

SISTEM DETEKSI GEMPA BERBASIS IOT DENGAN VISUALISASI *REAL-TIME* DAN NOTIFIKASI CERDAS

Ariman¹; Riadi Marta Dinata^{2*}; Muhammad Ikrar Yamin³

Prodi Teknik Elektronika¹, Teknik Informatika², Teknik Elektronika³
Institut Sains Dan Teknologi Nasional, Jakarta, Indonesia^{1,2,3}
<https://www.istn.ac.id>^{1,2,3}
ariman@istn.ac.id¹, adiarray@istn.ac.id^{2*}, m-fikrar@istn.ac.id³
(*) Corresponding Author



Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-NonKomersial 4.0 Internasional.

Abstract— Indonesia, as a region with high seismic activity, requires a fast, accurate, and reliable disaster mitigation system. However, most existing earthquake detection systems still focus primarily on data collection without automatic notifications, which delays response times in emergency situations. This study develops an Internet of Things (IoT)-based early earthquake detection system that integrates a gyroscope sensor, the ThingSpeak cloud platform, and an Android application to provide real-time information to users. The system detects orientation changes along the X, Y, and Z axes, calculates vibration magnitude through a calibrated algorithm, and sends automatic notifications via WhatsApp to mitigation officers. Testing was conducted through simulations using Wokwi to validate the algorithm and physical implementation in real-world conditions, demonstrating that the system achieves high accuracy in detecting seismic activity, with an average accelerometer magnitude of 3.35 and a gyroscope magnitude of 4.19. Data visualization on ThingSpeak, along with graphical displays in the Android application, enables intuitive and real-time earthquake monitoring. The integration of smart notifications via WhatsApp ensures a fast response from mitigation officers, making it an effective and applicable solution for earthquake risk mitigation.

Keywords: *accel magnitudo, broadcast, gyro magnitudo, ThingSpeak, wokwi simulator.*

Abstrak— Indonesia sebagai salah satu wilayah dengan aktivitas seismik tinggi membutuhkan sistem mitigasi bencana yang cepat, akurat, dan dapat diandalkan. Namun, sebagian besar sistem deteksi gempa yang ada masih berfokus pada pengumpulan data tanpa notifikasi otomatis, sehingga memperlambat respons dalam situasi darurat. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi dini gempa berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan sensor *gyroscope*, platform *cloud ThingSpeak*, dan aplikasi Android untuk menyediakan informasi *real-time* kepada pengguna. Sistem ini mendeteksi perubahan orientasi pada sumbu X, Y, dan Z, menghitung magnitudo getaran melalui algoritma yang dikalibrasi, serta mengirimkan notifikasi otomatis melalui WhatsApp kepada petugas mitigasi. Pengujian dilakukan melalui simulasi dengan Wokwi untuk memvalidasi algoritma dan implementasi fisik di lapangan, yang membuktikan sistem memiliki akurasi tinggi dalam mendeteksi aktivitas seismik, dengan magnitudo *accelerometer* rata-rata 3.35 dan *gyroscope* rata-rata 4.19. Visualisasi data pada *ThingSpeak* serta grafik di aplikasi Android memungkinkan pemantauan aktivitas gempa secara intuitif dan *real-time*. Integrasi fitur notifikasi cerdas melalui WhatsApp memastikan *respons* cepat dari petugas mitigasi, menjadikannya solusi efektif dan aplikatif dalam mitigasi risiko gempa bumi.

Kata kunci: *magnitudo akselerasi, penyiaran, magnitudo giroskop, ThingSpeak, simulator wokwi.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia, terletak di sepanjang jalur Cincin Api (BNPB, 2021). Kejadian gempa bumi yang berulang telah

menyebabkan kerusakan infrastruktur, hilangnya nyawa, serta dampak ekonomi yang signifikan (Nurhadi et al., 2021). Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), sepanjang tahun 2021 saja tercatat lebih dari 3.000 gempa bumi dengan berbagai magnitudo yang

melanda wilayah Indonesia. Hal ini menegaskan pentingnya sistem deteksi dini yang akurat dan responsif sebagai bagian dari strategi mitigasi bencana (Bengi et al., 2024).

Dalam konteks global, kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*, membuka peluang bagi sistem deteksi dini yang lebih efisien. Jan et al. (2021) juga Williamsyah et al. (2024) menekankan bahwa *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi solusi revolusioner dalam mitigasi bencana dengan menghubungkan sensor, komputasi awan, dan aplikasi berbasis pengguna. Penelitian sebelumnya juga telah mengeksplorasi penggunaan sensor *accelerometer* dan *gyroscope* dalam mendeteksi pola getaran gempa (Siregar et al., 2022). Studi lain juga menunjukkan bahwa sensor berbasis IoT memiliki akurasi tinggi dalam menangkap getaran seismik (Chebanyuk & Yukhymenko, 2021). Namun, mayoritas penelitian ini masih berfokus pada pengolahan data tanpa adanya mekanisme notifikasi otomatis kepada petugas mitigasi, sehingga waktu respons terhadap bencana masih tergolong lambat.

Beberapa penelitian juga telah mencoba mengembangkan sistem deteksi gempa berbasis IoT, tetapi masih memiliki keterbatasan. Sebagai contoh, penelitian sebelumnya merancang sistem IoT untuk mendeteksi gempa, tetapi tidak menyertakan fitur integrasi data *real-time* ke dalam aplikasi *mobile* yang dapat diakses dengan mudah (Adhikary et al., 2024). Studi lain juga lebih menitikberatkan pada pengumpulan data seismik tanpa adanya mekanisme pemberitahuan otomatis kepada petugas penanggulangan bencana (Chakraborty & Aithal, 2024). Dengan demikian, terdapat kebutuhan untuk mengembangkan sistem yang tidak hanya mampu mendeteksi gempa secara akurat, tetapi juga dapat mengirimkan peringatan dini secara *real-time* kepada pihak-pihak yang berkepentingan (Adhikary et al., 2024; Chakraborty & Aithal, 2024; Wikantama et al., 2024).

Penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa penggunaan sistem IoT yang mengintegrasikan sensor *gyroscope*, platform *cloud ThingSpeak*, dan aplikasi Android akan meningkatkan efektivitas deteksi dini gempa serta mempercepat penyampaian peringatan kepada petugas mitigasi dibandingkan dengan pendekatan konvensional yang hanya mengandalkan sensor tanpa notifikasi otomatis (Olanubi et al., 2024).

Penelitian ini menghadirkan pendekatan komprehensif dengan mengintegrasikan sensor *gyroscope* dan *ThingSpeak Cloud* untuk visualisasi data seismik secara *real-time*. Sistem ini memungkinkan pemantauan pergerakan tanah

tanpa jeda, memastikan informasi potensi gempa tersedia secara cepat dan akurat.

Selain itu, fitur notifikasi otomatis melalui WhatsApp API mempercepat respons bencana dengan mengirimkan peringatan langsung kepada petugas mitigasi. Hal ini memungkinkan tindakan pencegahan segera dilakukan untuk meminimalkan risiko. Kemudahan akses juga menjadi fokus utama melalui aplikasi Android, yang memungkinkan pengguna menerima informasi gempa langsung di perangkat mereka. Dan dengan adanya pendekatan berbasis *cloud* memastikan skalabilitas, keamanan, dan efisiensi dalam pengolahan data seismik, membuka peluang pengembangan lebih lanjut di masa depan.

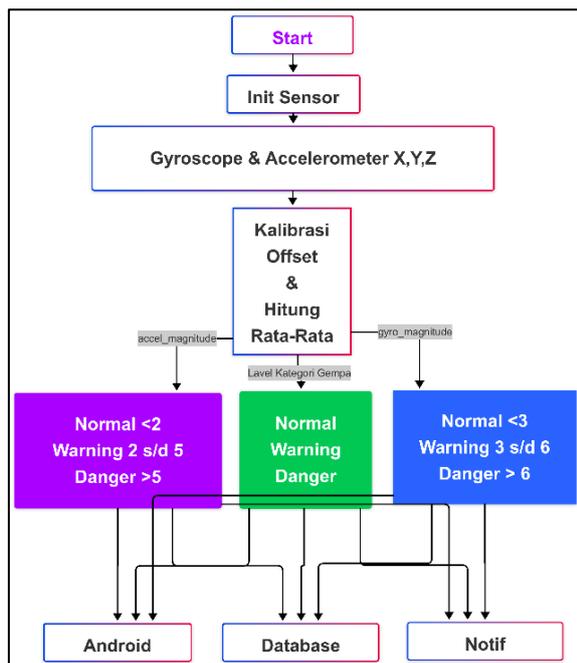
BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan eksperimental untuk mengembangkan sistem deteksi dini gempa berbasis IoT yang mampu memberikan data *real-time* kepada pengguna (Tisnadinata et al., 2023). Rancangan penelitian ini difokuskan pada tiga komponen utama, yaitu pengumpulan data seismik menggunakan sensor *gyroscope*, pengolahan data berbasis *cloud* menggunakan *ThingSpeak*, dan pengiriman notifikasi otomatis melalui WhatsApp kepada petugas mitigasi.

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari dua sensor *gyroscope* MPU6050 yang diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32. Sensor ini dirancang untuk mendeteksi perubahan orientasi pada sumbu X, Y, dan Z. Data yang dihasilkan meliputi magnitudo percepatan (*accelerometer*) dan kecepatan sudut (*gyroscope*), yang mencerminkan tingkat getaran seismik (Arifien et al., 2022). Data ini dikalibrasi untuk mengurangi pengaruh *offset*, sehingga menghasilkan pengukuran yang lebih akurat (Widagdo & Timur, 2023).

Pengumpulan data dilakukan melalui dua tahap: simulasi dan pengujian lapangan. Pada tahap simulasi, platform Wokwi digunakan untuk memvalidasi algoritma pengolahan data tanpa memerlukan perangkat keras fisik (Wokwi Documentation, 2023). Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesalahan desain awal dan meningkatkan efisiensi pengembangan sistem. Pada tahap pengujian lapangan, perangkat keras yang terdiri dari sensor *gyroscope*, ESP32, dan konektivitas Wi-Fi digunakan untuk mendeteksi getaran seismik di lingkungan nyata. Data dari sensor dikirimkan ke *cloud ThingSpeak* melalui protokol HTTP, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik secara *real-time* (MathWorks, 2023).

Data yang terkumpul dari sensor diolah menggunakan algoritma yang dirancang untuk menghitung magnitudo percepatan dan kecepatan sudut (Arifien et al., 2022). Parameter utama yang digunakan adalah magnitudo percepatan yang dihitung dari nilai rata-rata sumbu X, Y, dan Z dari sensor *accelerometer*; juga magnitudo kecepatan sudut yang dihitung dari nilai rata-rata sumbu X, Y, dan Z dari sensor *gyroscope*, yaitu menurut *flowchart* Gambar 1:



Sumber: (Hasil Penelitian, 2024)
Gambar 1. *Flowchart* Proses Mitigasi Dini

Sistem ini bekerja dalam beberapa tahapan utama seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.

1. Inisialisasi Sistem
2. Pengumpulan Data (*Data Collection*)
3. Kalibrasi Data (*Calibration*)
4. Perhitungan Magnitudo (*Magnitude Calculation*)
5. Klasifikasi Status Gempa (*Earthquake Classification*)
6. Visualisasi Data *Real-Time* (*Data Visualization*)
7. Pemicu Notifikasi (*Notification Trigger*)

Sistem dimulai dengan inisialisasi beberapa sensor yang dipasang (MPU6050), yang bertanggung jawab untuk membaca data percepatan dan kecepatan sudut pada sumbu X, Y, dan Z dari masing-masing sensor. Setelah inisialisasi, sistem akan masuk ke tahap pengumpulan data mentah, di mana nilai-nilai dari

accelerometer dan *gyroscope* dikumpulkan untuk dianalisis lebih lanjut.

Tahap berikutnya adalah kalibrasi data, di mana nilai mentah yang diperoleh dikoreksi dengan mengurangi *offset* yang telah ditentukan sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan error awal dan memastikan data yang diolah lebih akurat. Setelah kalibrasi, sistem akan menghitung nilai rata-rata dari kedua sensor pada masing-masing sumbu (X, Y, dan Z). Proses ini menghasilkan nilai rata-rata percepatan (X_{avg} , Y_{avg} , Z_{avg}) dengan menggunakan formula-1 dan kecepatan sudut (gx_{avg} , gy_{avg} , gz_{avg}) dengan menggunakan formula-2:

Formulasi *accel_magnitude*:

$$\sqrt{X_{avg}^2 + Y_{avg}^2 + Z_{avg}^2} \quad (1)$$

Dengan variabel:

X_{avg} : Nilai rata-rata percepatan pada sumbu X, dihitung dari dua sensor *accelerometer*.

Y_{avg} : Nilai rata-rata percepatan pada sumbu Y

Z_{avg} : Nilai rata-rata percepatan pada sumbu Z

Formulasi *gyro_magnitude*:

$$\sqrt{gx_{avg}^2 + gy_{avg}^2 + gz_{avg}^2} \quad (2)$$

Dengan variabel:

gx_{avg} : Nilai rata-rata kecepatan sudut pada sumbu X, dihitung dari dua sensor *gyroscope*.

gy_{avg} : Nilai rata-rata kecepatan sudut pada sumbu Y.

gz_{avg} : Nilai rata-rata kecepatan sudut pada sumbu Z.

Setelah mendapatkan nilai rata-rata, sistem melanjutkan ke tahap penghitungan magnitudo total hingga dilanjutkan akan pengkategorian status gempa, yang ditentukan berdasarkan ambang batas menurut Tabel 1 (Normal, *Warning*, atau *Danger*). Selain itu, data visualisasi dari *ThingSpeak* diakses menggunakan API JSON untuk ditampilkan pada aplikasi Android, yang memungkinkan pengguna memantau aktivitas seismik secara intuitif (U. V. Author, 2024).

Tabel 1. Batas Nilai Rentang dan Status

No	Sensor Range	Status	Level Notif
1	Accel < 2	Normal	Normal jika Gyro Normal
2	Accel 2 s/d 5	<i>Warning</i>	<i>Warning</i> jika Gyro tidak <i>Danger</i>
3	Accel > 5	<i>Danger</i>	<i>Danger</i>

No	Sensor Range	Status	Level Notif
4	Gyro < 3	Normal	Normal jika Accel Normal
5	Gyro 3 s/d 6	Warning	Warning jika Accel tidak Danger
6	Gyro >6	Danger	Danger

Sumber : (Effendi et al., 2023; Elyana et al., 2023)

Pendekatan ini juga mencakup integrasi dengan layanan fonnte.com untuk mengirimkan notifikasi otomatis melalui WhatsApp. Setiap perubahan status (Normal, Warning, atau Danger) dikomunikasikan langsung kepada petugas mitigasi, memastikan bahwa mereka dapat merespons dengan cepat dan tepat, sehingga mendukung upaya mitigasi bencana yang lebih efektif dan efisien.

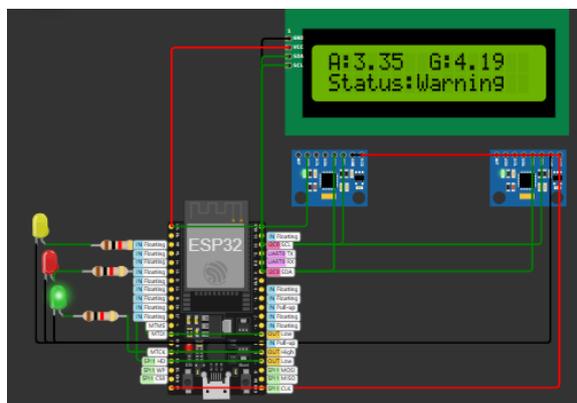
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sistem deteksi dini gempa berbasis IoT yang mampu mengintegrasikan sensor *gyroscope*, platform *cloud ThingSpeak*, dan aplikasi Android untuk visualisasi serta notifikasi *real-time* via Whatsapp. Pengujian dilakukan dalam dua tahap: simulasi menggunakan platform Wokwi dan implementasi fisik di lapangan.

Hasil

Simulasi menggunakan platform Wokwi bertujuan untuk memvalidasi algoritma pengolahan data tanpa perangkat keras fisik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma mampu menghitung magnitudo percepatan dan kecepatan sudut secara akurat berdasarkan data mentah dari sensor. Sebagai contoh, simulasi menghasilkan nilai: *Accel Magnitude: 3.35*, *Gyro Magnitude: 4.19* dan *Overall Status: Warning*.

Simulasi ini juga membuktikan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan kondisi secara berkelanjutan dan menghasilkan data yang stabil untuk divisualisasikan di ThingSpeak.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2024)

Gambar 2. Simulasi Wokwi Dengan Keluaran Gyros

Hasil Implementasi Fisik

Pengujian fisik dilakukan dengan perangkat keras meliputi sensor *gyroscope*, ESP32, dan konektivitas Wi-Fi. Data yang diperoleh menunjukkan hasil serupa dengan simulasi: *Accel Magnitude: 3.38*, *Gyro Magnitude: 4.19* dan *Overall Status: Warning*.

Selisih kecil antara hasil simulasi dan implementasi fisik menunjukkan bahwa kalibrasi *offset* sensor dilakukan dengan baik, memastikan hasil yang akurat. Selain itu, data dari *ThingSpeak* divisualisasikan dalam bentuk grafik *real-time*, yang memungkinkan pemantauan aktivitas seismik secara lengkap, yaitu mendukung keluaran dalam format json, xml, csv dan grafik.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi tinggi dalam mendeteksi getaran seismik. Hal ini sejalan dengan temuan Williamsyah et al. (2024) yang menyatakan bahwa penggunaan sensor *gyroscope* dan *accelerometer* berbasis IoT mampu memberikan deteksi yang akurat terhadap aktivitas seismik. Namun, penelitian ini melangkah lebih jauh dengan menambahkan fitur notifikasi otomatis melalui WhatsApp untuk memastikan informasi sampai kepada petugas mitigasi secara langsung.

Penghitungan manual pada tahap implementasi membuktikan bahwa magnitudo percepatan dan kecepatan sudut yang dihasilkan sistem sesuai dengan kondisi di lapangan. Sebagai contoh, perhitungan manual menghasilkan *Accel Magnitude: 3.35* dan *Gyro Magnitude: 4.19*, yang mendekati hasil dari perangkat keras aktual, yaitu *Accel Magnitude: 3.38* dan *Gyro Magnitude: 4.19*.

Misal data mentah dari x, y, z dari kedua sensor:

Sensor 1:

$$ax1 = 2457, ay1 = 2457, az1 = -3277$$

$$gx1 = -1310, gy1 = 3275, gz1 = -3275$$

Sensor 2:

$$ax2 = 3277, ay2 = 0, az2 = 819$$

$$gx2 = 1310, gy2 = 1965, gz2 = -3275$$

Kalibrasi (dengan *offset* = 0)

Sensor 1:

$$ax1_cal = 2457 - 0 = 2457$$

$$ay1_cal = 2457 - 0 = 2457$$

$$az1_cal = -3277 - 0 = -3277$$

$$gx1_cal = -1310 - 0 = -1310s$$

$$gy1_cal = 3275 - 0 = 3275$$

$$gz1_cal = -3275 - 0 = -3275$$

Sensor 2:

$$\begin{aligned} ax2_cal &= 3277 - 0 = 3277 \\ ay2_cal &= 0 - 0 = 0 \\ az2_cal &= 819 - 0 = 819 \\ gx2_cal &= 1310 - 0 = 1310 \\ gy2_cal &= 1965 - 0 = 1965 \\ gz2_cal &= -3275 - 0 = -3275 \end{aligned}$$

Rata-rata:

Accelerometer:

$$\begin{aligned} ax_avg &= (2457 + 3277) / 2 = 2867.0 \\ ay_avg &= (2457 + 0) / 2 = 1228.5 \\ az_avg &= (-3277 + 819) / 2 = -1229.0 \end{aligned}$$

Gyroscope:

$$\begin{aligned} gx_avg &= (-1310 + 1310) / 2 = 0.0 \\ gy_avg &= (3275 + 1965) / 2 = 2620.0 \\ gz_avg &= (-3275 + -3275) / 2 = -3275.0 \end{aligned}$$

Accel_magnitude:

$$\begin{aligned} &\sqrt{2867.0^2 + 1228.5^2 + 1229.0^2} / 1000 \\ &\sqrt{11240740.25} / 1000 = 3.35 \end{aligned}$$

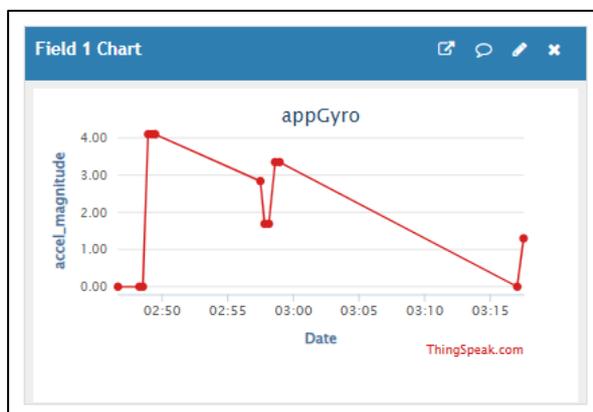
Gyro_magnitude:

$$\begin{aligned} &\sqrt{0.0^2 + 2620.0^2 + 3275.0^2} / 1000 \\ &\sqrt{17594625} / 1000 = 4.19 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai *Accelerometer Magnitude*: 3.35 dan *Gyroscope Magnitude*: 4.19, sedangkan hasil pembacaan langsung pada perangkat memberikan nilai *Accel Magnitude*: 3.38, *Gyro Magnitude*: 4.19, dengan *Overall Status*: *Danger*. Selisih kecil pada nilai magnitudo ini menunjukkan bahwa penyesuaian nilai offset dapat berperan yang signifikan dalam meningkatkan akurasi.

Visualisasi dan Notifikasi

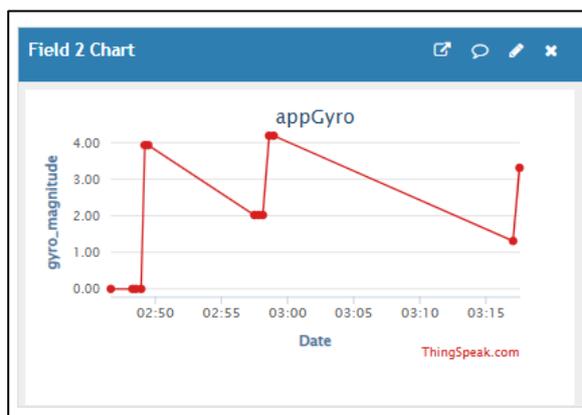
Visualisasi data pada *ThingSpeak* memberikan keuntungan tambahan dalam hal aksesibilitas data secara *real-time*.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2024)

Gambar 3. Data *Accel Magnitude* Pada *ThingSpeak*

Grafik yang ditampilkan mempermudah pengguna untuk memahami pola getaran seismik, sehingga langkah mitigasi dapat diambil lebih cepat. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, data ini memperlihatkan informasi magnitude akselerasi yang dapat digunakan untuk menganalisis pola getaran seismik secara lebih efektif.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2024)

Gambar 4. Data *Gyro Magnitude* Pada *ThingSpeak*

Gambar 4 menunjukkan grafik data *Gyro Magnitude*, yang menggambarkan pergerakan sudut objek dengan cara yang dapat memudahkan pengambilan keputusan berdasarkan informasi seismik.

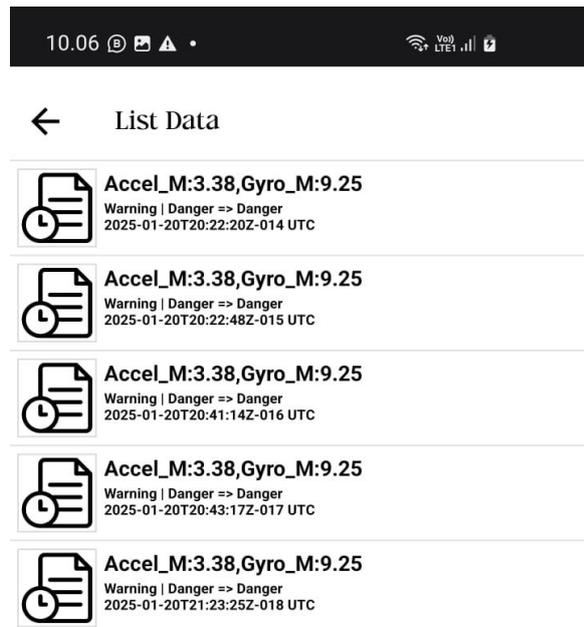
Selain itu, adanya notifikasi otomatis melalui WhatsApp memberikan nilai tambah signifikan karena petugas mitigasi dapat segera mengetahui perubahan status dan nilai gempa tanpa perlu memeriksa data secara manual, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 5 menampilkan contoh notifikasi yang diterima oleh petugas mitigasi dari sistem, yang memungkinkan mereka untuk mendapatkan informasi secara langsung dan cepat tentang status gempa.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2024)

Gambar 5. Notif Petugas Mitigasi Dari Sistem

Integrasi ini membedakan penelitian ini dari penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Jan et al. (2021), yang hanya berfokus pada pengumpulan data tanpa fitur notifikasi. Selain itu, sistem ini juga akan menampilkan data dalam format JSON yang divisualisasikan oleh aplikasi *mobile* Android, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Sumber : (Hasil Penelitian, 2024)

Gambar 6. *Monitoring* Getaran Via *Mobile Apps*

Ketunggulan dan Implikasi Penelitian

Sistem ini tidak hanya memberikan data *real-time* tetapi juga memastikan bahwa informasi tersebut dapat diakses dengan cepat oleh pihak terkait. Fitur notifikasi berbasis *fonnte.com* memungkinkan integrasi sederhana namun efektif untuk memastikan respons yang cepat terhadap potensi bencana. Hasil ini mendukung klaim sebelumnya yang menyatakan bahwa IoT mampu menghadirkan solusi komprehensif untuk kebutuhan mitigasi bencana *modern* (Siregar et al., 2022).

Keterbatasan Sistem dan Implementasi

Meskipun sistem ini menunjukkan kinerja yang baik, penerapannya di dunia nyata tetap menghadapi sejumlah keterbatasan dan tantangan yang perlu diperhatikan. Salah satu tantangan utama dalam implementasi sistem ini adalah akurasi sensor yang dapat terpengaruh oleh *noise* lingkungan. Getaran *non-seismik*, seperti lalu lintas kendaraan atau aktivitas manusia di sekitar sensor, dapat memengaruhi keakuratan data yang dihasilkan. Selain itu, sistem ini sangat bergantung

pada konektivitas Wi-Fi, yang bisa menjadi kendala di daerah terpencil dengan akses internet terbatas.

Selain keterbatasan teknis, penerapan sistem ini di lapangan juga menghadapi berbagai tantangan. Infrastruktur di daerah rawan gempa sering kali kurang memadai, sehingga diperlukan dukungan tambahan, seperti penggunaan baterai cadangan atau komunikasi berbasis satelit, untuk memastikan sistem tetap dapat berfungsi dalam kondisi darurat. Perbedaan karakteristik geologi antar wilayah juga menjadi faktor yang perlu diperhitungkan. Setiap daerah memiliki pola aktivitas seismik yang berbeda, sehingga diperlukan pengujian tambahan untuk menyesuaikan parameter deteksi dengan kondisi setempat.

Di sisi lain, keberhasilan implementasi sistem ini juga sangat bergantung pada penerimaan masyarakat dan petugas mitigasi bencana. Tanpa pemahaman yang baik, teknologi seanggih apa pun tidak akan memberikan manfaat optimal. Oleh karena itu, diperlukan upaya sosialisasi dan pelatihan agar pengguna dapat memahami cara kerja sistem ini serta menggunakannya secara efektif dalam situasi darurat.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem deteksi dini gempa berbasis IoT yang mampu mengintegrasikan sensor *gyroscope*, platform *ThingSpeak*, dan aplikasi Android untuk visualisasi *real-time* dan notifikasi cerdas. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi perubahan orientasi pada sumbu X, Y, dan Z, menghitung magnitudo percepatan dan kecepatan sudut, serta menentukan status gempa (*Normal*, *Warning*, atau *Danger*) berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan.

Pengujian yang dilakukan melalui simulasi menggunakan platform *Wokwi* dan implementasi fisik menunjukkan hasil yang konsisten, dengan tingkat akurasi tinggi antara simulasi dan kondisi aktual.

Selain itu, fitur notifikasi otomatis melalui *WhatsApp* memastikan bahwa informasi dapat langsung diterima oleh petugas mitigasi, sehingga memungkinkan respons cepat terhadap potensi bencana. Dengan integrasi teknologi IoT, visualisasi berbasis *cloud*, dan komunikasi cerdas, sistem ini menawarkan solusi modern untuk mitigasi gempa yang efektif dan dapat diandalkan. Penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam mendukung upaya mitigasi bencana yang lebih responsif dan efisien di wilayah rawan gempa Indonesia.

REFERENSI

- Adhikary, A., Halder, S., Bose, R., Panja, S., Halder, S., Pratihari, J., & Dey, A. (2024). Design and Implementation of an IOT-based Smart Home Automation System in Real World Scenario. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 10. <https://doi.org/10.4108/eetiot.6201>
- Arifien, Z., Bachtiar, F. A., & Yudistira, N. (2022). Pengenalan Aktivitas Manusia Menggunakan Sensor Akselerometer dan Girooskop pada Smartphone dengan Metode K-Nearest Neighbor. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 9(1), 173–180. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2022915593>
- Bengi, N. S., Syamsul, S., & Nasri, N. (2024). Prototype sistem pendeteksi gempa bumi dan peringatan dini berbasis Internet of Things. *Jurnal TEKTR0*, 8(1). <https://doi.org/10.30811/tektro.v8i1.5682>
- (BNPB), B. N. P. B. (2021). *Laporan Tahunan BNPB 2021*. <https://bnpb.go.id>
- Chakraborty, S., & Aithal, P. S. (2024). WhatsApp-Based Notification on Low Battery Water Level Using ESP Module and TextMeBOT. *International Journal of Case Studies in Business, IT, and Education*, 8(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10835097>
- Chebanyuk, O., & Yukhymenko, A. (2021). Approach to prevent of spoken information leakage through gyroscope and accelerometer sensors in mobile devices with Android operation system. *Information Theories and Applications*, 28(3), 219–232. <https://doi.org/10.54521/ijita28-03-p02>
- Effendi, R., Kania, R., & Muhammad, M. (2023). Prototype Sistem Pendeteksi Gempa Bumi dan Peringatan Dini Berbasis Internet of Things. *E-Jurnal Politeknik Negeri Lhokseumawe*.
- Elyana, Ega, & Marom, A. (2023). SIGEMPA: Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi berbasis IoT dengan ESP32. *ResearchGate*.
- Jan, F., Min-Allah, N., & D"uřteg"or, D. (2021). IoT Based Smart Water Quality Monitoring: Recent Techniques, Trends and Challenges for Domestic Applications. *Water*, 13(13), 1729. <https://doi.org/10.3390/w13131729>
- MathWorks. (2023). *ThingSpeak IoT Platform Documentation*. <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/>
- Nurhadi, N., Akasse, H., & Jemy, U. (2021). Analisis dampak ekonomi akibat bencana alam gempa bumi, tsunami, dan likuifaksi di Kota Palu. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 4(11). <https://doi.org/10.56338/jks.v4i11.1983>
- Olanubi, O. O., Akano, T. T., & Asaolu, O. S. (2024). Design and development of an IoT-based intelligent water quality management system for aquaculture. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 11, Article 15. <https://doi.org/10.1186/s43067-024-00139-z>
- Siregar, A. B., Ezwarsyah, Yusdartono, H. M., & Nasution, F. A. (2022). Rancang bangun sistem peringatan gempa menggunakan sensor ADXL 345 berbasis LoRa dengan ESP 32. *Jurnal Energi Elektrik*, 11(2), 8–14. <https://ejurnal.pnl.ac.id/TEKTRO/article/view/5682>
- Tisnadinata, M. A., Suwastika, N. A., & Yasirandi, R. (2023). Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi Multi Node Sensor Berbasis Fuzzy dan Komunikasi IoT. *SOCJS Telkom University*.
- U. V. Author, W. X. A. (2024). Implementation of IoT-Based Monitoring System for Industrial Equipment Using Android App and WhatsApp Notifications. *International Journal of Industrial Electronics and Control*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijiec.2024.02.005>
- Widagdo, M. L. A., & Timur, M. I. A. (2023). Peningkatan Akurasi Deteksi Jatuh Menggunakan Sensor Akselerometer dan Girooskop pada Smartphone. *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems*, 8(1), 1–5. <https://jurnal.ugm.ac.id/ijeis/article/view/93068/39103>
- Wikantama, P. T., Bahalwan, M., & Akmal, M. A. G. (2024). SIGEMPA: Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi berbasis IoT dengan ESP32. *Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 4(1), 63–70. <https://doi.org/10.55606/teknik.v4i1.2937>
- Williamsyah, B. M., Rizal, A., Wijaya, R., & Ziani, S. (2024). Heart rate measuring system using accelerometer and gyroscope sensor in Android smartphone. *Proceedings of the 2024 4th International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)*. <https://doi.org/10.1109/ICECCME58375.2024.10748185>
- Wokwi Documentation. (2023). *Introduction to Wokwi Simulator*. <https://docs.wokwi.com/>