

Prototipe Sistem Deteksi Getaran Gempa Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Mamdani

Prototype of IoT-Based Earthquake Vibration Detection System Using Fuzzy Mamdani

Kristian Bulu¹, Yustina Rada², Dessy Asnath Sitaniapessy³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba

E-mail: ¹kristianbulu99@gmail.com, ²yustinarada@unkriswina.ac.id, ³desyasnath@unkriswina.ac.id

KEYWORDS:

Internet of Things, Earthquake Vibration Detection Prototype System, MPU6050 Sensor, Fuzzy Mamdani, Early Warning System

ABSTRACT

Sumba Island is categorized as an earthquake-prone area due to its location at the convergence of the Indo-Australian and Eurasian plates. Based on data from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) of East Sumba Geophysical Station, a total of 3,724 earthquakes were recorded from 2023 to April 2025, 20 of which were felt by the community. This condition highlights the importance of enhancing disaster awareness and preparedness against earthquakes. This study aims to design and develop a simple prototype of an earthquake early detection system based on the Internet of Things (IoT) using the Mamdani fuzzy logic approach. The system employs the MPU6050 sensor to detect vibrations, which are then processed by the NodeMCU ESP8266 microcontroller. Risk level assessment is carried out using fuzzy logic based on vibration parameters, and the results are displayed through LED, LCD, buzzer, and transmitted to the Telegram application. Although this system is still a simple prototype and has not yet been tested in real earthquake conditions, the research provides an initial contribution to the application of IoT and artificial intelligence in disaster mitigation, and has the potential to be further developed into a practical, low-cost early warning system that can be directly implemented within communities.

KATA KUNCI:

Internet of Things, Prototipe Sistem Pendeteksi Getaran Gempa, Sensor MPU6050, Fuzzy Mamdani, Sistem Peringatan Dini

ABSTRAK

Pulau Sumba termasuk wilayah rawan gempa bumi karena terletak di zona pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Berdasarkan data dari BMKG Stasiun Geofisika Sumba Timur, tercatat 3.724 kejadian gempa dari tahun 2023 hingga April 2025, dengan 20 di antaranya dirasakan oleh masyarakat. Kondisi ini menunjukkan pentingnya upaya untuk meningkatkan kewaspadaan terhadap bencana gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah prototipe sederhana sistem deteksi dini gempa bumi berbasis Internet of Things (IoT) dengan pendekatan logika fuzzy Mamdani. Sistem menggunakan sensor MPU6050 untuk mendeteksi getaran, kemudian data diproses oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Penilaian tingkat risiko dilakukan menggunakan logika fuzzy berdasarkan parameter getaran, dan hasilnya ditampilkan melalui LED, LCD, buzzer, serta dikirimkan ke aplikasi Telegram. Meskipun sistem ini masih berupa prototipe sederhana dan belum diuji dalam kondisi gempa nyata, penelitian ini memberikan kontribusi awal dalam pemanfaatan teknologi IoT dan kecerdasan buatan untuk mitigasi bencana, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut menjadi sistem peringatan dini yang praktis, murah, dan dapat diimplementasikan langsung di lingkungan masyarakat.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi telah membawa perubahan besar dalam berbagai sektor, termasuk bidang kebencanaan. Salah satu pendekatan yang semakin banyak digunakan adalah Internet of Things (IoT),

yaitu konsep teknologi yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor dan mikrokontroler saling terhubung untuk mengumpulkan, mengolah, dan mengirimkan data secara otomatis melalui jaringan internet [1]. Dalam konteks mitigasi bencana, IoT memiliki potensi besar untuk menghadirkan sistem peringatan dini yang cepat, responsif, dan terjangkau.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan gempa tertinggi di dunia karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik [2]. Aktivitas seismik yang tinggi sering menimbulkan kerugian material maupun korban jiwa. Misalnya, di wilayah Pulau Sumba, Nusa Tenggara Timur, berdasarkan data BMKG Stasiun Geofisika Sumba Timur, tercatat lebih dari 3.700 kejadian gempa sejak tahun 2023 hingga April 2025, dengan sejumlah kejadian dirasakan langsung oleh masyarakat. Kondisi ini menunjukkan urgensi pengembangan sistem peringatan dini gempa yang dapat diakses masyarakat.

Sistem peringatan dini gempa yang ada saat ini umumnya berbasis aplikasi digital, layanan pesan singkat (SMS), atau situs resmi [3]. Meskipun efektif, sistem ini memiliki keterbatasan, seperti tidak dapat diakses oleh masyarakat ketika mereka sedang tidak memegang ponsel, sedang tidur, atau berada di daerah dengan jaringan terbatas. Hal ini menjadi tantangan tersendiri, terutama bagi masyarakat di wilayah yang belum memiliki infrastruktur komunikasi yang memadai.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah berfokus pada sistem pendeteksi gempa berbasis IoT. Misalnya, [4] berhasil mengembangkan sistem deteksi getaran secara real-time dengan tiga kondisi peringatan, sementara [5] menambahkan fitur GPS untuk menentukan lokasi pusat gempa serta notifikasi SMS. [6] membangun sistem monitoring dengan akurasi tinggi, dan [7] mengembangkan sistem visualisasi real-time yang terhubung ke petugas mitigasi. [8] memanfaatkan aplikasi MQTT dan Kodular untuk pengiriman notifikasi cepat kepada pengguna. Rangkuman penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Terkait

No	Judul dan Penulis	Hasil
1	Prototype Sistem Pendeteksi Gempa Bumi Dan Peringatan Dini Berbasis <i>Internet of Things</i> , Bengi et al., (2024)	Sistem pendeteksi gempa berbasis IoT berhasil mendeteksi getaran secara real-time dengan tiga kondisi peringatan: Siaga, Waspada, dan Darurat.
2	Sistem Deteksi Lokasi Gempa Menggunakan Arduino Mega 2560, Sensor SW-420, GPS Dan Notifikasi SMS, Rizky et al., (2020)	Sistem monitoring gempa yang dapat mendeteksi getaran gempa secara otomatis, menentukan lokasi pusat gempa menggunakan GPS, dan mengirimkan notifikasi ke pengguna melalui SMS secara cepat.
3	Sistem Monitoring Dan Deteksi Dini Terjadinya Gempa Berbasis Iot (<i>Internet of Things</i>), Fatimah et al., (2025)	Sistem monitoring dan deteksi dini gempa berbasis IoT berhasil mendeteksi getaran tanah secara real-time dan memberikan peringatan dini dengan akurasi tinggi.
4	Sistem Deteksi Gempa Berbasis Iot Dengan Visualisasi Real- Time Dan Notifikasi Cerdas, Afriyanto et al., (2025)	Sistem deteksi dini gempa berbasis IoT berhasil mendeteksi magnitudo getaran secara real-time dan mengirimkan notifikasi otomatis kepada petugas mitigasi

5	Rancang Bangun Pendeteksi Getaran Gempa Berbasis Mikrokontroler Iot Arduino, Arokhman, (2023)	sistem pendeteksi gempa berbasis <i>mikrokontroler</i> IoT berhasil mendeteksi getaran dan memberikan notifikasi secara real-time kepada pengguna melalui aplikasi MQTT dan Modular
---	---	---

Namun, penelitian-penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan. Sebagian besar belum mengoptimalkan metode kecerdasan buatan sederhana seperti logika fuzzy, khususnya fuzzy Mamdani, yang mampu mengklasifikasikan data input secara bertahap dan fleksibel. Selain itu, sebagian penelitian mengandalkan saluran komunikasi tunggal, sehingga rawan gagal apabila jaringan tertentu bermasalah. Di sisi lain, penelitian ini menawarkan perbedaan utama, yaitu penerapan metode fuzzy Mamdani dalam mengklasifikasikan tingkat getaran serta penyampaian notifikasi ganda melalui indikator lokal (LED warna, buzzer, LCD) dan notifikasi real-time melalui aplikasi Telegram.

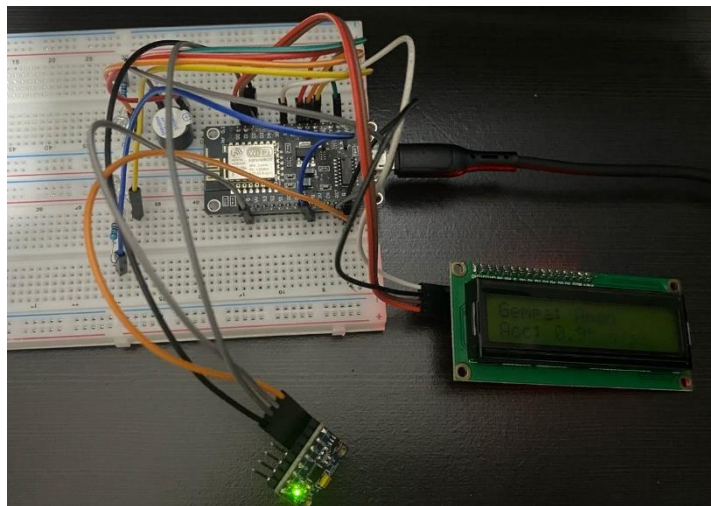
Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan prototipe sistem pendeteksi getaran gempa berbasis IoT yang mampu mendeteksi intensitas getaran menggunakan sensor MPU6050 yaitu sensor berbasis accelerometer dan gyroscope yang diproses menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, lalu dianalisis dengan logika fuzzy Mamdani untuk menentukan kategori getaran. Hasil klasifikasi selanjutnya ditampilkan melalui LED, buzzer, LCD, dan notifikasi aplikasi Telegram. Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan sistem resmi yang ada, melainkan sebagai solusi pelengkap berskala kecil yang dapat diuji di lingkungan terkendali.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menjelaskan tahapan yang digunakan dalam merancang dan membangun sistem deteksi gempa berbasis IoT dengan sensor MPU6050, mikrokontroler NodeMCU ESP8266, serta logika fuzzy Mamdani. Pembahasan mencakup perancangan perangkat keras, perangkat lunak menggunakan bahasa C++ pada Arduino IDE, implementasi metode fuzzy, serta pengujian dan analisis kinerja sistem.

Desain Perangkat Keras

Pada tahap ini digunakan perangkat keras utama berupa mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai pusat pengendali. Sensor MPU6050 dipakai untuk mendeteksi getaran pada sumbu X, Y, dan Z. Komponen tambahan yang digunakan meliputi LCD I2C untuk menampilkan informasi, buzzer dan LED sebagai indikator peringatan dini, serta koneksi internet melalui modul Wi-Fi ESP8266 untuk mengirimkan notifikasi ke aplikasi Telegram.



Gambar 1. Desain Perangkat Keras

Wiring Perangkat Keras:

Agar seluruh komponen dapat berfungsi dengan baik, dilakukan konfigurasi pengkabelan (wiring) sebagai berikut:

Koneksi MPU6050 ke NodeMCU:

- VCC pada MPU6050 dihubungkan ke pin VIN pada NodeMCU.
- GND pada MPU6050 dihubungkan ke pin GND pada NodeMCU.
- SCL (Serial Clock Line) pada MPU6050 dihubungkan ke pin D1 (GPIO5) pada NodeMCU.
- SDA (Serial Data Line) ke MPU6050 ke pin D2 (GPIO4) ke NodeMCU.

Koneksi LCD I2C ke NodeMCU:

- VCC pada modul I2C LCD dihubungkan ke pin VIN pada NodeMCU.
- GND pada modul I2C LCD dihubungkan ke pin GND pada NodeMCU.
- SCL pada modul I2C LCD dihubungkan ke pin D1 (GPIO5) pada NodeMCU.
- SDA pada modul I2C LCD dihubungkan ke pin D2 (GPIO4) pada NodeMCU.

Koneksi Buzzer ke NodeMCU:

- Kaki positif (panjang) pada buzzer dihubungkan ke pin D6 (GPIO12) pada NodeMCU.
- Kaki negatif (pendek) pada buzzer dihubungkan ke pin GND NodeMCU.

Koneksi LED Merah (indikator bahaya):

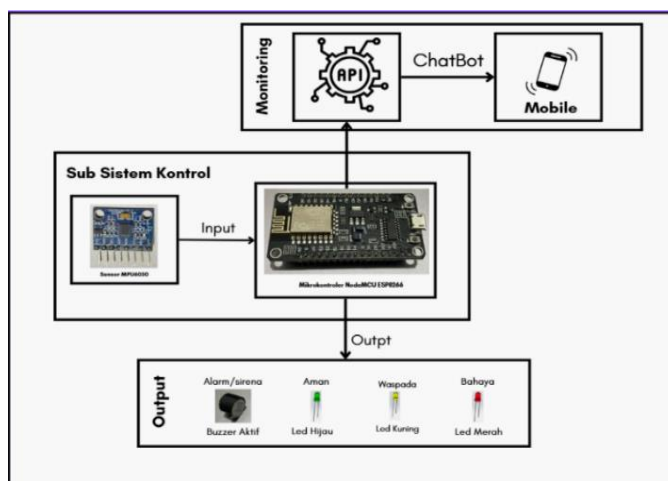
- Anoda (kaki panjang) dihubungkan ke pin D7 (GPIO13) pada NodeMCU.
- Katoda (kaki pendek) dihubungkan ke salah satu sisi resistor 220 Ω , kemudian resistor dihubungkan ke GND.

Koneksi LED Hijau (indikator normal):

- Anoda (kaki panjang) dihubungkan ke pin D8 (GPIO15) pada NodeMCU.
- Katoda (kaki pendek) dihubungkan ke salah satu sisi resistor 220 Ω , kemudian resistor dihubungkan ke GND.

Desain Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan dengan Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C++ untuk memprogram NodeMCU. Data dari sensor MPU6050 diolah menggunakan metode logika fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat kekuatan gempa. Hasil klasifikasi ditampilkan pada LCD I2C, diberikan sinyal peringatan melalui buzzer dan LED, serta dikirimkan notifikasi ke Telegram.



Gambar 2. Desain Perangkat Lunak

Gambar 6 menunjukkan alur kerja sistem yang dimulai dengan inisialisasi NodeMCU dan komponen pendukung. Sensor MPU6050 digunakan untuk membaca data getaran, yang selanjutnya diproses menggunakan logika fuzzy Mamdani guna menentukan tingkat risiko, yaitu Aman, Waspada, atau Bahaya. Indikator LED dan buzzer memberikan peringatan sesuai dengan kondisi yang terdeteksi, serta notifikasi dikirimkan kepada pengguna melalui chatbot Telegram.

Implementasi Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah logika fuzzy Mamdani, karena dinilai paling sesuai dibandingkan metode fuzzy lainnya seperti Sugeno dan Tsukamoto. Mamdani dipilih sebab memiliki aturan berbasis IF-THEN yang mudah dipahami secara linguistik, fleksibel dalam mengolah data kualitatif seperti kategori “ringan”, “cukup kuat”, dan “sangat kuat”, serta tidak terbatas pada fungsi keanggotaan monoton sebagaimana Tsukamoto. Selain itu, proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid pada Mamdani mampu menghasilkan keluaran yang lebih stabil, representatif, dan menyerupai cara manusia menilai intensitas gempa secara gradual. Dengan kelebihan tersebut, Mamdani dianggap relevan untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu mendeteksi serta mengklasifikasikan getaran gempa secara intuitif dan realistis.

1. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan untuk menghilangkan nilai offset pada sensor MPU6050 sebelum digunakan dalam deteksi getaran. Sensor diletakkan pada permukaan datar dalam kondisi diam untuk mendapatkan nilai baseline. Nilai akselerasi pada sumbu Z disesuaikan agar mendekati nol setelah dikurangi gaya gravitasi:

$$Az, \text{koreksi} = Az - 1$$

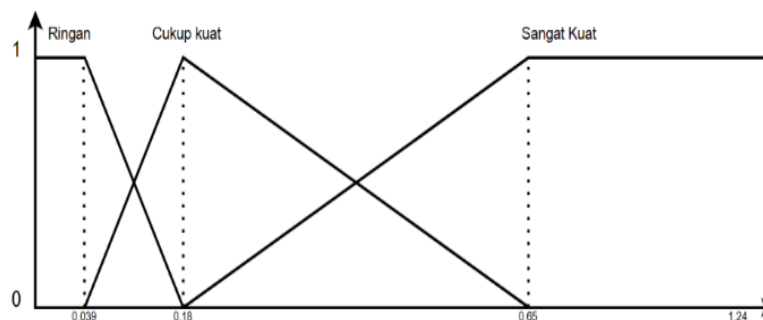
Nilai total percepatan (resultan) dihitung dengan:

$$A_{\text{resultan}} = \sqrt{A_x, \text{koreksi}^2 + A_y, \text{koreksi}^2 + A_z, \text{koreksi}^2}$$

2. Fuzzy Mamdani

Metode Mamdani menggunakan himpunan fuzzy monoton untuk konsekuen aturan IF-THEN. Inferensi dilakukan dengan menghitung α -predikat tiap aturan, lalu menghasilkan nilai keluaran tegas (crisp) menggunakan pendekatan rata-rata berbobot (Weighted Average) [11].

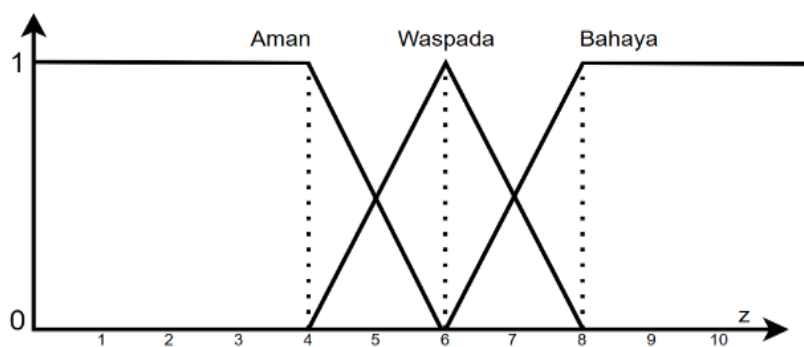
a. Fungsi Keanggotaan Inputan Getaran



Gambar 1. Kurva Derajat Keanggotaan Getaran

Variabel getaran dikategorikan ke dalam tiga himpunan fuzzy Ringan, Cukup Kuat, dan Sangat Kuat, yang didefinisikan dalam rentang nilai 0 hingga 1.24.

b. Fungsi Keanggotaan Output Risiko



Gambar 2. Derajat Keanggotaan Risiko

Variabel risiko dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Dengan rentang nilai dari 0 hingga 10.

c. Fuzzifikasi

Pada tahap Fuzzifikasi, data kekuatan getaran dari sensor diubah menjadi derajat keanggotaan fuzzy. Sensor ditempatkan pada permukaan yang rata, dan simulasi getaran gempa dilakukan dengan menggoyangkan permukaan tersebut. Data getaran yang dihasilkan kemudian dikategorikan ke dalam himpunan fuzzy: Aman, Waspada, dan Bahaya. Fungsi keanggotaan segitiga digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan setiap nilai getaran terhadap setiap kategori.

d. Evaluasi Rules atau Inferensi

[R1] If (Getaran is Ringan) then (Risiko is Aman)

[R2] If (Getaran is Cukup_Kuat) then (Risiko is Waspada)

[R3] If (Getaran is Sangat_Kuat) then (Risiko is Bahaya)

e. Defuzzifikasi

Pada tahap ini mengubah output logika fuzzy yang berbentuk himpunan fuzzy menjadi nilai tegas (crisp). Proses ini diperlukan agar hasil pengambilan keputusan sistem fuzzy dapat digunakan secara nyata, misalnya untuk mengaktifkan alarm atau menampilkan level risiko. Salah satu metode defuzzifikasi yang umum digunakan adalah centroid, yang menghitung rata-rata tertimbang dari seluruh area himpunan fuzzy:

$$z^* = \frac{\int \mu(z)z \cdot dz}{\int \mu(z) dz}$$

Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan dengan metode black box testing melalui simulasi getaran buatan, karena gempa bumi tidak dapat direkayasa secara langsung. Simulasi dilakukan dengan menjatuhkan beban bermassa berbeda (antara 120 gram hingga 950 gram) dari ketinggian 25 cm ke permukaan uji yang stabil dan datar. Sensor MPU6050 diletakkan di atas permukaan tersebut untuk mendeteksi intensitas getaran yang dihasilkan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan, di mana setiap percobaan menggunakan massa beban berbeda untuk menghasilkan variasi getaran dari kategori ringan, sedang, hingga kuat. Hasil deteksi sensor diproses menggunakan logika fuzzy Mamdani untuk menentukan status risiko gempa (Aman, Waspada, Bahaya) serta memicu keluaran berupa LED, buzzer, dan notifikasi Telegram.

Parameter yang Diukur:

1. Keluaran sistem: Hasil klasifikasi status risiko (Aman, Waspada, Bahaya).
2. Waktu respon: Selisih waktu antara deteksi getaran oleh sensor dan keluarnya peringatan (LED/buzzer/Telegram).
3. Tingkat akurasi: Kesesuaian antara hasil klasifikasi sistem dengan kondisi sebenarnya berdasarkan massa beban (Ringan, Sedang, Kuat).
4. Keberhasilan notifikasi: Persentase pesan notifikasi Telegram yang berhasil dikirim.

Teknik Analisis Data

Pada tahap ini dibahas metode dan langkah-langkah yang digunakan untuk menganalisis hasil pengujian sistem. Analisis data dilakukan guna mengevaluasi kinerja prototipe deteksi sistem. Tahap ini menjadi dasar dalam menarik kesimpulan terkait keberhasilan sistem yang telah dirancang.

1. Akurasi Sistem

Akurasi digunakan untuk mengukur ketepatan sistem dalam mengklasifikasikan tingkat getaran ke dalam kategori Aman, Waspada, atau Bahaya sesuai kondisi sebenarnya.

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah Hasil Benar}}{\text{Jumlah Keseluruhan Percobaan}} \times 100\%$$

2. Waktu Respon

Waktu respon dihitung dari selisih antara saat getaran terdeteksi hingga sistem mengeluarkan output berupa LED, buzzer, atau notifikasi.

$$\text{Waktu Respon} = \frac{\sum(t_{\text{keluaran}} - t_{\text{deteksi}})}{N}$$

3. Tingkat Keberhasilan Notifikasi

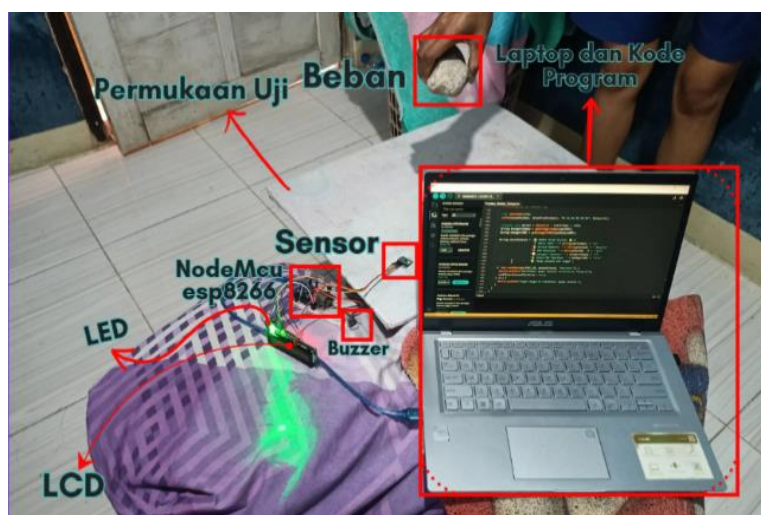
Tingkat keberhasilan notifikasi menunjukkan seberapa banyak pesan peringatan berhasil terkirim dibandingkan dengan jumlah seharusnya terkirim.

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{\text{Terkirim}}{\text{Jumlah seluruh pengujian}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini akan dilakukan Proses pengujian sistem deteksi getaran yang telah dirancang. Pengujian bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan tingkat getaran menggunakan sensor MPU6050 yang diproses dengan metode logika fuzzy Mamdani. Sumber getaran buatan diperoleh melalui simulasi berupa benda dengan massa tertentu yang dijatuhkan ke permukaan uji, sehingga menciptakan variasi intensitas getaran ringan, sedang, dan kuat. Respon sistem diamati melalui indikator visual berupa nyala LED, peringatan suara melalui buzzer, serta notifikasi digital yang dikirim secara otomatis ke aplikasi Telegram. Setiap skenario pengujian dilakukan secara berulang untuk memastikan konsistensi, dan respon perubahan intensitas getaran.

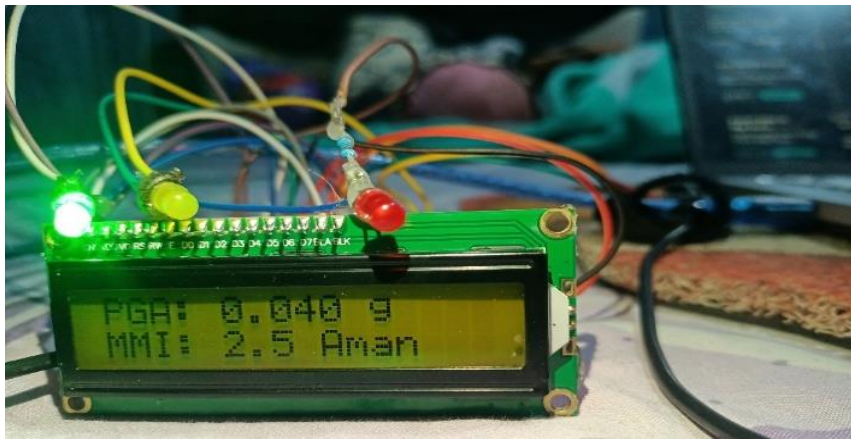
Implementasi Pengujian



Gambar 3. Skenario Pengujian

Gambar 7 menunjukkan implementasi pengujian sistem deteksi gempa menggunakan sensor MPU6050 dan NodeMCU ESP8266. Sensor diletakkan di permukaan uji untuk mendeteksi getaran dari beban yang dijatuhkan. Data diproses dengan logika fuzzy Mamdani dan ditampilkan melalui LED, LCD, buzzer, dan notifikasi Telegram. Laptop digunakan untuk menjalankan dan memantau program selama pengujian.

1. Pengujian Satu



Gambar 4. Pengujian Satu

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian sistem deteksi gempa pada kondisi getaran ringan. Getaran disimulasikan dengan menjatuhkan beban seberat 128 gram dari ketinggian 25 cm ke permukaan uji. LCD menampilkan nilai PGA sebesar 0.040 g dan MMI 2.5, yang diklasifikasikan dalam status risiko aman. Hal ini ditandai dengan LED hijau menyala sebagai indikator visual bahwa tidak terdapat potensi bahaya gempa saat pengujian berlangsung.

2. Pengujian Dua



Gambar 5. Pengujian Dua

Gambar 9 menunjukkan hasil pengujian sistem deteksi gempa pada kondisi getaran sedang. Getaran disimulasikan dengan menjatuhkan beban seberat 345 gram dari ketinggian 25 cm ke permukaan uji. LCD menampilkan nilai PGA sebesar 0.108 g dan MMI 4.5, yang diklasifikasikan dalam status risiko waspada. Hal ini ditandai dengan LED kuning menyala sebagai indikator bahwa sistem mendeteksi getaran yang perlu diwaspadai.

3. Pengujian Tiga



Gambar 6. Pengujian Tiga

Gambar 10 di atas menunjukkan hasil pengujian sistem deteksi gempa pada kondisi getaran kuat. Getaran disimulasikan dengan menjatuhkan beban seberat 700 gram dari ketinggian 25 cm ke permukaan uji, menghasilkan nilai PGA sebesar 0.749 g dan MMI 8.0, yang diklasifikasikan dalam status risiko bahaya. Indikator LED merah menyala sebagai penanda visual peringatan darurat, menandakan bahwa sistem berhasil mendeteksi getaran dengan intensitas tinggi yang berpotensi membahayakan.

4. Notifikasi Telegram



Gambar 7. Notifikasi Chat Bot Telegram

Gambar 11 menunjukkan hasil notifikasi peringatan yang dikirim secara otomatis melalui chatbot Telegram. Setiap kali sistem mendeteksi getaran dengan nilai PGA dalam rentang tertentu, sistem mengklasifikasikan intensitasnya menggunakan metode logika fuzzy Mamdani, lalu mengirimkan notifikasi ke grup Telegram. Notifikasi berisi informasi waktu kejadian, nilai PGA terukur, kategori getaran, serta skala intensitas MMI. Selain itu, sistem juga memberikan peringatan untuk mencari tempat aman. Fitur ini berfungsi sebagai bentuk penyampaian informasi peringatan dini secara real-time agar pengguna dapat merespons dengan cepat.

Tabel 2. Pengujian Black Box

No	Beban (gram)	Ketinggian (cm)	PGA	MMI	Status Risiko	Visual (LED)	Suara (Buzzer)	Notifikasi Telegram	Waktu Respon
1.	128	25	40	2.5	Aman	Hijau Menyala	Berbunyi	Terkirim	1.2
2.	345	25	108	4.5	Waspada	Kuning Menyala	Berbunyi	Terkirim	1.5
3.	700	25	749	8.0	Bahaya	Merah Menyala	Berbunyi	Tidak Terkirim	2.0
4.	120	25	22	2.5	Aman	Hijau Menyala	Berbunyi	Terkirim	1.1
5.	140	25	35	2.5	Aman	Hijau Menyala	Berbunyi	Terkirim	1.3
6.	150	25	40	2.5	Aman	Hijau Menyala	Berbunyi	Terkirim	1.2
7.	330	25	97	4.2	Waspada	Kuning Menyala	Berbunyi	Terkirim	1.4
8.	650	25	519	6.0	Waspada	Kuning Menyala	Berbunyi	Terkirim	1.6
9.	800	25	950	8.5	Bahaya	Merah Menyala	Berbunyi	Terkirim	1.8
10.	950	25	1.200	9.0	Bahaya	Merah Menyala	Berbunyi	Terkirim	2.1

1. Teknik Analisis Data

Pada tabel 2 pengujian black box sebanyak 10 kali, sistem menghasilkan klasifikasi yang benar pada 10 percobaan. Satu percobaan mengalami kegagalan pengiriman notifikasi.

$$Akurasi \frac{10}{10} \times 100\%$$

Maka, akurasi sistem = 100%

2. Waktu Respon

Dari tabel pengujian, diperoleh data waktu respon tiap percobaan berkisar 1,1 - 2,1 detik.

$$Waktu Respon \frac{1.2 + 1.5 + 2.0 + 1.1 + 1.3 + 1.2 + 1.4 + 1.6 + 1.8 + 2.1}{10}$$

Maka, rata-rata waktu respon sistem = 1,52 detik

3. Tingkat Keberhasilan Notifikasi

Dari 10 percobaan, hanya 9 notifikasi berhasil terkirim, sementara 1 percobaan (No. 3) gagal terkirim akibat gangguan koneksi jaringan.

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{9}{10} \times 100\%$$

Maka, tingkat keberhasilan pengiriman notifikasi = 90%

Berdasarkan hasil pengujian black box sebanyak 10 kali percobaan, sistem deteksi gempa berbasis IoT mampu mengklasifikasikan getaran dengan benar pada seluruh percobaan dengan akurasi 100%, memiliki rata-rata waktu respon 1,52 detik yang masih berada di bawah ambang batas 2 detik, serta tingkat keberhasilan pengiriman notifikasi Telegram sebesar 90% karena 1 percobaan gagal akibat gangguan jaringan; secara keseluruhan sistem telah berfungsi sesuai rancangan, meskipun kestabilan koneksi internet tetap menjadi faktor penting dalam keandalan notifikasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan prototipe sistem pendeteksi getaran gempa berbasis IoT menggunakan sensor MPU6050, mikrokontroler NodeMCU ESP8266, dan metode fuzzy Mamdani. Berdasarkan hasil pengujian sebanyak 10 kali percobaan, sistem mampu mengklasifikasikan getaran dengan akurasi 100%, rata-rata waktu respon 1,52 detik, serta tingkat keberhasilan pengiriman notifikasi Telegram sebesar 90%. Kontribusi ilmiah utama penelitian ini adalah penerapan metode fuzzy Mamdani secara langsung dalam sistem deteksi gempa berbasis IoT yang dipadukan dengan mekanisme notifikasi ganda (indikator lokal dan Telegram), sehingga berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya hanya mengandalkan satu saluran komunikasi dan belum mengoptimalkan logika fuzzy dalam klasifikasi intensitas getaran.

Meskipun menunjukkan kinerja yang baik, sistem ini memiliki keterbatasan, yaitu belum diuji pada kondisi gempa nyata, belum mampu membedakan sumber getaran non-seismik, serta masih bergantung penuh pada jaringan internet. Oleh karena itu, saran pengembangan ke depan adalah menambahkan variabel input seperti durasi dan arah getaran untuk meningkatkan akurasi, menggunakan sensor yang lebih sensitif seperti geophone agar hasil pengukuran lebih presisi, serta mengintegrasikan metode machine learning agar sistem dapat membedakan antara gempa dan getaran lain. Selain itu, penambahan jalur komunikasi alternatif seperti SMS atau LoRa penting untuk memastikan notifikasi tetap terkirim meskipun internet terganggu, sehingga sistem dapat menjadi solusi peringatan dini gempa yang lebih andal dan bermanfaat bagi masyarakat di wilayah rawan bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Siswanto, Ngatono, and S. Febri Saputra, "Prototype Sistem Peringatan Dini Bencana Gempa Bumi Dan Tsunami Berbasis Internet of Things," *PROSISKO J. Pengemb. Ris. dan Obs. Sist. Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 60–66, 2022, doi: 10.30656/prosisko.v9i1.4743.
- [2] A. Prasetyo, M. M. Effendi, and M. N. Dwi M, "Analisis Gempa Bumi Di Indonesia Dengan Metode Clustering," *Bull. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 338–343, 2023, doi: 10.47065/bit.v4i3.820.
- [3] E. Bassar, "Emila Bassar : Diseminasi Informasi Publik Tentang Peringatan dini Bencana...", *J. Visi Komun.*, vol. 14, no. 01, pp. 90–103, 2015.
- [4] N. S. Bengi, S. Syamsul, and N. Nasri, "Prototype Sistem Pendeteksi Gempa Bumi Dan Peringatan Dini Berbasis Internet of Things," *J. TEKTRONIKA*, vol. 8, no. 1, pp. 138–144, 2024.
- [5] R. Rizky *et al.*, "Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk pengukuran Keakuratan Jarak Pada Pintu Otomatis di CV Bejo Perkasa," *J. Tek. Inform. Unika St. Thomas*, vol. 05 Nomor 0, no. ISSN: 2548-1916, e-ISSN: 2657-1501, pp. 33–42, 2020.
- [6] F. Fatimah, S. Abdy, S. Ramadhany, and P. Fitriani, "Sistem Monitoring Dan Deteksi Dini

- Terjadinya Gempa Berbasis Iot (Internet Of Things),” vol. 5, no. 1, pp. 31–39, 2025, doi: 10.47065/jimat.v5i1.472.
- [7] A. Afriyanto, E. Gernaria Sihombing, P. Studi Sistem Informasi, and S. Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Nusa Mandiri, “Inti Nusa Mandiri Deng,” vol. 14, no. 1, pp. 21–26, 2019.
- [8] Arokhman, “Rancang Bangun Pendeteksi Getaran Gempa Bebas Mikrokontroler Iot Arduino,” *Cyber, Educ. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 788–792, 2023, doi: 10.58660/cer.v3i1.8.
- [9] A. D. Pangestu, F. Ardianto, and B. Alfaresi, “Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino Nodemcu Esp8266,” *J. Ampere*, vol. 4, no. 1, p. 187, 2019, doi: 10.31851/ampere.v4i1.2745.
- [10] S. ade sudrajat Bahri, “Rancang Bangun Prototype Sistem,” *Ranc. Bangun Prototype Sist.*, vol. 4, no. May, pp. 14–20, 2017.
- [11] A. Wantoro, “Komparasi Perhitungan Pemilihan Mahasiswa Terbaik Menggunakan Metode Perhitungan Klasik Dengan Logika Fuzzy Mamdani & Sugeno,” *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru.*, vol. 15, no. 1, pp. 42–50, 2018, doi: 10.23887/jptk-undiksha.v15i1.13000.
- [12] Anggita Nur Fathoni and Unan Yusmaniar Oktiawati, “Blackbox Testing terhadap Prototipe Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 4, pp. 362–368, 2021, doi: 10.22146/jnteti.v10i4.2095.