

Sistem Monitoring Dan Deteksi Dini Terjadinya Gempa Berbasis Iot (Internet Of Things)

Fitri Fatimah^{1,*}, Sahara Abdy¹, Sri Ramadhany¹, Pristiwati Fitriani², Afifudin³

¹Manajemen Informatika, STMIK Logika, Medan, Indonesia

²Teknik Informatika, STMIK Logika, Medan, Indonesia

³Sistem Informasi, STMIK Logika, Medan, Indonesia

Email: ^{1,*}v3fatimah@gmail.com, ²saharaabdy77@gmail.com, ³sriramadhany82@gmail.com, ⁴pristiwatifitriani08@gmail.com, ⁵afifudin.logika@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: v3fatimah@gmail.com

Abstrak— Merancang dan mengembangkan sistem yang mampu memonitor getaran tanah secara real-time dan memberikan peringatan dini sebelum gempa besar terjadi, meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam mendeteksi potensi gempa bumi. Teknologi ini dikenal sebagai sistem monitoring dan deteksi dini gempa berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan sensor gerak. Untuk mendeteksi aktivitas seismik, sistem ini menggunakan sejumlah sensor gerak yang terhubung ke jaringan Internet of Things. Sensor gerak ini mengukur perubahan getaran tanah dan mengirimkan data ke server pusat, yang akan mengolahnya untuk mendeteksi kemungkinan gempa. Penelitian ini menggunakan metodologi yang terdiri dari beberapa tahapan. Pertama, data primer dikumpulkan dari sensor gerak yang terletak di berbagai lokasi rawan gempa. Data ini dikirim ke server pusat melalui jaringan internet. Selanjutnya, algoritma pemrosesan sinyal digital digunakan untuk menganalisis data untuk membedakan getaran tanah normal dari yang dapat menandakan gempa. Algoritma ini dibuat untuk mengidentifikasi perubahan intensitas dan frekuensi getaran tanah yang mencurigakan. Sistem kemudian mengirimkan peringatan atau notifikasi ke perangkat pengguna, seperti smartphone atau komputer, apabila terdeteksi potensi gempa. Menurut BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Deofisika) Skala intensitas gempa bumi (SIG) Skala ini menyatakan dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya gempabumi. Skala ini disusun lebih sederhana dengan hanya memiliki lima tingkatan yaitu I-V, Yang mana setiap tingkatan mempunyai arti masing masing, tingkatan I di tandai dengan warna putih dan tingkatan II dengan di tandai warna hijau dan tingkatan ke III di tandai dengan warna kuning dan tingkatan ke IV ditandai dengan warna jingga dan tingkatan terakhir yang ke V dengan di tandai dengan warna merah, dan setiap tingkatan memiliki arti masing-masing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang dapat mendeteksi getaran dengan akurasi yang cukup tinggi dan memberikan peringatan dini dalam beberapa detik setelah terdeteksi aktivitas seismik yang mencurigakan. Selain itu, sistem ini memiliki kecepatan pengiriman data dari sensor ke server dan kinerja yang baik dalam penggunaan jaringan internet. Sensor gerak berbasis IoT memungkinkan pemantauan gempa yang lebih luas dan terdesentralisasi. Jadi, sistem monitoring dan deteksi dini gempa berbasis Internet of Things ini dapat menjadi solusi yang bagus untuk meningkatkan kesiapsiagaan bencana gempa bumi. Dengan menerapkan teknologi ini di berbagai wilayah yang rentan terhadap gempa, mereka dapat membantu menyebarkan dan menanggapi potensi gempa dengan lebih cepat.

Kata Kunci: Deteksi Dini Gempa; IoT; Sensor Gerak; Monitoring Seismik; Pemrosesan Sinyal.

Abstract—Designing and developing systems capable of monitoring ground tremors in real-time and providing early warning before major earthquakes occur, increasing speed and accuracy in detecting potential earthquakes. This technology is known as an Internet of Things (IoT)-based earthquake monitoring and early detection system that uses motion sensors. To detect seismic activity, the system uses several motion sensors connected to the Internet of Things network. These motion sensors measure changes in ground vibration and transmit the data to a central server, which will process it to detect possible earthquakes. This research uses a methodology consisting of several stages. First, primary data is collected from motion sensors located in various earthquake-prone locations. This data is sent to a central server over the internet network. Furthermore, digital signal processing algorithms are used to analyze data to distinguish normal ground tremors from those that can signal earthquakes. This algorithm was created to identify suspicious changes in the intensity and frequency of ground vibrations. The system then sends a warning or notification to the user's device, such as a smartphone or computer, if a potential earthquake is detected. According to BMKG (Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency) Earthquake intensity scale (GIS) states the impact caused by earthquakes. This scale is arranged more simply by having only five levels, namely I-V, where each level has its own meaning, level I is marked with white and level II is marked with green and level III is marked with yellow and level IV is marked with orange and the last level V is marked with red, and each level has its own meaning. The results show that the designed system can detect vibrations with high accuracy and provide early warning within seconds after suspicious seismic activity is detected. In addition, this system has a speed of sending data from the sensor to the server and good performance in the use of the internet network. IoT-based motion sensors allow for broader and decentralized monitoring of earthquakes. So, this Internet of Things-based earthquake monitoring and early detection system can be a good solution to improve earthquake disaster preparedness. By applying these technologies in different earthquake-prone areas, they can help spread and respond to potential earthquakes more quickly

Keywords: Earthquake Early Detection; IoT; Motion Sensors; Seismic Monitoring; Signal Processing

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada di kawasan cincin api Pasifik, yang menjadikannya sangat rentan terhadap aktivitas seismik seperti gempa bumi [1]. Bencana ini dapat menimbulkan dampak yang sangat besar, baik dari segi kerugian materi, korban jiwa, maupun kerusakan lingkungan [2]. Oleh karena itu, upaya untuk meminimalkan risiko dan dampak dari gempa bumi sangat diperlukan, salah satunya dengan pengembangan sistem monitoring dan deteksi dini [3]. Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang paling merusak, dan sering kali terjadi tanpa peringatan yang memadai [4]. Di negara-negara seperti Indonesia yang terletak di cincin api Pasifik, gempa bumi

merupakan ancaman yang sangat nyata [5]. Setiap tahunnya, banyak wilayah di Indonesia mengalami getaran seismik yang bervariasi dalam intensitas dan dampaknya [6]. Salah satu cara untuk mengukur besarnya dampak gempa di suatu lokasi adalah melalui Skala Intensitas Gempabumi (SIG) yang dikembangkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). SIG BMKG mengklasifikasikan dampak gempa bumi menjadi enam tingkat berdasarkan kerusakan yang dihasilkan, mulai dari skala I (sangat ringan) hingga skala VI (sangat merusak).

SIG I menggambarkan gempa yang sangat ringan, di mana getarannya hanya dirasakan oleh beberapa orang dan tidak menyebabkan kerusakan [7]. SIG II hingga IV menggambarkan intensitas gempa yang lebih kuat, tetapi masih dalam kategori sedang dengan dampak minor pada bangunan dan infrastruktur. Sedangkan SIG V hingga VI adalah kategori gempa yang dapat menyebabkan kerusakan signifikan, di mana SIG VI menggambarkan kondisi paling parah, dengan keruntuhan bangunan dan korban jiwa yang mungkin terjadi. SIG I menggambarkan gempa yang sangat ringan, di mana getarannya hanya dirasakan oleh beberapa orang dan tidak menyebabkan kerusakan. SIG II hingga IV menggambarkan intensitas gempa yang lebih kuat, tetapi masih dalam kategori sedang dengan dampak minor pada bangunan dan infrastruktur. Sedangkan SIG V hingga VI adalah kategori gempa yang dapat menyebabkan kerusakan signifikan, di mana SIG VI menggambarkan kondisi paling parah, dengan keruntuhan bangunan dan korban jiwa yang mungkin terjadi. Mengingat ancaman gempa bumi yang terus mengintai dan dampaknya yang luas, terutama pada kawasan padat penduduk, kebutuhan akan sistem deteksi dini yang akurat dan cepat menjadi sangat penting. Saat ini, banyak upaya telah dilakukan untuk mengembangkan teknologi yang mampu mendeteksi gempa lebih dini dan mengirimkan peringatan kepada masyarakat. Salah satu teknologi yang sedang berkembang pesat adalah penggunaan Internet of Things (IoT) dalam sistem deteksi dini gempa [8].

Internet of Things (IoT) adalah istilah yang baru-baru ini banyak ditemukan tetapi hanya sedikit yang mengerti arti istilah ini [9]. Internet Of Thing secara umum dapat diartikan sebagai benda disekitar kita yang dapat berkomunikasi satu sama lain melalui internet [10]. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang besar dalam pengelolaan bencana, termasuk gempa bumi [11]. IoT memungkinkan pengumpulan, pengolahan, dan pengiriman data secara real-time melalui perangkat yang saling terhubung [12]. Dengan teknologi ini, sistem monitoring gempa dapat diimplementasikan secara lebih efisien dan efektif dibandingkan metode konvensional [13]. Teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan berbagai perangkat sensor yang terhubung melalui jaringan internet untuk bekerja secara simultan dalam memantau kondisi lingkungan, termasuk mendeteksi getaran tanah [14]. Dalam konteks gempa bumi, sensor gerak berbasis IoT dapat mendeteksi perubahan aktivitas seismik di berbagai wilayah secara real-time dan mengirimkan data ke server pusat untuk dianalisis [15]. Teknologi ini tidak hanya memantau kondisi di satu titik saja, tetapi juga dapat diperluas untuk mencakup wilayah yang lebih luas, memberikan peringatan yang lebih cepat dan lebih akurat kepada masyarakat yang berada di zona berisiko [16]. Namun, tantangan dalam implementasi sistem ini tidak dapat diabaikan [17]. Masalah seperti biaya pengadaan perangkat, infrastruktur jaringan, dan keamanan data menjadi perhatian utama yang harus di atas [18]. Oleh karena itu, kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta sangat diperlukan untuk mewujudkan sistem yang andal dan berkelanjutan [19]. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring dan deteksi dini gempa berbasis IoT menggunakan sensor gerak, yang mampu memberikan peringatan dini sebelum gempa besar terjadi. Dengan mengadopsi teknologi ini, diharapkan bisa meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana gempa bumi, serta mengurangi potensi kerugian materi dan korban jiwa.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Dalam upaya meningkatkan kesiapsiagaan dan mitigasi bencana gempa bumi, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Sistem Monitoring dan Deteksi Dini Terjadinya Gempa Berbasis IoT (Internet of Things). Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang dapat menyebabkan kerugian besar, baik dari segi material maupun nyawa. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem yang dapat mendeteksi dan memberikan peringatan dini secara efektif. Tahapan penelitian ini dirancang untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai proses yang akan dilalui dalam pengembangan sistem ini. Setiap tahapan memiliki peran penting dalam memastikan bahwa sistem yang dihasilkan tidak hanya inovatif, tetapi juga dapat diandalkan dan efektif dalam situasi darurat. Dengan mengikuti langkah-langkah yang sistematis, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan kemampuan deteksi dini gempa bumi, serta memberikan manfaat bagi masyarakat luas. Berikut adalah tahapan-tahapan yang akan dilalui dalam penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Tahapan Penelitian

- a. Identifikasi Masalah: Mengidentifikasi kebutuhan akan sistem monitoring dan deteksi dini gempa yang lebih efisien dan real-time. Memahami permasalahan yang ada dalam sistem deteksi gempa saat ini dan bagaimana IoT dapat memberikan solusi.
- b. Studi Literatur: Melakukan kajian terhadap penelitian terdahulu dan teknologi IoT yang relevan. Mengumpulkan informasi dan data yang mendukung pengembangan sistem, serta memahami teknologi dan metode yang telah ada.
- c. Perancangan Sistem: Merancang arsitektur sistem IoT untuk monitoring dan deteksi gempa. Menentukan komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan, termasuk sensor, jaringan komunikasi, dan platform analisis data.
- d. Pengembangan Sistem: Membangun prototipe sistem berdasarkan desain yang telah dibuat. Mengimplementasikan perangkat keras dan perangkat lunak, serta mengintegrasikan komponen-komponen sistem.
- e. Pengujian Sistem: Melakukan uji coba terhadap prototipe sistem untuk memastikan fungsionalitas dan keandalannya. Mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan atau kekurangan dalam sistem, serta memastikan sistem dapat mendeteksi gempa dengan akurat.
- f. Analisis Data: Menganalisis data yang dikumpulkan dari sistem untuk mengevaluasi kinerja dan efektivitasnya. Menilai kemampuan sistem dalam mendeteksi gempa dan memberikan peringatan dini.
- g. Evaluasi dan Penyempurnaan: Mengevaluasi hasil pengujian dan analisis data untuk melakukan penyempurnaan sistem. Memastikan sistem bekerja sesuai dengan tujuan penelitian dan dapat diandalkan dalam situasi nyata.
- h. Dokumentasi dan Publikasi: Menyusun laporan penelitian dan mempublikasikan hasilnya. Membagikan temuan dan kontribusi penelitian kepada komunitas ilmiah dan masyarakat luas.

Sistem Monitoring dan Deteksi Dini terjadinya Gempa Berbasis IoT bertujuan untuk meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam mendeteksi gempa bumi [20]. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, sistem ini dapat mengumpulkan data secara real-time dari berbagai sensor yang tersebar di lokasi strategis [21]. Data tersebut kemudian dianalisis untuk mendeteksi aktivitas seismik dan memberikan peringatan dini kepada masyarakat dan pihak berwenang [22]. Keunggulan Sistem Berbasis IoT Real-time Monitoring. Memungkinkan pengumpulan data secara terus-menerus dan real-time. Skalabilitas dapat dengan mudah diperluas dengan menambahkan lebih banyak sensor di berbagai lokasi. Efisiensi Biaya mengurangi biaya operasional dengan memanfaatkan teknologi nirkabel dan cloud computing.

2.2 Skala Intensitas Gempabumi (SIG) BMKG

SIG adalah Skala Intensitas Gempabumi. Skala ini menyatakan dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya gempabumi. Skala Intensitas Gempabumi (SIG-BMKG) digagas dan disusun dengan mengakomodir keterangan dampak gempabumi berdasarkan tipikal budaya atau bangunan di Indonesia. Skala ini disusun lebih sederhana dengan hanya memiliki lima tingkatan yaitu I-V (Ishomyi, 2020). Skala Intensitas Gempabumi (SIG) adalah sistem pengukuran yang digunakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Indonesia untuk menggambarkan dampak dan efek dari gempabumi yang terjadi di suatu wilayah. Skala ini bertujuan untuk memberikan informasi yang lebih jelas mengenai tingkat kerusakan dan respons masyarakat terhadap gempabumi, serta membantu dalam penanganan bencana. Skala SIG didasarkan pada pengamatan langsung terhadap dampak gempabumi di permukaan, termasuk:

- a. Kerusakan bangunan
- b. Respons masyarakat
- c. Perubahan lingkungan
- d. Getaran yang dirasakan oleh manusia

SIG-BMKG diharapkan bermanfaat untuk digunakan dalam penyampaian informasi terkait mitigasi gempabumi ana tau respon cepat pada kejadian gempabumi merusak. Skala ini dapat memberikan kemudahan kepada masyarakat untuk dapat memahami tingkatan dampak yang terjadi akibat gempabumi dengan lebih baik dan akurat ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Tabel SIG BMKG

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	Tidak Dirasakan (Not Felt)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekan oleh alat	I-II	<2.9
II	Hijau	Dirasakan (Felt)	Dirasakan oleh banyak orang tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Bendabenda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar	III-V	2.9-88
III	Kuning	Kerusaka Ringan (Slight Damage)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, atap bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	89-167
IV	Jingga	Kerusakan Sedang (Moderate Damage)	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah, sebagian plaster dinding lepas, hamper sebagian atap bergeser ke bawah atau jatuh, struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang	VII-VIII	>168-564
V	Merah	Kerusakan Berat (Heavy Damae)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh, struktur bangunan mengalami kerusakan berat, rel kereta api melengkung.	IX-XII	>564

Penggunaan Skala SIG

- a. Informasi Publik: Skala SIG digunakan untuk memberikan informasi kepada masyarakat mengenai tingkat bahaya dan kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa bumi.
- b. Penanganan Bencana: Data dari skala SIG membantu pemerintah dan lembaga terkait dalam merencanakan respons dan penanganan bencana.
- c. Penelitian: Skala ini juga digunakan dalam penelitian seismologi untuk memahami pola dan karakteristik gempa bumi di Indonesia.

Skala Intensitas Gempabumi (SIG) BMKG merupakan alat penting dalam memahami dampak gempa bumi di Indonesia. Dengan klasifikasi yang jelas, SIG membantu masyarakat dan pihak berwenang dalam merespons dan mengelola risiko yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Informasi yang akurat dan tepat waktu dari skala ini sangat penting untuk keselamatan dan mitigasi bencana

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

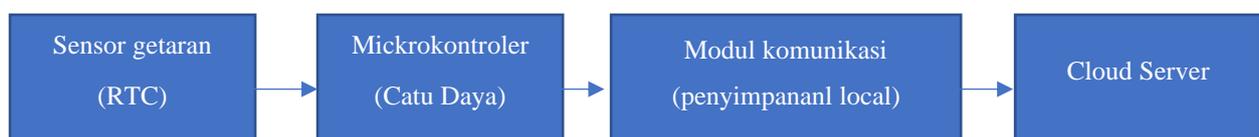
3.1. Perancangan Modul Perangkat Keras

Modul perangkat keras adalah komponen utama dalam sistem monitoring dan deteksi dini gempa berbasis IoT[23]. Modul ini dirancang untuk mendeteksi getaran, memproses data secara lokal, dan mengirimkan informasi ke server pusat menggunakan konektivitas IoT[24]. Desain ini harus memastikan keandalan, efisiensi energi, dan kemampuan komunikasi real-time.

Tabel 2. Perangkat keras

Perangkat	Keterangan
Acceleromete	MPU6050
Mikrokontroler	Arduino Nano 33 IoT
Modul komunikasi	Wi-Fi
Catu Daya	Baterai Li-Po 3.7V
Perangkat Tambahan	LED Indikator

Dalam suatu perancangan dibutuhkan blok diagram system yang akan di buat, hal ini dimaksudkan agar suatu perancangan memiliki tahap-tahap yang sistematis, gambar 2 menunjukkan blok diagram siste yang terdiri dari :



Gambar 2. Blok Diagram

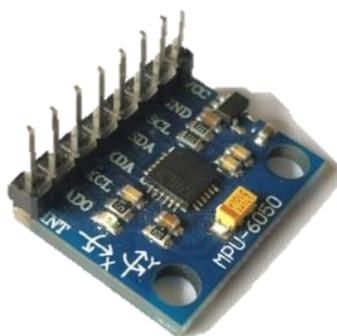
Diagram blok di atas menunjukkan alur kerja dari sistem monitoring dan deteksi dini gempa berbasis IoT. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing blok:

- a. Sensor Getaran (RTC):
 1. Berfungsi untuk mendeteksi getaran atau aktivitas seismik yang terjadi.
 2. RTC (Real-Time Clock) digunakan untuk memberikan informasi waktu yang akurat pada data yang dikirim.
- b. Mikrokontroler (Catu Daya):
 1. Mikrokontroler memproses data dari sensor getaran dan mempersiapkannya untuk dikirimkan ke modul komunikasi.
 2. Catu daya memastikan semua komponen mendapatkan energi yang diperlukan untuk beroperasi.
- c. Modul Komunikasi (Penyimpanan Lokal):
 1. Modul ini bertugas mengirimkan data hasil pemrosesan ke server cloud melalui jaringan (misalnya Wi-Fi atau LoRa).
 2. Penyimpanan lokal digunakan sebagai cadangan jika koneksi jaringan terganggu.
- d. Cloud Server:
 1. Tempat penyimpanan dan analisis data yang diterima dari modul komunikasi.
 2. Cloud server juga memungkinkan pengguna untuk mengakses data secara real-time melalui aplikasi atau dashboard.

3.2. Implementasi Perangkat Keras

- a. Persiapan Komponen:

Pastikan semua komponen (sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, catu daya) tersedia dan berfungsi dengan baik.



Gambar 3. Modul MPU6050

- b. Perakitan Perangkat Keras:
 1. Pasang sensor getaran ke mikrokontroler sesuai diagram pin yang benar.
 2. Hubungkan modul komunikasi dengan mikrokontroler.
 3. Sambungkan catu daya, termasuk baterai dan panel surya jika digunakan.
 4. Pasang RTC untuk sinkronisasi waktu.

3.2.1. Pinout dan Koneksi

MPU6050 menggunakan komunikasi I2C, sehingga Anda perlu menghubungkan pin SCL dan SDA dari sensor ke pin SCL dan SDA Arduino Nano 33, Gunakan pustaka "Wire.h" dan "MPU6050.h" untuk membaca data dari sensor. Anda bisa mengunduh pustaka dari Arduino Library Manager. Berikut adalah detail koneksinya:

Tabel 3. Susunan Pin

MPU 6050	ARDUINO NANO
VCC	3.3VATAU 5V
GND	GND
SCL	A5
SDA	A4

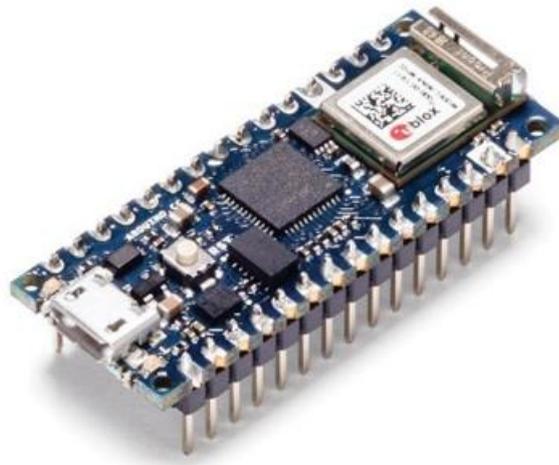
- a. Pin pada MPU 6050: VCC:

Ini adalah pin untuk sumber daya. MPU 6050 dapat dihubungkan ke 3.3V atau 5V dari Arduino Nano. Namun, disarankan untuk menggunakan 3.3V untuk menghindari kerusakan pada sensor.
- b. GND:

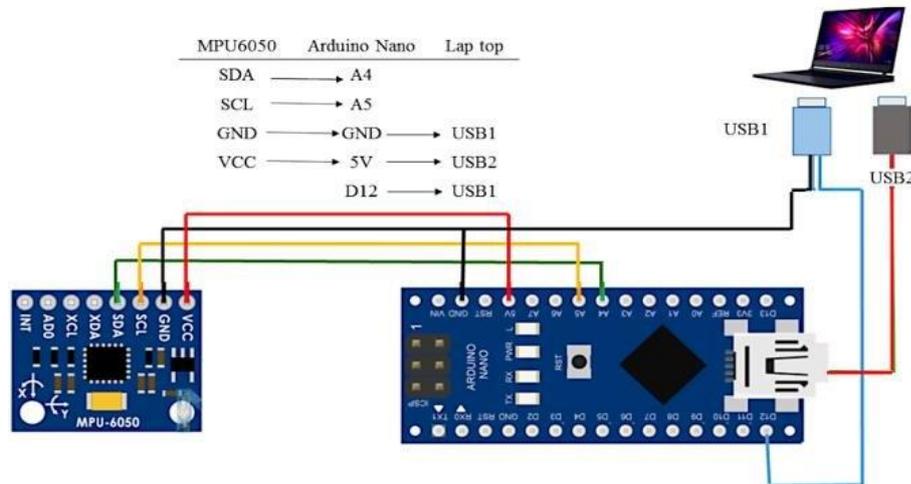
Pin ini adalah ground. Harus dihubungkan ke pin GND pada Arduino Nano untuk menyelesaikan sirkuit.
- c. SCL:

Pin ini digunakan untuk clock line dalam komunikasi I2C. Pada Arduino Nano, pin SCL terhubung ke pin A5.
- d. SDA:

Pin ini digunakan untuk data line dalam komunikasi I2C. Pada Arduino Nano, pin SDA terhubung ke pin A4.



Gambar 4. Arduino Nano



Gambar 5. Arduino Nano dan MPU6050

3.2.2 Uji Coba

- Sambungkan Arduino Nano ke komputer menggunakan kabel USB.
- Buka Arduino IDE, pilih port dan board yang sesuai, lalu unggah kode.
- Buka Serial Monitor untuk melihat data gerakan (akselerometer dan giroskop).
- Jika sudah benar, Anda akan melihat nilai-nilai gerakan (X, Y, Z) pada Serial Monitor.

3.3. Pengujian Sistem

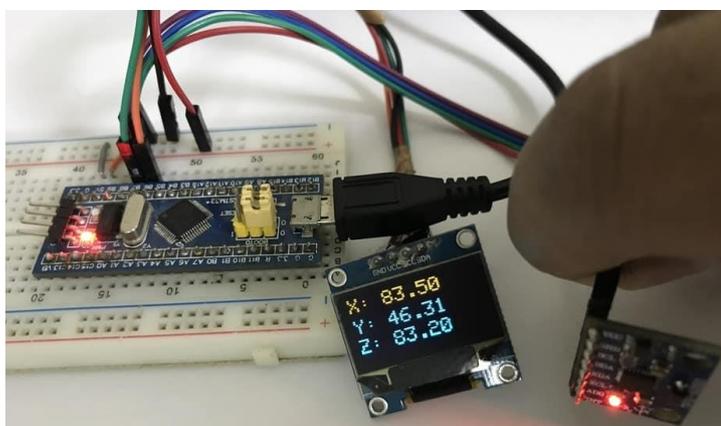
- Pengujian Sensor:
 - Lakukan uji coba dengan simulasi getaran untuk memastikan sensor berfungsi.
 - Pastikan data yang dihasilkan akurat dan dapat dibaca oleh mikrokontroler.
- Pengujian Komunikasi:
 - Uji koneksi perangkat ke jaringan Wi-Fi atau LoRa.
 - Pastikan data dikirim dan diterima oleh cloud server dengan lancar.
- Pengujian Daya Tahan:
 - Jalankan perangkat dalam kondisi nyata selama 24 jam.
 - Uji pada berbagai kondisi lingkungan seperti suhu tinggi, rendah, dan kelembapan tinggi.
- Validasi Data:

Pastikan data yang diterima oleh server sesuai dengan kondisi gempa yang disimulasikan.

3.4. Deployment

- Pemasangan di Lokasi:
 - Pilih lokasi strategis untuk memasang perangkat (misalnya, area rawan gempa).

2. Pastikan perangkat aman dari gangguan fisik dan cuaca.
- b. Monitoring:
 1. Pantau performa perangkat secara berkala.
 2. Lakukan pembaruan firmware jika diperlukan untuk meningkatkan kinerja.
- c. Hasil Pengujian :
 1. Nilai yang ditampilkan layar menunjukkan tingkat getaran pada masing masing sumbu dalam satuan tertentu.
 2. Angka- angka tersebut (contoh X=83.50, Y=46.31, Z=83.20) menggambarkan getara dalam 3 dimensi.



Gambar 6. Pengujian Alat Deteksi

3.5. Pengujian Black Box

Pengujian Black Box dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring dan deteksi dini gempa berbasis IoT bekerja sesuai dengan fungsionalitas yang diharapkan. Pengujian ini berfokus pada input dan output sistem tanpa melihat ko sumbernya. Tabel 2 berikut merangkum hasil pengujian :

Tabel 2. Black box

No	Skenario pengujian	Input	Ekspektasi Output	Hasil Pengujian
1	Sensor mendeteksi getaran kecil (SIG I)	Simulasi getaran rendah	Tidak ada peringatan yang dikirim	Berhasil
2	Sensor mendeteksi getaran sedang (SIG III)	Simulasi getaran sedang	Peringatan dikirim ke server	Berhasil
3	Sensor mendeteksi getaran tinggi (SIG V)	Simulasi getaran kuat	Peringatan dikirim ke server dan pengguna	Berhasil
4	Gangguan jaringan saat pengiriman data	Koneksi internet dimatikan sementara	Data tersimpan local dan dikirim setelah jaringan kembali	Berhasil
5	Pengguna menerima notifikasi gempa	Servet mengirimkan peringatan	Notifikasi diterima pernagkat pengguna	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja sesuai dengan yang diharapkan dalam mendeteksi dan memeberikan peringatan dini terhadap gempa bumi. Sistem dapat membedakan antara getaran normal dan aktivitas seismik yang mencurigakan. Selain itu mekanisme penyimpanan data lokal berfungsi dengan baik ketika terjadinya gangguan jaringan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem monitoring dan deteksi dini gempa berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan sensor gerak untuk mendeteksi aktivitas seismik secara real-time. Hasil implementasi dan pengujian sistem dibahas secara rinci di sini, termasuk keakuratan peringatan dini, waktu respons sistem, dan kinerja jaringan IoT[25]. Hasil Pengujian Sensor Gerak Pengujian sistem dilakukan dengan mensimulasikan getaran buatan menggunakan berbagai intensitas, dari getaran kecil (setara dengan gempa skala intensitas SIG I) hingga getaran yang lebih kuat (setara dengan gempa skala SIG IV hingga SIG VI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor gerak mampu mendeteksi getaran dengan tingkat akurasi yang tinggi, terutama pada intensitas di atas SIG III. Sensor berhasil mencatat perubahan frekuensi dan amplitudo getaran dengan baik, dan data tersebut dikirimkan ke server pusat melalui jaringan IoT dalam waktu kurang dari 5 detik setelah getaran terdeteksi. Namun, pada intensitas yang sangat rendah (SIG I dan SIG II), beberapa sensor terkadang mengalami kesulitan dalam membedakan antara getaran alami (seperti angin atau aktivitas manusia) dengan aktivitas seismik minor. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan penyesuaian sensitivitas sensor agar dapat meminimalisir kesalahan deteksi (false positive) pada kondisi getaran ringan.

4. KESIMPULAN

Sistem ini terbukti mampu mendeteksi aktivitas seismik dengan akurasi yang cukup tinggi dan memberikan peringatan dini dalam hitungan detik setelah adanya getaran yang mencurigakan. Penggunaan teknologi IoT memungkinkan pemantauan seismik yang terdistribusi secara luas, serta efisien dalam transmisi data real-time melalui jaringan internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor gerak yang digunakan dalam sistem ini dapat mendeteksi gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi (Skala Intensitas Gempabumi SIG III hingga SIG VI) secara akurat, dengan waktu respons yang cepat. tingkatan I di tandai dengan warna putih yang di artikan dengan tidak dirasakan oleh manusia tetapi terekam oleh alat dan tingkatan II dengan di tandai warna hijau yang diartikan dengan dirasakan oleh seluruh orang tetapi tidak menimbulkan kerusakan, dan tingkatan ke III di tandai dengan warna kuning yang di artikan Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, atap bergeser ke bawah dan sebagian berjatuh dan tingkatan ke IV ditandai dengan warna jingga yang di artikan Banyak Retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar atap bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang dan tingkatan terakhir yang ke V dengan di tandai dengan warna merah yang di artikan dengan Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung. Meskipun demikian, sistem masih menghadapi tantangan dalam mendeteksi gempa dengan intensitas rendah, di mana terdapat kemungkinan terjadinya kesalahan deteksi (false positive). Untuk itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut terkait penyesuaian sensitivitas sensor dan penyempurnaan algoritma pemrosesan sinyal. Secara keseluruhan, sistem ini dapat menjadi solusi efektif dalam meningkatkan kesiapsiagaan terhadap bencana gempa bumi, khususnya di wilayah rawan gempa. Implementasi sistem monitoring dan deteksi dini berbasis IoT ini dapat membantu mengurangi dampak bencana, baik dalam hal kerugian material maupun korban jiwa, dengan memberikan peringatan dini kepada masyarakat sebelum gempa besar terjadi.

REFERENCES

- [1] F. L. Batu, "Analisa Pemilihan Bahan Rumah Pra-fabrikasi untuk Korban Bencana di Mamuju, Sulawesi Barat," *J. ABDIMAS UPMI*, vol. 3, no. 2, pp. 60–71, 2024.
- [2] M. K. Sari, E. A. Saepudin, N. C. Lestari, M. Malindo, and A. Agas, "Peran Teknologi dalam Sistem Peringatan Dini Bencana Alam," *J. Multidiscip. Inq. Sci. Technol. Educ. Res.*, vol. 2, no. 1b, pp. 1555–1647, 2025.
- [3] G. A. Pradana and S. L. Siregar, "Studi Sistem Peringatan Dini Insiden Tumpahan Minyak Dengan Memanfaatkan Internet of Things," *J. Fasilkom*, vol. 13, no. 02, pp. 225–231, 2023.
- [4] M. Hidayat, A. H. Assegaf, and R. S. Fauzan, "TRANSFORMASI PEMBERDAYAAN MASYARAKAT MELALUI EDUKASI MITIGASI BENCANA GEMPA BUMI PADA ANAK USIA DINI DI CIANJUR JAWA BARAT," *Sebatik*, vol. 27, no. 1, pp. 451–457, 2023.
- [5] S. T. Asadel, A. Kurniawan, and M. C. A. Setiawan, "Implementasi sendai framework terhadap respons bencana alam di filipina tahun 2016-2020," *J. Polit. Issues*, vol. 3, no. 2, pp. 86–97, 2022.
- [6] E. I. Goma, S. Sunimbar, and I. S. Angin, "Analisis Geologi Kejadian Longsor Di Desa Wolotolo Kecamatan Detusoku Kabupaten Ende," *JPG (Jurnal Pendidik. Geogr.)*, vol. 9, no. 2, 2022.
- [7] M. N. Sholeh, *Struktur Bangunan Tahan Gempa*. Pustaka Pranala, 2022.
- [8] R. P. L. D. S. Zaenudin, A. A. R. P. L. Delsi, and S. Z. A. Akbar, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE SISTEM PENDETEKSI GEMPA BERBASIS IOT MENGGUNAKAN NOTIFIKASI TELEGRAM," *J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 294–303, 2024.
- [9] S. Supiyandi, C. Rizal, M. Iqbal, M. N. H. Siregar, and M. Eka, "Smart Home Berbasis Internet of Things (IoT) Dalam Mengendalikan dan Monitoring Keamanan Rumah," *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 1302–1307, 2023.
- [10] B. Satria, "IoT Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara dengan Node MCU ESP8266," *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 1, no. 3, pp. 136–144, 2022.
- [11] I. U. Turyadi, "Analisa Dukungan Internet of Things (IoT) terhadap Peran Intelejen dalam Pengamanan Daerah Maritim Indonesia Wilayah Timur," *J. Teknol. dan Manaj. Inform.*, vol. 7, no. 1, pp. 29–39, 2021.
- [12] L. M. Arsai, A. Z. Patiran, and A. Sumendap, "Integrasi Internet of Things untuk Sistem Monitoring Suhu Kulkas Dan Debu Pada Ruang Penyimpanan Obat," *Progresif J. Ilm. Komput.*, vol. 20, no. 2, 2024.
- [13] I. Idrus, "Inovasi Rumah Smart Berkelanjutan dengan Material Bambu: Pengembangan dan Penerapan Teknologi pada Hunian Modern," *J. Pengabd. Masy. Konstr.*, vol. 2, no. 2, pp. 71–86, 2024.
- [14] M. Hasanuddin and H. Herdianto, "Sistem Monitoring dan Deteksi Dini Pencemaran Udara Berbasis Internet of Things (IOT)," *J. Comput. Syst. Informatics*, vol. 4, no. 4, pp. 976–984, 2023.
- [15] D. Purwanto, R. E. Putri, Y. Fadly, and D. C. Pratiwi, *Perancangan Sistem Informasi Absensi Online Berbasis GPS*. Serasi Media Teknologi, 2024.
- [16] F. Wadly, Z. Ramadhan, and D. A. Sitompul, "Sistem Pemantauan Pasang Surut Air Laut Berbasis Internet Of Things di Pantai Kurnia My Darling," *J. Teknol. DAN ILMU Komput. PRIMA*, vol. 7, no. 2, pp. 224–239, 2024.
- [17] M. R. Fauzi, S. Saimi, and F. Fathoni, "Tantangan dan Solusi Administrasi Kesehatan di Era Digital (Tinjauan Literature Review atas Implementasi Teknologi)," *AL-MIKRAJ J. Stud. Islam Dan Hum. (E-ISSN 2745-4584)*, vol. 5, no. 01, pp. 1093–1103, 2024.
- [18] M. Rantung, W. A. Dunga, L. Djaafar, and Y. Aneta, "Digitalisasi Pelayanan Administratif di Kabupaten Minahasa: Tantangan Infrastruktur dan Kesiapan Sumber Daya Manusia," 2024.
- [19] M. Alfarizi, "Ekonomi Biru Kepulauan Riau Berkelanjutan: Tantangan, Peluang dan Langkah Strategik Berbasis Kolaborasi Pentahelix," *J. Archipel.*, vol. 3, no. 01, pp. 1–15, 2024.
- [20] H. M. Yusuf and D. Y. Setyawan, "Protokol REST API Pada Sistem Peringatan Dini Banjir," *JIMU J. Ilm. Multidisipliner*, vol. 2, no. 03, pp. 794–815, 2024.
- [21] M. Alamsyah, M. P. Darsana, D. Amalia, Y. Komalasari, and M. R. Fazal, "FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI

- MONITORING REAL-TIME PM_{2.5} DAN CO₂ DI AREA TERMINAL BANDAR UDARA: LOW-COST SENSOR, INTERNET OF THINGS (IOT) DAN PENGUKURAN POLUTAN UDARA,” *J. Penelit.*, vol. 9, no. 4, pp. 320–342, 2024.
- [22] A. A. H. Zamil, T. Nurita, N. I. Fitriani, and P. Presiden, “Kajian Literatur Berbasis Sistem Peringatan Dini Mitigasi Bencana Gunung Meletus,” *Kohesi J. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 2, pp. 41–50, 2024.
- [23] G. G. Salindeho and T. Wellem, “Perancangan dan Implementasi Sistem Pendeteksi dan Peringatan Kebakaran berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan Sensor Api,” *IT-Explore J. Penerapan Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 2, no. 3, pp. 179–191, 2023.
- [24] N. Kristanto, “Perancangan Sistem Informasi Pendeteksi Gempa Berbasis Internet Of Things Di Universitas Tarumanagara,” *Sibatik J. J. Ilm. Bid. Sos. Ekon. Budaya, Teknol. Dan Pendidik.*, vol. 2, no. 2, pp. 609–622, 2023.
- [25] I. Pasanda, A. R. Kartino, H. E. Patoding, and C. I. Rapa, “Rancang Bangun Alat Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas Lpg Berbasis Internet Of Things,” in *Prosiding Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 2024, pp. 36–42.