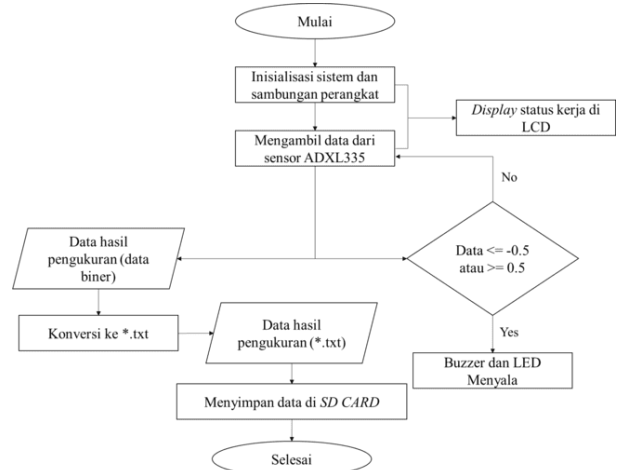
1. Merangkai alat dan komponen sesuai dengan desain yang telah dibuat.
2. Pembuatan desain box cover menggunakan software Adobe Illustrator seperti pada Gambar 3.
3. Merangkai tata letak komponen elektronik yang berbentuk modul ke dalam box cover.
4. Merangkai komponen system ke dalam casing yang berguna untuk melindungi alat.

5. Melakukan instalasi pada setiap komponen menggunakan kabel jumper warna.



Gambar 3. Desain 3D Box Cover a) Box cover tampak depan-kiri, b) Box cover tampak belakang-kanan implementasi program arduino IDE.

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). Arduino IDE adalah program khusus untuk merancang atau membuat program pada papan Arduino. Implementasi program pada perangkat ini dapat dilihat pada Gambar 4.

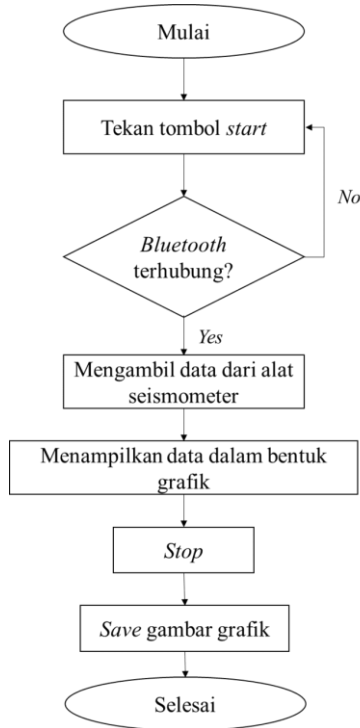


Gambar 4. Diagram desain perangkat lunak.

D. Pembuatan GUI

Pembuatan GUI ini menggunakan Bahasa pemrograman python yang dibuat bertujuan untuk menampilkan grafik getaran horizontal (E-W), (N-S) dan vertikal (Z) yang dibaca melalui ADXL335 dan dikirimkan melalui bluetooth ke PC. Selain itu, terdapat pilihan *start*, *stop*, dan *save* pada antarmuka pengguna (GUI) tersebut. Pilihan *start*

digunakan untuk memulai pengukuran getaran seismik, opsi *stop* untuk menghentikan pengukuran, dan opsi *save* berfungsi untuk menyimpan gambar grafik hasil pengukuran getaran seismik. Cara kerja GUI ini dapat dilihat melalui *flowchart* pada Gambar 5.



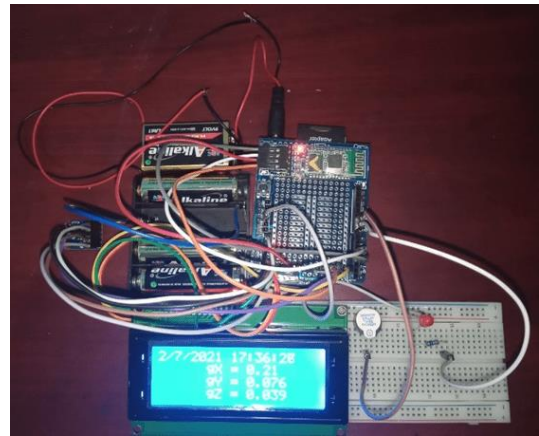
Gambar 5. Perancangan GUI.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pembuatan Rangkaian

Pembuatan perangkat elektronik melibatkan susunan komponen, termasuk sensor ADXL335, mikrokontroler Arduino, RTC, *Shield Data Logger*, *LCD Display*, LCD, Buzzer, Bluetooth, dan *power supply*. Sistem ini membutuhkan *power supply* sebesar 12V, yang dapat dipasok oleh baterai. Layar LCD digunakan sebagai tampilan status pengukuran dengan jenis layar LCD 20x04 *backlight* menggunakan koneksi I2C untuk transfer data. Sebagai media penyimpanan data pengukuran, digunakan SD *card* dalam bentuk modul SD *Card* sebagai perangkat transfer data, dan modul *Bluetooth HC-05* sebagai saluran komunikasi antara rangkaian dan PC. RTC (*Real Time Clock*) berfungsi

memberikan informasi waktu secara langsung selama pengukuran dengan memanfaatkan baterai CMOS sebagai sumber daya utama saat tidak terhubung ke sumber daya eksternal. Proses perakitan seluruh komponen dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil perakitan komponen.

Wadah untuk komponen dibuat menggunakan bahan akrilik berukuran 13 cm x 10 cm x 6 cm yang cukup kuat untuk menahan getaran, sementara bagian bawahnya menggunakan plat besi untuk merambatkan getaran dan mencegah redaman getaran. Ilustrasi seluruh komponen pada wadah (*box casing*) yang terbuat dari akrilik dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



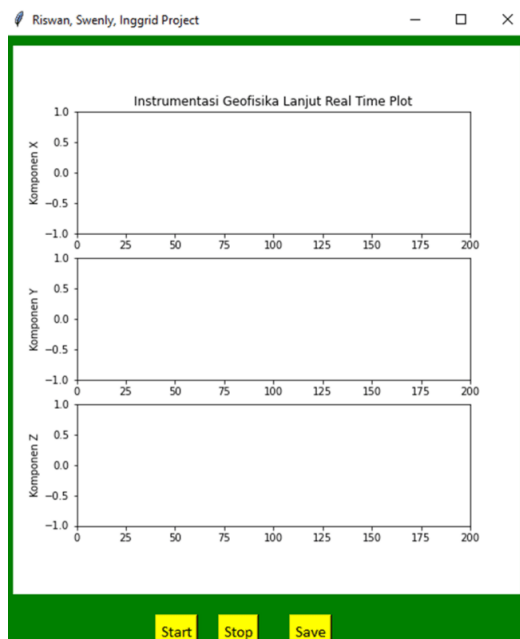
Gambar 7. Tampak depan.



Gambar 8. Tampak samping.

B. Hasil Pembuatan GUI python

Gambar 9 di bawah merupakan output dari coding *real time plot* menggunakan bahasa pemrograman python. *Output* tersebut akan menunjukkan tampilan box berisi gambaran komponen x, y, z. Selain itu terdapat opsi *start*, *stop*, *save* yang dapat dipilih dan akan berjalan sesuai fungsinya masing-masing.



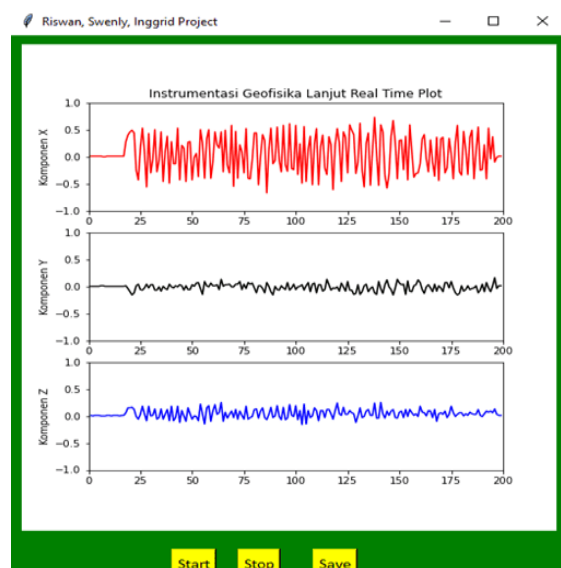
Gambar 9. GUI *real-time plot*.

C. Proses pembacaan sensor pada sumbu X

Proses pembacaan sensor pada sumbu X melibatkan deteksi pergerakan keluar dan masuk terhadap pelat dasar, sebagaimana terilustrasi dalam Gambar 10. Dalam gambar tersebut, pergerakan sumbu X direpresentasikan dengan jelas. Saat hasil pembacaan sensor tersebut ditampilkan secara *real-time* dalam *Real Time Plot*, gambaran pergerakan komponen sumbu X yang dominan dapat dengan jelas teramati, seperti yang tergambar pada Gambar 11. Jika nilai komponen X ≤ -0.5 atau ≥ 0.5 , maka *buzzer* dan LED akan menyala.



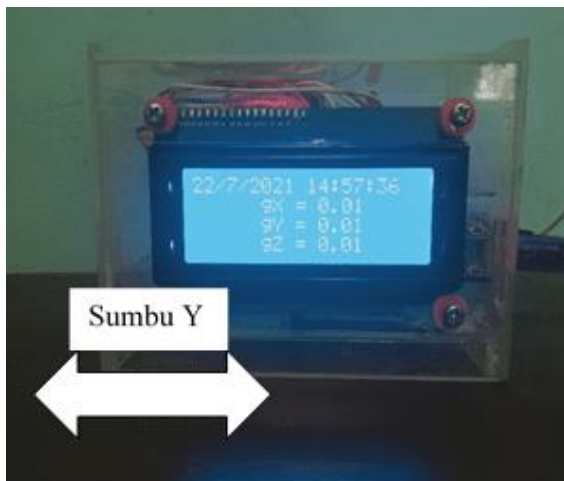
Gambar 10. Arah pergerakan sumbu X pada rangkaian seismometer.



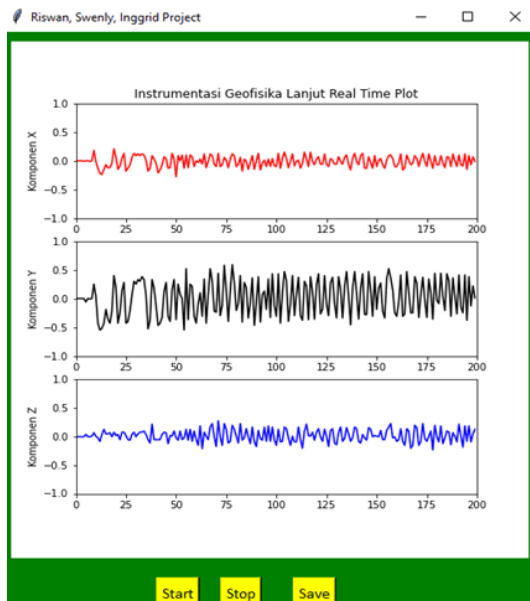
Gambar 11. *Real time plot* dari pergerakan dominan sumbu X.

D. Proses pembacaan sensor pada sumbu y

Proses pembacaan sensor untuk bagian sumbu Y menggunakan pergerakan kekiri dan kekanan terhadap pelat dasar seperti yang digambarkan pada Gambar 12 yang merepresentasikan pergerakan sumbu Y. Hasil dari *Real Time Plot* pergerakan komponen sumbu Y yang dominan terlihat pada Gambar 13. Jika nilai komponen Y ≤ -0.5 atau ≥ 0.5 , maka *buzzer* dan LED akan menyala.



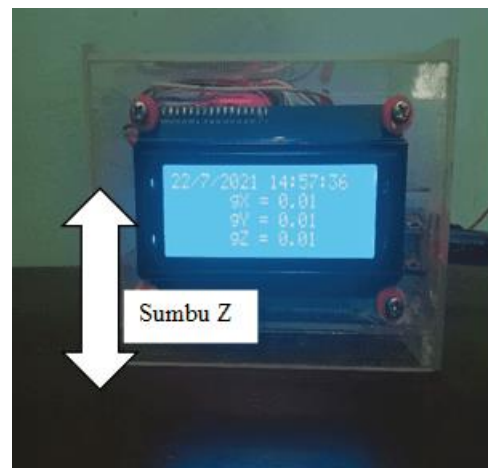
Gambar 12. Arah pergerakan sumbu Y pada rangkaian seismometer.



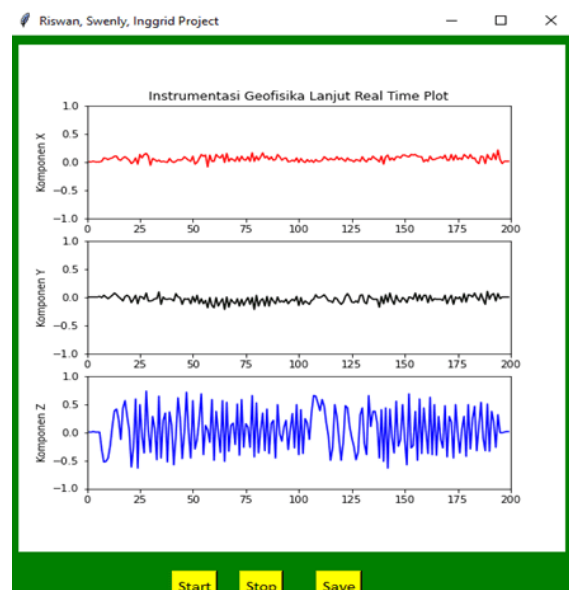
Gambar 13. *Real time plot* dari pergerakan dominan sumbu Y.

E. Proses pembacaan sensor pada sumbu z

Proses pembacaan sensor untuk sumbu Z melibatkan identifikasi pergerakan keatas dan kebawah terhadap pelat dasar, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 14 yang merepresentasikan pergerakan sumbu Z. Hasil dari *Real Time Plot* pergerakan komponen sumbu Z yang dominan terlihat pada Gambar 15. Jika nilai komponen Z ≤ -0.5 atau ≥ 0.5 , maka *buzzer* dan LED akan menyala.



Gambar 14. Arah pergerakan sumbu Z pada rangkaian seismometer.



Gambar 15. *Real time plot* dari pergerakan dominan sumbu Z.

F. Pengujian data logger

```
FILE - Notepad
File Edit Format View Help
21/10/2023 13:51:0 X: 0.01 Y: 0.01 Z: 0.00
21/10/2023 13:51:0 X: 0.00 Y: 0.01 Z: 0.01
21/10/2023 13:51:1 X: 0.01 Y: 0.01 Z: 0.00
21/10/2023 13:51:1 X: 0.06 Y: -0.04 Z: 0.01
21/10/2023 13:51:1 X: 0.13 Y: 0.01 Z: 0.03
21/10/2023 13:51:1 X: 0.09 Y: 0.00 Z: 0.00
21/10/2023 13:51:2 X: 0.12 Y: 0.04 Z: 0.00
21/10/2023 13:51:2 X: 0.13 Y: 0.03 Z: 0.01
21/10/2023 13:51:2 X: 0.41 Y: 0.00 Z: 0.01
21/10/2023 13:51:3 X: 0.59 Y: -0.03 Z: 0.04
21/10/2023 13:51:3 X: 0.47 Y: -0.01 Z: -0.07
21/10/2023 13:51:4 X: 0.28 Y: 0.18 Z: -0.09
21/10/2023 13:51:5 X: 0.21 Y: 0.00 Z: 0.01
21/10/2023 13:51:5 X: 0.27 Y: 0.06 Z: 0.01
```

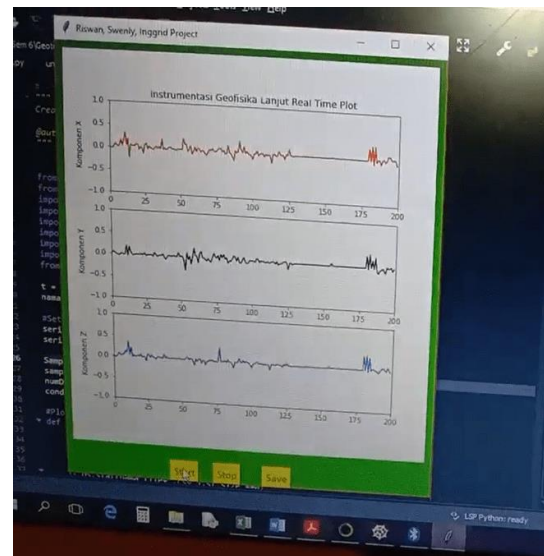
Gambar 16. Hasil data *logger*

Pada hasil Gambar 16 di atas, ditunjukkan 5 kolom yang berturut-turut merupakan tanggal saat ini, waktu saat pengerjaan, komponen x, komponen y, dan komponen z. Berdasarkan hasil data *logger* di atas, dapat dilihat bahwa RTC telah berjalan dengan baik sebagaimana tanggal dan waktu yang diberikan menunjukkan tanggal dan waktu saat pengerjaan.

G. Pengujian dengan gempa buatan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan setelah pengujian dari setiap bagian dari sistem deteksi gempa. Tujuan dari pengujian ini dilakukan untuk mengetahui cara kerja sistem deteksi gempa menggunakan sensor accelerometer ADXL335 berbasis mikro kontroler arduino apakah sudah memenuhi tujuan yang diinginkan.

Pengujian keseluruhan sistem dapat dijelaskan bahwasanya sistem deteksi gempa yang digunakan seperti sensor *accelerometer* ADXL335 dapat berfungsi atau bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Dengan menggunakan tegangan listrik dari *power supply* 12v untuk membunyikan dan mematikan *buzzer* serta LED. Berikut data yang dihasilkan oleh alat pada GUI *real-time plot* yang telah dibuat.



Gambar 17. Tampilan tiap komponen untuk gempa buatan

Pada gambar diatas menunjukkan perubahan besaran gerakan dalam bentuk angka disertai dengan waktu terjadinya getaran. Ini menunjukkan bahwa getaran dapat berubah dalam hitungan detik dan perubahan tersebut juga tergantung pada getaran atau gempa buatan yang diberikan pada sensor. Pada data yang dihasilkan menunjukkan bahwa alat dan GUI yang telah dibuat telah berhasil untuk mendeteksi dan juga menampilkan data dari gempa buatan.

H. Perbandingan dengan Aplikasi Vibrometer

Pengujian hasil keluaran Seismometer dilakukan terhadap ketiga keluaran sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z. Alat bantu yang digunakan untuk proses uji coba yaitu Aplikasi Android Vibrometer. Sensor ditempatkan pada bidang datar sebagai referensi titik nol sejajar permukaan bumi. Galat yang ditampilkan adalah hasil pengurangan data pengukuran (alat) dengan data hasil dari aplikasi. Data lengkap pengujian / validasi hasil keluaran seismometer dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Berdasarkan Tabel 1 dibawah terlihat bahwa pada sumbu X memiliki galat rata-rata 0.0518, pada Tabel 2 sumbu Y memiliki galat rata-rata 0.049 serta pada Tabel 3 sumbu Z memiliki galat rata-rata sebesar 0.093.

Tabel 1. Perbandingan pembacaan sumbu X

No	Time	Sumbu X		
		Alat	Vibrometer	Galat
1	09.13.13	0.12	0.23	0.11
2	09.13.16	0.003	0.0029	0.0001
3	09.13.19	-0.5	-0.33	0.17
4	09.13.22	0.24	0.23	0.01
5	09.13.25	-0.43	-0.33	0.1
6	09.13.28	0.24	0.21	0.03
7	09.13.31	0.54	0.53	0.01
8	09.13.34	-0.23	-0.21	0.02
9	09.13.37	-0.034	-0.034	0
10	09.13.40	0.54	0.49	0.05
11	09.13.43	0.34	0.29	0.05
12	09.13.46	-0.242	-0.3	0.058
13	09.13.49	0.6	0.55	0.05
14	09.13.52	-0.45	-0.5	0.05
15	09.13.55	-0.23	-0.3	0.07
Galat Rata-rata				0.0518

Tabel 2. Perbandingan pembacaan sumbu Y

No	Time	Sumbu Y		
		Alat	Vibrometer	Galat
1	09.13.13	0.5	0.33	0.17
2	09.13.16	0.34	0.22	0.12
3	09.13.19	0.45	0.45	0
4	09.13.22	-0.12	-0.15	0.03
5	09.13.25	-0.23	-0.2	0.03
6	09.13.28	0.12	0.09	0.03
7	09.13.31	0.22	0.24	0.02
8	09.13.34	0.45	0.42	0.03
9	09.13.37	0.33	0.33	0
10	09.13.40	-0.46	-0.42	0.04
11	09.13.43	0.42	0.4	0.02
12	09.13.46	0.7	0.6	0.1
13	09.13.49	0.43	0.31	0.12
14	09.13.52	-0.33	-0.34	0.01
15	09.13.55	0.51	0.53	0.02
Galat Rata-rata				0.049

Tabel 3. Perbandingan pembacaan sumbu Z

No	Time	Sumbu Z		
		Alat	Vibrometer	Galat
1	09.13.13	-0.39	-0.3	0.09
2	09.13.16	0.29	0.3	0.01
3	09.13.19	0.42	0.4	0.02
4	09.13.22	-0.5	0.49	0.99
5	09.13.25	0.25	0.24	0.01
6	09.13.28	-0.43	-0.44	0.01
7	09.13.31	0.53	0.53	0
8	09.13.34	-0.1	-0.2	0.1
9	09.13.37	0.3	0.29	0.01
10	09.13.40	0.41	0.41	0
11	09.13.43	-0.2	-0.23	0.03
12	09.13.46	0.59	0.6	0.01
13	09.13.49	0.1	0.2	0.1
14	09.13.52	-0.53	-0.54	0.01
15	09.13.55	0.41	0.41	0
Galat Rata-rata				0.093

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Seismometer yang dibangun ini mendeteksi gempa bumi dengan sensor ADXL335 yang dipasang pada sistem mikrokontroler Arduino Uno. ADXL335 adalah sistem pengukuran percepatan *triaxial*. Sensor ini memiliki *bandwith* frekuensi yang dapat disesuaikan yang mencakup 0,5 Hz hingga 1.600 Hz untuk sumbu X dan Y, dan 0,5 Hz hingga 550 Hz untuk sumbu Z. Jika mendeteksi getaran dengan amplitudo dan energi yang tinggi, alat ini dapat memberikan peringatan berupa alarm. Untuk memantau data gelombang dari ketiga komponen secara *real-time*, perangkat ini sudah terintegrasi dengan GUI berbasis Python. Sensor akan menghasilkan nilai ADC yang tinggi saat gelombang atau gempa dengan amplitudo besar terjadi. Grafik menunjukkan gelombang amplitudo besar yang menunjukkan gempa bumi. Berdasarkan perbandingan dengan aplikasi Vibrometer pada sumbu X memiliki galat rata-rata 0.0518, pada sumbu Y memiliki galat rata-rata 0.049 serta pada sumbu Z memiliki galat rata-rata sebesar 0.093.

Agar alat ini dapat berfungsi dengan lebih efektif, diperlukan pengembangan lebih kompleks untuk penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Dr. Warsa yang telah memberikan bantuan dana untuk terlaksananya penelitian ini serta memberikan bimbingan hingga penelitian ini telah selesai.

REFERENSI

- [1] A. Rachman, A. Widodo, and J. P. Gnr, "Penentuan Magnitudo Gempa Bumi Dengan Menganalisis Amplitudo Anomali Manetik Prekursor Gempa Bumi Dan Jarak Hypocenter," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [2] Sujono and N. A. Asnuri, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE PENDETEKSI GEMPA BERBASIS WEB SERVER," *Exact Pap. Compil.*, vol. 1, no. 4, pp. 187–194, 2019.
- [3] E. R. Burkett, D. D. Given, and L. M. Jones, "ShakeAlert—An earthquake early warning system for the United States west coast," California, Oregon, Washington, 2014.
- [4] J. A. Strauss and R. M. Allen, "Benefits and Costs of Earthquake Early Warning," *Seismol. Res. Lett.*, vol. 87, no. 3, pp. 765–772, 2016, doi: 10.1785/0220150149.
- [5] Z. Bahri and M. Mungkin, "Penggunaan SCR Sebagai Alarm Peringatan Dini Pada Saat Terjadi Gempa Bumi," *Journal of Electrical Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 101–105, 2019.
- [6] M. S. D. P. Rahman, S. Zahara, and M. Nurjanah, "Design and build of shaking table prototype as short-period seismometer calibrator based on microcontroller," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020.
- [7] A. Charisma, E. Taryana, D. I. Saputra, M. B. Misuari, A. Setiawan, and F. Dharmawan, "Implementasi Sistem Komunikasi FM Pada Prototype Pendeteksi Dini Gempa," *Protek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 60–64, 2020.
- [8] C. K. Ardhi, M. A. R. Y. Murti, R. Nugraha, and S. Pd, "PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI GEMPA MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER DAN SENSOR GETAR (DESIGN OF EARTHQUAKE SENSOR SYSTEM USING ACCELEROMETER AND VIBRACE SENSOR)," 2018, pp. 4019–4027.
- [9] I. G. B. Darmawan, R. Mulyasari, A. Amirudin, and D. Surya, "Uji validasi instrumen akselerometer ADXL345 untuk pengukuran kerentanan gempa dengan metode HVSR," in *Seminar Nasional Hasil Penelitian Sains, Teknik, dan Aplikasi Industri*, 2019.
- [10] R. Kurniawati and M. A. Murti, "Studi Literatur Penggunaan Sensor untuk Sistem Deteksi Gempa," *Proc. Ser. Phys. Form. Sci.*, vol. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.30595/pspfs.v1i.126.
- [11] E. Desifatma, I. R. Kadir, A. Taufik, and P. M. Pratomo, "Integrasi Early Warning System untuk Gempabumi," *J. Fis. Flux J. Ilm. Fis. FMIPA Univ. Lambung Mangkurat*, vol. 19, no. 1, pp. 22–30, 2022, doi: 10.20527/flux.v19i1.9509.