

Sistem Monitoring Getaran Tanah dan Kondisi Kelembapan Tanah untuk Mitigasi Bencana Gempa dan Tanah Longsor Berbasis IoT

Fauzi Bondan Prihananto^{1*}, Erlangga Bayu Yudho Prakoso², Tomy Anugerah Islami³, Pramono⁴

¹Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
^{1*}230103224@mhs.udb.ac.id

²Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
²230103133@mhs.udb.ac.id

³Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
³230103239@mhs.udb.ac.id

⁴Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
⁴pramono@udb.ac.id

Abstrak— Indonesia memiliki tingkat kerawanan gempa bumi dan tanah longsor yang tinggi sehingga diperlukan sistem monitoring yang dapat membantu meningkatkan kewaspadaan masyarakat. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring getaran tanah dan kelembapan tanah berbasis *Internet of Things (IoT)* sebagai pendukung mitigasi bencana gempa bumi dan tanah longsor. Sistem menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor ADXL345 untuk membaca perubahan percepatan akibat getaran, serta *Capacitive Soil Moisture Sensor* untuk memantau kadar kelembapan tanah.

Data hasil pembacaan sensor dikirim secara *real-time* ke *Firestore Realtime Database* dan ditampilkan melalui *dashboard web* agar dapat dipantau dari jarak jauh. Sistem juga dilengkapi *buzzer* sebagai indikator peringatan ketika nilai getaran atau kelembapan tanah melewati ambang batas yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan melalui simulasi getaran dan perubahan kondisi kelembapan tanah untuk mengetahui respons sistem terhadap kondisi aman, waspada, dan bahaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca data sensor, mengirimkan data ke *Firestore*, menampilkan informasi pada *dashboard*, serta mengaktifkan *buzzer* ketika terdeteksi kondisi berpotensi bahaya. Dengan demikian, sistem ini dapat digunakan sebagai media monitoring sederhana untuk meningkatkan kewaspadaan masyarakat di wilayah rawan gempa dan tanah longsor.

Kata kunci— IoT, ESP32, ADXL345, kelembapan tanah, tanah longsor.

Abstract— Indonesia has a high risk of earthquakes and landslides; therefore, a monitoring system is needed to support public awareness and disaster mitigation. This study designs and implements an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring ground vibration and soil moisture as a supporting tool for earthquake and landslide mitigation. The system uses an ESP32 as the main microcontroller, an ADXL345 sensor to read acceleration changes caused by vibration, and a Capacitive Soil Moisture Sensor to monitor soil moisture levels.

Sensor readings are transmitted in real time to *Firestore Realtime Database* and displayed through a web dashboard for remote monitoring. The system is also equipped with a buzzer as a warning indicator when vibration or soil moisture values exceed predetermined thresholds. Testing was carried out using vibration simulations and soil moisture variations to evaluate system responses under safe, warning, and danger conditions. The results show that the system can read sensor data, send data to *Firestore*, display information on the dashboard, and activate the buzzer when a potentially hazardous condition is detected. Therefore, this system can be used as a simple monitoring medium to improve public awareness in earthquake- and landslide-prone areas.

Keywords— IoT, ESP32, ADXL345, soil moisture, landslide.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tinggi karena berada pada pertemuan Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Kondisi tektonik tersebut menyebabkan Indonesia memiliki tingkat seismisitas dan potensi kejadian gempa bumi yang tinggi [1]. Selain itu, Indonesia berada pada kawasan cincin api (ring of fire) sehingga memiliki aktivitas seismik dan vulkanik yang tinggi serta rentan terhadap gempa bumi dan letusan gunung api [2]. Gempa bumi dapat terjadi sewaktu-waktu dan berpotensi menimbulkan kerusakan bangunan, korban jiwa, serta bencana lanjutan seperti longsor dan tsunami [3]. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang mampu memberikan informasi cepat sebagai pendukung kewaspadaan masyarakat terhadap potensi bencana.

Meskipun Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) memiliki sistem pemantauan gempa berskala nasional, akses informasi bagi masyarakat di tingkat lokal masih dapat mengalami keterlambatan karena proses penyebaran informasi dan keterbatasan perangkat peringatan di lingkungan sekitar.

Pada beberapa kejadian gempa, masyarakat sering menerima informasi setelah guncangan terjadi sehingga waktu untuk melakukan penyelamatan diri menjadi terbatas [4]. Selain itu, tidak semua daerah memiliki alat monitoring sederhana yang dapat digunakan secara mandiri untuk memantau guncangan tanah dan kondisi tanah di wilayah rawan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan alat pendeteksi getaran gempa menggunakan sensor accelerometer dan mikrokontroler [4], [5], [6]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada pendeteksian getaran dan belum banyak mengintegrasikan pemantauan kelembapan tanah sebagai indikator pendukung potensi longsor setelah terjadinya guncangan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem monitoring getaran tanah dan kelembapan tanah berbasis mikrokontroler. Sensor ADXL345 digunakan untuk membaca perubahan percepatan atau getaran tanah,

sedangkan Capacitive Soil Moisture Sensor digunakan untuk memantau kadar kelembapan tanah. Data sensor dikirim ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui dashboard web sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara real-time.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring berbasis IoT yang mampu membaca getaran tanah dan kelembapan tanah, menampilkan data secara real-time, serta memberikan peringatan otomatis melalui buzzer ketika parameter yang dipantau melewati ambang batas yang telah ditentukan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian *Research and Development (R&D)* merupakan pendekatan penelitian yang bertujuan menghasilkan produk tertentu sekaligus menguji tingkat keefektifan produk yang dikembangkan [7].

Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development (R&D)* dengan tahapan *Research, Design, Production, dan Evaluation*. Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengembangan produk berupa *prototype* sistem monitoring getaran tanah dan kelembapan tanah berbasis IoT.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahap *Research* dilakukan dengan mengidentifikasi masalah, melakukan studi literatur, dan menganalisis kebutuhan sistem. Kajian dilakukan terhadap sistem monitoring getaran, penggunaan sensor ADXL345, pemantauan kelembapan tanah, mikrokontroler ESP32, dan pemanfaatan Firebase sebagai media penyimpanan data *real-time* [8], [9], [10].

Tahap *Design* dilakukan dengan merancang sistem yang dikembangkan, meliputi pembuatan diagram blok sistem, *flowchart*, desain rangkaian perangkat keras, serta perancangan alur kerja sistem. Pada tahap ini juga dilakukan perencanaan integrasi sensor dengan mikrokontroler agar sistem dapat bekerja secara otomatis dan *real-time*.

Tahap *Production* dilakukan melalui pembuatan *prototype* alat, perakitan perangkat keras, integrasi sensor ADXL345 dan *Capacitive Soil Moisture Sensor*, serta pemrograman ESP32. Program dibuat agar sistem mampu membaca data sensor, menentukan status kondisi, mengirimkan data ke Firebase, dan mengaktifkan *buzzer* ketika terdeteksi kondisi bahaya.

Tahap *Evaluation* dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan kinerja sistem yang telah dikembangkan. Pengujian sensor ADXL345 dilakukan dengan memberikan simulasi getaran untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca perubahan percepatan, sedangkan pengujian *Capacitive Soil Moisture Sensor* dilakukan dengan mengamati perubahan nilai pembacaan pada kondisi tanah yang berbeda.

Selain pengujian sensor, pengujian sistem juga dilakukan pada proses pengiriman data ke Firebase, tampilan *dashboard web*, dan respons *buzzer*. Hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui kesesuaian fungsi sistem terhadap rancangan yang telah dibuat.

Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem monitoring getaran tanah dan kelembapan tanah berbasis IoT yang dapat digunakan sebagai media monitoring sederhana untuk meningkatkan kewaspadaan masyarakat terhadap potensi bencana alam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

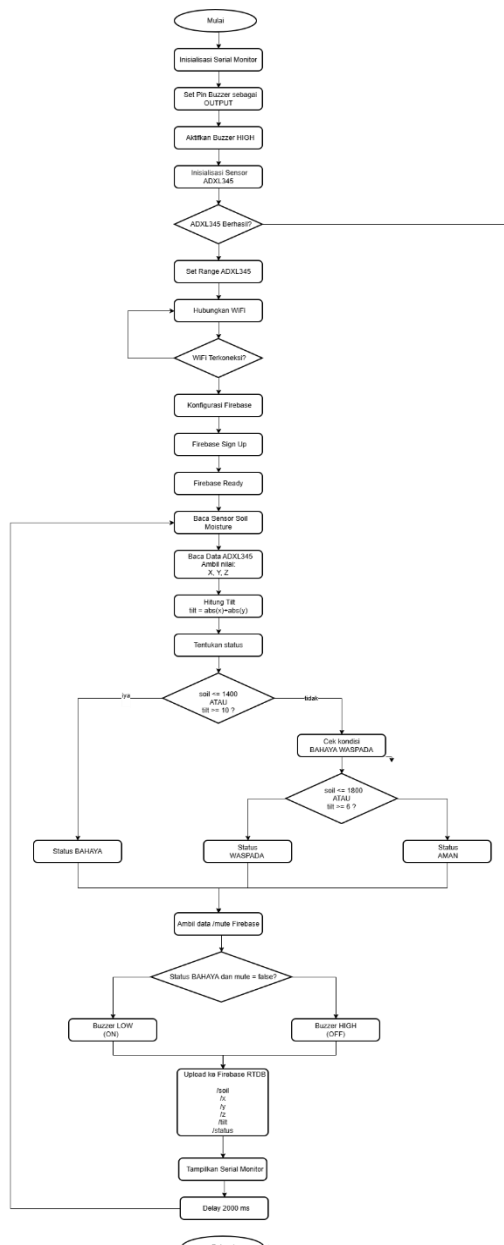
1. Research

Tahap *research* dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan sistem monitoring getaran tanah dan kelembapan tanah berbasis mikrokontroler. Berdasarkan studi literatur, Indonesia memiliki tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi karena berada pada wilayah tektonik aktif dan kawasan cincin api [1], [2]. Gempa bumi tidak hanya menyebabkan kerusakan bangunan dan korban jiwa, tetapi juga dapat memicu bencana lanjutan seperti tsunami, likuefaksi, dan tanah longsor [3]. Penelitian Lenni dan Ardiansyah (2024) menunjukkan bahwa sensor accelerometer

dapat digunakan untuk membaca perubahan getaran sebagai indikator aktivitas guncangan [4]. Penelitian Iriani dan Sundawa (2023) mengembangkan alarm peringatan gempa berbasis accelerometer dan IoT [5], sedangkan Siswanto dan Saputra (2022) menunjukkan bahwa integrasi mikrokontroler dan IoT dapat digunakan pada sistem peringatan dini bencana secara *real-time* [6]. Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini menggabungkan pembacaan getaran menggunakan ADXL345, pemantauan kelembapan tanah menggunakan *Capacitive Soil Moisture Sensor*, pengolahan data oleh ESP32, serta pengiriman data ke *Firestore Realtime Database*. ADXL345 dipilih karena merupakan accelerometer tiga sumbu yang mampu membaca percepatan dinamis akibat gerakan atau guncangan [8]. ESP32 dipilih karena mendukung konektivitas Wi-Fi untuk kebutuhan IoT [9], sedangkan Firebase digunakan karena mampu menyimpan dan menyinkronkan data secara *real-time* ke perangkat yang terhubung [10].

2. Design

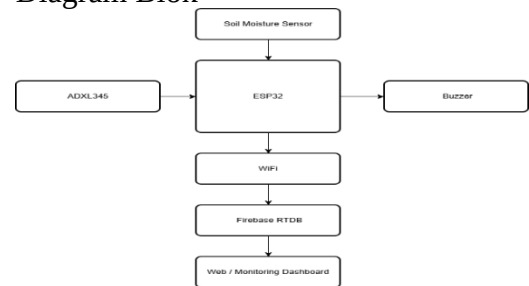
1. Flowchart



Gambar 2. Flowchart

Flowchart sistem menggambarkan proses kerja alat mulai dari inisialisasi sensor, koneksi *WiFi*, dan konfigurasi *Firebase*. Sistem membaca data sensor *ADXL345* untuk mendeteksi perubahan getaran serta *Capacitive Soil Moisture Sensor* untuk memantau kelembapan tanah. Data diproses untuk menentukan status aman, waspada, atau bahaya. Jika kondisi bahaya terdeteksi, *buzzer* akan aktif sebagai peringatan, kemudian data dikirim ke *Firebase* untuk kebutuhan monitoring.

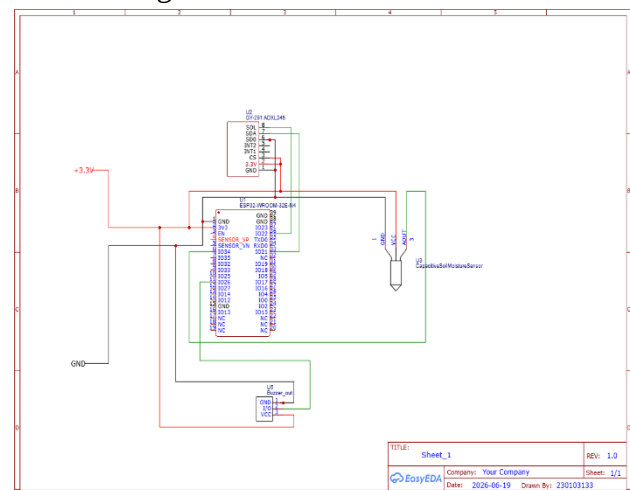
2. Diagram Blok



Gambar 3. Diagram Blok

Diagram blok sistem menunjukkan hubungan antar komponen pada sistem monitoring getaran tanah dan kelembapan tanah. Sensor *ADXL345* digunakan untuk membaca getaran, sedangkan *Soil Moisture Sensor* digunakan untuk membaca tingkat kelembapan tanah. Data dari kedua sensor diproses oleh *ESP32* sebagai pusat kendali sistem. *ESP32* kemudian mengirimkan data melalui *WiFi* menuju *Firebase Realtime Database* untuk penyimpanan dan monitoring melalui *web/dashboard* [9], [10]. Ketika kondisi bahaya terdeteksi, *ESP32* akan mengaktifkan *buzzer* sebagai indikator peringatan.

3. Skema Rangkaian



Gambar 4. Skema Rangkaian

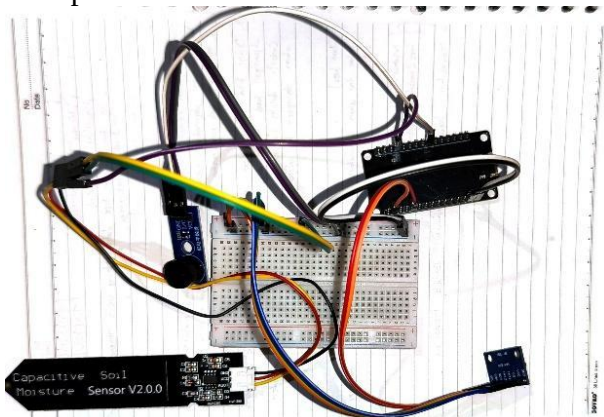
Rangkaian skematik menunjukkan hubungan antar komponen pada sistem monitoring getaran tanah dan kelembapan tanah berbasis *ESP32*. *ESP32* digunakan sebagai mikrokontroler utama yang

mengolah data dari sensor ADXL345 dan *Capacitive Soil Moisture Sensor*. Sensor ADXL345 terhubung menggunakan komunikasi I2C untuk membaca perubahan percepatan/getaran pada sumbu X, Y, dan Z [8], sedangkan sensor kelembapan tanah membaca kondisi kadar air tanah melalui pin analog. Buzzer terhubung sebagai indikator peringatan ketika sistem mendeteksi kondisi bahaya. Seluruh komponen mendapatkan sumber tegangan dan ground dari ESP32 agar sistem dapat bekerja sesuai program yang telah dibuat.

4. Production

Pada tahap production, alat dibuat sesuai hasil perancangan. Komponen utama yang digunakan adalah ESP32, *buzzer*, sensor ADXL345, dan *Capacitive Soil Moisture Sensor*. Setiap komponen diuji terlebih dahulu untuk memastikan fungsi pembacaan sensor, koneksi pin, dan keluaran *buzzer* bekerja sesuai kebutuhan sistem.

Setelah pengujian komponen dinyatakan berhasil, dilakukan perakitan *prototype* alat monitoring getaran tanah dan potensi longsor. Hasil perakitan alat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Perakitan Prototype Alat

Pada saat sensor Soil Moisture membaca kadar air tanah dan sensor ADXL345 mendeteksi getaran melalui perubahan nilai percepatan pada sumbu X, Y, dan Z, data diproses oleh ESP32. Hasil pembacaan sensor dikirim ke Firebase secara *real-time*. Apabila nilai kelembapan tanah

atau getaran melewati ambang batas yang telah ditentukan, *buzzer* akan aktif sebagai tanda peringatan potensi bahaya.

5. Evaluation

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dalam membaca data sensor, mengirimkan data ke Firebase, menampilkan data pada *dashboard*, dan memberikan respons peringatan melalui *buzzer*. Pengujian dilakukan dengan simulasi getaran pada sensor ADXL345 serta variasi kondisi kelembapan tanah pada sensor Soil Moisture.

Status sistem ditentukan berdasarkan ambang batas yang ditetapkan pada program. Nilai tilt/getaran yang rendah menghasilkan status aman, nilai sedang menghasilkan status waspada, dan nilai tinggi menghasilkan status bahaya. Pada pengujian ini, nilai 2,24 ditampilkan sebagai kondisi aman, nilai 6,16 sebagai kondisi waspada, dan nilai 12,87 sebagai kondisi bahaya. Buzzer aktif ketika sistem berada pada status bahaya, sedangkan pada status aman dan waspada *buzzer* tetap mati. Hasil pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. PENGUJIAN SISTEM MONITORING

Waktu	Tilt/Getaran	Soil	Status	Buzzer
11:14:08 AM	6.16	3216	Waspada	Mati
11:14:08 AM	6.16	3216	Waspada	Mati
11:14:08 AM	12.87	3216	Bahaya	Hidup
11:14:08 AM	12.87	3216	Bahaya	Hidup
11:14:08 AM	12.87	3216	Bahaya	Hidup
11:14:08 AM	12.87	3216	Bahaya	Hidup
11:14:06 AM	12.87	3204	Bahaya	Hidup
11:14:06 AM	2.24	3204	Aman	Mati
11:13:59 AM	2.24	3197	Aman	Mati
11:13:59 AM	2.24	3197	Aman	Mati

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu membaca perubahan getaran menggunakan ADXL345 dan membaca nilai kelembapan tanah menggunakan *Soil Moisture Sensor*. Pada saat nilai tilt/getaran rendah, sistem memberikan status aman dan *buzzer* tidak aktif. Ketika nilai tilt/getaran meningkat ke kondisi waspada, sistem menampilkan status waspada tanpa mengaktifkan *buzzer*. Pada kondisi bahaya, sistem menampilkan status bahaya dan mengaktifkan *buzzer*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem telah mampu menjalankan fungsi deteksi, pengiriman data, monitoring, dan peringatan sesuai rancangan.

6. KESIMPULAN

Sistem monitoring getaran tanah dan kelembapan tanah berbasis IoT yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan sensor ADXL345, *Capacitive Soil Moisture Sensor*, ESP32, *Firestore Realtime Database*, *dashboard web*, dan *buzzer* dalam satu platform pemantauan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca perubahan nilai getaran dan kelembapan tanah, mengirimkan data secara *real-time*, menampilkan status kondisi pada *dashboard*, serta mengaktifkan *buzzer* ketika sistem berada pada status bahaya. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk membangun media monitoring yang otomatis, terhubung ke jaringan, dan mudah diakses telah tercapai. Sistem ini berpotensi digunakan sebagai pendukung kewaspadaan masyarakat di wilayah rawan gempa dan tanah longsor, namun pengembangan lanjutan masih diperlukan melalui kalibrasi sensor, pengujian lapangan, dan penambahan notifikasi jarak jauh berbasis aplikasi atau pesan singkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, rekan satu tim, serta pihak Fakultas Ilmu Komputer Universitas Duta Bangsa Surakarta atas arahan, dukungan, dan fasilitas yang telah diberikan selama proses

penyusunan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu hingga artikel ini dapat diselesaikan.

REFERENSI

- [1] Y. Syafitri, B. Bahtiar, and L. A. Didik, "Analisis pergeseran lempeng bumi yang meningkatkan potensi terjadinya gempa bumi di Pulau Lombok," *Konstan-Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, vol. 4, no. 2, pp. 139-146, 2019.
- [2] R. Akbar, R. Darman, J. N. Marizka, and N. Ardewati, "Implementasi Business Intelligence Menentukan Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia dengan Fitur Geolokasi," *JEPIN: Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika*, vol. 4, no. 1, pp. 30-35, 2018.
- [3] B. Arham and A. Wibowo, "Analisis Bencana Longsor akibat Gempa Bumi Cianjur 2022 dengan DInSAR," *Journal of Regional and Rural Development Planning*, vol. 8, no. 2, 2024.
- [4] L. Lenni and F. Ardiansyah, "Prototype Alat Pendeteksi Gempa Menggunakan Sensor Accelerometer ADXL335 Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 30-36, 2024.
- [5] J. Iriani and B. V. Sundawa, "Design of earthquake warning alarm using accelerometer sensor based on Internet of Things," *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, vol. 3, no. 1, pp. 32-35, 2023.
- [6] N. Siswanto and S. F. Saputra, "Prototype Sistem Peringatan Dini Bencana Gempa Bumi dan Tsunami Berbasis Internet of Things," *Jurnal PROSISKO*, vol. 9, no. 1, pp. 60-66, 2022.
- [7] D. Sugiyono, *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2013.
- [8] Analog Devices, "ADXL345: 3-Axis, $\pm 2\text{ g}/\pm 4\text{ g}/\pm 8\text{ g}/\pm 16\text{ g}$ Digital Accelerometer Data Sheet," Rev. G, 2022. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl345.pdf>
- [9] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet," Version 5.2, 2025. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [10] Google Firebase, "Firestore Realtime Database Documentation." [Online]. Available: <https://firebase.google.com/docs/database>. Accessed: Jun. 21, 2026.