

PENGEMBANGAN ALAT PENDETEKSI GEMPA BERBASIS INTERNET OF THING MENGGUNAKAN ESP32-C3 DAN SENSOR MPU6050

Andrean Dwika Prayoga, Joni Maulindar, Moh. Muhtarom

Teknik Informatika, Universitas Duta Bangsa Surakarta
Jalan Bhayangkara No,55, Tipes, Kec. Serengan, Surakarta, Indonesia
andredwika734@gmail.com

ABSTRAK

Letak geografis Indonesia di kawasan Cincin Api Pasifik menjadikannya wilayah yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Tingginya risiko tersebut seringkali diperburuk oleh adanya jeda waktu informasi peringatan dini yang sampai ke masyarakat, sehingga dibutuhkan sistem deteksi mandiri yang responsif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat pendeteksi gempa portabel berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32-C3 Supermini dan sensor MPU6050 yang terintegrasi dengan aplikasi pemantauan web. Metode penelitian menggunakan *Design-Based Research* (DBR) dengan pendekatan *mixed methods* guna mengevaluasi rancang bangun perangkat keras dan perangkat lunak secara komprehensif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengklasifikasikan level getaran berdasarkan kalkulasi nilai Delta yang dioptimalkan dengan algoritma *Low Pass Filter* untuk meminimalisir *noise*. Selain itu, integrasi *Firestore Realtime Database* memungkinkan sinkronisasi data pergeseran fisik (*displacement, shift, settlement*) dengan latensi rendah 1–2 detik. Kesimpulannya, sistem peringatan dini ini berhasil divisualisasikan melalui *web app* yang memberikan notifikasi secara *real-time*, membuktikan keandalannya sebagai solusi mitigasi bencana mandiri yang ringkas dan mudah diakses.

Kata kunci : ESP32-C3, MPU6050, Pendeteksi Gempa, Firestore, Internet of Things

1. PENDAHULUAN

Indonesia secara geografis terletak pada zona pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Samudra Pasifik. Posisi ini menempatkan wilayah Indonesia dalam jalur Cincin Api Pasifik yang sangat rawan terhadap aktivitas seismik ekstrem. Berdasarkan data terbaru dari BMKG, tercatat sebanyak 7.358 kejadian gempa bumi sepanjang tahun 2024, di mana ratusan di antaranya merupakan gempa yang dirasakan langsung oleh masyarakat [1]. Salah satu fenomena nyata dari kerawanan ini adalah gempa bumi merusak yang melanda Sumedang pada 31 Desember 2023, yang mengakibatkan kerusakan pada ratusan bangunan akibat kedalaman hiposenter yang sangat dangkal [2].

Dari kondisi latar belakang tersebut, permasalahan utama yang dihadapi saat ini adalah adanya jeda waktu informasi peringatan gempa yang disampaikan ke masyarakat. Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya menangani masalah ini dengan berbagai pendekatan teknologi, salah satunya melalui penggunaan sensor getar tipe SW420 [3]. Namun, metode tersebut dinilai memiliki kelemahan karena hanya sensitif terhadap getaran murni dan kurang akurat dalam mendeteksi perubahan sudut atau kemiringan objek secara presisi. Selain itu, platform komunikasi yang umum digunakan seperti bot Telegram atau Antares masih memiliki tantangan dalam hal kecepatan respons yang sangat bergantung pada stabilitas server pihak ketiga [4].

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini sangat penting untuk dilakukan guna menyediakan solusi mitigasi bencana mandiri yang

lebih responsif dan dapat diakses dengan mudah oleh masyarakat. Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan mengembangkan alat pendeteksi gempa portabel yang tidak hanya akurat dalam mengukur guncangan fisik, tetapi juga mampu mendistribusikan peringatan bahaya secara seketika kepada pengguna melalui integrasi ekosistem *Internet of Things* (IoT) yang efisien.

Sebagai rencana penyelesaian masalah, penelitian ini mengembangkan sistem menggunakan mikrokontroler ESP32-C3 Supermini yang dipadukan dengan sensor MPU6050 [5]. Kelebihan sensor dengan fitur 6 sumbu (3-axis *accelerometer* dan 3-axis *gyroscope*) ini dioptimalkan dengan algoritma *Low Pass Filter* untuk meminimalisir gangguan sinyal (*noise*). Sistem ini dirancang untuk memanfaatkan *Firestore Realtime Database* guna melakukan sinkronisasi data *cloud* dengan latensi sangat rendah, berkisar antara 1–2 detik. Hipotesis penelitian ini adalah bahwa penerapan variabel nilai Delta (Δ) sebagai parameter selisih percepatan terfilter terhadap nilai dasar (*baseline*) akan menghasilkan tingkat akurasi deteksi yang lebih stabil dibandingkan sistem konvensional, sehingga diharapkan mampu memberikan waktu evakuasi yang lebih cepat bagi masyarakat atau pengguna [6].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang ditulis oleh Nora Simah Bengi, Syamsul dan Nasri pada tahun 2024 yang berjudul "Prototype Sistem Pendeteksi Gempa Bumi dan Peringatan Dini Berbasis *Internet of Things*".

Hasil dari penelitian ini adalah penggunaan sensor MPU 6050 sebagai penghitung besarnya gempa atau getaran yang terjadi melalui sensor gyroscope dan accelerometernya.

Pada penelitian yang ditulis oleh Ariman, Riadi Marta Dinata dan Muhammad Ikrar Yamin yang berjudul "Sistem Pendeteksi Gempa Berbasis IoT Dengan Visualisasi Real-Time dan Notifikasi Cerdas". Hasil dari penelitian ini adalah penggunaan realtime database sehingga hasil dari pembacaan sensor dapat dimonitoring secara langsung menggunakan metode nirkabel.

Pada penelitian yang ditulis oleh Farichul Aqdam Tritunggal, Candra Pradana dan Erlilah Rizqi Kusuma Pradani yang berjudul "Sistem Deteksi Gempa Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino dan Sensor Accelerometer MPU6050". Hasil dari penelitian ini adalah bahwa bagaimana cara pengkonversian dari hasil pembacaan dari sensor MPU6050 menjadi level getaran / level gempa.

2.2. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetar dan retaknya tanah akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Indonesia terletak di antara tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Samudra Pasifik, yang menjadikan Indonesia sangat rawan terhadap gempa bumi. Oleh karena itu diperlukan peringatan dini untuk meminimalkan korban jiwa [7].

2.3. Internet of Things

Internet of Things adalah konsep di mana objek memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia ke manusia atau manusia ke komputer. IoT memungkinkan bermilyar alat pintar terkoneksi ke internet untuk berbagi data, sehingga setiap perangkat dapat diakses kapan saja dan di mana saja. Dalam sistem mitigasi bencana gempa bumi, IoT memungkinkan perangkat bekerja secara real-time 24 jam untuk mendeteksi getaran dan mengirimkan data ke firebase [8]. Lebih lanjut, penerapan teknologi IoT pada berbagai sistem pemantauan modern telah terbukti mampu memberikan integrasi data yang aman dan efisien melalui pengiriman data secara *point-to-point* antara perangkat sensor dan server [9].

2.4. ESP32 C3 Supermini

ESP32 adalah mikrokontroler yang memiliki fungsi lebih lengkap dibandingkan pendahulunya (ESP8266) dan Arduino Uno, karena dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi langsung. Dalam penelitian ini, yang digunakan adalah ESP32-C3 Supermini yang memiliki ukuran compact namun tetap memiliki spesifikasi yang setara dengan ESP32 reguler.



Gambar 1. Esp32 c3 supermini

ESP32-C3 Supermini berfungsi sebagai unit pemroses utama yang menerima data dari sensor, mengolah hasil pembacaan sensor mengubahnya menjadi satuan delta, dan mengirimkan hasil data tersebut ke firebase. Kemampuannya untuk menghubungkan dari komponen-komponen lain ke firebase menjadikan komponen ini sangat vital dalam penelitian ini [10].

2.5. MPU6050

Sensor MPU6050 memiliki modul sensor accelerometer dan gyroscope untuk membaca kemiringan sudut dan percepatan getaran pada sumbu X, Y, dan Z. Oleh karena itu MPU6050 dapat mengukur intensitas getaran secara cukup presisi.



Gambar 2. Mpu6050

Data dari sensor ini dikirim ke mikrokontroler melalui jalur komunikasi I2C. Sensor ini bertugas mendeteksi perubahan akselerasi tanah yang kemudian dikonversi menjadi satuan delta yang nantinya akan menentukan status bahaya gempa atau level getaran gempa [10].

2.6. OLED 0.91 Inch

Untuk menampilkan hasil pembacaan data secara fisik di *prototype*, digunakan layar OLED berukuran 0.91 inci. Layar ini berfungsi sebagai media antarmuka visual yang menampilkan data shifter, data displacement, dan level getaran gempa secara realtime. Penggunaan OLED ini memiliki keunggulan dibandingkan LCD konvensional karena kontras yang lebih tinggi, konsumsi daya yang lebih efisien, dan ukurannya yang compact [11].



Gambar 3. Oled 0.91 inch

2.7. Firebase Realtime Database

Firebase Realtime Database adalah layanan basis data NoSQL berbasis cloud yang disediakan oleh Google. Data dalam Firebase disimpan dalam format JSON dan disinkronkan secara *real-time* ke setiap *user* yang terhubung.

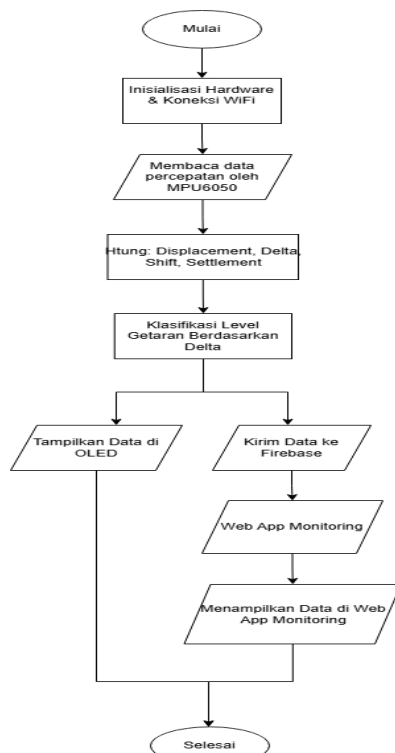
Dalam sistem ini, Firebase berfungsi sebagai jembatan penyimpanan data antara perangkat keras (ESP32) dan antarmuka pengguna (*Web App*). Saat ESP32-C3 Supermini mendeteksi data getaran dari MPU6050, data tersebut dikirim dan disimpan ke Firebase. Keunggulan penggunaan Firebase dalam IoT adalah kemampuannya memperbarui data secara instan (latensi rendah), sehingga pemantauan kondisi gempa dapat dilakukan tanpa jeda waktu yang signifikan [6].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan kerangka konseptual metodologi Research and Development (R&D) dengan pendekatan Design-Based Research (DBR). Pendekatan konseptual ini dipilih karena filosofi R&D berfokus pada siklus pengembangan solusi praktis berulang (*iterative*) untuk memecahkan masalah sistemik di dunia nyata, mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi produk [12]. Melalui metode ini, evaluasi dilakukan secara komprehensif melalui *mixed methods*, yang mencakup pengujian kinerja pengiriman latensi rendah pada perangkat keras mikrokontroler serta validasi fungsionalitas antarmuka *Web App* secara terpadu.

3.2. Flowchart Cara Kerja Sistem



Gambar 4. Flowchart kerja sistem

Flowchart ini menampilkan proses berjalannya kerja sistem dalam penelitian ini, dari flowchart ini dijelaskan bahwa awal kerja sistem diawali saat ESP32-C3 mengkoneksikan dengan wifi agar dapat terhubung dengan internet dan firebase. Lalu dilanjutkan dengan proses penghitungan besar percepatan yang dideteksi oleh sensor MPU6050 yang nantinya akan dikonversikan menjadi besaran getaran sesuai dengan nilai delta yang didapat. Lalu setelah itu data tersebut akan dikirimkan ke firebase *realtime database* untuk disimpan dan disaat bersamaan OLED juga menampilkan hasil data tersebut. Data yang disimpan di firebase ini nantinya akan ditampilkan di *web app* monitoring.

3.3. Analisis Logika Penentuan Status Berbasis Nilai Delta

Variabel statusGetaran ditentukan oleh nilai delta, bukan oleh nilai akselerometer mentah. Analisis: Pendekatan ini sangat efektif karena delta adalah selisih mutlak antara percepatan terfilter saat ini dengan percepatan rata-rata (*baseline*).

$$\Delta = |\text{filteredAccel} - \text{baselineAccel}| \quad (1)$$

Dengan metode ini, alat tidak perlu diletakkan di permukaan yang benar-benar rata sempurna. Meskipun alat sedikit miring (nilai *baselineAccel* tidak tepat 1.0 G), algoritma adaptif pada kode program ($\text{baselineAccel} = 0.99 * \text{baseline} + 0.01 * \text{filtered}$) akan menyesuaikan diri. Hal ini membuat alat lebih robust (tahan banting) terhadap perubahan posisi pemasangan dibandingkan sistem yang menggunakan *hard-coded threshold*, sebagaimana disarankan dalam penerapan sensor MEMS untuk deteksi seismik [1].

Sistem ini tidak hanya membaca nilai mentah (*raw data*) dari sensor, melainkan melakukan pemrosesan sinyal digital untuk mendapatkan status gempa yang akurat. Berdasarkan kode program yang ditanamkan pada ESP32 C3 Supermini, proses deteksi diawali dengan perhitungan Magnitudo Percepatan Total menggunakan rumus phytagoras 3 dimensi:

$$\text{Raw Accel} = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2} \quad (2)$$

Untuk mengurangi *noise* (gangguan sinyal) dari sensor MPU6050, diterapkan algoritma Low Pass Filter dengan koefisien $\alpha = 0.3$. Penggunaan filter ini secara signifikan mampu mengisolasi data gravitasi dari percepatan dinamis, sehingga menghasilkan keluaran sinyal yang jauh lebih bersih pada mikrokontroler ESP32-C3 Supermini [13]. Hasil filter ini kemudian dibandingkan dengan *baselineAccel* (percepatan dasar/gravitasi) untuk mendapatkan nilai Delta (Δ). Nilai Delta inilah yang menjadi acuan utama penetapan status gempa. Berikut adalah hasil klasifikasi status berdasarkan ambang batas (*threshold*) yang telah diuji:

Tabel 1. Klasifikasi status gempa berdasarkan nilai delta

No.	Nilai Delta (Δ)	Status Pada OLED & Firebase
1	$\Delta < 0.1$	Tenang
2	$0.1 \leq \Delta < 0.3$	Getaran Ringan
3	$0.3 \leq \Delta < 0.7$	Getaran Sedang
4	$\Delta \geq 0.7$	GEMPA KUAT!

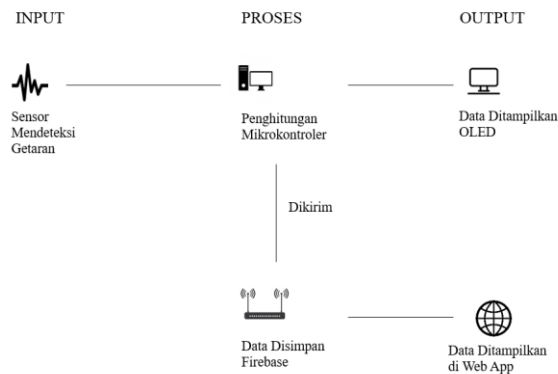
3.4. Analisis Akurasi Estimasi Pergeseran

Fitur unggulan pada alat ini adalah kemampuannya menghitung *Displacement*, *Settlement*, dan *Shift*. Algoritma yang digunakan adalah *Double Integration*:

$$\begin{aligned} v_t &= v_t - 1 + a \cdot \Delta t \\ p_t &= p_t - 1 + v_t \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (3)$$

Dalam analisis kode, ditemukan penerapan *Deadzone Filter* sebesar 0.02f (G). Analisis: *Filter deadzone* ini sangat krusial. Tanpa *deadzone*, getaran sangat kecil (*noise sensor*) akan dianggap sebagai gerakan, dan karena sifat integral yang menjumlahkan, nilai jarak akan terus bertambah (melesat) meskipun alat diam. Dengan memotong nilai di bawah 0.02 G menjadi 0, pembacaan jarak menjadi lebih stabil saat kondisi tenang. Teknik mitigasi *noise* ini sesuai dengan standar penanganan *drift* pada sensor akselerometer *low-cost* [14].

3.5. Arsitektur Sistem Peringatan Gempa Dini



Gambar 5. Arsitektur sistem peringatan gempa dini

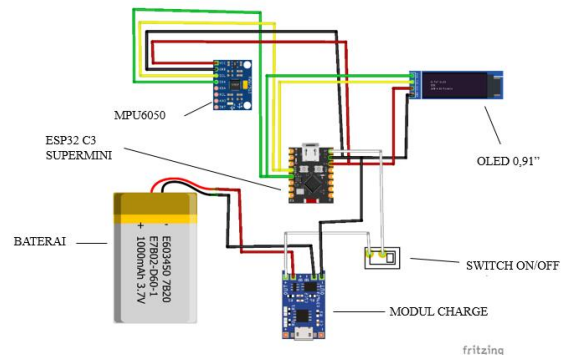
Dari arsitektur sistem peringatan gempa dini diatas didapatkan bahwa:

- Input: Input didapat saat sensor MPU6050 mendeteksi adanya getaran pada permukaan tanah.
- Proses: Hasil data perpindahan (*displacement*), pergeseran (*shifter*), dan naik turun (*settlement*) yang didapat dari sensor MPU6050 akan dihitung berdasar rumus yang telah dijabarkan pada sub bab 4.4 untuk menentukan level getaran tersebut. Setelah penghitungan tersebut semua data yang didapat baik data mentah dari sensor dan data hasil penentuan level getaran akan dikirimkan ke *realtime database firebase*.

- Output: Output pertama dari OLED akan menampilkan data dari sensor dan level getaran gempa. Untuk output kedua user dapat mengakses hasil data dari sensor dan level getaran gempa dari web app monitoring yang datanya diambil dari firebase.

3.6. Skema Rangkaian Alat Pendeteksi Gempa

Adapun rangkaian dari sistem alat pendeteksi gempa yang ditampilkan pada skema rangkaian berikut:

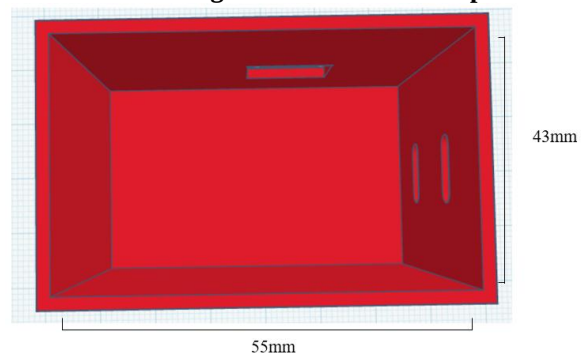


Gambar 6. Skema rangkaian alat pendeteksi gempa

Penjelasan rangkaian sistem alat pendeteksi gempa:

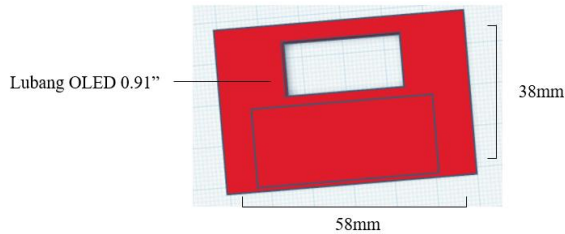
- GND ESP32 C3 Supermini : Tersambung dengan Pin GND MPU6050, Pin GND OLED 0.91", dan Pin Out – (minus) Modul Charge.
- 3v3 ESP32 C3 Supermini : Tersambung dengan Pin VCC MPU6050, dan Pin VCC OLED 0.91".
- Pin 4 ESP32 C3 Supermini : Tersambung dengan Pin SDA MPU6050, dan Pin SDA OLED 0.91".
- Pin 5 ESP32 C3 Supermini : Tersambung dengan Pin SCL MPU6050, dan Pin SCL OLED 0.91".
- Pin 5v ESP32 C3 Supermini : Tersambung dengan salah satu kaki Switch On/Off.
- Pin Out + Modul Charge dengan salah satu kaki Switch On/Off.
- Pin B+ Modul Charge dengan kabel positif baterai.
- Pin B- Modul Charge dengan kabel negatif baterai.

3.7. Skema Casing Alat Pendeteksi Gempa



Gambar 7. Skema casing alat pendeteksi gempa

Dari gambar 7 didapat bahwa panjang dan lebar dari casing adalah 55mm x 43mm. Ukuran ini membuat ukuran casing ini sangat *compact* sehingga dapat diletakkan diberbagai ruangan bahkan ruangan yang kecil dan sempit.



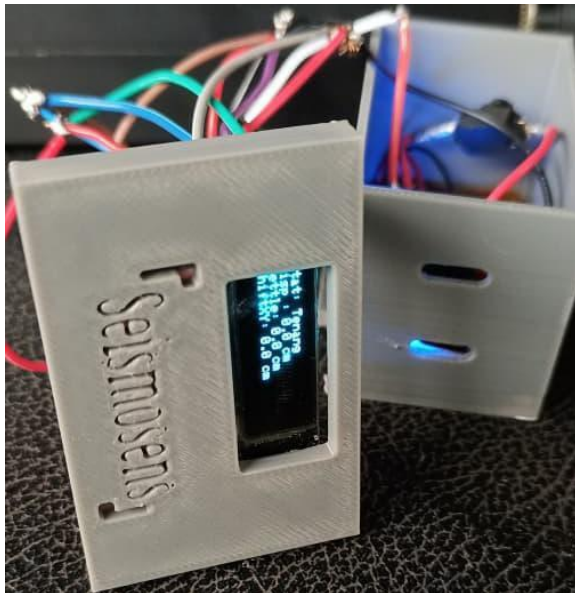
Gambar 8. Skema tutup casing alat pendeteksi gempa

Dari gambar 8 menunjukkan bentuk dari penutup casing alat pendeteksi gempa. Terdapat lubang yang digunakan sebagai tempat menaruh OLED 0.91” sehingga monitoring tampilan dari OLED tersebut dapat dilihat dari luar. Tutup casing ini menggunakan metode *slip on* agar dapat dibuka dan ditutup secara mudah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Performa Baterai

Pada pengujian ini bertujuan untuk menguji berapa lama baterai dapat bertahan saat digunakan untuk menghidupkan atau mengaktifkan sistem alat pendeteksi gempa tanpa aliran daya langsung dari listrik dan hanya dari baterai saja.

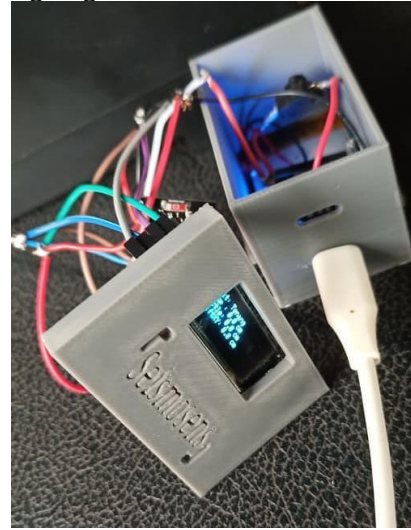


Gambar 9. Alat pendeteksi gempa dinyalakan dengan daya baterai

Dari pengujian didapatkan bahwa baterai 1000mAh hanya dapat menghidupkan alat sekitar 5-10 menit. Ini dikarenakan banyaknya komponen yang boros daya seperti ESP32 C3-Supermini yang terhubung dengan internet wifi dan firebase, sensor

MPU6050, serta layar OLED 0.91” untuk menampilkan hasil data secara langsung di sistem alat.

4.2. Pengujian Alat Dengan Daya Listrik Langsung



Gambar 10. Alat pendeteksi gempa diaktifkan saat terhubung dengan arus listrik

Saat diaktifkan dalam keadaan tersambung dengan arus listrik melalui kabel type c alat dapat bekerja dengan semestinya tidak seperti saat hanya menggunakan baterai saja yang hanya terbatas di kurang lebih 5-10 menit. Tetapi alat ini memiliki kelemahan saat ESP32 C3-Supermini telah overheating kurang lebih sekitar 15-20 menit setelah diaktifkan, ESP32 C3-Supermini akan berhenti mengirim data ke firebase bekerja sejenak sekitar 1-2 menit lalu akan berfungsi normal lagi. Ini mungkin konsekuensi karena ukurannya yang *compact*.

4.3. Pengujian Pembacaan Sensor

Pada pengujian performa pembacaan sensor dilakukan dengan cara menggoyangkan alat pendeteksi gempa secara manual dengan bertahap mulai dari guncangan lemah hingga guncangan keras dan didapatkan hasil berikut:

Tabel 2. Pengujian pembacaan sensor

No.	Status	Delta (Δ)	Disp (cm)	ShiftXY (cm)	Settle (cm)
1	Tenang	0.002	0.0	0.0	0.0
2	Getaran Ringan	0.185	1.5	1.2	0.9
3	Getaran Sedang	0.450	5.2	4.0	-3.3
4	GEMPA KUAT!	0.820	14.8	11.2	-9.5

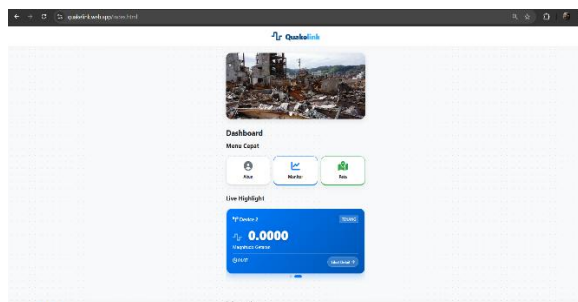
Dari keempat pengetesan itu didapat bahwa status besaran getaran atau status gempa didapat dari nilai delta yang klasifikasinya sudah dijabarkan pada tabel 1 di sub-bab 3.3. Sedangkan untuk displacement adalah perpindahan, shift XY adalah pergeseran dari

sumbu x dan y atau pergeseran horizontal, dan settlement adalah pergerakan secara vertikal atau seberapa dalam alat mendeteksi keamblesan.

4.4. Implementasi dan Pengujian Antarmuka Web Monitoring

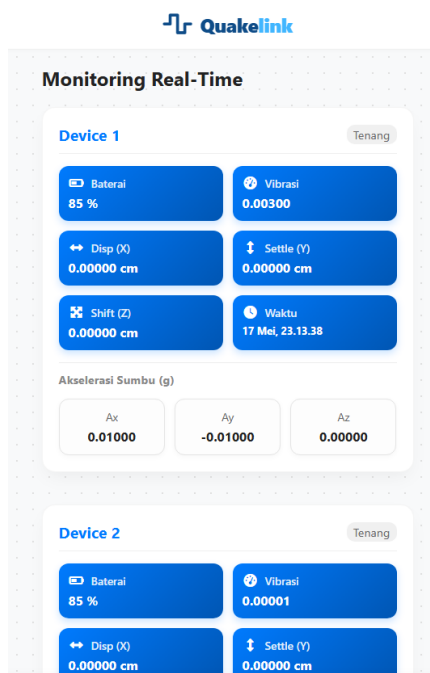
Pada penelitian *web app* digunakan sebagai sarana untuk pengguna memonitoring dan melihat hasil pembacaan sensor yang terpasang di alat pendeteksi gempa.

Untuk dapat mengakses *web app*, pengguna dapat membuka website **quakelink.web.app** di browser. Jika pengguna belum pernah login atau membuka web tersebut di web browser mereka, maka pengguna akan diarahkan ke menu login terlebih dahulu untuk membuat akun atau masuk ke akun yang sudah ada.



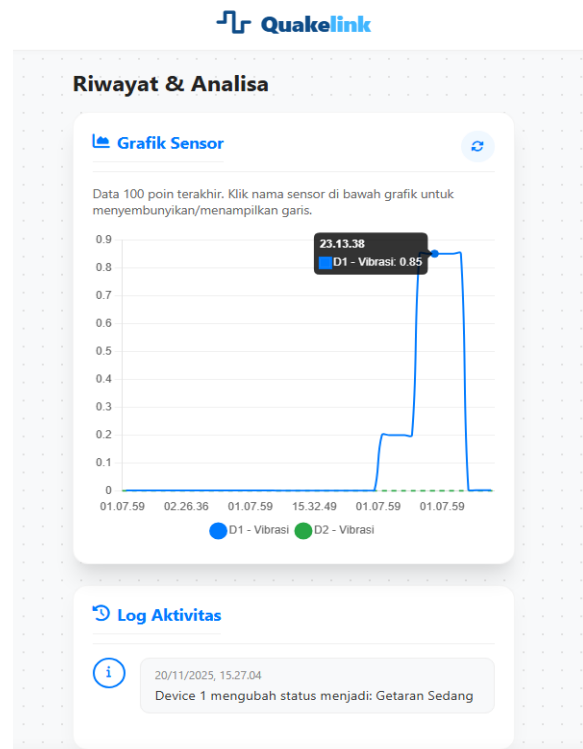
Gambar 11. Menu beranda web app

Dari gambar 11 menunjukkan halaman beranda web app yang berisi ringkasan hasil data dari device alat pendeteksi gempa yang berisi status getaran dan besaran delta yang dihitung dari nilai percepatan yang dideteksi sensor.



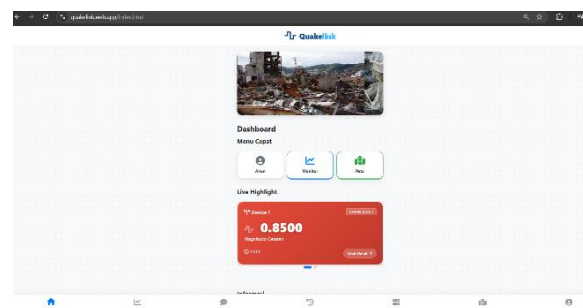
Gambar 12. Menu monitoring web app

Dari gambar 12 menunjukkan halaman monitoring pada web app yang berisi informasi pada device pendeteksi gempa yang berisi penghitungan dari ESP32-C3 Supermini untuk vibrasi atau delta, *displacement*, *settle* dan *shift*. Serta informasi data mentah dari percepatan sumbu x, y dan z untuk menghitung besaran delta sesuai rumus yang telah dijabarkan di sub-bab 3.3.



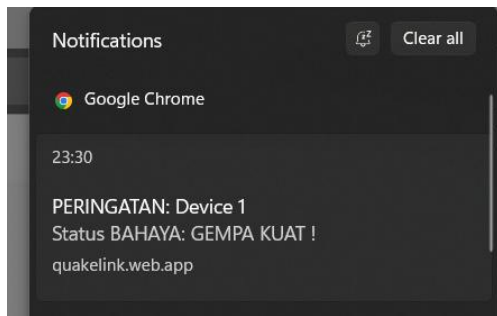
Gambar 13. Menu history web app

Dari gambar 13 menunjukkan halaman history yang terdapat grafik sensor dari penghitungan nilai vibrasi pada *device* alat pendeteksi gempa dan log aktivitas terakhir saat status getaran berganti atau terinput.



Gambar 14. Menu beranda saat device berstatus gempa kuat

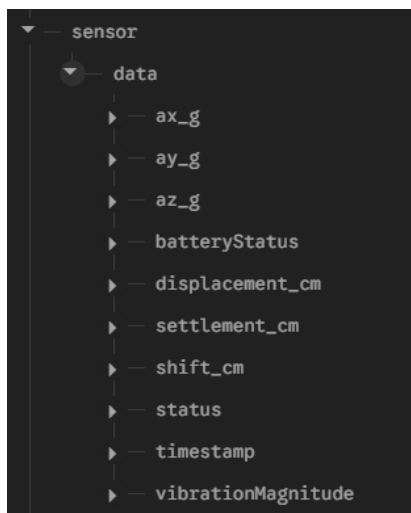
Dari gambar 14 menunjukkan menu beranda saat *device* berstatus "GEMPA KUAT!" maka pada status bar device akan berwarna merah dan akan muncul notifikasi web bahwa pada *device* 1 atau 2 sedang berstatus gempa kuat.



Gambar 15. Notifikasi web peringatan gempa kuat

4.5. Analisis Struktur dan Sinkronisasi Data Cloud Firebase

Adapun tempaan penyimpanan data berbasis *cloud* dari *Firebase realtime database* yang digunakan untuk menyimpan data-data yang dikirimkan dari ESP32-C3 Supermini yang nantinya akan ditampilkan di web app monitoring pendeteksi gempa.



Gambar 16. Struktur data sensor di firebase

Pada gambar 16 menunjukkan struktur data sensor didalam firebase realtime database yang berisi:

- ax_g, ay_g, dan az_g : data percepatan yang dideteksi oleh sensor mpu6050.
- batteryStatus : data persentase baterai yang masih bersifat dummy.
- displacement_cm : perpindahan objek
- settlement_cm : amblesan atau penurunan vertical objek.
- shift_cm : pergeseran horizontal objek.
- status : status getaran gempa.
- timestamp : waktu terakhir kali data tersebut didapatkan atau dikirimkan dari ESP32-C3 Supermini.
- vibrationMagnitude : nilai delta untuk menentukan status getaran

Pada gambar 17 menampilkan data eventLog pada firebase realtime database. Data tersebut digunakan untuk menu history yang dimana menampilkan terakhir kali status vibrasi untuk menu grafik sensor dan perubahan status getaran atau level

gempa pada log aktivitas di menu history. Data eventLog ini menggunakan *token push ID* otomatis dimana saat ESP32-C3 Supermini mengirimkan data status getaran ringan hingga gempa kuat maka ia akan mengirim perintah untuk membuat token unik untuk data di menu history.



Gambar 17. Data eventlog di firebase

4.6. Hasil Pengujian Integrasi Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian tahap akhir dilakukan untuk memvalidasi kinerja integrasi dari seluruh subsistem, mulai dari input perangkat keras hingga visualisasi pada perangkat lunak (*end-to-end*). Pengujian dilakukan secara langsung dengan memberikan simulasi guncangan fisik pada prototipe hingga mencapai ambang batas status "GEMPA KUAT!".



Gambar 17. Alat mendeteksi getaran level gempa kuat

Hasil pengujian membuktikan bahwa sensor MPU6050 berhasil mendeteksi guncangan secara seketika. Mikrokontroler ESP32-C3 Supermini memproses data tersebut menggunakan *Low Pass Filter*, mengkalkulasi nilai Delta, dan mentransmisikannya ke *Firebase Realtime Database*. Dalam rentang latensi 1–2 detik setelah alat diguncang, antarmuka *Web App* secara otomatis merespons perubahan data *cloud* dengan memicu *pop-up* peringatan bahaya di layar pengguna serta

mengubah indikator visual menjadi warna merah secara serentak seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 14 dan Gambar 15.

Pengujian integrasi ini mengkonfirmasi bahwa seluruh alur sistem *Internet of Things* (IoT) yang dibangun telah sinkron dan bekerja dengan baik baik dari saat sensor mendeteksi getaran, lalu ESP32-C3 Supermini menghitung dan mengklasifikasikan level getaran dan mengirimkan data ke firebase, hingga saat tampilan web app yang bisa menampilkan hasil pembacaan sensor dari *firebase realtime database* yang telah terhubung dengan web app tersebut.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe sistem peringatan dini gempa portabel bernama "Quakelink" menggunakan mikrokontroler ESP32-C3 Supermini dan sensor MPU6050, yang terintegrasi secara real-time dengan Firebase Realtime Database dan antarmuka Web App melalui transmisi berlatensi rendah. Penerapan algoritma kalkulasi nilai Delta serta metode Double Integration terbukti efektif dalam meminimalisir noise untuk mengklasifikasikan tingkatan getaran (Tenang, Ringan, Sedang, Gempa Kuat) sekaligus mengestimasi nilai pergeseran posisi fisik secara spasial (displacement, shift, dan settlement). Meskipun sistem telah berhasil memvisualisasikan parameter bencana dan memicu notifikasi darurat secara akurat melalui pendekatan Research and Development, pengembangan selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan modul komunikasi alternatif seperti LoRa atau seluler guna mengantisipasi kegagalan jaringan Wi-Fi saat bencana, melakukan kalibrasi lanjutan terhadap seismometer standar BMKG, serta mengoptimalkan ketahanan fisik material casing perangkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Siregar, E. Simanungkalit, and Nasrudin, "Telegram-Based Earthquake Early Warning," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 11, no. 5, pp. 85–94, May 2025, doi: 10.29303/jppipa.v11i5.11080.
- [2] S. E. A. Saputra, J. Wahyudiono, and A. Budianto, "Gempa Bumi Sumedang 31 Desember 2023: Geologi Menggali Jejak Fakta di Balik Peristiwa Gempa.," Bandung, 2024. Accessed: Jun. 08, 2026. [Online]. Available: <https://geologi.esdm.go.id/storage/publikasi/OnMrujoUid1LCZy57rdB4ya7Yw2iLsllD4KmpNtQ.pdf>
- [3] D. Az-Zahra, "Design of Earthquake Detection System Using MPU6050 and SW420 Sensors with Blynk Platform Integration," *Journal ELPER-Tech (Electronic Logic Power-Technology)*, vol. 1, no. 1, pp. 20–26, Mar. 2025.
- [4] N. R. Yuliano and A. Ri. W. Putri, "Sistem pendeteksi getaran gempa menggunakan sensor IoT berbasis mobile," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, Vol. 3, LPPM Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Feb. 2025.
- [5] A. Almazari *et al.*, "Seismic Frequency Analysis of Mount Tangkuban Parahu Using IoT-Based MPU6050 Sensor System," *Indonesian Journal of Physics*, vol. 36, no. 1, Oct. 2025.
- [6] A. Tirtana, A. P. Hulu, D. R. Wilson, and A. I. Khoirudin, "Aplikasi Pendeteksi Gempa Bumi Berbasis IoT Dengan Sistem Peringatan Dini," *IMTechno: Journal of Industrial Management and Technology*, vol. 7, no. 1, Jan. 2026, doi: <https://doi.org/10.31294/imtechno.v7i1.10968>.
- [7] N. Simah Bengi, S. Syamsul, and N. Nasri, "PROTOTYPE SISTEM PENDETEKSI GEMPA BUMI DAN PERINGATAN DINI BERBASIS INTERNET OF THINGS," *J. TEKTRON*, vol. 8, no. 1, pp. 138–144, 2024.
- [8] P. T. Wikantama, M. Bahalwan, and M. A. G. Akmal, "SIGEMPA : Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi berbasis IoT dengan ESP32," *Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 63–70, Mar. 2024, doi: 10.55606/teknik.v4i1.2937.
- [9] G. Munawar, "Sistem Monitoring Kendaraan Logistik Secara Real-Time Berbasis Internet of Things (IoT)," *Indonesian Journal of Computer Science and Engineering*, vol. 1, no. 02, pp. 20–26, Nov. 2024, doi: 10.70656/ijcse.v1i02.118.
- [10] S. F. Nugraha, M. S. Bhuwana, and D. T. Hidayat, "Integration of Multi-Platform IoT System for Earthquake Detection via Telegram and WhatsApp," *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 13, no. 2, pp. 240–248, Oct. 2025, doi: 10.34010/telekontran.v13i2.17817.
- [11] M. Kurniawan and A. Budjianto, "IMPLEMENTASI SISTEM PROGRAMABLE TIMER MENGGUNAKAN ESP32-C3 SUPERMINI DENGAN TAMPILAN OLED DAN INDIKATOR BUZZER," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, pp. 9950–9956, Nov. 2025, doi: 10.36040/jati.v9i6.15785.
- [12] Ade Rahayu, "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Pengertian, Jenis dan Tahapan," *DIAJAR: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, vol. 4, no. 3, pp. 459–470, Jul. 2025, doi: 10.54259/diajar.v4i3.5092.
- [13] S. Das, S. Nandy, S. Chakraborty, J. Singh, and T. Halder, "Implementation of Complimentary filter on MPU 6050," *World Sci. News*, vol. 199, pp. 218–234, 2025.
- [14] M. Rafi, A. Disastra, and A. Abdurrafi, "A Literature Review of Low-Cost Accelerometer Sensors for Earthquake Detection: Performance Analysis and Accuracy Assessment," *Journal of Computation Physics and Earth Science*, vol. 4, no. 2, pp. 54–61, Oct. 2024, doi: <https://doi.org/10.63581/JoCPES.v4i2.04>