

RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI GEMPA BUMI DAN PERINGATAN DINI BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN ESP 32

Muhamad Raihansyah^{1*)}, Sunardi¹, Kartika Sekarsari¹, Agi Tama¹

¹Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Indonesia

*Penulis korespondensi, E-mail: raihansyah716@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah cincin api sehingga membuat wilayah Indonesia rawan sekali terhadap bencana alam gempa bumi. Oleh karena itu diperlukan sistem yang dapat memberikan peringatan dini yang cepat untuk meminimalisir korban jiwa. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem deteksi dan peringatan dini gempa bumi berbasis *internet of things*(IoT) menggunakan mikrokontroler ESP 32 dengan kombinasi sensor MPU6050 dan sensor getar SW-420. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi getaran dan mengukur percepatan tanah atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) melalui 3 sumbu sensor MPU6050. Data percepatan yang diperoleh dari MPU6050 dikonversi dari satuan g ke satuan cm/s^2 dan dihitung untuk menentukan estimasi tingkat intensitas gempa berdasarkan skala *Modified Mercalli Intensity*(MMI). Apabila nilai percepatan melebihi ambang batas tertentu, sistem akan mengaktifkan peringatan lokal berupa buzzer serta mengirimkan *notifikasi* melalui aplikasi Telegram. Selain itu, data hasil pengukuran dikirimkan secara *real-time* ke *platform* ThingSpeak untuk keperluan *monitoring* dan pencatatan data. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan melakukan kalibrasi sensor melalui pengambilan 5.000 sampel data statis untuk meminimalkan nilai *offset*. Pengujian sistem dilakukan dengan simulasi getaran menggunakan sumber getaran buatan serta uji linearitas sensor pada beberapa sudut kemiringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan percepatan secara konsisten dengan tingkat kesalahan yang masih dalam batas toleransi untuk sistem prototype. Sistem yang dirancang dapat berfungsi sebagai alat pendukung peringatan dini gempa berbasis lokal, meskipun belum dapat menggantikan sistem pemantauan seismik resmi.

Kata kunci: Gempa Bumi, ESP 32, IoT, MPU6050, Skala MMI, Telegram, PGA

Abstract

Indonesia is a country situated in the Ring of Fire, making its territory highly vulnerable to natural disasters, including earthquakes. Therefore, a system that can provide early warning is needed to minimize casualties. This study aims to design an earthquake detection and early warning system based on the Internet of Things (IoT) using the ESP32 microcontroller with a combination of MPU6050 sensor and SW-420 vibration sensor. The system is designed to detect vibrations and measure Peak Ground Acceleration (PGA) through 3 MPU6050 sensor axes. The acceleration data obtained from MPU6050 were converted from g to cm/s^2 and calculated to determine the estimated earthquake intensity level based on the Modified Mercalli Intensity (MMI) scale. If the acceleration value exceeds a certain threshold, the system will activate local alerts in the form of buzzers and send notifications through the Telegram application. In addition, the measurement data is sent in real-time to the ThingSpeak platform for monitoring and data recording purposes. The research method used is experimental, by calibrating the sensor by taking 5,000 static data samples to minimize offset values. The system test was carried out by simulating vibration using an artificial vibration source as well as testing the linearity of the sensor at several tilt angles. The test results showed that the sensor was able to detect acceleration changes consistently with an error rate that was still within the tolerance limits for the prototype system. The designed system can serve as a support tool for locally-based earthquake early warning, although it cannot yet replace official seismic monitoring systems.

Keywords: Earthquake, ESP 32, IoT, MPU6050, MMI Scale, Telegram, PGA

1. Pendahuluan

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi didalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi [1]. Secara geografi Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu: lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Samudra pasifik sehingga membuat wilayah Indonesia rawan terhadap bencana alam khususnya bencana gempa bumi [2]. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) mencatat sebanyak 7.358 gempa bumi mengguncang Indonesia sepanjang tahun 2024 [3]. Pada banyak kasus gempa bumi dengan jumlah korban jiwa yang besar, peristiwa yang sering terjadi adalah banyaknya korban yang tidak bisa keluar dari dalam bangunan dikarenakan kurang cepat dalam menyadari telah terjadi gempa bumi [4]. Selain menyebabkan korban jiwa gempa juga mengakibatkan kerugian secara materil bagi wilayah yang terkena bencana ini. Gempa bumi merupakan bencana alam yang sampai saat ini masih belum bisa diprediksi kapan dan dimana kejadiannya dengan akurat. Meskipun sudah banyak peneliti yang meneliti tentang bencana ini, namun sampai saat ini memprediksi kedatangan gempa dengan akurat bisa dibilang adalah hal yang mustahil dilakukan. Ini menjadi tantangan yang perlu dijawab oleh para peneliti kedepannya [5].

Berdasarkan pengamatan pendahuluan yang telah penulis lakukan di PT. YKK AP Indonesia penulis mendapatkan temuan banyaknya karyawan di area produksi yang tidak merasakan adanya gempa. Hal ini disebabkan karena di dalam area produksi banyak aktifitas yang membuat getaran seperti *crane*, *forklift*, dan mesin *press* hidrolik bertekanan tinggi. Para karyawan baru menyadari adanya gempa ketika melihat kaca yang bergetar atau lampu yang bergoyang. Hal ini tentu sangat membahayakan bagi para karyawan. Keterlambatan informasi akan membuat proses evakuasi tidak efektif karena akan terjadi kepanikan. Oleh karena itu perlu dibuatkan sistem pendeteksi dan peringatan dini gempa bumi untuk memperingatkan karyawan saat terjadi gempa bumi. Selain di pabrik sistem ini juga bisa diimplementasikan pada tempat-tempat lainnya baik di gedung-gedung maupun rumah pribadi.

Untuk meminimalisir korban jika terjadi gempa diperlukan teknologi yang tepat. *Internet of Things* merupakan teknologi terkini yang sangat canggih dan bermanfaat dalam memperluas dan mengembangkan konektivitas agar kegiatan sehari-hari lebih mudah dan efisien dengan terhubung internet [6]. Dengan menggunakan IoT (*Internet of Things*), sistem pendeteksi dan peringatan dini gempa ini dapat memberikan deteksi gempa dengan cepat dan langsung memberikan peringatan kepada seluruh penghuni gedung yang sedang melakukan aktifitas. Keunggulan dari sistem ini adalah bisa memperoleh data secara akurat dan *realtime* menggunakan sensor MPU 6050. Jika data hasil pembacaan sensor telah melebihi ambang batas yang telah

ditentukan maka sistem akan memberikan peringatan melalui buzzer dan setiap orang akan mendapatkan informasi di smartphone saat terjadi gempa sebagai bentuk peringatan dini dan memberikan informasi terkait proses evakuasi [7].

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan diantaranya, Aviati Yuniar dengan judul “*Smart Lamp Alarm Pendeteksi Gempa Bumi Dengan Accelerometer Berbasis Internet Of Things*” Tahun 2021. Penelitian ini berfokus membuat lampu pintar pendeteksi gempa bumi menggunakan nodeMCU ESP8266 dengan sensor Adxl335 dan sensor getar 801S. Output sistem ini berupa buzzer dan notifikasi telegram peringatan gempa dan skala gempa dalam skala richter [8]. Kemudian Irvan Nurpiansyah dengan judul “*Rancang Bangun Alat Peringatan Dini Gempa Berbasis Mikrokontroler*” Tahun 2024. Penelitian ini merancang alat pendeteksi gempa bumi menggunakan sensor ADXL 345 dan sensor getar SW-420 dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan notifikasi telegram. Skala gempa yang digunakan adalah skala richter [9]. Kemudian Muammar Bahalwan dengan judul “*Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi berbasis IoT dengan ESP32*” Tahun 2024. Penelitian ini komponen utama yang digunakan meliputi ESP32 sebagai pengendali, serta sensor SW-240 untuk mendeteksi getaran awal. Alat ini hanya mampu mendeteksi getaran dan memberikan notifikasi telegram tanpa memberikan nilai skala gempa yang terjadi [10].

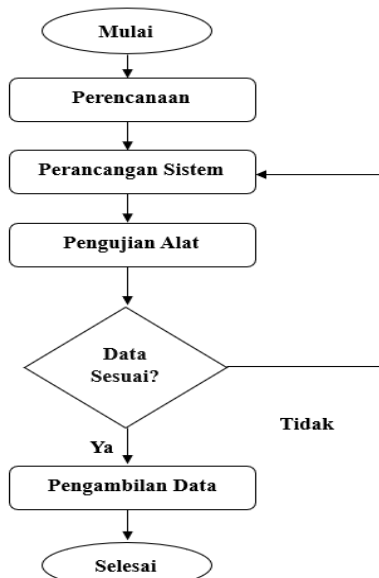
Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang relevan adalah penelitian ini menggunakan ESP32 yang memiliki *bluetooth low energy* dua mode dan *wifi* yang lebih cepat, sehingga menghemat uang dan ruang untuk perangkat yang membutuhkan *wifi* dan *bluetooth* dibanding NodeMCU 8266 [11]. Sensor yang digunakan adalah Sensor SW-420 untuk deteksi awal dan sensor MPU6050 untuk menghitung besarnya gempa. Skala gempa yang digunakan adalah skala MMI bukan skala richter karena skala MMI mengukur guncangan gempa yang dirasakan dilokasi tertentu sedangkan skala richter mengukur kekuatan atau energi gempa di pusatnya [12].

2. Metode

2.1. Metode Penelitian

Pada rancangan penelitian ini menggunakan *prototype* dalam melakukan pengujian. *prototype* yaitu versi awal dari desain atau produk yang dibuat untuk menguji dan menilai suatu ide sebelum produksi massal. *Prototype* memungkinkan para pengembang melihat dan merasakan produk secara nyata sebelum mengambil keputusan [13]. Diagram alir pada Gambar 1 menjelaskan secara garis besar tahapan penelitian perancangan *prototype* pendeteksi gempa bumi dan peringatan dini berbasis internet of things dengan menggunakan esp 32 yang terkoneksi langsung dengan smartphone pengguna dan beberapa sensor dan modul pendukung. Tahap-tahap yang akan dilakukan dari

awal hingga selesai digambarkan dalam urutan dari atas ke bawah yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Flowchart Tahapan Penelitian

2.2 Perencanaan

Pada tahap ini penulis melakukan observasi dan studi literatur. Observasi dilakukan untuk mengumpulkan data yang relevan terkait dengan topik penelitian yang akan dilakukan. Peneliti juga melakukan studi literatur dengan membaca dan menganalisis berbagai referensi terkait dengan topik penelitian yang telah ada sebelumnya. Observasi dan studi literatur ini akan menghasilkan landasan yang kuat dalam menentukan tujuan utama sistem yang akan dibangun.

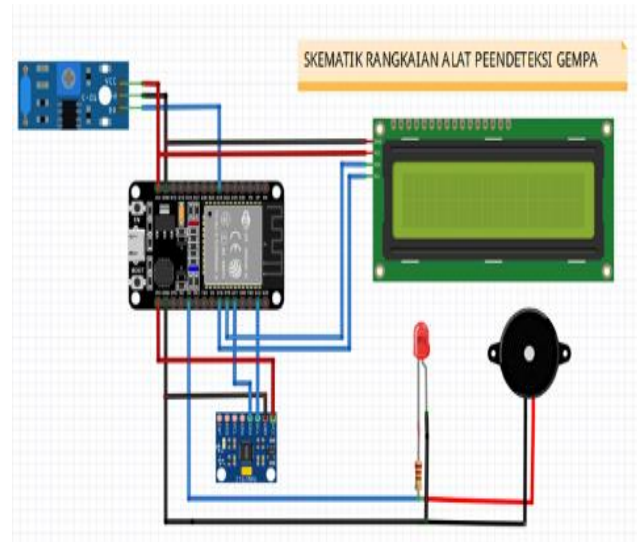
2.3 Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem ini dibagi menjadi 2 tahap yaitu perancangan *hardware* sistem dan perancangan *software* sistem. Pada proses perancangan *software* sistem dilakukan dengan menulis program di arduino IDE. Gambar 2 menunjukkan tampilan pada arduino IDE.



Gambar 2 Tampilan Arduino IDE

Selanjutnya adalah perancangan *hardware* sistem. Pada perancangan *hardware* sistem pendeteksi gempa ini dilakukan dengan menggambar skematik rangkaian menggunakan aplikasi fritzing. Skematik rangkaian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skematik Rangkaian

Keterangan komponen yang digunakan:

1. ESP 32
2. Sensor MPU6050
3. Sensor SW-420
4. LCD I2C 16x2
5. LED
6. Buzzer

2.4 Prinsip Kerja Gempa Bumi Dan Mekanisme Deteksi Sensor

Gempa bumi merupakan fenomena pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi yang menghasilkan gelombang seismik. Gelombang tersebut merambat melalui lapisan bumi dan menyebabkan terjadinya percepatan, kecepatan, serta perpindahan permukaan tanah. Salah satu parameter yang banyak digunakan dalam analisis kegempaan adalah Peak Ground Acceleration (PGA). Menurut penelitian Purnomo dkk. (2025)[14], PGA merupakan salah satu parameter penting dalam analisis gempa karena merepresentasikan percepatan maksimum tanah akibat gelombang seismik yaitu nilai percepatan maksimum tanah yang terjadi selama peristiwa gempa. Nilai PGA memiliki hubungan langsung dengan tingkat guncangan yang dirasakan manusia maupun bangunan sehingga sering digunakan sebagai dasar penentuan intensitas gempa.

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kombinasi dua jenis sensor dengan mekanisme kerja yang berbeda:

1. Sensor SW-420 (Deteksi Vibrasi Awal): berfungsi sebagai pendeteksi awal adanya getaran yang terjadi

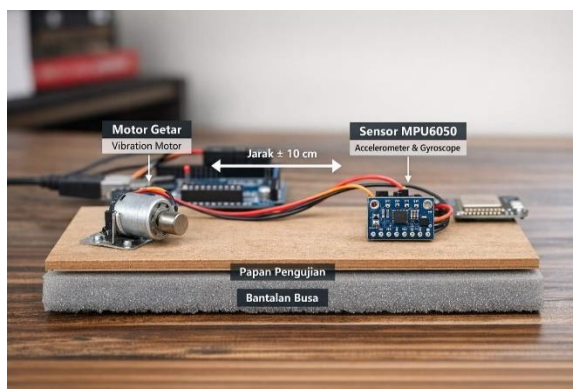
2. pada lingkungan sekitar. Sensor ini menghasilkan keluaran digital berupa logika HIGH atau LOW sesuai tingkat sensitivitas yang telah ditentukan. Namun sensor SW-420 tidak mampu memberikan informasi mengenai besarnya percepatan getaran sehingga tidak dapat digunakan untuk menentukan tingkat intensitas gempa.
3. Sensor MPU6050: Sensor ini mampu mengukur percepatan pada sumbu X, Y, dan Z secara simultan. Ketika terjadi getaran akibat pergerakan tanah, massa internal pada accelerometer akan mengalami perubahan posisi sehingga menghasilkan perubahan nilai percepatan yang dapat direkam oleh sensor. Data percepatan tersebut kemudian diolah untuk memperoleh nilai PGA yang digunakan sebagai indikator tingkat guncangan gempa.

2.5 Pengujian Alat

Tahap pengujian alat adalah proses yang sangat penting dalam membuat prototype. Pada tahap ini alat akan diuji untuk memastikan fungsi, ketepatan, dan ketahanannya sesuai dengan tujuan sistem. Pengujian juga dilakukan untuk memastikan fungsionalitas, kelebihan, dan kekurangan alat tersebut. Pada penelitian ini akan dilakukan 2 pengujian yaitu:

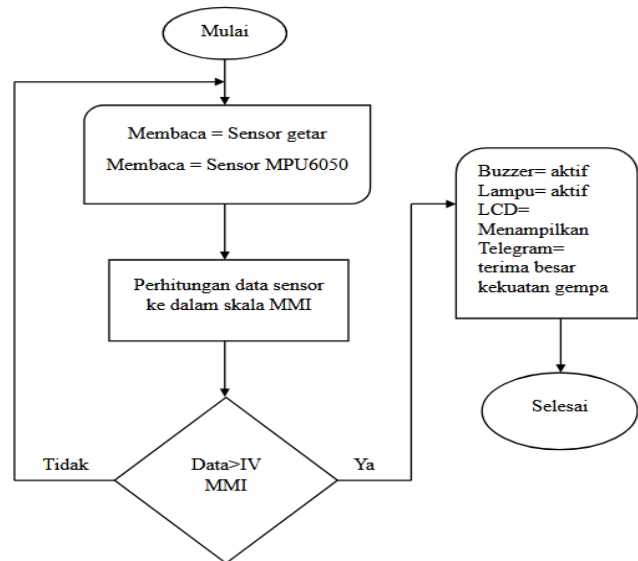
1. Uji linieritas sensor MPU6050 untuk memastikan bahwa output sensor berubah secara linier terhadap perubahan input fisik yang diukur. Uji linieritas sensor MPU6050 dilakukan dengan meletakkan sensor dalam 5 sudut yang berbeda yaitu sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° kemudian membandingkan data yang terbaca dengan nilai ideal berdasarkan hasil perhitungan.
2. Pengujian sistem secara keseluruhan dengan mensimulasikan berbagai skenario gempa bumi dan mencatat respons alarm peringatan dan waktu tunda notifikasi telegram. Setiap skenario gempa bumi akan dilakukan pengujian sebanyak 10 kali untuk memastikan konsistensi hasil pembacaan sistem. Untuk membuat skenario gempa yang berbeda akan digunakan motor getar dengan berbagai PWM yang berbeda.

Gambar 4 menunjukkan Pengujian dengan motor getar



Gambar 4 Pengujian dengan motor getar

Berikut adalah *flowchart* cara kerja sistem yang akan dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5 Flowchart sistem

Pada Gambar 5 menjelaskan cara kerja sistem pendeteksi dan peringatan dini gempa bumi. Sensor getar dan sensor MPU 6050 mendeteksi getaran dan pergerakan tanah, data tersebut akan diolah menggunakan rumus *British Geological Survey* untuk menjadi satuan MMI. Setelah data sensor selesai diolah dan dihitung, lalu hasil data tersebut dibaca apakah alat tersebut mendeteksi adanya gempa berkekuatan lebih dari IV MMI atau tidak. Jika alat tersebut mendeteksi gempa lebih dari IV MMI maka selanjutnya buzzer dan lampu akan aktif dan telegram akan mendapatkan notifikasi besarnya gempa, jika tidak maka alat akan membaca ulang data sensor.

2.6 Pengambilan Dan Pengolahan Data

Pada tahapan ini peneliti mengumpulkan dan mencatat data hasil pengujian sistem yang sudah dilakukan. Kemudian, data yang diperoleh dari hasil pengujian tersebut akan terlihat bagaimana kinerja sistem kerja yang telah dirancang apakah bekerja dengan baik dan konsisten atau tidak. Proses deteksi gempa pada sistem yang diusulkan dilakukan melalui beberapa tahapan pengolahan data.

1. Tahap pertama adalah pembacaan data percepatan pada sumbu X, Y, dan Z menggunakan sensor MPU6050. Untuk meningkatkan akurasi pembacaan, sensor terlebih dahulu dikalibrasi menggunakan 5000 sampel data statis sehingga nilai offset dapat diminimalkan.
2. Data percepatan pada masing-masing sumbu kemudian diolah menjadi percepatan total menggunakan persamaan resultan vektor berikut:

$$Accel\ Total = \sqrt{Ax^2 + Ay^2 + Az^2} \quad (1)$$

Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh nilai percepatan keseluruhan tanpa dipengaruhi oleh arah datangnya getaran. Dimana nilai A_x , A_y , dan A_z diambil dari nilai hasil pembacaan sensor MPU6050 [15].

3. Kemudian nilai Accel total dikonversi ke nilai PGA (*Peak Ground acceleration*) yaitu diubah dari satuan g ke satuan cm/s^2 dengan mengalikannya dengan 981,0.

$$\text{PGA} = \text{Accel total} \times 981.0 \quad (2)$$

4. Hasil konversi tersebut kemudian diklasifikasikan dengan rentang skala MMI. Penggunaan skala MMI dipilih karena skala ini menggambarkan tingkat guncangan yang dirasakan pada suatu lokasi berdasarkan percepatan tanah yang terjadi. Dengan demikian sistem tidak hanya mendeteksi keberadaan getaran, tetapi juga melakukan estimasi tingkat intensitas gempa berdasarkan nilai percepatan yang terukur. Tabel 1 menunjukkan hubungan skala MMI dengan nilai PGA (*Peak Ground acceleration*) [16].

Tabel 1 Skala MMI dan nilai PGA

Skala Modified Mercalli		Efek Gempa Bumi
MMI	PGA	
I	<1.7	Hampir tidak terasa
II	1.7-3.4	Dapat dirasakan oleh sedikit orang
III	3.4-8.1	Getaran seperti truk yang melintas
IV	8.1-16	Dirasakan banyak orang dan benda-benda bergoyang
V	16-31	Dirasakan semua orang dan sulit untuk berdiri dengan stabil
VI	31-60	Membuat kerusakan ringan hingga sedang pada bangunan
VII	60-116	Membuat kerusakan sedang pada bangunan
VIII	116-227	Membuat kerusakan berat pada bangunan
IX	227-439	Membuat kerusakan total dan retakan pada tanah
X	>439	Membuat kerusakan total dan retakan yang lebar pada tanah

Melalui tahapan tersebut sistem mampu mengubah data mentah sensor menjadi informasi yang dapat digunakan

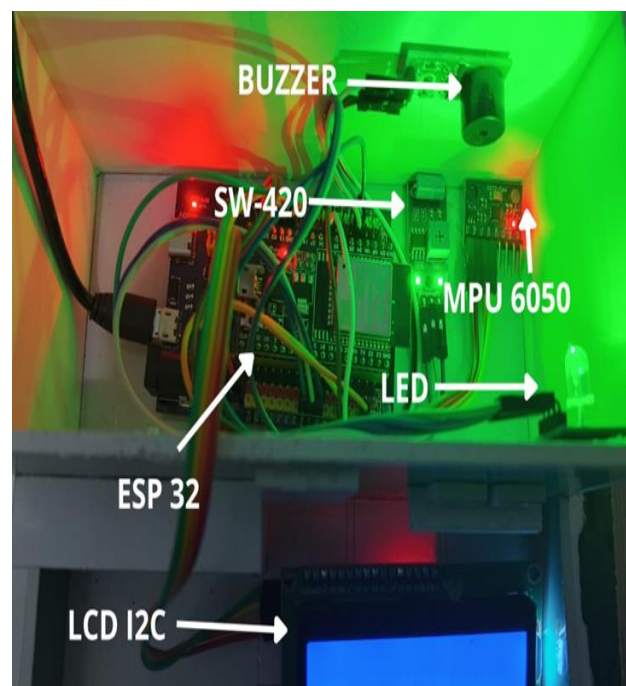
sebagai dasar pengambilan keputusan untuk memberikan peringatan dini kepada pengguna.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan Alat

Seluruh alat yang sudah disiapkan alat dirancang agar menjadi sebuah sistem. Berikut adalah hasil implementasi sistem yang dibuat. Sistem diletakan di dalam miniatur rumah berukuran 15 cm x 15 cm. Pembuatan sistem ini mengikuti desain yang sudah dibuat sebelumnya. Berikut komponen-komponen yang diperlukan pada Gambar 6:

1. ESP 32
2. Sensor MPU6050
3. Sensor SW-420
4. LCD I2C 16x2
5. Buzzer
6. RGB LED
7. Kabel Jumper
8. Expansion Board ESP 32
9. Catu daya 9V



Gambar 6 Hasil perancangan alat

3.2 Uji Linieritas Sensor MPU6050

Uji linieritas sensor MPU6050 dilakukan untuk memastikan bahwa output sensor berubah secara linier terhadap perubahan input fisik yang diukur. Sensor yang linier akan memiliki faktor skala yang konsisten diseluruh rentang pengukurannya. Uji linieritas sensor MPU6050 dilakukan dengan meletakkan sensor dalam 5 sudut yang berbeda yaitu sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° kemudian membandingkan data yang terbaca dengan nilai ideal berdasarkan hasil perhitungan dengan rumus berikut

$$V_{expected} = g \cdot \sin \theta \quad (2)$$

Atau

$$V_{expected} = g \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Dengan $V_{expected}$ adalah salah satu sumbu (x,y, dan z) dan g adalah gravitasi dengan nilai 9,807. Berikut adalah tabel nilai expected sumbu X, Y, dan Z.[17] Tabel 2 menunjukkan Nilai Expected Sensor MPU6050

Tabel 2 Nilai Expected Sensor MPU6050

SUDUT	NILAI AX (cm/s ²)	NILAI AY (cm/s ²)	NILAI AZ (cm/s ²)
0°	0	0	9,807
45°	6,934	0	6,934
90°	9,807	0	0
135°	6,934	0	-6,934
180°	0	0	-9,807

Berikut adalah nilai rata-rata hasil uji linieritas sensor MPU6050 yang dilakukan sebanyak 10 kali setiap sudutnya. Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata uji linieritas

Tabel 3 Nilai rata-rata uji linieritas

Nilai Sudut	Nilai AX	Nilai AY	Nilai AZ
Sudut 0°	0,1657	-0,4012	9,8132
Sudut 45°	7,5975	0,2774	6,3731
Sudut 90°	10,0978	0,3367	-0,5199
Sudut 135°	7,1856	0,3237	-7,3017
Sudut 180°	0,1087	0,1495	-10,0688

Tabel 4 menampilkan nilai error sumbu x, y, dan z di setiap sudut jika dibandingkan dengan nilai expectednya

Tabel 4 Nilai Error setiap sudut

Nilai Sudut	Error AX	Error AY	Error AZ
Sudut 0°	0,1657	-0,4012	0,0062
Sudut 45°	0,6635	0,2774	-0,5609
Sudut 90°	0,2908	0,3367	-0,5199
Sudut 135°	0,2516	0,3237	-0,3177
Sudut 180°	0,1087	0,1495	-0,2618

Berdasarkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 telah diketahui nilai error sumbu x, y, dan z di setiap sudutnya. Dari data hasil pengujian, kondisi pembacaan paling optimal dari sensor MPU 6050 adalah pada sudut 0° dan 180°. Nilai error sudut 0° adalah 0,1657 pada sumbu X, -0,4012 dan 0,0062 pada sumbu Z. Nilai error sudut 180° adalah 0,1087 pada sumbu X, 0,1495 dan -0,2618 pada sumbu Z. Nilai error pada sudut ini dianggap optimal karena nilainya dibawah toleransi dan masih lebih baik dibandingkan sudut 45°, 90° dan 135°.

3.3 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian kinerja sistem dilakukan dengan melakukan simulasi berbagai skenario gempa bumi dan mencatat respons alarm peringatan dan waktu tunda notifikasi telegram. Berikut hasil pengujian simulasi gempa bumi yang telah dilakukan

3.3.1 Pengujian Dengan Motor Getar 30 Pwm

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan getaran menggunakan motor getar berkecepatan 30 pwm selama 15 detik untuk mensimulasikan gempa dengan kekuatan rendah. Pengujian akan dilakukan sebanyak 10 kali. Berikut adalah tabel hasil pengujian dengan motor getar 30 pwm. Tabel 5 menunjukkan Hasil pengujian dengan motor getar 30 pwm

Tabel 5 Hasil Pengujian dengan motor getar 30 pwm

NO	PGA (cm/s ²)	MMI Terbaca
1	2.38 cm/s ²	II MMI
2	2.24 cm/s ²	II MMI
3	4.44 cm/s ²	III MMI
4	2.03 cm/s ²	II MMI
5	2.80 cm/s ²	II MMI
6	1.88 cm/s ²	II MMI
7	1.81 cm/s ²	II MMI
8	3.12 cm/s ²	II MMI
9	2.72 cm/s ²	II MMI
10	2.25 cm/s ²	II MMI

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5 menunjukkan bahwa data mentah dari sensor MPU 6050 berhasil diolah menjadi resultansi akselerasi(A), kemudian dikonversi ke PGA(cm/s²). Dari hasil pengujian juga dapat dilihat nilai PGA tertinggi adalah 4.44 cm/s²(III MMI) dan nilai PGA terendah adalah 1.81 cm/s²(II MMI). Pada percobaan ini buzzer dan LED merah tidak menyala karena nilai PGA masih dibawah ambang batas yang ditentukan. Berdasarkan karakteristik skala MMI, tingkat ini umumnya hanya dirasakan oleh sebagian kecil orang dalam kondisi diam dan belum menimbulkan gangguan pada bangunan. Oleh karena itu sistem tidak mengaktifkan alarm maupun notifikasi karena intensitas getaran masih berada pada kategori rendah.

3.3.2 Pengujian Dengan Motor Getar 80 pwm

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan getaran menggunakan motor getar berkecepatan 80 pwm selama 15 detik untuk membuat skenario gempa dengan skala sedang hingga tinggi. Pengujian akan dilakukan sebanyak 10 kali. Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian dengan motor getar 80 pwm

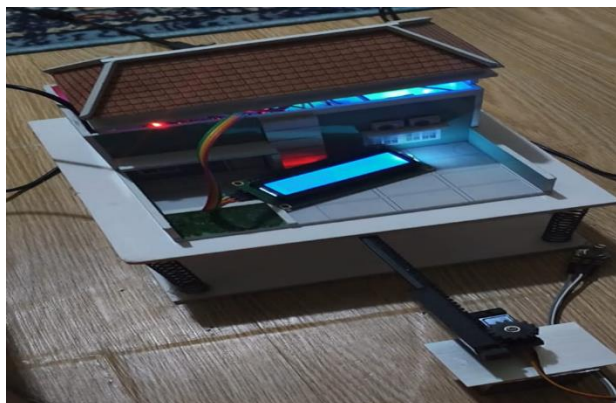
Tabel 6 Hasil Pengujian dengan motor getar 80 pwm

NO	PGA (cm/s ²)	MMI Terbaca	Telegram
1	12.0 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
2	12.4 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
3	18.4 cm/s ²	V MMI	Terkirim
4	13.4 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
5	11.3 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
6	10.5 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
7	11.6 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
8	13.0 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
9	9.4 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
10	22.3 cm/s ²	V MMI	Terkirim

Pada pengujian ini nilai hasil pembacaan berada diangka 9.4 cm/s² sampai 22.3 cm/s² skala yang terbaca adalah IV MMI sampai V MMI. Notifikasi telegram terkirim dan buzzer serta LED merah menyala. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa dengan 10 kali pengujian dengan nilai pwm yang sama yaitu 80 pwm sistem berhasil membaca dengan nilai yang konsisten di IV-V MMI. Pada tingkat ini getaran umumnya sudah dapat dirasakan oleh banyak orang dan menyebabkan benda-benda ringan bergoyang. Oleh karena itu sistem mengaktifkan buzzer, LED, dan mengirimkan notifikasi Telegram sebagai bentuk peringatan dini.

3.3.3 Pengujian Dengan Motor Servo

Pada pengujian ini diperlukan meja(alas) tambahan yang akan digerakkan oleh motor servo untuk membuat skenario gempa bumi dengan kekuatan tinggi. Motor servo akan membuat gerakan seolah menarik dan mendorong dengan cepat sehingga menghasilkan guncangan layaknya gempa bumi. Pada Gambar 7 menampilkan meja tambahan untuk melakukan pengujian.



Gambar 7 Pengujian dengan motor servo

Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian dengan menggunakan motor servo:

Tabel 7 Hasil pengujian dengan motor servo

NO	PGA (cm/s ²)	MMI Terbaca	Telegram
1	8.2 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
2	8.4 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
3	11.4 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
4	21.7 cm/s ²	V MMI	Terkirim
5	8.8 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
6	8.3 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
7	10.0 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
8	16.0 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
9	10.9 cm/s ²	IV MMI	Terkirim
10	12.9 cm/s ²	IV MMI	Terkirim

Pada Tabel 7 memperlihatkan hasil pengujian dengan menggunakan getaran motor servo. Nilai terendah pada pengujian ini adalah 8.2 cm/s²(IV MMI) dan nilai tertinggi adalah 21.7 cm/s²(V MMI). Sistem berhasil menyalakan buzzer dan LED merah untuk memberikan peringatan kepada pengguna. Telegram berhasil mengirim pesan ke *smartphone* pengguna.

3.4 Analisis Hasil Pengujian

- Hasil pengujian menggunakan motor getar 30 PWM menghasilkan nilai PGA sebesar 1,81–4,44 cm/s² yang diklasifikasikan ke dalam intensitas II–III MMI. Berdasarkan karakteristik skala Modified Mercalli Intensity (MMI), intensitas II umumnya hanya dirasakan oleh sebagian kecil orang yang berada dalam kondisi diam, sedangkan intensitas III mulai dapat dirasakan oleh beberapa orang di dalam bangunan tanpa menimbulkan kerusakan. Oleh karena itu, sistem tidak mengaktifkan alarm maupun mengirimkan notifikasi Telegram karena tingkat guncangan masih berada pada kategori rendah.
- pengujian menggunakan motor getar 80 PWM diperoleh nilai PGA sebesar 9,4–22,3 cm/s² yang berada pada rentang IV–V MMI. Pada tingkat intensitas ini getaran umumnya sudah dapat dirasakan oleh banyak orang di dalam bangunan dan dapat menyebabkan benda-benda ringan bergoyang. Oleh karena itu sistem mengaktifkan buzzer, LED indikator, serta mengirimkan notifikasi Telegram sebagai bentuk peringatan dini kepada pengguna. Penelitian Tirtana dkk(2026)[18] menggunakan nilai percepatan sensor accelerometer sebagai dasar klasifikasi gempa kecil, sedang, dan besar. Sementara itu, penelitian ini mengembangkan pendekatan lebih lanjut dengan mengonversi data percepatan menjadi nilai PGA dan mengaitkannya dengan skala MMI. Pendekatan tersebut memungkinkan interpretasi tingkat guncangan yang lebih sesuai dengan parameter yang digunakan dalam bidang seismologi.
- Pengujian menggunakan motor servo menghasilkan PGA sebesar 8,2–21,7 cm/s² yang juga berada pada

4. rentang IV–V MMI. Hasil tersebut menunjukkan pola yang konsisten dengan pengujian motor getar 80 PWM, dimana peningkatan percepatan yang terukur oleh MPU6050 menyebabkan peningkatan nilai PGA dan intensitas MMI sehingga sistem memberikan respons peringatan secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai percepatan yang diperoleh sensor MPU6050 memiliki hubungan yang sebanding dengan tingkat intensitas gempa yang dihasilkan. Semakin besar percepatan yang terukur, semakin tinggi nilai PGA yang diperoleh dan semakin besar pula intensitas MMI yang diklasifikasikan oleh sistem. Kondisi ini sesuai dengan prinsip dasar analisis kegempaan, dimana percepatan tanah merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk menggambarkan tingkat guncangan akibat gempa bumi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan pada rancang bangun sistem deteksi gempa bumi dan peringatan dini berbasis internet of things (IoT) maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem peringatan dini gempa bumi telah berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan mengintegrasikan sensor MPU6050 sebagai pengukur percepatan tanah (PGA) secara real-time lalu mengonversinya ke dalam Skala MMI (Modified Mercalli Intensity) dengan akurat dan sensor SW-420 sebagai detektor getaran. Sistem peringatan lokal (Buzzer, LED, dan LCD) dapat berfungsi seketika saat ambang batas gempa ($MMI > IV$) tercapai. Selain itu, fitur IoT melalui bot Telegram berhasil mengirimkan notifikasi peringatan ke perangkat pengguna. Berdasarkan hasil uji linearitas pada sensor MPU6050, sistem menunjukkan tingkat akurasi dan linearitas yang tinggi, dengan hasil pengukuran paling stabil dan akurat berada pada posisi sudut 0° dan 180° oleh karena itu posisi yang direkomendasikan untuk alat ini adalah posisi datar sumbu X sejajar dengan tanah.

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut agar sistem ini menjadi lebih sempurna dan handal, disarankan untuk melakukan kalibrasi sensor MPU6050 menggunakan meja getar (shaking table) yang terstandarisasi untuk mendapatkan nilai PGA yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan simulasi manual. Mengingat sistem ini sangat bergantung pada koneksi internet (Wi-Fi), disarankan untuk menambahkan modul GSM sebagai cadangan (redundancy) pengiriman data jika jaringan Wi-Fi terputus saat terjadi gempa besar.

Referensi

- [1] A. B. Siregar, Ezwarsyah, H. M. Yudiantono, and F. A. Nasution, "RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN GEMPA MENGGUNAKAN SENSOR ADXL 345 BERBASIS LORA DENGAN ESP 32," vol. 11, 2022.
- [2] A. Ramadan, A. M. Fernanda, A. Tesalonika, and R. Susanto, "Sistem Pendeteksi Gempa Bumi Berbasis Arduino Dan Mpu6050 Dengan Kearifan Lokal," *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Bisnis 2024*, pp. 128–132, 2024.
- [3] M. Binti, "BMKG: 7.358 Gempa Bumi Guncang Indonesia Sepanjang 2024," *www.inews.id*. Accessed: Apr. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.inews.id/news/nasional/bmkg-7358-gempa-bumi-guncang-indonesia-sepanjang-2024>
- [4] W. Audia, Yulkifli, Yohandri, A. Nofriandi, and S. Ahadi, "Simulator Gempa Menggunakan Konsep Vibrating Table Berbasis Sensor MPU6050 Earthquake Simulator Based on a Vibrating Table Concept Using MPU6050 Sensor," vol. 14, no. 02, pp. 191–199, 2024, doi: 10.26418/positron.v14i2.76159.
- [5] N. Aini, D. Kusumawardani, F. A. Rismawati, and Q. Tangkas, "Aplikasi sistem terintegrasi bencana gempa bumi: sistematic review berbasis lens dan vosviewer 1*," vol. 5, pp. 8–13, 2024.
- [6] F. Rianto and D. Faiza, "ALAT PENDETEKSI GEMPA BUMI TERINTEGRASI INTERNET OF THINGS (IOT) BERBASIS TELEGRAM," vol. 2, 2025.
- [7] F. A. Tritunggal, C. Pradana, E. Rizqi, and K. Pradani, "Sistem Deteksi Gempa Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino dan Sensor Accelerometer MPU6050," vol. 2, no. 2, 2023.
- [8] A. Yuniar, "SMART LAMP ALARM PENDETEKSI GEMPA BUMI DENGAN ACCELEROMETER BERBASIS IOT," 2021.
- [9] I. Nurfiansyah, "RANCANG BANGUN ALAT PERINGATAN DINI GEMPA BERBASIS MIKROKONTROLER," 2024.
- [10] P. T. Wikantama, M. Bahalwan, and M. A. G. Akmal, "SIGEMPA : Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi berbasis IoT dengan ESP32," *J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 63–70, 2024, doi: 10.55606/teknik.v4i1.2937.
- [11] N. S. Bengi, S. Syamsul, and N. Nasri, "Prototype Sistem Pendeteksi Gempa Bumi Dan Peringatan Dini Berbasis Internet of Things," *J. TEKTRONIK*, vol. 8, no. 1, pp. 138–144, 2024.
- [12] R. W. Pratama, Y. H. Chrisnanto, and G. Abdillah, "Modified Mercalli Intensity Menggunakan Algoritma," vol. 8, no. 2, pp. 1739–1745, 2024.
- [13] K. Pusti, "Apa Itu Prototype? Begini Penjelasannya, Fungsi dan Jenis-Jenisnya," *bpd.telkomuniversity.ac.id*. Accessed: Apr. 29, 2024. [Online]. Available: <https://bpd.telkomuniversity.ac.id/apa-itu-prototype-begini-penjasannya-fungsi-dan-jenis-jenisnya/#:~:text=Prototype adalah rancangan awal dari,secara nyata sebelum mengambil keputusan.>
- [14] G. A. Purnomo, "Perancangan Sistem Pendeteksi Gempa Bumi Di Universitas Telkom Berbasis Internet Of Things," vol. 12, no. 6, 2025.
- [15] C. M. Rosca and A. Stancu, "Earthquake Prediction and Alert System Using IoT Infrastructure and Cloud-

- Based Environmental Data Analysis,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 22, 2024, doi: 10.3390/app142210169.
- [16] M. Safitri, Sugito, D. Budi Susanti, and W. Handayani, “Analisis Percepatan Tanah Maksimum Menggunakan Metode Donovan dan MC Guirre (Studi Kasus Gempabumi Bantul 30 Juni 2023) Peak Ground Acceleration Analysis Using the Donovan and MC Guirre Method (Bantul Earthquake,” 2023.
- [17] S. P. Collins *et al.*, “No Title 済無No Title No Title No Title,” Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents. [Online]. Available: <https://bpd.telkomuniversity.ac.id/apa-itu-prototype-begini-penjasannya-fungsi-dan-jenis-jenisnya/#:~:text=Prototype adalah rancangan awal dari,secara nyata sebelum mengambil keputusan.>
- [18] A. Tirtana, A. P. Hulu, D. R. Wilson, and A. I. Khairudin, “Aplikasi Pendeteksi Gempa Bumi Berbasis IoT Dengan Sistem Peringatan Dini,” vol. 7, no. 1, 2026.