

# PENGGUNAAN SENSOR ADXL335 UNTUK PEMBACAAN *G-FORCE* BEDASARKAN JENIS GEMPA DAN SEBAGAI PERINGATAN DINI

Pandu Sapta Agung Santoso<sup>1\*</sup>, Isac Ilham Akbar Habibi<sup>2</sup>, Septriandi Wirayoga<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9 Jatimulyo, Lowokwaru, Malang, 65141, Telp. (0341) 404424 - 404425, Fax (0341) 404420.

## Keywords:

ADXL335, ESP32, earthquake, accelerometer, *Internet of Things* (IoT).

## Correspondent Email:

psas110203@gmail.com

**Abstrak.** Penelitian ini membahas tentang perancangan dan pengujian sistem deteksi dini gempa bumi menggunakan sensor akselerometer ADXL335 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Sistem ini bertujuan untuk mendeteksi gelombang seismik secara *real-time* dan memberikan peringatan dini kepada masyarakat melalui antarmuka digital. Sensor ADXL335 digunakan untuk membaca percepatan getaran pada tiga sumbu (X, Y, Z), kemudian data diolah oleh ESP32 untuk menentukan tingkat magnitudo gempa. Kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan akselerometer pada *smartphone*, menghasilkan tingkat akurasi di atas 99% pada setiap sumbu. Pengujian sistem dilakukan menggunakan modul gempa buatan berbasis motor DC yang menghasilkan getaran dalam berbagai tingkat intensitas. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi getaran dengan tingkat kesalahan rendah (MAE rata-rata 0,028 0,062 g) dan respons yang stabil. Dengan integrasi IoT, sistem ini berpotensi digunakan sebagai prototipe deteksi dini gempa untuk skala edukasi, riset mitigasi bencana, maupun pemantauan lokal.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

**Abstract.** *This research discusses the design and testing of an earthquake early detection system using an ADXL335 accelerometer sensor integrated with an ESP32 microcontroller. This system aims to detect seismic waves in real-time and provide early warnings to the public through a digital interface. The ADXL335 sensor is used to read vibration acceleration on three axes (X, Y, Z), then the data is processed by the ESP32 to determine the earthquake magnitude level. Sensor calibration is carried out by comparing the measurement results with the accelerometer on a smartphone, resulting in an accuracy level above 99% on each axis. System testing was carried out using a DC motor-based artificial earthquake module that produces vibrations at various intensity levels. The results show that the system is able to detect vibrations with a low error rate (average MAE 0.028 0.062 g) and a stable response. With IoT integration, this system has the potential to be used as a prototype for earthquake early detection for educational purposes, disaster mitigation research, and local monitoring.*

## 1. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah peristiwa alam yang terjadi ketika pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam bumi, yang menimbulkan getaran atau guncangan di permukaan bumi[1]. Energi tersebut biasanya di sebabkan oleh pergerakan

lempeng tektonik, aktivitas vulkanik, atau retakan lainnya di dalam lapisan bumi. Gempa bumi dapat dirasakan di area yang luas dan dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan, tergantung pada kekuatan (magnitudo) dan kedalaman gempa tersebut. Gempa bumi bisa

disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi)[2].

Indonesia merupakan negara dengan beragam pulau yang membentang dari sabang sampai merauke dan memiliki ribuan pulau kecil maupun besar[3]. Negara yang terletak di cincin api pasifik, sebuah jalur yang sangat aktif dalam hal gempa bumi dan aktivitas vulkanik[4]. Karena posisi geografisnya yang berada di antara dua samudra besar (Samudra Pasifik dan Samudra Hindia) dan di pertemuan tiga lempeng tektonik utama (Lempeng Indo Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia). Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat kerawanan gempa bumi tertinggi di dunia, sehingga sangat sering terjadi getaran (gempa) yang menimbulkan gelombang seismik[5]. Gelombang seismik yang dihasilkan oleh gempa bumi menyebar melalui permukaan bumi memiliki kecepatan bervariasi, tergantung pada lokasi dan jenis gelombang seismiknya (Gelombang P, gelombang S, Gelombang permukaan)[6]. Mendeteksi gelombang ini lebih awal, kita dapat memberi peringatan kepada masyarakat untuk mengambil langkah-langkah mitigasi, seperti evakuasi atau perlindungan. Energi yang dihasilkan di pancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat di rasakan hingga permukaan bumi[7].

Peralatan-peralatan pendeteksi gelombang seismik banyak berkembang yang memanfaatkan sensor getar piezo-elektrik atau bisa menggunakan sensor Akselerometer. Dengan berkembangnya alat pendeteksi gelombang seismik (gempa) di wilayah Indonesia khususnya di laut Selatan Pulau Jawa (yang menjadi pertemuan lempeng bumi) mempunyai potensi besar rawan terjadi gempa yang menimbulkan gelombang seismik. Minimnya sarana informasi pasca gempa serta menerapkan teknologi yang tepat guna, sehingga berkembang pula ide untuk membuat alat sistem deteksi dini gelombang seismik berbasis *Internet of Things* guna untuk memberikan informasi. Kemajuan teknologi terus melaju dengan cepat, salah satunya adalah penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam pendeteksian gempa bumi[8]. Menyikapi permasalahan tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem pembacaan *G-Force* menggunakan sensor ADXL335 yang tepat dan efektif, menentukan klasifikasi hasil

pembacaan ADXL335 untuk menghasilkan nilai *G-Force*, serta menguji fungsi kinerja sistem deteksi dini untuk klasifikasi kekuatan gempa.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. ESP 32

ESP32 adalah mikrokontroler generasi berikutnya dari keluarga ESP8266 yang sangat populer[9]. Dibandingkan dengan ESP8266, ESP32 memiliki fitur lebih lengkap dan lebih kuat seperti, Wi-Fi dan *Bluetooth (Classic + BLE)* terintegrasi memungkinkan komunikasi nirkabel yang sangat fleksibel, *Dual-core* (dua inti pemrosesan), Beragam I/O pins, Konsumsi daya rendah, Dukungan untuk berbagai pustaka dan *framework*, termasuk Arduino IDE, MicroPython, dan ESP-IDF (*Espressif IoT Development Framework*). Mikrokontroler ESP32 merupakan mikrokontroler SoC (*System on Chip*) terpadu dengan dilengkapi Wi-Fi 802.11 b/g/n, *Bluetooth* versi 4.2, dan berbagai peripheral menurut[10].

### 2.2. Akselerometer Smartphone

Sensor akselerometer adalah salah satu komponen penting yang tertanam di hampir semua *smartphone* modern. Fungsinya adalah untuk mendeteksi perubahan percepatan dan orientasi perangkat terhadap sumbu tiga dimensi: X (kiri-kanan), Y (atas-bawah), dan Z (depan-belakang). Sensor akselerometer pada *smartphone* biasanya berbasis MEMS (*Micro Electro-Mechanical Systems*), yaitu teknologi mikroelektromekanik yang mengintegrasikan struktur mekanis miniatur dan sirkuit elektronik pada satu chip silikon. Sensor ini mengukur percepatan linear terhadap gravitasi bumi (biasanya dalam satuan  $m/s^2$  atau *G-Force*). Ketika *smartphone* digerakkan, terjadi perubahan tekanan atau kapasitansi antar komponen mikro di dalam sensor. Perubahan tersebut dikonversi menjadi sinyal listrik yang dapat diinterpretasikan oleh sistem operasi. Akselerometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi), serta mengukur percepatan akibat gravitasi[11].

### 2.3. Sensor Akselerometer ADXL335

Sensor Akselerometer adalah perangkat elektromekanis yang akan mengukur gaya percepatan. Alat ini menunjukkan percepatan,

hanya karena gaya gravitasi, yaitu gaya  $g$ . Alat ini mengukur percepatan dalam satuan  $g$ [12].  $1g$  di bumi berarti percepatannya adalah  $9,8 \text{ m/s}^2$ , sedangkan di bulan percepatannya adalah  $1/6$  dari bumi dan di Mars, percepatannya adalah  $1/3$  dari Bumi. Akselerometer dapat digunakan untuk aplikasi penginderaan kemiringan serta akselerasi dinamis yang dihasilkan dari gerakan, guncangan, atau getaran. Modul ADXL335 memberikan pengukuran percepatan 3-sumbu yang lengkap. Modul ini mengukur percepatan dalam rentang  $\pm 3g$  pada sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Sinyal keluaran modul ini adalah tegangan analog yang sebanding dengan percepatan, berisi sensor permukaan mikro polisilikon dan sirkuit pengondisi sinyal. Akselerometer adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur percepatan linier yang disebabkan oleh gerak benda atau percepatan gravitasi bumi[13].

#### 2.4. Switch On/Off

*Switch On/Off* (saklar hidup/mati) adalah komponen sederhana yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik dalam sebuah rangkaian atau sistem. Saklar ini bisa berupa jenis manual atau otomatis, dengan berbagai spesifikasi tergantung pada aplikasi dan kebutuhan penggunaannya.

#### 2.5. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah fenomena alam yang terjadi akibat pelepasan energi dari dalam bumi yang menyebabkan getaran pada permukaan[1]. Getaran ini terjadi karena pergeseran lempeng tektonik, aktivitas vulkanik, atau runtuhnya tanah. Karakteristik utama gempa bumi meliputi lokasi episentrum, magnitudo dan kedalamannya. Gempa dengan magnitudo yang lebih besar atau kedalaman yang dangkal biasanya menyebabkan kerusakan lebih signifikan. Akibat tumbukan antara lempeng itu maka terbentuk daerah penunjaman atau subduksi[14].

Sistem deteksi dini gempa bumi dirancang untuk memberikan peringatan sebelum efek destruktif gempa dirasakan yang dikirim ke telegram dengan bentuk notifikasi *chat*. Sistem ini bekerja dengan mendeteksi gelombang seismik awal (*P-wave*) yang bergerak lebih cepat tetapi kurang merusak dibandingkan gelombang utama (*S-wave*). Informasi ini kemudian digunakan untuk memberikan

peringatan kepada user. Berikut tabel pengelompokan gempa yang dibaca oleh ADXL 335:

**Tabel 1.** Besaran Pembacaan Gelombang Seismik

Besaran Energi Seismik (Magnitudo)	Besaran Energi Seismik ( $G$ -Force)	Status
3M - 4M	0,01g - 0,04g	Gempa Lemah
4,1M - 5M	0,041g - 0,150g	Gempa Kuat
5,1M - $\infty$	0,16 g - $\infty$	Sangat Kuat

#### 2.6. Adaptor dan Sumber DC 12V

Adaptor DC 12V adalah sebuah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus listrik AC (arus bolak-balik) dari sumber daya seperti stopkontak menjadi arus DC (arus searah) dengan tegangan sebesar 12 volt. Adaptor ini banyak digunakan untuk memberi daya pada berbagai peralatan elektronik seperti kamera CCTV, lampu LED strip, router *WiFi*, speaker aktif, dan perangkat *Sevetion* khususnya sebagai sumber daya untuk mengaktifkan sensor ADXL 335 agar bekerja lebih maksimal. Baterai juga termasuk sumber DC tetapi kurang efisien ketika baterai kurang daya atau dalam kondisi lemah.

#### 2.7. Step down LM2596

*Step down* LM2596 adalah modul konversi tegangan berbasis IC LM2596S, yang berfungsi untuk menurunkan (*step down*) tegangan DC dari level tinggi ke level yang lebih rendah secara efisien[15]. Modul ini mampu menerima tegangan input mulai dari 4.5V hingga 40V DC, dan menghasilkan tegangan *output* yang dapat disesuaikan dari 1.25V hingga 37V DC menggunakan potensiometer yang tersedia pada papan modul. Arus maksimum yang dapat disuplai oleh modul ini adalah 2A secara stabil, dan bisa mencapai hingga 3A jika didukung dengan pendingin tambahan (heatsink). LM2596 bekerja dengan sistem *switching* regulator (buck converter), yang membuat efisiensinya cukup tinggi, mencapai hingga 92% tergantung pada perbedaan *input-output* dan beban yang digunakan. Modul ini juga beroperasi pada frekuensi *switching* sekitar 150 kHz, sehingga cukup stabil dan cepat dalam proses konversinya.

#### 2.8. Miniatur Gempa

Miniatur gempa buatan adalah sebuah alat yang dirancang untuk meniru getaran atau guncangan gempa bumi. Modul ini digunakan untuk menguji performa sistem dan untuk menguji keandalan sensor ADXL335. Dalam konteks ini, dua buah motor digunakan untuk menghasilkan getaran yang menyerupai aktivitas gempa. Motor yang digunakan pada modul gempa buatan ini dengan tipe motor DC 775 dengan daya 24v dan menggunakan *driver* BTS79608, ditempatkan di posisi berbeda yang memungkinkan gerak sumbu X dan Y. Motor ini dikendalikan oleh mikrokontroler yaitu ESP32. Cara kerja umum alat ini yaitu mikrokontroler mengaktifkan *driver* yang sudah *support Reverse-forward* lalu motor menghasilkan gerakan putar yang terhubung pada AS ulir yang terhubung pada bidang datar, setelah itu sensor mengambil data pada alat gempa buatan ini.

### 2.9. G-Force

*G-Force* atau gaya gravitasi adalah gaya percepatan yang dirasakan oleh suatu objek atau tubuh ketika mengalami percepatan yang berbeda dari gravitasi bumi. *G-Force* sering diukur dalam satuan "g", di mana 1 g setara dengan percepatan gravitasi bumi, yaitu sekitar  $9,8 \text{ m/s}^2$ [16]. *G-Force* atau *Gravitational Force* merupakan gaya gravitasi atau tekanan yang diterima pada bagian tubuh akibat kekuatan percepatan. maka patokan penghitungan *G-force* juga didasarkan pada gravitasi bumi. Akselerometer adalah sebuah transduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun mengukur percepatan akibat gravitasi bumi, menurut[2]. Cara menghitung percepatan yang dibaca sensor ADXL335 pada sistem ini yaitu dengan menggunakan rumus:  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ .

## 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dan deskriptif. Tujuan dari penelitian adalah perancangan serta pembangunan alat, penelitian deskriptif adalah metode penelitian yang menggambarkan objek penelitian secara mendalam, luas, dan terperinci. Pada penelitian yang akan dilakukan untuk merancang dan membuat sistem deteksi dini gelombang

seismik yang berguna untuk keselamatan dan mitigasi bencana. Proses penelitian simulasi gempa yang dibuat berdasarkan pergerakan tanah dan getaran yang di timbulkan akibat pelepasan energi pada aktivitas didalam bumi.

### 3.1. Alat dan Bahan

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini yaitu, modul sensor ADXL335, ESP32, Input daya 5V. Alat pendukung pengolahan data yang digunakan pada penelitian yaitu multimeter dan laptop.

### 3.2. Tahapan Penelitian

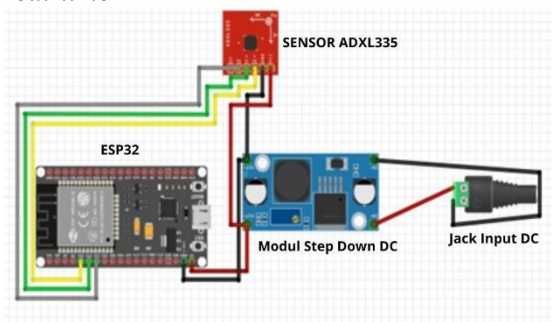
Pada penelitian mengenai pembacaan gelombang seismik menggunakan sensor akselerometer ADXL335 secara *real time*. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan pembuatan sistem sebagai berikut ini:

1. Tahap Pertama kita perlu mengidentifikasi masalah dengan mendeteksi gelombang Seismik menggunakan Sensor ADXL335 dan menetapkan tujuan penelitian.
2. Tahap kedua melakukan penelitian teori seismologi dan prinsip deteksi gempa serta mengkaji sensor ADXL335 dalam deteksi getaran atau gelombang.
3. Tahap ketiga, dengan mendesain sistem yang melibatkan sensor ADXL335 dan ESP32, setelah itu menentukan parameter seismik yang diukur.
4. Tahap keempat, menyiapkan perangkat keras seperti sensor ADXL335, ESP32, serta alat pengolah data seperti laptop dan menyiapkan perangkat lunak untuk pemrograman.
5. Tahap kelima, menghubungkan sensor ke ESP32 dan memastikan sensor dipasang di lokasi.
6. Tahap keenam, mengembangkan kode dan menerapkan algoritma untuk mengidentifikasi dan mengolah sinyal yang masuk dari sensor.
7. Tahap ketujuh, sistem akan di uji dan di evaluasi jika sistem tidak berfungsi dengan normal.
8. Tahap kedelapan, setelah uji kualitas berhasil, maka dilakukan uji coba sistem di miniatur gempa buatan. Mengumpulkan data gelombang seismik dari sensor pengujian.

9. Tahap ke sembilan ini, kita dapat mengolah dan menganalisis data yang terkumpul untuk mendeteksi gelombang seismik kemudian dilakukan perbandingan hasil deteksi sistem dengan data seismik dari alat yang lebih canggih atau data dari sumber lain.
10. Tahap terakhir ini, menyusun laporan penelitian serta menyusun rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut atau penerapan sistem deteksi gelombang seismik berbasis sensor ADXL335.

### 3.3. Blok Diagram Sistem

Sistem pada rangkaian dibawah adalah perangkat berbasis mikrokontroler ESP32 yang dirancang untuk mengumpulkan data gelombang seismik yang telah dibaca oleh sensor akselerometer jenis ADXL335 secara *real-time*.



**Gambar 1.** Rangkaian Sistem

Sistem ini dimulai dengan pengambilan data saat terjadi gempa dan menghasilkan gelombang seismik dari sensor ADXL335. Suplai daya yang dipakai menggunakan adaptor 12V. Data yang diperoleh sensor diolah dalam unit pengolahan untuk memberikan tindakan selanjutnya. Setelah pengolahan data secara detail, *output* data tersebut akan di kirim ke ESP32 pada monitor untuk memberi validasi bahwa terjadi gempa dan mengaktifkan beberapa komponen yang berperan sebagai *output* lagi.

### 3.4. Flowchart Sistem

Sistem dimulai dengan tahap inisialisasi, di mana perangkat ESP32 diaktifkan, terhubung ke jaringan *WiFi*, serta dilakukan kalibrasi sensor akselerometer ADXL335. Setelah proses ini selesai, ESP32 secara terus-menerus membaca data akselerasi yang terdeteksi sensor ADXL335 pada sumbu X, Y, dan Z. Data ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai

magnitudo berdasarkan rumus resultan  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ . Setelah magnitudo dihitung, hasilnya dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditetapkan sebelumnya guna menentukan apakah getaran tersebut termasuk kategori bahaya (gempa) atau kondisi normal. Selanjutnya, ESP32 mengirimkan data magnitudo secara *realtime* ke server melalui koneksi *WiFi*. Jika magnitudo melewati atau sama dengan ambang batas, sistem secara otomatis mengaktifkan aktuator peringatan dini lokal serta memberikan notifikasi melalui *dashboard* atau aplikasi pengguna. Semua data hasil pembacaan juga tersimpan ke dalam database dan ditampilkan secara *realtime* pada *dashboard* atau aplikasi untuk memudahkan pemantauan kondisi seismik secara langsung oleh pengguna

### 3.5. Flowchart Uji Akurasi

Pada proses uji akurasi ADXL335 yang dibandingkan dengan Akselerometer terdapat proses yang mendalam guna mendapatkan nilai terbaik. Berikut ini adalah *flowchart* sistem yang harus di jalani saat uji akurasi sensor ADXL335:

1. Proses dimulai dengan langkah inisialisasi perangkat ESP32. Tahap ini bertujuan untuk mempersiapkan mikrokontroler agar siap melakukan pembacaan data dari sensor ADXL335.
2. Setelah inisialisasi, ESP32 mulai melakukan pembacaan data dari sensor ADXL335. Sensor ini membaca data percepatan dari tiga sumbu: X, Y, dan Z. Pada tahap ini, sistem melakukan pembacaan sumbu X dan -X, sumbu Y dan -Y, serta sumbu Z dan -Z.
3. Sistem memeriksa apakah data dari ketiga sumbu (X, Y, Z) berhasil terbaca. Jika ada pembacaan yang gagal, proses akan kembali melakukan pembacaan sensor ADXL335 hingga data yang diinginkan diperoleh.
4. Pembukaan aplikasi *section* pada *smartphone*, pengguna menjalankan fitur kalibrasi untuk mendapatkan data pembacaan dari *smartphone* pada sumbu X, -X, Y, -Y, Z, -Z.
5. Data pembacaan dari sensor ADXL335 kemudian dibandingkan dengan data dari *smartphone*. Perbandingan ini digunakan

untuk menilai kesesuaian dan keakuratan nilai yang dihasilkan oleh sensor ADXL335.

6. Berdasarkan hasil perbandingan, sistem menghitung akurasi sensor ADXL335 terhadap data acuan dari *smartphone*. Hasil akurasi ini menjadi indikator seberapa baik sensor bekerja.

### 3.6. Flowchart Pengujian

Proses dimulai dengan inisialisasi perangkat ESP32 dan dilanjutkan dengan pemeriksaan apakah sensor perlu dikalibrasi. Jika kalibrasi diperlukan, sistem akan mengaktifkan media simulasi gempa untuk menguji pembacaan sensor. Setelah sensor mendeteksi pergerakan, data yang diperoleh dikirim ke *server Firebase* untuk disimpan. Selanjutnya, data dianalisis dan diklasifikasikan untuk memberikan peringatan dini jika terdeteksi adanya aktivitas seismik. Proses ini berakhir setelah klasifikasi data selesai.

### 3.7. Langkah Kalibrasi Sensor

Proses kalibrasi diawali dengan menyiapkan alat dan system yang terdiri dari sensor ADXL335, ESP32, *Project Board*, kabel *jumper*, dan catu daya 3,3v atau 5v. Sensor dirangkai ke ESP32 dengan pin D32, D33, D34 masing-masing terhubung ke sumbu X, Y, dan Z. Setelah rangkaian selesai, sensor diletakan pada bidang datar dan dibiarkan dalam kondisi diam untuk memperoleh tegangan referensi. Nilai keluaran analog dibaca menggunakan serial monitor dan di konversikan menjadi tegangan dengan rumus  $V = \text{analogRead} \times \frac{V_{cc}}{4095}$ . Nilai tegangan dari ketiga sumbu saat diam di catat sebagai nilai *offset* yang mewakili keadaan 0g. Langkah selanjutnya adalah mengonversi setiap pembacaan sensor ke dalam percepatan (g). Percepatan di hitung menggunakan rumus  $\alpha = \frac{V_{out} - V_{offset}}{S}$ , dengan sensitivitas sensor (S) sebesar 0,33 V/g. Uji keakuratan pada sistem ini dengan memanfaatkan sensor akselerometer pada *smartphone*. Perhitungan ini menghasilkan nilai percepatan dalam satuan gravitasi (g) pada masing-masing sumbu X, Y, dan Z. Untuk memverifikasi hasil kalibrasi, sensor di uji dengan dimiringkan sumbu masing-masing hingga  $\pm 90$  derajat. Dalam kondisi tersebut, nilai percepatan yang ditampilkan diharapkan  $\pm 1g$ . Apabila terjadi

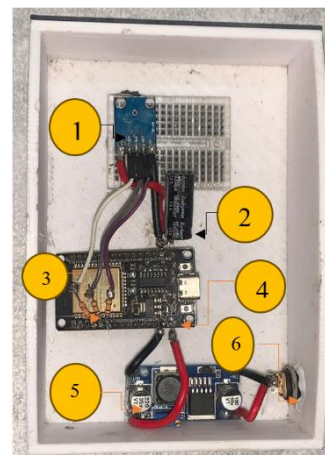
deviasi yang signifikan, maka nilai *offset* dapat disesuaikan kembali atau dilakukan pemeriksaan terhadap kestabilan catu daya dan posisi sensor. Setelah proses validasi berhasil, nilai *offset* yang diperoleh diterapkan kedalam sistem sebagai dasar perhitungan dalam pembacaan data selanjutnya. Agar hasil lebih stabil dan akurat, sistem dapat dilengkapi dengan filter digital seperti *Moving Average* atau Kalman Filter untuk merdam noise pada sinyal sensor. Dengan demikian, proses kalibrasi ini diharapkan mampu meningkatkan keandalan sensor ADXL335 dalam mendeteksi getaran yang menyerupai aktivitas seismik.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Rangkaian Sensor dan Alat

Sistem yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor ADXL335 sebagai alat pembaca getaran tiga sumbu (X,Y,Z). Mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data sensor dan sumber daya 12v yang diturunkan menjadi 5v untuk memberi catu daya pada ESP32. Perakitan diatas *project board* dengan koneksi analog dari sensor ke pin D32,D33,D34 pada ESP32 dan pin Vcc 3,3v dan GND. Setelah perakitan selesai, maka langkah selanjutnya dilakukan uji coba awal untuk memastikan sensor dan dapat membaca data dengan stabil dan valid.

Rangkaian pada sensor ini ada penambahan resistor dan *elco* sebagai penyaring atau filter untuk menghilangkan *noise* pada proses pembacaan gelombang seismik. Berikut adalah gambar rangkian pada BOX sensor sistem *Sevetion*.

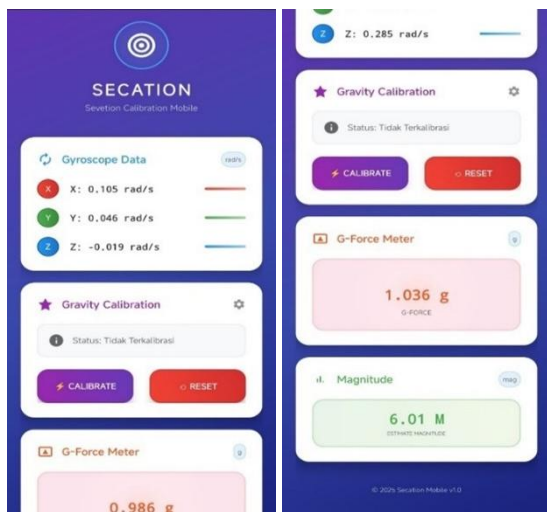


Gambar 2. Rangkaian BOX sensor sistem *Sevetion*

Berdasarkan rangkaian di atas, terdapat enam bagian yaitu, 1. Sensor ADXL335, 2. *Elco*, 3. Resistor, 4. ESP32, 5. *Step down*, 6. *Jack Input DC*. Gambar di atas memperlihatkan bahwa keseluruhan semua komponen terhubung dengan ESP32 di dalam *box custom* yang sudah di rancang, merupakan tempat mengolah data dan melakukan perintah sesuai program yang dibuat.

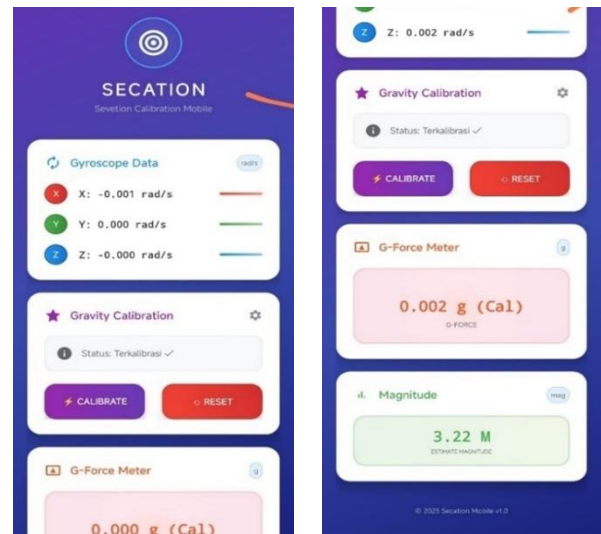
#### 4.2. Uji Akurasi Sensor akselerometer pada Smartphone

Pembandingan yang digunakan untuk mendapatkan hasil valid pada sensor ADXL335 dengan memanfaatkan sensor akselerometer pada *Smartphone*. Langkah awal, dilakukan kalibrasi akselerometer pada *smartphone* terlebih dahulu, dengan cara meletakkan *smartphone* di permukaan datar dan stabil guna mencari titik  $\pm 0,000g$  dengan cara menekan fitur kalibrasi dan membutuhkan delay  $\pm 3s$ .



**Gambar 3.** Uji Akurasi Sensor ADXL335 Sebelum Terkalibrasi

Seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas, dimana aplikasi dan *gyro* pada *smartphone* belum terkalibrasi sehingga nilai (g) masih di atas 0,000. Terdapat fitur kalibrasi pada aplikasi tersebut, posisi *smartphone* harus stabil dan tidak ada kemiringan pada saat kalibrasi sehingga (*G-Force* meter) bisa mendekati nilai 0,000g saat posisi *smartphone* diam atau di taruh bidang datar. Setelah klik fitur kalibrasi, tampilan pada aplikasi akan berubah seperti gambar berikut:



**Gambar 4.** Uji Akurasi Sensor ADXL335 Setelah Terkalibrasi

#### 4.3. Keakuratan Sensor ADXL335 dengan Akselerometer pada Smartphone

Percobaan dilakukan dengan cara berulang sebanyak 5 kali percobaan dengan cara memiringkan sensor dan *smartphone* dengan kemiringan dan radian yang sama  $\pm 90$  derajat pada setiap sumbu.

1. Pengujian akurasi sumbu X+ pada Sensor ADXL335 dan Akselerometer pada *smartphone* dengan satuan (g).

**Tabel 2.** Pengujian akurasi sumbu X+

Percobaan	Sensor ADXL335		Smartphone		Selisih Sumbu X+	Nilai Error
	Sumbu X+ (g)	Percobaan	Sumbu X+ (g)	Percobaan		
1	1,07	1	1,15	1	0,079	0,079
2	1,05	2	1,24	2	0,189	0,189
3	0,99	3	1,20	3	0,209	0,209
4	0,99	4	1,22	4	0,229	0,229
5	1,22	5	1,45	5	0,229	0,229
6	1,26	6	1,22	6	0,040	0,040
7	1,05	7	1,15	7	0,099	0,099
8	1,20	8	1,20	8	0,0	0,0
9	0,99	9	1,15	9	0,159	0,159
10	1,26	10	1,22	10	0,040	0,040
Rata-rata					0,111	10,365

Hasil pengujian akurasi sumbu X+ didapatkan nilai selisih antara sensor ADXL335 dengan Akselerometer pada *Smartphone* dengan rata-rata selisih 0,19 dan rata-rata persentase eror 0,14%.

2. Pengujian akurasi sumbu X- pada Sensor ADXL335 dan Akselerometer pada *smartphone* dengan satuan (g).

**Tabel 3.** Pengujian akurasi sumbu X-

Sensor ADXL335		Smartphone		Selisih Sumbu X-	Nilai Error
Percobaan	Sumbu X- (g)	Percobaan	Sumbu X- (g)		
1	1,19	1	1,40	0,209	15,0
2	1,29	2	1,41	0,119	8,510
3	1,31	3	1,52	0,209	13,815
4	1,29	4	1,49	0,199	13,422
5	0,98	5	1,20	0,219	18,333
6	1,2	6	1,26	0,060	4,761
7	1,33	7	1,41	0,079	5,673
8	1,29	8	1,26	0,030	2,380
9	1,31	9	1,40	0,089	6,428
10	1,26	10	1,20	0,060	5,000
Rata-rata				0,109	9,332

Hasil pengujian akurasi sumbu X- didapatkan nilai selisih antara sensor ADXL335 dengan Akselerometer pada Smartphone dengan rata-rata selisih 0,192 dan rata-rata persentase error 0,13%.

3. Pengujian akurasi sumbu Y+ pada Sensor ADXL335 dan Akselerometer pada smartphone dengan satuan (g).

**Tabel 4.** Pengujian akurasi sumbu Y+

Sensor ADXL335		Smartphone		Selisih Sumbu Y+	Nilai Error
Percobaan	Sumbu Y+ (g)	Percobaan	Sumbu Y+(g)		
1	1,09	1	1,31	0,219	16,793
2	0,99	2	1,19	0,199	16,806
3	1,14	3	1,35	0,210	15,555
4	1,28	4	1,43	0,149	10,489
5	1,17	5	1,30	0,130	10,000
6	1,14	6	1,19	0,050	4,201
7	1,17	7	1,19	0,020	1,680
8	1,20	8	1,25	0,050	4,000
9	1,26	9	1,28	0,020	1,562
10	1,14	10	1,19	0,050	4,201
Rata-rata				0,110	8,529

Hasil pengujian akurasi sumbu Y+ didapatkan nilai selisih antara sensor ADXL335 dengan Akselerometer pada Smartphone dengan rata-rata selisih 0,182 dan rata-rata persentase error 0,13%.

4. Pengujian akurasi sumbu Y- pada Sensor ADXL335 dan Akselerometer pada smartphone dengan satuan (g).

**Tabel 5.** Pengujian akurasi sumbu Y-

Sensor ADXL335		Smartphone		Selisih Sumbu Y-	Nilai Error
Percobaan	Sumbu Y- (g)	Percobaan	Sumbu Y- (g)		
1	1,38	1	1,39	0,010	0,719

2	1,12	2	1,26	0,139	11,111
3	1,19	3	1,3	0,110	8,461
4	1,13	4	1,34	0,210	15,671
5	1,10	5	1,31	0,209	16,030
6	1,25	6	1,28	0,030	2,343
7	1,30	7	1,34	0,040	2,985
8	1,15	8	1,20	0,050	4,166
9	1,20	9	1,26	0,060	4,761
10	1,33	10	1,34	0,010	0,746
Rata-rata				0,087	6,699

Hasil pengujian akurasi sumbu Y- didapatkan nilai selisih antara sensor ADXL335 dengan Akselerometer pada Smartphone dengan rata-rata selisih 0,136 dan rata-rata persentase error 0,7%.

5. Pengujian akurasi sumbu Z+ pada Sensor ADXL335 dan Akselerometer pada smartphone dengan satuan (g).

**Tabel 6.** Pengujian akurasi sumbu Z+

Sensor ADXL335		Smartphone		Selisih Sumbu Z+	Nilai Error
Percobaan	Sumbu Z+ (g)	Percobaan	Sumbu Z+(g)		
1	1,18	1	1,31	0,130	9,923
2	1,12	2	1,39	0,269	19,424
3	1,24	3	1,40	0,159	11,428
4	1,28	4	1,39	0,109	7,913
5	1,33	5	1,40	0,069	4,999
6	1,20	6	1,25	0,050	4,000
7	1,26	7	1,31	0,050	3,816
8	1,17	8	1,20	0,030	2,500
9	1,20	9	1,25	0,050	4,000
10	1,18	10	1,20	0,020	1,666
Rata-rata				0,093	6,967

Hasil pengujian akurasi sumbu Z+ didapatkan nilai selisih antara sensor ADXL335 dengan Akselerometer pada Smartphone dengan rata-rata selisih 0,148 dan rata-rata persentase error 0,1%.

6. Pengujian akurasi sumbu Z- pada Sensor ADXL335 dan Akselerometer pada smartphone dengan satuan (g).

**Tabel 7.** Pengujian akurasi sumbu Z-

Sensor ADXL335		Smartphone		Selisih Sumbu Z-	Nilai Error
Percobaan	Sumbu Z- (g)	Percobaan	Sumbu Z- (g)		
1	1,34	1	1,30	0,040	3,076
2	1,17	2	1,41	0,240	17,021
3	1,48	3	1,53	0,050	3,267
4	1,4	4	1,48	0,080	5,405
5	1,39	5	1,53	0,140	9,150
6	1,20	6	1,28	0,080	6,250

Sensor ADXL335		Smartphone		Selisih Sumbu Z-	Nilai Error
Percobaan	Sumbu Z- (g)	Percobaan	Sumbu Z- (g)		
7	1,28	7	1,30	0,020	1,538
8	1,30	8	1,33	0,030	2,255
9	1,28	9	1,37	0,090	6,569
10	1,20	10	1,28	0,080	6,250
Rata-rata				0,077	6,078

Hasil pengujian akurasi sumbu Z- didapatkan nilai selisih antara sensor ADXL335 dengan Akselerometer pada Smartphone dengan rata-rata selisih 0,19 dan rata-rata persentase error 0,12%.

#### 4.4. Akurasi dan Validasi Pembacaan Sensor ADXL335

Berdasarkan penelitian ini, dilakukan perhitungan setiap sumbu yang sudah diuji dengan menggunakan rumus akurasi yaitu Akurasi ketelitian sensor = 100% - Persentase error. Nilai yang didapatkan pada perhitungan akurasi sensor ADXL335 dengan sensor akselerometer pada smartphone sebagai berikut:

**Tabel 8.** Akurasi dan Validasi Pembacaan Sensor ADXL335

No.	Sumbu	Nilai Akurasi
1.	X+	89,63%
2.	X-	90,668%
3.	Y+	91,471%
4.	Y-	93,301%
5.	Z+	93,033%
6.	Z-	93,922%

Validasi terhadap alat ukur standar menunjukkan akurasi pengukuran berada dalam rentang toleransi yang sangat kecil, menandakan keandalan sistem dalam mendeteksi perubahan gerak.

#### 4.5. Pengujian Pada Modul Simulasi Gempa Buatan

Pengujian sensor ADXL335 dilakukan menggunakan alat simulasi gempa yang dirancang secara mandiri, sumber getaran berasal dari dua buah motor DC tipe 775. Kecepatan motor dikendalikan secara manual menggunakan sebuah potensiometer yang terhubung dengan sistem PWM (*Pulse Width*

*Modulation*) dengan batas maksimum pengaturan hingga nilai PWM 50. Sensor ADXL335 dipasang pada platform uji yang terhubung langsung dengan struktur getar. Pengujian getaran ini disimulasikan seperti layaknya gempa sungguhan yang berlangsung selama 5 sampai 20 detik dengan Bergeraknya bidang datar pada modul gempa buatan yang digerakan oleh 2 motor DC dengan struktur gerak yang berbeda.

##### 1. Pengujian 1

Pengujian pertama ini dengan cara menggerakkan motor X (motor 1) dengan tipe bergerak ke depan dan belakang (gerakan horizontal). Hasil yang didapat pada pengujian pertama dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 9.** Pengujian 1 Pada Modul Gempa Buatan Menggerakkan Motor X

Pengujian 1 Pada Modul Gempa Buatan Menggerakkan Motor X				
PWM Speed	Pembacaan Sensor ADXL335			
	X	Y	Z	G-Force
5	2058	2050	2041	0,00
10	2053	2197	2061	0,04
15	2067	2098	2058	0,14
20	2053	2106	2063	0,23
25	2055	2109	2048	0,35
30	2051	2102	2048	0,49
35	2054	2073	2048	0,5
40	2050	2100	2043	0,52
45	2046	1863	2035	0,54
50	2025	1849	2025	0,5

Pada pengujian pertama, nilai terendah yang didapatkan adalah 0,04 dan nilai tertinggi yang di dapatkan adalah 0,54. Nilai dari hasil pengujian yang didapatkan kemudian diklasifikasikan sebagai peringatan dini sesuai *G-Force* yang dihasilkan dari pengujian pertama.

**Tabel 10.** Klasifikasi Peringatan Dini Sesuai *G-Force* yang Dihasilkan dari Pengujian 1

Klasifikasi Peringatan Dini Sesuai <i>G-Force</i> Yang Dihasilkan Dari Pengujian 1			
G-Force	Skala MMI	Deskripsi	Status
0	II	Hanya dirasakan oleh beberapa orang dalam keadaan tenang, terutama dilantai atas gedung	Gempa Lemah
0,04			
0,14	V	Terasa hampir semua orang. Barang yang tergantung bisa goyang, pintu berderit. Beberapa orang bangun dari tidur	Sangat Kuat
0,23	VI	Banyak orang ketakutan, berapa barang jatuh, retakan dinding mungkin jatuh	Sangat Kuat

0,35	VII	Kerusakan ringan pada bangunan lemah. Orang sulit berdiri, benda besar berpindah posisi	Sangat Kuat
0,49			
0,5			
0,5			
0,52			
0,54			

Tabel diatas menunjukkan bahwa nilai terendah yaitu 0,04 diklasifikasikan ke dalam skala MMI II dengan status gempa lemah, serta nilai tertinggi yaitu 0,54 diklasifikasikan ke dalam skala MMI VII dengan status gempa sangat kuat.

2. Pengujian 2

Pengujian kedua ini dengan cara menggerakkan motor Y (motor 2) dengan tipe bergerak ke kanan dan ke kiri (gerakan horizontal). Hasil yang didapat pada pengujian kedua dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 11.** Pengujian 2 pada Modul Gempa Buatan Menggerakkan Motor Y

Pengujian 2 Pada Modul Gempa Buatan Menggerakkan Motor Y				
PWM Speed	Pembacaan Sensor ADXL335			
	X	Y	Z	G-Force
5	2058	2049	2040	0,00
10	2190	2053	2060	0,04
15	2100	2067	2060	0,16
20	2199	2053	2049	0,31
25	2101	2055	2048	0,44
30	2101	2052	2048	0,46
35	1865	2054	2048	0,54
40	1868	2050	2044	0,55
45	1872	2047	2032	0,56
50	2109	2022	2022	0,46

Pada pengujian kedua, nilai terendah yang didapatkan adalah 0,04 dan nilai tertinggi yang di dapatkan adalah 0,56. Nilai dari hasil pengujian yang didapatkan kemudian diklasifikasikan sebagai peringatan dini sesuai *G-Force* yang dihasilkan dari pengujian kedua.

**Tabel 12.** Klasifikasi Peringatan Dini Sesuai *G-Force* yang Dihasilkan dari Pengujian 2

Klasifikasi Peringatan Dini Sesuai <i>G-Force</i> Yang Dihasilkan Dari Pengujian 2			
<i>G-Force</i>	Skala MMI	Deskripsi	Status
0	II	Hanya dirasakan oleh beberapa orang dalam keadaan tenang, terutama dilantai atas gedung	Gempa Lemah
0,04			
0,16	V	Terasa hampir semua orang. Barang yang tergantung bisa goyang, pintu berderit. Beberapa orang bangun dari tidur	Sangat Kuat

0,31	VI	Banyak orang ketakutan, berapa barang jatuh, retakan dinding mungkin jatuh	Sangat Kuat
0,44	VII	Kerusakan ringan pada bangunan lemah. Orang sulit berdiri, benda besar berpindah posisi	Sangat Kuat
0,46			
0,46			
0,54			
0,55			
0,56			

Tabel diatas menunjukkan bahwa nilai terendah yaitu 0,04 diklasifikasikan ke dalam skala MMI II dengan status gempa lemah, serta nilai tertinggi yaitu 0,56 diklasifikasikan ke dalam skala MMI VII dengan status gempa sangat kuat.

3. Pengujian 3

Pengujian ketiga ini menggerakkan motor X dan Y (motor 1 dan 2) dengan tipe bergerak perpaduan antara gerakan depan kanan dan kiri belakang (gerakan horizontal). Hasil yang didapat pada pengujian ketiga dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 13.** Pengujian 3 Pada Modul Gempa Buatan Menggerakkan Motor Y dan X

Pengujian 3 Pada Modul Gempa Buatan Menggerakkan Motor Y dan X					
PWM Speed Motor		Pembacaan Sensor ADXL335			
		X	Y	Z	G-Force
X	Y				
5	50	2066	2233	2091	0,5
10	45	2089	2236	2031	0,52
15	40	2110	2215	2081	0,48
20	35	2134	2199	2078	0,47
25	30	2171	2196	2041	0,52
30	25	2185	2162	2023	0,48
35	20	2219	2145	2066	0,53
40	15	2232	2117	1987	0,53
45	10	2204	2082	2075	0,43
50	5	2259	2069	2027	0,57

Pada pengujian ketiga, nilai terendah yang didapatkan adalah 0,43 dan nilai tertinggi yang di dapatkan adalah 0,57. Nilai dari hasil pengujian yang didapatkan kemudian diklasifikasikan sebagai peringatan dini sesuai *G-Force* yang dihasilkan dari pengujian ketiga.

Klasifikasi Peringatan Dini Sesuai <i>G-Force</i> Yang Dihasilkan Dari Pengujian 3			
<i>G-Force</i>	Skala MMI	Deskripsi	Status
0,43	VII	Kerusakan ringan pada bangunan lemah. Orang sulit berdiri, benda besar berpindah posisi	Sangat Kuat
0,47			
0,48	VII	Kerusakan ringan pada bangunan lemah. Orang sulit berdiri, benda besar berpindah posisi	Sangat Kuat

0,48	VII	Kerusakan ringan pada bangunan lemah. Orang sulit berdiri, benda besar berpindah posisi	Sangat Kuat
0,5	VII	Kerusakan ringan pada bangunan lemah. Orang sulit berdiri, benda besar berpindah posisi	Sangat Kuat
0,52			
0,52			
0,53			
0,53			
0,57			

Tabel diatas menunjukkan bahwa nilai terendah yaitu 0,43 diklasifikasikan ke dalam skala MMI VII dengan status gempa sangat kuat, serta nilai tertinggi yaitu 0,57 diklasifikasikan ke dalam skala MMI VII dengan status gempa sangat kuat.

#### 4.6. Hubungan PWM Speed dengan G-Force

Kecenderungan *G-Force* meningkat seiring bertambahnya PWM *Speed*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan motor rendah, percepatan getaran meningkat cepat, namun pada kecepatan tinggi, sensor mendeteksi gaya yang relatif stabil karena motor mencapai batas mekanis atau respons getaran maksimum.

1. Motor X: *G-Force* meningkat seiring kenaikan PWM *Speed* hingga sekitar 40, setelah itu cenderung stabil (sekitar 0.52).
2. Motor Y: Tren mirip dengan Motor X, tetapi *G-Force* mencapai puncak sedikit lebih tinggi, yaitu sekitar 0.56 pada PWM 45.
3. Motor X-Y: Nilai *G-Force* relatif stabil di kisaran 0.48–0.57 dengan kecenderungan fluktuatif.

#### 4.7. Statistik Deskriptif

Nilai rata-rata *G-Force* pada Motor X adalah 0,331g dengan rentang 0,00g hingga 0,54g. Standar deviasi sebesar 0,2116 menunjukkan variasi yang cukup besar, terutama pada kecepatan rendah hingga menengah. Nilai rata-rata *G-Force* pada Motor Y adalah 0,352g, dengan nilai maksimum mencapai 0,56g. Standar deviasinya 0,2131 menandakan tingkat fluktuasi yang setara. Kombinasi Motor X-Y menghasilkan rata-rata *G-Force* paling tinggi, yaitu 0,503g, dengan rentang 0,43g hingga 0,57g. Standar deviasi hanya 0,0394, yang berarti nilai *G-Force* lebih stabil dibandingkan pengujian satu motor saja, hal ini mendukung

temuan bahwa penggunaan dua motor secara bersamaan memberikan hasil getaran yang lebih konsisten dan merata.

#### 4.8. Temuan Penting

Berdasarkan hasil analisis data percobaan pada Motor X, Motor Y, dan kombinasi Motor X-Y, ditemukan beberapa hal yang menjadi temuan penting. Pada rentang PWM rendah (5–25), kenaikan *G-Force* bersifat hampir *linear*, di mana setiap penambahan kecepatan motor berbanding lurus dengan kenaikan percepatan getaran. Setelah mencapai PWM sekitar 30–40, peningkatan *G-Force* mulai melambat dan cenderung mendatar (*plateau*), hal ini mengindikasikan adanya batas kemampuan motor dalam menghasilkan getaran tambahan atau keterbatasan sensor ADXL335 dalam mendeteksi perubahan percepatan pada level tinggi.

Motor Y menunjukkan performa lebih baik dibanding Motor X. Pada setiap titik PWM, Motor Y menghasilkan *G-Force* yang lebih tinggi. Motor Y memiliki efisiensi getaran yang lebih besar, kemungkinan disebabkan oleh konstruksi atau arah pergerakan motor yang lebih optimal. Selain itu, kombinasi Motor X-Y memberikan hasil paling signifikan dan stabil jauh lebih tinggi dibanding Motor X maupun Motor Y secara terpisah. Oleh karena itu penggunaan dua motor secara bersamaan lebih direkomendasikan untuk menghasilkan getaran yang kuat dan stabil.

#### 4.9. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini telah berhasil menunjukkan bahwa sensor ADXL335 dapat digunakan sebagai pengukur percepatan gempa buatan yang cukup akurat bila dibandingkan dengan akselerometer *smartphone*. Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan teknis dan metodologis yang perlu diperhatikan, baik untuk penafsiran hasil saat ini maupun sebagai acuan untuk penelitian lanjutan. Keterbatasan tersebut dijelaskan karena rentang uji hanya sampai 0,6(G, belum merepresentasi gempa kuat (>1(G).

### 5. KESIMPULAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data terhadap sensor ADXL335 pada simulasi gempa buatan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pendeteksian *G-Force* dirancang dengan menggabungkan sensor akselerometer ADXL335 dan mikrokontroler ESP32, yang berperan sebagai pembaca dan pemroses data percepatan tiga arah (X, Y, dan Z). Sensor ini menghasilkan sinyal tegangan analog yang kemudian diubah menjadi nilai percepatan dalam satuan *G-Force* melalui perhitungan berdasarkan tegangan referensi dan sensitivitas sensor sebesar 330 mV/g. Untuk meningkatkan kestabilan dan keakuratan pembacaan, sistem dilengkapi komponen penyaring (resistor dan kapasitor) guna meredam *noise*, serta dilakukan proses kalibrasi dalam kondisi diam. ADC 10-bit milik ESP32, sistem ini terbukti memiliki sensitivitas tinggi dalam merespons getaran ringan dan memberikan hasil pembacaan yang stabil dan reliabel.
  2. Nilai percepatan (*G-Force*) diperoleh melalui proses konversi selisih antara *output* tegangan sensor dan tegangan *offset*, dibagi sensitivitas sensor. Selanjutnya, nilai ini dikalikan dengan konstanta percepatan gravitasi bumi untuk memperoleh nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*). Dengan demikian, sistem mampu memberikan kategori tingkat guncangan secara kuantitatif berdasarkan hasil pembacaan sensor.
  3. Berdasarkan uji coba pada simulasi gempa buatan yang digerakkan oleh dua motor DC dengan variasi PWM, sistem berbasis ADXL335 menunjukkan kemampuan untuk mengamati fluktuasi percepatan secara *real time* dan akurat. Dengan akurasi pengukuran di atas 89% pada semua sumbu dan hasil yang mendekati sensor referensi (*smartphone*), sistem ini dinilai layak sebagai perangkat peringatan dini gempa.
- 5.2. Saran**
1. Pengembangan Modul: Untuk meningkatkan akurasi simulasi gempa buatan, disarankan menggunakan motor dengan kecepatan dan torsi lebih tinggi agar dapat menghasilkan *G-Force* >1 G, sehingga dapat merepresentasikan gempa dengan skala besar.
  2. Penyempurnaan Kalibrasi: Kalibrasi sensor perlu dilakukan secara lebih detail dengan alat pembanding profesional atau data laboratorium seismik agar pengukuran lebih presisi.
  3. Penerapan Filter Digital: Mengingat sensor ADXL335 rentan terhadap *noise*, penambahan filter digital (seperti *low-pass filter*) pada mikrokontroler ESP32 dapat membantu menghasilkan data yang lebih stabil.
  4. Penggunaan Data Nyata: Disarankan membandingkan hasil simulasi dengan data gempa nyata dari BMKG untuk validasi lebih lanjut terhadap kinerja sensor dan sistem simulasi gempa buatan.
  5. Riset Lanjutan: Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memanfaatkan sensor akselerometer lain dengan sensitivitas lebih tinggi (misalnya ADXL345 atau MPU6050) untuk melihat perbandingan performa dan akurasi terhadap ADXL335.
  6. Penelitian selanjutnya bisa mencapai 0,6 g atau lebih karena performa tersebut belum dievaluasi.
  7. Saat proses akurasi sensor ADXL335 lebih baik menggunakan beberapa merk *smartphone* yang berbeda yang dapat mempengaruhi hasil.
- DAFTAR PUSTAKA**
- [1] Z. Bahri, M. Mungkin, and I. Pendahuluan, "Penggunaan SCR Sebagai Alarm Peringatan Dini Pada Saat Terjadi Gempa Bumi," 2019.
  - [2] M. T. Nada Rona Atika Nasution, Ainun Alfa Natasya, Muhammad Rusdi, S.T., "IMPLEMENTASI SENSOR ACCELEROMETER SEBAGAI SISTEM ALARM PENDETEKSI GEMPA BERBASIS IOT," pp. 855–864, 2022.
  - [3] S. F. A. Zahra and F. U. Najicha, "Pentingnya Menerapkan Nilai-Nilai Pancasila di Tengah Kemajemukan," *J. Rontal Keilmuan Pancasila dan Kewarganegaraan*, vol. 8, no. 2, pp. 62–64, 2022.
  - [4] R. Rismawati, *Panduan Keselamatan Saat Gempa Bumi*. Diva Press, 2021.
  - [5] M. Maulana *et al.*, "KLAUSTERISASI KERAWANAN GEMPA BUMI DI INDONESIA MENGGUNAKAN ALGORITMA INVASIVE WEED OPTIMIZATION," vol. 9, no. 4, pp. 7158–7165, 2025.

- [6] A. R. Timor, H. Andre, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Andalas, “YANG DITIMBULKAN OLEH GEJALA GEMPA,” no. 3, 2016.
- [7] N. S. Bengi, “PROTOTYPE SISTEM PENDETEKSI GEMPA BUMI DAN PERINGATAN,” vol. 8, no. 1, pp. 138–144, 2024.
- [8] R. Pratiwi, L. D. Samsumar, A. Akbar, and U. T. Mataram, “RANCANG BANGUN PROTOTYPE SISTEM PENDETEKSI GEMPA,” vol. 1, no. 4, pp. 294–303, 2024.
- [9] D. E. Putra *et al.*, *Konsep Dasar Internet of Things (IoT) dengan Mikrokontroler ESP32*. Pustaka Galeri Mandiri, 2025.
- [10] M. Nizam, H. Yuana, F. T. Informasi, U. Islam, B. Blitar, and M. D. Switch, “MIKROKONTROLER ESP 32 SEBAGAI ALAT MONITORING PINTU BERBASIS WEB,” vol. 6, no. 2, pp. 767–772, 2022.
- [11] A. Suciarahmat, Y. Pramudya, and A. S. A. Monitor, “Aplikasi Sensor Smartphone dalam Eksperimen Penentuan Percepatan Gravitasi,” vol. XIX, pp. 10–13, 2015.
- [12] M. Hardjianto and A. Aryasanti, “Pengembangan Deteksi Jatuh pada Manusia Menggunakan Metode Threshold Berbasis Data Akselerometer pada Smartphone,” vol. 10, no. 1, pp. 128–133, 2024.
- [13] I. Setiawan, B. Setiyono, and T. B. Susilo, “Hasil Uji Kalibrasi Sensor Accelerometer,” pp. 118–122.
- [14] A. T. Guntur Pasau, “PEMODELAN SUMBER GEMPA DI WILAYAH SULAWESI UTARA EARTHQUAKE SOURCE MODELING OF NORTH SULAWESI REGION AS,” no. Gambar 1, 2011.
- [15] S. A. Panjaitan, P. Gunoto, and M. Algusri, “RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI DAN MONITORING PENGGUNAAN PEMBATAAN ARUS LISTRIK BERBASIS IoT ( INTERNET OF THINGS ),” pp. 1–10, 2020.
- [16] F. Afrianto, D. J. Putra, H. Kurniawati, and A. Hasdi, “PROSIDING SNIPS 2018 Studi Analisis Mekanika Fisika dalam Lintasan Loop the Loop Berbentuk Clothoid pada Roller Coaster,” pp. 247–253, 2018.