Jurnal Teknlogi Informatika dan Komputer MH. Thamrin p-ISSN 2656-9957; e-ISSN 2622-8475
Volume 12 No 2; September 2026 Hal 2201-2228

Design of an Earthquake Early Warning System Based on Vibration Sensors and IoT in Earthquake-Prone Areas of Bengkulu

Ahmad Bintang Akbar Salsabilla[1)*)], Sastya Hendri Wibowo[2)], Yulia Darmi[3)], Muntahanah[4)]

[1)2)3)4)]Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Bengkulu
[*)]**Correspondence author**: bintangakbr18@gmail.com, Kota Bengkulu, Indonesia
DOI: https://doi.org/10.37012/jtik.v12i2.3830

Abstract

Bengkulu Province is one of the regions in Indonesia with a relatively high level of earthquake vulnerability due to its location in a tectonic plate boundary zone. This condition highlights the importance of a system capable of providing early warnings so that people can increase their awareness when an earthquake occurs. This study aimed to design and develop an Internet of Things (IoT)- and vibration sensor-based earthquake early warning system using an MPU6050 sensor to detect vibrations and an Arduino Uno as the main system controller. The method used in this study was the Waterfall model, which consists of the stages of requirements analysis, system design, implementation, testing, and maintenance. The system was developed using an MPU6050 sensor, Arduino Uno, a 16 × 2 LCD, an LED, and a buzzer. Acceleration data along the X, Y, and Z axes were processed using resultant acceleration calculations to obtain the total acceleration value. The measurement results were then compared with a threshold value of 15 m/s². When the measured value exceeded the threshold, the system displayed the message "EARTHQUAKE!!!" on the LCD and activated the LED and buzzer as warning indicators. The test results showed that the system was able to detect changes in vibration effectively and distinguish between normal conditions and high-vibration conditions based on the predetermined threshold value. When the acceleration value was below 15 m/s², the system displayed a safe status and the warning indicators remained inactive. Conversely, when the acceleration value exceeded 15 m/s², the LED and buzzer were activated as warning indicators.

Keywords: *Earthquake Early Warning, Arduino Uno, MPU6050, Internet of Things, Vibration Sensor*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang sistem deteksi dini gempa bumi berbasis Provinsi Bengkulu merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki tingkat kerawanan gempa bumi yang cukup tinggi karena berada di kawasan pertemuan lempeng tektonik. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya sistem yang mampu memberikan peringatan lebih awal agar masyarakat dapat meningkatkan kewaspadaan ketika terjadi gempa. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem deteksi dini gempa berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan sensor MPU6050 sebagai pendeteksi getaran dan Arduino Uno sebagai pengendali utama sistem. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Waterfall, yang meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Sistem dibangun menggunakan sensor MPU6050, Arduino Uno, LCD 16×2, LED, dan buzzer. Data percepatan pada sumbu X, Y, dan Z diolah menggunakan perhitungan resultan percepatan untuk memperoleh nilai getaran total. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan nilai ambang batas sebesar 15 m/s². Jika nilai tersebut terlampaui, sistem akan menampilkan informasi "GEMPA!!!" pada LCD serta mengaktifkan LED dan buzzer sebagai peringatan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat membaca perubahan getaran dengan baik dan mampu membedakan kondisi normal dengan kondisi getaran tinggi sesuai nilai ambang yang telah ditentukan. Pada kondisi di bawah 15 m/s², sistem menampilkan status aman dan indikator peringatan tidak aktif. Sebaliknya, ketika nilai percepatan melebihi 15 m/s², LED dan buzzer aktif sebagai tanda peringatan.

Kata Kunci: Deteksi Dini Gempa, Arduino Uno, MPU6050, Internet of Things, Sensor Getaran

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada era modern berlangsung sangat cepat, sehingga mendorong berbagai pihak untuk mengembangkan maupun menciptakan inovasi baru yang dapat mempermudah aktivitas manusia. Inovasi tersebut mencakup pengembangan perangkat lunak (software) maupun perangkat keras (hardware) yang dirancang untuk memberikan Manfaat praktis dalam berbagai bidang. Di sisi lain, gempa bumi masih menjadi permasalahan yang kerap terjadi di Indonesia dan termasuk salah satu sumber utama bencana alam di wilayah tersebut (Harahap et al., 2023.). Provinsi Bengkulu berada di kawasan subduksi aktif yang merupakan titik pertemuan antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, sehingga wilayah ini memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Kajian terbaru mengungkapkan bahwa pesisir barat Sumatra menyimpan potensi gempa megathrust yang besar, sebagai akibat dari akumulasi energi tektonik yang terus berlangsung (Hadi et al., 2021).

Berdasarkan peta analisis, dapat disimpulkan bahwa tingkat bahaya tsunami di Kota Bengkulu dan Kabupaten Bengkulu Tengah menunjukkan variasi kerentanan. Wilayah dengan risiko paparan tertinggi berada di Kota Bengkulu, khususnya pada arah Barat hingga Barat Laut, dengan indeks mencapai 34,26%. Kondisi ini disebabkan oleh letaknya yang langsung berbatasan dengan Samudera Hindia. Sebaliknya, kawasan Barat Daya relatif lebih rendah tingkat paparannya karena energi gelombang tsunami cenderung tereduksi atau pecah pada morfologi wilayah yang membentuk semacam selat. Secara umum, tingkat keterpaparan tsunami di Kota Bengkulu dan Kabupaten Bengkulu Tengah termasuk dalam kategori sedang. Faktor utama yang memengaruhi tingkat kerawanan tersebut adalah kedekatan permukiman dengan garis pantai serta ketinggian wilayah yang berkisar antara 0–25 meter di atas permukaan laut.Selain itu, rendahnya tingkat pengetahuan masyarakat, ditambah dampak pandemi Covid-19 yang menghambat proses pendidikan, menyebabkan urgensi peningkatan edukasi mengenai gempa bumi, tsunami, dan upaya mitigasinya menjadi semakin penting, khususnya bagi masyarakat yang tinggal di wilayah rawan bencana.(Fransiska et al., 2022).

Berdasarkan tingkat kerawanan gempa di Bengkulu serta perkembangan teknologi sensor dan IOT sejak 2021, perancangan sistem deteksi dini gempa berbasis sensor getar dan IOT menjadi solusi yang relevan dan strategis. Sistem yang dirancang diharapkan mampu

mendeteksi getaran awal secara real-time, mengirimkan data secara cepat melalui jaringan IOT, serta memberikan notifikasi dini kepada masyarakat dan instansi terkait. Implementasi sistem ini tidak hanya mendukung mitigasi bencana berbasis teknologi, tetapi juga memperkuat ketahanan daerah terhadap risiko gempa bumi di wilayah rawan Bengkulu.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode waterfall yang merupakan salah satu model pengembangan sistem yang dilakukan secara terstruktur dan bertahap, sehingga setiap tahapan harus diselesaikan satu per satu. Penggunaan metode ini dipilih karena sesuai dengan proses pengembangan sistem deteksi dini gempa bumi yang memerlukan alur kerja yang terencana dan terstruktur. Tahapan yang dilalui meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi sistem, dan pengujian hingga tahap pemeliharaan untuk memastikan sistem dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan yang diinginkan.

Metode Waterfall, yang juga dikenal sebagai Classic Life Cycle atau Linear Sequential Model, merupakan salah satu metode pengembangan perangkat lunak yang menerapkan pendekatan secara sistematis dan berurutan. Pada metode ini, setiap tahapan dikerjakan secara bertahap, dimulai dari analisis kebutuhan pengguna, kemudian dilanjutkan dengan tahap perencanaan (planning), perancangan (modeling), pembangunan (construction), hingga implementasi dan penyerahan sistem kepada pengguna (deployment). Setelah seluruh tahapan selesai, proses dilanjutkan dengan kegiatan pemeliharaan dan dukungan terhadap perangkat lunak agar sistem tetap dapat beroperasi dengan baik sesuai kebutuhan pengguna. (Wahid, 2020).

Adapun tahapan metode Waterfall yang diterapkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap analisis kebutuhan merupakan langkah awal dalam pengembangan sistem yang bertujuan untuk mengidentifikasi seluruh kebutuhan, baik perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software), yang diperlukan selama proses penelitian. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi, analisis kebutuhan, serta penentuan komponen yang akan digunakan dalam perancangan sistem deteksi dini gempa bumi.

Selain itu, dilakukan pula analisis terhadap kebutuhan perangkat lunak, yang meliputi Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan untuk membuat dan mengunggah program ke mikrokontroler, beserta library pendukung yang dibutuhkan agar setiap komponen dapat saling terintegrasi dan bekerja sesuai fungsinya. Hasil dari tahap analisis kebutuhan ini menjadi dasar dalam proses perancangan sistem sehingga seluruh komponen dapat diimplementasikan secara terstruktur dan mampu beroperasi sesuai dengan tujuan penelitian.

Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem dilakukan setelah proses analisis kebutuhan selesai. Pada tahap ini, dibuat rancangan sistem berdasarkan kebutuhan yang telah ditentukan sebelumnya. Perancangan meliputi penyusunan struktur sistem, hubungan antar komponen, serta cara kerja sistem secara keseluruhan.

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan menentukan hubungan antara Arduino Uno dan komponen pendukung, seperti sensor MPU6050, LCD 16×2, LED, dan buzzer. Sedangkan perancangan perangkat lunak dilakukan dengan membuat alur program yang mencakup proses pembacaan data dari sensor, pengolahan nilai percepatan, serta penentuan kondisi untuk mengaktifkan sistem peringatan.

Pada tahap ini juga dibuat diagram blok dan flowchart sebagai gambaran cara kerja sistem. Diagram tersebut menunjukkan alur proses mulai dari sensor membaca data, data diolah oleh Arduino Uno, hingga sistem memberikan peringatan melalui LED, buzzer, dan tampilan informasi pada LCD.

Implementasi Sistem

Tahap implementasi merupakan tahap pelaksanaan dari rancangan sistem yang telah dibuat sebelumnya. Pada tahap ini, semua komponen perangkat keras dirakit sehingga membentuk sebuah sistem yang dapat berfungsi dengan baik.

Proses pembuatan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Program yang dibuat bertugas membaca data percepatan dari sensor MPU6050 pada sumbu X, Y, dan Z. Selanjutnya, data tersebut diolah menggunakan perhitungan resultan vektor untuk memperoleh nilai percepatan total.

Setelah nilai percepatan total diperoleh, sistem akan membandingkannya dengan nilai ambang batas sebesar 15 m/s². Jika nilai tersebut melebihi batas yang telah ditentukan, Arduino akan mengaktifkan LED dan buzzer sebagai tanda peringatan, serta menampilkan tulisan "GEMPA!!!" pada LCD. Dengan demikian, pengguna dapat langsung mengetahui bahwa sistem mendeteksi getaran yang berpotensi sebagai gempa.

Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan kinerja sistem yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan terhadap setiap komponen penyusun sistem maupun pengujian sistem secara keseluruhan.

Pengujian terhadap komponen dilakukan dengan memeriksa fungsi pembacaan sensor MPU6050, kinerja tampilan LCD, respon LED sebagai indikator, serta fungsi buzzer sebagai alarm peringatan. Setelah seluruh komponen dipastikan dapat bekerja dengan baik, dilakukan pengujian keseluruhan sistem dengan memberikan variasi getaran pada sensor untuk mengetahui respon sistem terhadap perubahan nilai percepatan.

Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi getaran yang melebihi nilai ambang batas serta memastikan bahwa sistem mampu memberikan peringatan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

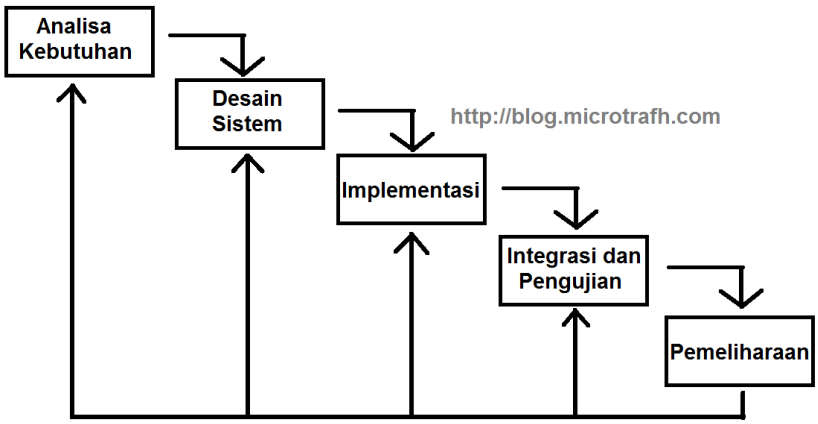
Pemeliharaan Sistem

Tahap pemeliharaan merupakan tahap akhir dalam metode Waterfall yang bertujuan untuk menjaga kestabilan dan meningkatkan kinerja sistem yang telah dibuat. Pada tahap ini dilakukan evaluasi berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya.

Apabila ditemukan kendala atau kesalahan pada perangkat keras maupun perangkat lunak, maka dilakukan proses perbaikan dan penyempurnaan agar sistem dapat bekerja secara optimal. Selain itu, tahap pemeliharaan juga dapat menjadi dasar untuk pengembangan sistem lebih lanjut, seperti penambahan fitur komunokasi berbasis jaringan, pengiriman notifikasi jarak jauh, maupun integrasi dengan teknologi Internet Of Things (IOT).

Berdasarkan seluruh tahapan metode Waterfall yang diterapkan, penelitian ini menghasilkan sistem deteksi dini gempa bumi berbasis Arduino Uno yang mampu mendeteksi perubahan getaran melalui sensor MPU6050, melakukan pengolahan data percepatan, serta

memberikan peringatan otomatis ketika nilai percepatan yang terdeteksi melebihi batas yang telah ditentukan. Gambar metode waterfall ditunjukkan dibawah ini.



Gambar 1. Metode Waterfall

Pada penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung proses perancangan, pembuatan, serta pengujian sistem deteksi dini gempa bumi berbasis Arduino Uno. Alat dan bahan yang digunakan terdiri dari perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang memiliki fungsi masing-masing dalam proses pengembangan sistem.

Alat Penelitian

Alat penelitian merupakan perangkat yang digunakan untuk melakukan proses perancangan, pemrograman, dan pengujian sistem. Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.

Alat Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah	Fungsi
1	Laptop/Komputer	1 Unit	Digunakan untuk membuat program, serta mengunggah kode ke Arduino Uno
2	Arduino Ide	1 Aplikasi	Digunakan sebagai perangkat lunak untuk menulis dan mengunggah program ke mikrokontroler Arduino Uno
3	Kabel USB Arduino Uno	1 Buah	Digunakan sebagai media komunokasi antara Arduino Uno dan komputer saat proses pemrograman
4	*Breadboard*	1 Unit	Digunakan sebagai tempat perakitan sementara antar komponen.
5	Kabel Jumper	Secukupnya	Digunakan untuk menghubungkan pin antar komponen dalam rangkaian elektronik.

Bahan Penelitian

Bahan penelitian merupakan komponen utama yang digunakan untuk membangun sistem deteksi dini gempa bumi. Komponen yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan berdasarkan hasil analisis sistem. Adapun bahan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.

Bahan Penelitian

No	Nama bahan	Jumlah	Fungsi
1	Arduino Uno R3	1 Buah	Sebagai pusat pengendali yang menjalankan program dan mengolah data sensor.
2	Sensor MPU6050	1 Buah	Digunakan untuk mendeteksi perubahan percepatan dan getaran melalui sensor *accelerometer* dan *gyroscope*.
3	LCD 16×2	1 Buah	Digunakan untuk menampilkan nilai getaran dan informasi kondisi sistem.
4	LED	1 Buah	Sebagai indikator visual ketika sistem mendeteksi getaran yang melewati batas normal.
5	Buzzer Aktif 5V	1 Buah	Sebagai alarm suara ketika sistem mendeteksi indikasi gempa.
6	Resistor 220 Ω	1 Buah	Digunakan sebagai pembatas arus pada rangkaian LED.
7	Kabel Jumper *Male-Male*	Secukupnya	Digunakan untuk menghubungkan komponen pada breadboard.
8	Catu Daya 5V	1 Buah	Digunakan sebagai sumber tegangan untuk mengoperasikan sistem.

Perangkat Lunak Penelitian

Selain perangkat keras, penelitian ini juga membutuhkan perangkat lunak pendukung untuk melakukan pemrograman dan pengembangan sistem. Perangkat lunak yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.

Perangkat Lunak Penelitian

No	Nama Perangkat Lunak	Fungsi
1	Arduino IDE	Digunakan untuk proses pembuatan dan pengunggahan program ke Arduino Uno.
2	*Library Wire*	Digunakan untuk mendukung komunokasi I2C antara Arduino Uno dengan sensor MPU6050.
3	*Library LiquidCrystal*	Digunakan untuk mengatur tampilan informasi pada LCD 16×2
4	*Library* Adafruit MPU6050	Digunakan untuk membaca data *accelerometer* dan *gyroscope* dari sensor MPU6050.
5	*Library* Adafruit Sensor	Digunakan sebagai pendukung pembacaan data sensor dengan standar library Adafruit.
6	Wokwi Simulator	Digunakan untuk melakukan simulasi rangkaian elektronik sebelum diterapkan pada perangkat nyata.

Berdasarkan alat dan bahan yang telah ditentukan, seluruh komponen tersebut akan dirangkai menjadi sebuah sistem pendeteksi dini gempa bumi. Arduino Uno berperan sebagai pengolah data utama, sedangkan sensor MPU6050 digunakan untuk memperoleh data perubahan percepatan. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh program untuk menentukan kondisi sistem dan memberikan peringatan melalui LCD, LED, serta buzzer.

Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem merupakan tahap pertama dalam metode Waterfall. Pada tahap ini dilakukan penentuan kebutuhan yang diperlukan untuk membangun sistem. Kegiatan yang dilakukan meliputi identifikasi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang akan digunakan, serta mengetahui fungsi dari setiap komponen agar sistem dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

Pada penelitian ini, sistem yang dibuat adalah sistem deteksi dini gempa bumi berbasis Arduino Uno dengan menggunakan sensor MPU6050 sebagai pendeteksi getaran atau perubahan percepatan. Sistem dirancang untuk membaca data percepatan secara langsung dari sensor, mengolah data tersebut, kemudian menampilkan nilai percepatan yang terdeteksi. Jika nilai percepatan melebihi batas yang telah ditentukan, sistem akan memberikan peringatan kepada pengguna melalui LED, buzzer, dan tampilan pada LCD.

Kebutuhan Fungsional Sistem

Kebutuhan fungsional merupakan kebutuhan yang menjelaskan fungsi-fungsi utama yang harus dimiliki oleh sistem agar dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang telah dirancang. Pada sistem deteksi dini gempa bumi ini, kebutuhan fungsional meliputi:

1. Sistem dapat membaca data percepatan menggunakan sensor MPU6050.
2. Sistem dapat mendeteksi perubahan percepatan pada tiga sumbu, yaitu sumbu X, Y, dan Z.
3. Sistem dapat mengolah data dari sensor untuk menghitung nilai percepatan total.
4. Sistem dapat menampilkan hasil pembacaan sensor pada LCD 16×2.
5. Sistem dapat membandingkan nilai percepatan dengan nilai ambang batas (threshold) yang telah ditentukan.
6. Sistem dapat mengaktifkan buzzer sebagai alarm apabila nilai getaran melebihi batas yang ditetapkan.

7. Sistem dapat menyalakan LED sebagai indikator saat terdeteksi getaran tinggi.
8. Sistem dapat menampilkan status sistem pada LCD, yaitu "STATUS: AMAN" saat kondisi normal dan "GEMPA!!!" saat nilai getaran melebihi ambang batas.

Kebutuhan Nonfungsional Sistem

Kebutuhan nonfungsional merupakan kebutuhan yang mendukung agar sistem dapat bekerja dengan baik, stabil, dan mudah digunakan. Adapun kebutuhan nonfungsional pada sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan Respon

   Sistem harus dapat membaca perubahan nilai percepatan dari sensor secara terus menerus dan memberika respon dengan cepat ketia terjadi getaran yang melebihi batas yang ditentukan.
2. Keandalan sistem

   Sistem harus mampu bekerja dengan stabil selama proses pemantauan serta dapat membaca data sensor secara berulang tanpa mengalami gangguan.
3. Kemudahan Sistem

   Sistem dirancang agar mudah digunakan. Informasi kondisi ditampilkan melalui LCD, sedangankan LED dan buzzer digunakan sebagai indikator peringatan sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem dengan mudah.
4. Efisiensi Perangkat

   Komponen yang digunakan harus memiliki konsumsi daya yang rendah dan sesuai dengan kemampuan arduino uno sebagai pengendali utama sistem.

Analisis Kebutuhan Perangkat Keras

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, sistem deteksi dini gempa bumi memerlukan beberapa komponen perangkat keras yang saling terhubung agar dapat bekerja dengan baik. Arduino Uno digunakan sebagai pusat pengendali sistem yang berfungsi menerima data dari sensor, mengolah data tersebut, kemudian mengendalikan komponen keluaran sesuai dengan kondisi yang terdeteksi. Sensor MPU6050 berfungsi untuk mendeteksi perubahan percepatan atau getaran pada tiga sumbu, yaitu sumbu X, Y, dan Z. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke Arduino Uno melalui komunokasi I2C untuk diproses lebih lanjut. LCD 16×2 digunakan sebagai media untuk menampilkan hasil pembacaan sensor dan status

sistem, seperti "STATUS: AMAN" atau "GEMPA!!!". Potentiometer digunakan untuk mengatur tingkat kontras tampilan pada LCD sehingga informasi dapat terlihat dengan jelas. LED berfungsi sebagai indikator visual ketika sistem mendeteksi getaran yang melebihi batas yang telah ditentukan. Buzzer digunakan sebagai alarm suara yang akan berbunyi saat kondisi peringatan gempa terdeteksi, sehingga pengguna dapat segera mengetahui adanya potensi bahaya.

Selain itu, resistor digunakan sebagai pembatas arus listrik pada rangkaian, terutama pada LED, agar komponen dapat bekerja dengan aman dan tidak mengalami kerusakan akibat arus yang berlebihan. Seluruh komponen tersebut saling terhubung sehingga sistem dapat mendeteksi getaran, mengolah data, menampilkan informasi, dan memberikan peringatan secara otomatis.

Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan program mikrokontroler. Program sistem dibuat menggunakan bahasa pemrograman C/C++ dengan memanfaatkan beberapa library pendukung agar proses komunokasi dan pengolahan data dapat berjalan dengan baik.

Library Wire.h digunakan untuk mengatur komunokasi I2C antara Arduino Uno dengan sensor MPU6050. Library Adafruit_MPU6050.h digunakan untuk membantu proses pengambilan data dari sensor, sedangkan Adafruit_Sensor.h berfungsi sebagai pendukung dalam pengolahan data sensor. Selain itu, library LiquidCrystal.h digunakan untuk mengatur tampilan informasi pada LCD 16×2.

Program yang dikembangkan memiliki beberapa tahapan utama, yaitu proses inisialisasi seluruh perangkat, pembacaan data sensor MPU6050, pengolahan nilai percepatan total, proses perbandingan dengan nilai ambang batas, serta pengaktifan sistem peringatan berdasarkan hasil keputusan yang diperoleh.

Analisis Ambang Batas Deteksi Getaran

Pada sistem deteksi dini gempa bumi ini digunakan nilai ambang batas (threshold) sebesar 15,0 m/s^2 sebagai parameter untuk menentukan kondisi getaran yang terdeteksi. Nilai tersebut digunakan sebagai acuan dalam membedakan kondisi normal dengan kondisi yang dianggap memiliki potensi getaran tinggi.

Cara kerja pengambilan keputusan sistem dilakukan berdasarkan logika berikut:

- Apabila nilai percepatan total kurang dari atau sama dengan 15,0 m/s², maka sistem dikategorikan dalam kondisi normal. LCD akan menampilkan informasi "STATUS: AMAN", sedangkan indikator peringatan tidak aktif.
- Apabila nilai percepatan total lebih besar dari 15,0 m/s², maka sistem menganggap terjadi getaran dengan intensitas tinggi. Pada kondisi tersebut, LED akan menyala, buzzer akan aktif, dan LCD akan menampilkan informasi "GEMPA!!!" sebagai tanda peringatan.

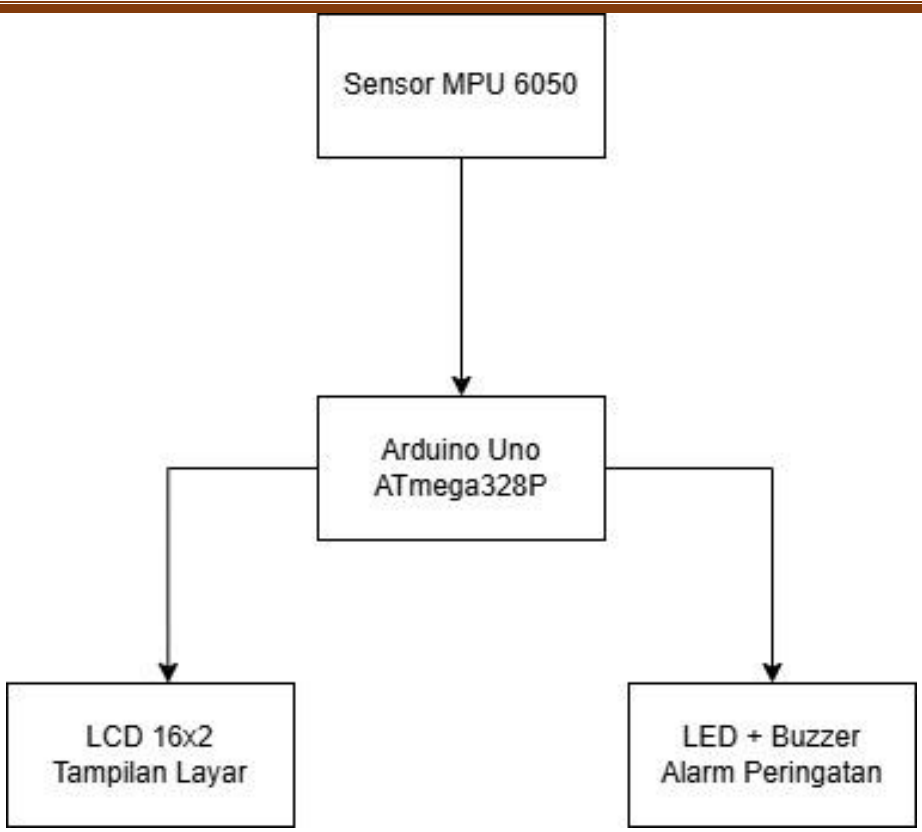
Hasil dari analisis kebutuhan sistem ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam tahap perancangan sistem (System Design), yang meliputi pembuatan rancangan rangkaian perangkat keras, diagram blok sistem, flowchart, serta rancangan algoritma program yang akan diterapkan pada sistem deteksi dini gempa bumi.

Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem merupakan tahap kedua dalam metode Waterfall setelah proses analisis kebutuhan selesai dilakukan. Pada tahap ini dilakukan perancangan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang akan digunakan pada sistem deteksi dini gempa bumi. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menentukan cara kerja sistem dan hubungan antar komponen sehingga proses pembuatan sistem dapat dilakukan dengan lebih mudah dan terarah. Sistem yang dirancang menggunakan Arduino Uno sebagai pusat pengendali dan pengolah data. Sensor MPU6050 berfungsi sebagai perangkat masukan (input) untuk mendeteksi perubahan percepatan atau getaran. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh Arduino Uno dan dibandingkan dengan nilai ambang batas (threshold) yang telah ditentukan untuk menentukan kondisi sistem. Hasil pengolahan data ditampilkan pada LCD 16×2 sebagai informasi kepada pengguna. Apabila nilai getaran melebihi batas yang telah ditentukan, maka LED akan menyala dan buzzer akan berbunyi sebagai tanda peringatan bahwa telah terdeteksi getaran dengan intensitas tinggi.

Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem digunakan untuk menjelaskan keterkaitan antara komponen input, proses pengolahan data, dan komponen output dalam sistem yang dirancang. Diagram blok sistem deteksi dini gempa bumi ditunjukan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Berdasarkan diagram blok tersebut, proses kerja sistem diawali dengan sensor MPU6050 yang melakukan pengukuran nilai percepatan pada tiga sumbu, yaitu sumbu X, Y, dan Z. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan ke Arduino Uno melalui komunokasi I2C untuk dilakukan proses pengolahan. Arduino Uno selanjutnya menghitung nilai percepatan total menggunakan metode resultan vektor. Nilai percepatan yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai ambang batas (threshold) yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil pengambilan keputusan sistem akan ditampilkan pada LCD, sementara LED dan buzzer akan aktif sebagai indikator peringatan apabila nilai getaran yang terdeteksi melebihi batas yang telah ditetapkan.

Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen elektronik sesuai dengan fungsi masing-masing. Arduino Uno digunakan sebagai mikrokontroler utama yang bertugas mengatur komunokasi dan proses pengolahan data dari seluruh perangkat yang terhubung.

Konfigurasi hubungan antar komponen pada sistem adalah sebagai berikut:

Hubungan Arduino Uno dengan Sensor MPU6050

Sensor MPU6050 berkomunokasi dengan Arduino Uno menggunakan protokol I2C untuk proses pengiriman data. Konfigurasi hubungan pin antara kedua perangkat ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4.

Konfigurasi Pin Arduino Uno dan MPU6050

Pin MPU6050	Pin Arduino Uno	Fungsi
VCC	5V	Sumber tegangan sensor
GND	GND	Ground sistem
SDA	A4	Jalur komunokasi data I2C
SCL	A5	Jalur komunokasi clock I2C

Hubungan Arduino Uno dengan LCD 16×2

LCD 16×2 digunakan sebagai media tampilan untuk menampilkan informasi nilai getaran serta kondisi sistem. Pada perancangan ini, LCD dikonfigurasikan menggunakan mode komunokasi paralel (parallel interface) dengan susunan pin sesuai kebutuhan program.

Tabel 5.

Konfigurasi Pin LCD 16×2

Pin LCD	Pin Arduino Uno	Fungsi
RS	D12	Pengaturan *register* LCD
E	D11	Sinyal *enable* LCD
D4	D5	Jalur data LCD
D5	D4	Jalur data LCD
D6	D3	Jalur data LCD
D7	D2	Jalur data LCD

Hubungan Arduino Uno dengan LED dan Buzzer

LED dan buzzer berfungsi sebagai perangkat keluaran (output) yang digunakan untuk memberikan peringatan ketika sistem mendeteksi adanya getaran yang melewati nilai batas deteksi.

Tabel 6.

Konfigurasi Pin LED dan Buzzer

Komponen	Pin Arduino Uno	Fungsi
LED	D7	Indikator Visual Kondisi Gempa
Buzzer	D8	Alarm suara peringatan

Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan menyusun algoritma program yang mengatur proses pembacaan data sensor hingga menghasilkan keluaran berupa informasi dan sistem peringatan. Program dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Tahapan utama dalam proses kerja perangkat lunak meliputi:

1. Melakukan inisialisasi seluruh komponen yang digunakan dalam sistem.
2. Melakukan proses koneksi antara Arduino Uno dengan sensor MPU6050.
3. Membaca data percepatan dari sensor pada sumbu X, Y, dan Z.
4. Menghitung nilai percepatan total menggunakan metode resultan vektor.
5. Menampilkan nilai hasil pengukuran sensor pada LCD.
6. Membandingkan nilai percepatan dengan batas deteksi sebesar 15 m/s².
7. Mengaktifkan LED dan buzzer apabila nilai percepatan melebihi batas yang telah ditentukan.
8. Melakukan proses pembacaan sensor secara berulang selama sistem aktif.

Perhitungan nilai percepatan total dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$G = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \qquad (3.1)$$

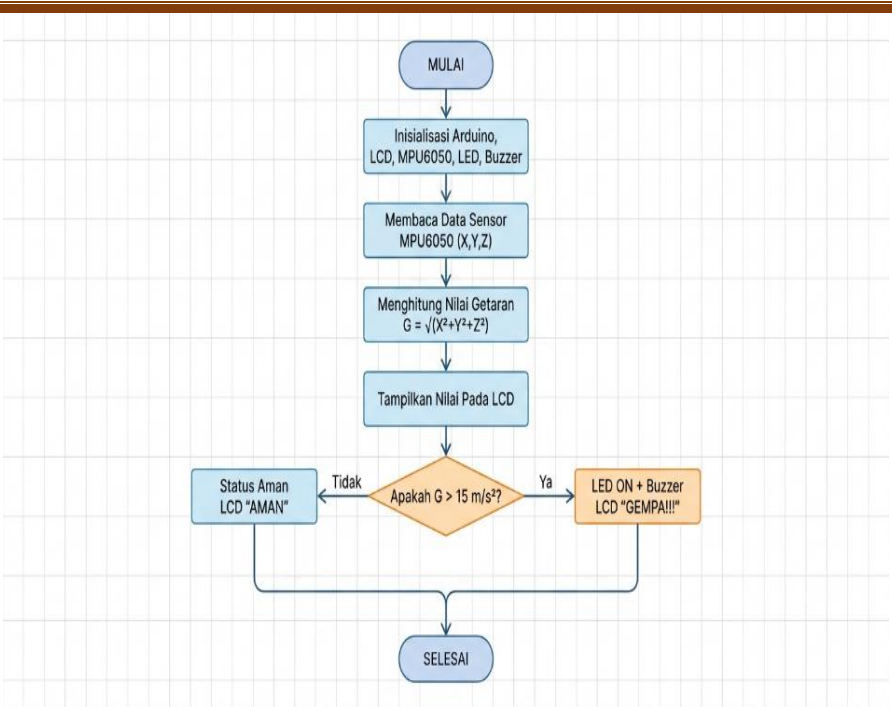
merupakan rumus untuk menghitung nilai percepatan total (resultan percepatan) dari sensor MPU6050 berdasarkan pembacaan tiga sumbu, yaitu sumbu X, Y, dan Z.

Penjelasannya:

- G = Nilai percepatan total atau besar getaran yang terdeteksi sensor (satuan m/s²)
- X = Nilai percepatan pada sumbu X dari sensor MPU6050
- Y = Nilai percepatan pada sumbu Y dari sensor MPU6050
- Z = Nilai percepatan pada sumbu Z dari sensor MPU6050

Flowchart Sistem

Flowchart digunakan untuk menggambarkan urutan proses kerja sistem secara visual dan sistematis. Alur kerja sistem deteksi dini gempa bumi ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Berdasarkan flowchart tersebut, sistem akan melakukan pembacaan data sensor secara berulang selama perangkat memperoleh sumber daya. Proses pengambilan keputusan dilakukan dengan membandingkan nilai percepatan hasil pembacaan sensor terhadap nilai ambang batas yang telah ditentukan.

Apabila nilai percepatan melebihi batas deteksi, sistem akan mengaktifkan LED dan buzzer sebagai indikator peringatan serta menampilkan status kondisi bahaya pada LCD. Sebaliknya, apabila nilai masih berada di bawah batas deteksi, sistem akan menampilkan kondisi aman.

Perancangan sistem ini menjadi dasar dalam tahap selanjutnya, yaitu tahap implementasi sistem (Implementation), yang mana rancangan perangkat keras dan perangkat lunak akan direalisasikan menjadi sebuah prototipe sistem deteksi dini gempa bumi.

Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem merupakan tahap ketiga dalam metode Waterfall setelah proses analisis kebutuhan dan perancangan sistem selesai dilakukan. Pada tahap ini, rancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dibuat sebelumnya mulai direalisasikan menjadi sebuah sistem yang dapat digunakan. Implementasi dilakukan dengan melakukan

perakitan komponen elektronik serta menerapkan program pada mikrokontroler Arduino Uno agar seluruh bagian sistem dapat bekerja sesuai dengan rancangan.

Sistem yang diimplementasikan pada penelitian ini berupa prototype deteksi dini gempa bumi yang memanfaatkan sensor MPU6050 sebagai pendeteksi perubahan percepatan akibat getaran. Arduino Uno digunakan sebagai pusat pengolahan data yang menerima informasi dari sensor, melakukan perhitungan nilai percepatan total, serta menentukan kondisi sistem berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan.

Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan merangkai seluruh komponen elektronik sesuai dengan rancangan sistem yang telah dibuat sebelumnya. Komponen utama yang digunakan terdiri dari Arduino Uno, sensor MPU6050, LCD 16×2, LED, dan buzzer.

Arduino Uno berfungsi sebagai pengendali utama yang menjalankan seluruh proses sistem. Sensor MPU6050 dihubungkan menggunakan komunokasi I2C untuk memperoleh data percepatan pada tiga sumbu, yaitu sumbu X, Y, dan Z. Data tersebut kemudian dikirimkan menuju Arduino Uno untuk dilakukan proses pengolahan.

LCD 16×2 dipasang sebagai media keluaran informasi yang menampilkan nilai getaran hasil pembacaan sensor serta memberikan informasi kondisi sistem. LED digunakan sebagai indikator visual, sedangkan buzzer digunakan sebagai indikator suara ketika sistem mendeteksi getaran yang melewati nilai batas deteksi.

Rangkaian perangkat keras yang telah dibuat memiliki hubungan kerja sebagai berikut:

1. Sensor MPU6050 melakukan pembacaan perubahan percepatan pada lingkungan sekitar.
2. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke Arduino Uno melalui komunokasi I2C.
3. Arduino Uno mengolah data sensor menjadi nilai percepatan total.
4. Hasil pengolahan ditampilkan pada LCD.
5. LED dan buzzer akan aktif apabila nilai percepatan melebihi batas yang telah ditentukan.

Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak dilakukan dengan membuat program menggunakan Arduino IDE. Program ditulis menggunakan bahasa pemrograman C/C++ yang bertujuan untuk

mengatur proses pembacaan sensor, pengolahan data, tampilan informasi, serta sistem peringatan.

Pada tahap awal program dilakukan proses pemanggilan library yang dibutuhkan, yaitu:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Adafruit_MPU6050.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <math.h>
```

Library tersebut memiliki fungsi masing-masing, yaitu:

1. Wire.h digunakan untuk mendukung komunokasi I2C antara Arduino Uno dengan sensor MPU6050.
2. LiquidCrystal.h digunakan untuk mengontrol tampilan LCD 16×2.
3. Adafruit_MPU6050.h digunakan untuk melakukan komunokasi dan pengambilan data dari sensor MPU6050.
4. Adafruit_Sensor.h digunakan sebagai library pendukung pembacaan data sensor.
5. math.h digunakan untuk melakukan operasi matematika seperti perhitungan akar kuadrat.

Implementasi Inisialisasi Sistem

Pada fungsi setup(), sistem melakukan proses persiapan sebelum masuk ke tahap pembacaan sensor. Proses tersebut meliputi pengaturan pin LED dan buzzer, inisialisasi LCD, serta pengecekan koneksi sensor MPU6050. Contoh implementasi program:

```
pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
pinMode(BUZZER, OUTPUT);

lcd.begin(16,2);

if (!mpu.begin()) {
lcd.print("MPU ERROR");
while (1);
}
```

Pada bagian tersebut, Arduino mengatur LED dan buzzer sebagai perangkat keluaran. LCD kemudian diaktifkan dengan ukuran 16 kolom dan 2 baris. Setelah itu dilakukan pengecekan apakah sensor MPU6050 berhasil terhubung dengan Arduino. Apabila sensor tidak ditemukan, sistem akan menampilkan pesan kesalahan.

Implementasi Pembacaan dan Pengolahan Data Sensor

Pada fungsi loop(), sistem melakukan pembacaan data percepatan dari sensor MPU6050 secara berulang.

Program membaca nilai percepatan pada tiga sumbu:

mpu.getEvent(&a, &g, &temp);

Data tersebut kemudian dihitung untuk memperoleh nilai percepatan total menggunakan rumus:

$$G = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

Implementasi dalam program:

```
float getaran = sqrt(
a.acceleration.x * a.acceleration.x +
a.acceleration.y * a.acceleration.y +
a.acceleration.z  *  a.acceleration.z
);
```

Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai nilai getaran yang akan dibandingkan dengan batas deteksi gempa.

Implementasi Sistem Peringatan

Sistem peringatan dibuat menggunakan metode perbandingan nilai (threshold comparison). Nilai getaran yang diperoleh sensor akan dibandingkan dengan nilai batas sebesar 15 m/s².

Program implementasi:

```
if (getaran > batasGempa) {
digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
Otone (BUZZER, 1000);
lcd.print("GEMPA !!!");
}
```

Apabila nilai getaran lebih besar dari 15 m/s², maka Arduino akan memberikan peringatan berupa:

1. LED menyala sebagai indikator visual.
2. Buzzer aktif dengan frekuensi 1000 Hz sebagai alarm suara.
3. LCD menampilkan informasi "GEMPA!!!".

Sedangkan ketika nilai getaran berada di bawah batas deteksi, sistem akan menjalankan kondisi normal:

```
            else {
digitalWrite(LED_PIN, LOW);
     no Tone (BUZZER);
 lcd.print("STATUS: AMAN");
              }
```

Pada kondisi tersebut LED dan buzzer dimatikan, kemudian LCD menampilkan status bahwa sistem berada dalam kondisi aman.

Berdasarkan implementasi yang dilakukan, sistem telah mampu mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu kesatuan. Arduino Uno dapat membaca data sensor MPU6050, melakukan pengolahan nilai percepatan, serta memberikan peringatan secara otomatis berdasarkan nilai getaran yang terdeteksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

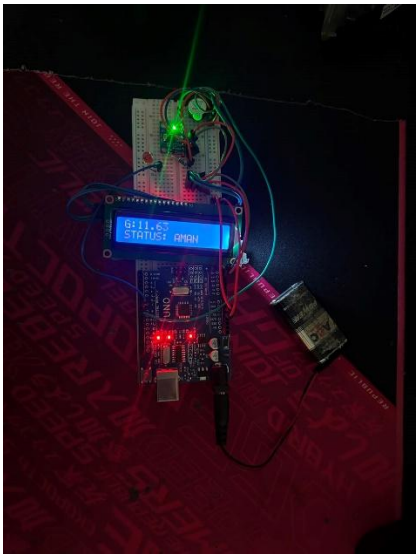
Hasil Implementasi Sistem

Tahap implementasi merupakan proses membuat sistem berdasarkan hasil perancangan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang telah dilakukan sebelumnya. Pada tahap ini, seluruh komponen dirangkai dan diprogram sehingga menjadi sebuah prototipe yang dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

Prototipe yang dibuat terdiri dari Arduino Uno sebagai mikrokontroler utama, sensor MPU6050 untuk mendeteksi percepatan atau getaran, LCD 16×2 untuk menampilkan informasi, LED sebagai indikator visual, dan buzzer sebagai indikator suara atau alarm ketika sistem mendeteksi getaran yang melebihi batas yang telah ditentukan.

Setelah seluruh komponen berhasil dirangkai dan program diunggah ke Arduino Uno, sistem dapat melakukan pembacaan data percepatan secara real-time. Data percepatan yang diperoleh dari sensor MPU6050 kemudian diproses menggunakan metode resultan vektor untuk menghitung nilai percepatan total. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai pedoman dalam proses pengambilan keputusan oleh sistem.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh komponen pada prototipe dapat bekerja secara baik sesuai dengan rancangan. Arduino uno menerima data dari sensor MPU6050 melalui komunokasi I2C, kemudian mengolah data tersebut dan menampilkan hasilnya pada LCD 16x2. Selain itu, Arduino uno juga mengendalikan LED dan buzzer sebagai sistem peringatan yang akan aktif apabila nilai percepatan yag terdeteksi melebihi ambang batas (threhold) yang sudah ditentukan.



Gambar 4. Prototype Sistem Deteksi Dini Gempa Bumi

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan alat dalam mendeteksi perubahan nilai percepatan berdasarkan data yang telah didapatkan dari sensor MPU6050. Proses pengujian dilaksanakan sebanyak 10 kali dengan memberikan beberapa intensitas getaran pada sensor, sehingga diperoleh nilai percepatan yang berbeda pada setiap pengujian. Data hasil pengujian tersebut digunakan untuk menganalisis respon sistem terhadap perubahan percepatan yang terjadi.

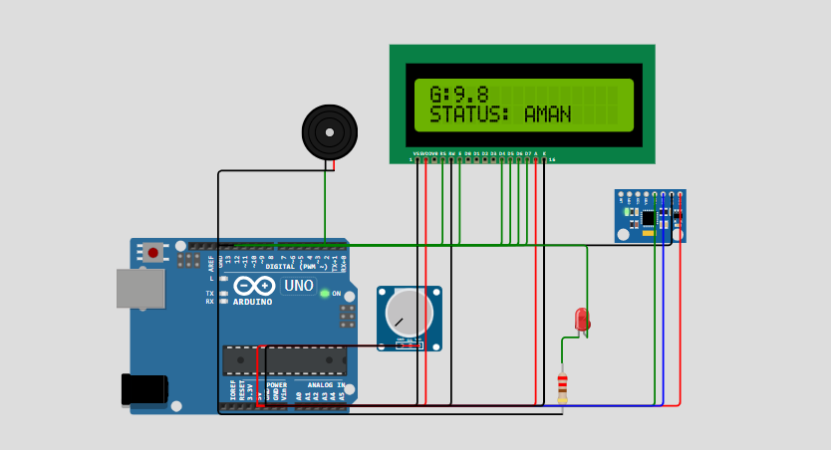
Pengujian dibagi menjadi dua kondisi, yaitu kondisi normal dan kondisi getaran tinggi. Kondisi normal terjadi ketika nilai percepatan yang terdeteksi berada di bawah atau sama dengan nilai ambang batas (threshold) sebesar 15 m/s^2, sehingga sistem hanya menampilkan status aman tanpa mengaktifkan indikator peringatan berupa suara buzzer. Sebaliknya, kondisi getaran tinggi terjadi ketika nilai percepatan melebihi 15 m/s^2, sehingga sistem secara otomatis mengaktifkan LED dan buzzer sebagai media peringatan serta menampilkan pesan "GEMPA!!!" pada LCD. Melalui pengujian ini, dapat diketahui tingkat keberhasilan

sistem dalam membedakan kondisi normal dan kondisi bahaya berdasarkan nilai percepatan yang terukur.

Pengujian Kondisi Normal

Pengujian pertama hingga kelima dilakukan dengan memberikan getaran berintensitas rendah pada sensor MPU6050. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan nilai percepatan total masing-masing sebesar 9,8 m/s², 10,1 m/s², 12,3 m/s², 14,0 m/s², dan 14,7 m/s². Seluruh nilai tersebut masih berada di bawah nilai ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan, yaitu 15 m/s².

Berdasarkan hasil pembacaan tersebut, sistem mambaca kondisi sebagai keadaan normal sehingga peringatan tidak diaktifkan. LCD 16×2 menampilkan informasi "STATUS: AMAN", sedangkan LED dan buzzer tetap dalam kondisi tidak aktif. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi getaran normal dengan baik serta tidak memberikan peringatan yang tidak diperlukan ketika nilai percepatan masih berada di bawah batas deteksi yang telah ditentukan.



Gambar 5. Tampilan Sistem Pada Kondisi Normal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali kondisi normal dengan baik. Meskipun nilai percepatan mengalami perubahan, selama belum melewati nilai ambang batas, sistem tidak memberikan alarm

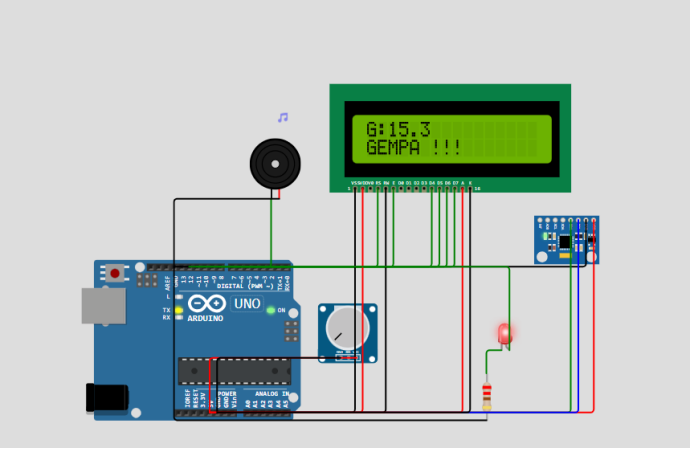
Pengujian sistem saat gempa

Pengujian keenam hingga kesepuluh dilakukan dengan memberikan getaran yang memiliki intensitas lebih tinggi pada sensor MPU6050. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai

percepatan total masing-masing sebesar 15,3 m/s², 17,0 m/s², 19,6 m/s², 21,9 m/s², dan 22,0 m/s². Seluruh nilai tersebut berada di atas nilai ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan, yaitu 15 m/s², sehingga sistem membaca kondisi tersebut sebagai tanda getaran dengan intensitas tinggi.

Sebagai respon terhadap hasil pembacaan sensor, Arduino Uno secara otomatis mengaktifkan sistem peringatan dengan menyalakan LED sebagai status visual dan mengaktifkan buzzer sebagai alarm suara. Selain itu, LCD 16×2 menampilkan pesan "GEMPA!!!" sebagai informasi bahwa sistem telah mendeteksi getaran yang melebihi batas normal. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi getaran dengan baik dan memberikan respon secara otomatis sesuai dengan sistem yang telah dibuat, sehingga mekanisme peringatan dapat bekerja secara konsisten pada setiap kondisi ketika nilai percepatan berada di atas ambang batas yang telah ditentukan.

Proses pengujian dilakukan dengan memberikan getaran pada sensor MPU6050 sehingga diperoleh variasi nilai percepatan. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mendeteksi perubahan percepatan secara akurat dan memberikan respon sesuai dengan program yang telah dirancang. Ketika nilai percepatan melebihi ambang batas, sistem berhasil mengaktifkan peringatan dan menampilkan informasi kondisi gempa pada LCD, sehingga menunjukkan bahwa fungsi deteksi dan peringatan dini telah bekerja dengan baik.



Gambar 6. Tampilan Sistem Pada Saat Gempa

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa sistem mampu membedakan kondisi normal dan kondisi getaran tinggi berdasarkan nilai percepatan yang dibaca oleh sensor MPU6050. Hasil pengujian dapat dirangkum pada Tabel 7.

Tabel 7.

Hasil penelitian

No	Nilai Getaran (m/s²)	Kondisi Sistem	Tampilan LCD	LED	Buzzer	Hasil
1	9,8	Normal	STATUS: AMAN	Mati	Mati	Berhasil
2	10,1	Normal	STATUS: AMAN	Mati	Mati	Berhasil
3	12,3	Normal	STATUS: AMAN	Mati	Mati	Berhasil
4	14,0	Normal	STATUS: AMAN	Mati	Mati	Berhasil
5	14,7	Normal	STATUS: AMAN	Mati	Mati	Berhasil
6	15,3	Getaran Tinggi	GEMPA!!!	Menyala	Berbunyi	Berhasil
7	17,0	Getaran Tinggi	GEMPA!!!	Menyala	Berbunyi	Berhasil
8	19,6	Getaran Tinggi	GEMPA!!!	Menyala	Berbunyi	Berhasil
9	21,9	Getaran Tinggi	GEMPA!!!	Menyala	Berbunyi	Berhasil
10	22,0	Getaran Tinggi	GEMPA!!!	Menyala	Berbunyi	Berhasil

Analisis Hasil Pengujian

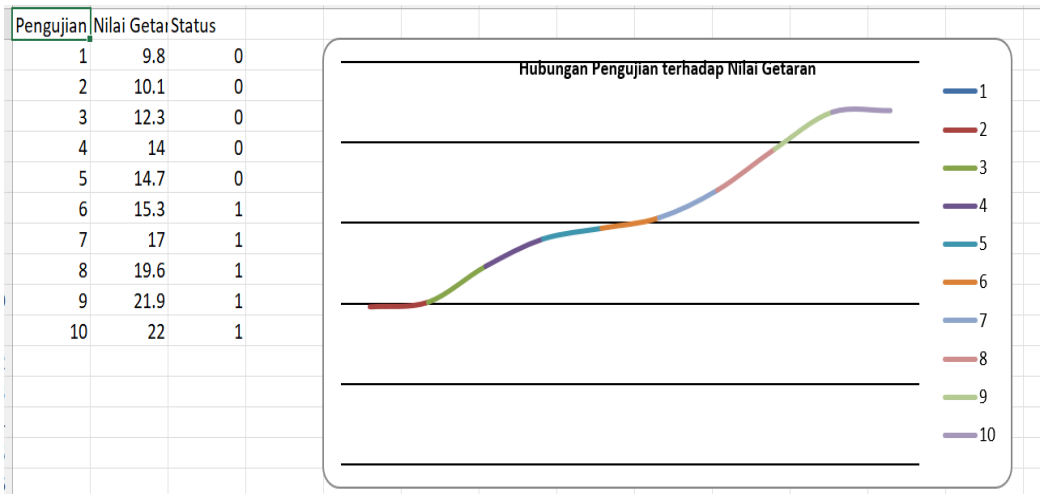
Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 7, sistem mampu membedakan kondisi normal dan kondisi getaran tinggi berdasarkan nilai percepatan yang diperoleh dari sensor MPU6050. Pada lima kali pengujian pertama, nilai percepatan berada diantara 9,8 m/s² hingga 14,7 m/s², sehingga seluruh nilai tersebut masih berada di bawah ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan, yaitu 15 m/s². Oleh karena itu, sistem mengidentifikasi kondisi tersebut sebagai kondisi normal. Pada kondisi ini, LCD 16×2 menampilkan informasi "STATUS: AMAN", sedangkan LED dan buzzer tetap dalam keadaan tidak aktif.

Selanjutnya, pada pengujian keenam hingga kesepuluh diperoleh nilai percepatan sebesar 15,3 m/s², 17,0 m/s², 19,6 m/s², 21,9 m/s², dan 22,0 m/s². Seluruh nilai tersebut berada di atas nilai ambang batas yang telah ditentukan sehingga sistem secara otomatis mengubah status menjadi kondisi peringatan. Sebagai respon terhadap kondisi tersebut, Arduino Uno mengaktifkan LED sebagai indikator visual dan buzzer sebagai alarm suara, sedangkan LCD 16×2 menampilkan pesan "GEMPA!!!" sebagai informasi bahwa sistem mendeteksi getaran dengan intensitas tinggi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbandingan yang diterapkan pada Arduino Uno mampu bekerja sesuai dengan program yang telah dirancang. Sistem dapat mengolah data percepatan yang diperoleh dari sensor MPU6050 secara akurat, kemudian membandingkannya dengan nilai ambang batas untuk menentukan kondisi sistem. Dengan demikian, sistem mampu memberikan respon yang konsisten dan otomatis terhadap perubahan nilai percepatan, sehingga dapat berfungsi sebagai sistem deteksi dini getaran yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Grafik Hubungan Nilai Getaran terhadap Hasil Pengujian

Grafik hubungan antara jumlah pengujian dan nilai getaran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan Pengujian terhadap Nilai Getaran

Berdasarkan grafik hasil pengujian, terlihat bahwa nilai percepatan mengalami peningkatan secara bertahap dari pengujian pertama hingga pengujian kesepuluh. Pada lima pengujian pertama, nilai percepatan yang didapatkan masih berada di bawah nilai ambang batas (threshold) sebesar 15 m/s², sehingga sistem mengidentifikasi kondisi tersebut sebagai kondisi normal. Oleh karena itu, sistem tidak mengaktifkan LED maupun buzzer, dan LCD menampilkan informasi "STATUS: AMAN".

Pada pengujian keenam hingga pengujian kesepuluh, nilai percepatan telah melewati ambang batas yang telah ditetapkan. Sebagai respon terhadap kondisi tersebut, sistem secara otomatis mengaktifkan LED sebagai status visual dan buzzer sebagai alarm suara, serta menampilkan pesan "GEMPA!!!" pada LCD sebagai tanda adanya getaran dengan intensitas tinggi.

Grafik juga memperlihatkan adanya transisi yang jelas pada nilai 15 m/s², yang berfungsi sebagai batas antara kondisi normal dan kondisi getaran tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai ambang batas (threshold) yang diterapkan pada program mampu digunakan secara efektif sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem deteksi dini gempa bumi. Dengan demikian, sistem dapat memberikan respon yang tepat dan konsisten terhadap perubahan nilai percepatan yang terdeteksi oleh sensor MPU6050 sesuai dengan logika yang telah dirancang.

Pembahasan

Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah mampu menjalankan fungsi utama sesuai dengan tujuan penelitian. Sensor MPU6050 berhasil membaca perubahan percepatan secara real-time, kemudian Arduino Uno mengolah data tersebut menjadi nilai percepatan total menggunakan persamaan resultan vektor.

Seluruh hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memberikan respon yang konsisten terhadap perubahan nilai percepatan. Pada kondisi normal, sistem hanya menampilkan informasi "STATUS: AMAN" tanpa mengaktifkan indikator peringatan. Sebaliknya, ketika nilai percepatan melebihi 15 m/s², sistem langsung mengaktifkan LED, buzzer, serta menampilkan pesan "GEMPA!!!" pada LCD.

Berdasarkan 10 kali pengujian yang dilakukan, tidak ditemukan kondisi di mana sistem salah mengklasifikasikan data. Lima pengujian dengan nilai di bawah 15 m/s² seluruhnya menghasilkan status normal, sedangkan lima pengujian dengan nilai di atas 15 m/s² seluruhnya menghasilkan status peringatan. Hal ini menunjukkan bahwa program dan penggunaan nilai ambang batas telah bekerja sesuai dengan rancangan.

Walaupun demikian, prototype ini masih memiliki keterbatasan. Sistem menggunakan nilai ambang batas tetap sehingga sensitivitasnya bergantung pada nilai yang telah ditentukan. Selain itu, sistem belum dilengkapi dengan fitur penyimpanan data maupun pengiriman notifikasi secara daring. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan modul komunokasi seperti ESP8266 atau ESP32 sehingga hasil deteksi dapat dipantau secara real-time melalui internet.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Sistem deteksi dini gempa bumi berhasil dibuat menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler, sensor MPU6050 sebagai pendeteksi getaran, LCD 16×2 sebagai penampil informasi, serta LED dan buzzer sebagai alat peringatan. Semua komponen dapat bekerja bersama dengan baik sesuai dengan rancangan. Sensor MPU6050 dapat membaca nilai percepatan pada sumbu X, Y, dan Z. Data tersebut kemudian diolah oleh Arduino Uno untuk menghitung nilai percepatan total, kemudian dibandingkan dengan nilai ambang batas (threshold) sebesar 15 m/s² untuk menentukan kondisi sistem. Berdasarkan hasil pengujian sebanyak 10 kali, sistem dapat membedakan kondisi normal dan kondisi getaran tinggi. Pada lima pengujian pertama, nilai percepatan berada di bawah 15 m/s², sehingga LCD menampilkan "STATUS: AMAN", sedangkan LED dan buzzer tidak aktif. Pada lima pengujian berikutnya, nilai percepatan melebihi 15 m/s², sehingga LCD menampilkan "GEMPA!!!", LED menyala, dan buzzer berbunyi sebagai tanda peringatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi dasarnya sebagai prototipe deteksi dini gempa bumi. Sistem dapat membaca nilai percepatan secara real-time, mengolah data dari sensor, dan memberikan peringatan secara otomatis ketika nilai getaran melebihi batas yang telah ditentukan. Sistem ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut agar memiliki fitur yang lebih lengkap dan dapat diintegrasikan dengan teknologi Internet Of Things (IOT).

REFERENSI

1. Adi, H., Putra, Z., Sukarno, S. A., & Bandung, P. M. (2025). Pendeteksian dan peringatan gempa bumi berbasis SW-420. *13*(2).
2. Agustin, A. R., Fuadah, A. S., Mutiara, D. V., & Malik, A. (2024). Pengaruh hubungan resistor terhadap arus dan tegangan pada rangkaian listrik. *4*(2), 1–18.
3. Aji, J. W., Juliani, N. A., Ximenes, E. C., Nastainu, M., & Alriefna, H. (2025). Rancang bangun alat pendeteksi gempa menggunakan Arduino Uno, 856–860.
4. Fransiska, H., Agustina, D., & Rini, D. S. (2022). Pendidikan mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami di SMP N 7 Kota Bengkulu sebagai sekolah pada zona keterpaparan. *JAPI (Jurnal Akses Pengabdian Indonesia),* *7*(1), 15–22. https://doi.org/10.33366/japi.v7i1.2946

5. Hadi, A. I., Lidiawati, L., & Edo, P. (2021). Interpretasi tingkat kekerasan batuan bawah permukaan di daerah rawan gempa bumi Kota Bengkulu. *11*(1), 11–24.

6. Harahap, P., Oktrialdi, B., & Siregar, R. F. (n.d.). *Memanfaatkan sensor getar*.

7. Konseptual, T., & Implementasi, D. A. N. (2024). Peran mikrokontroler dalam pengembangan aplikasi IoT: The role of microcontrollers in IoT application development. *3*(2), 18–24.

8. Nasution, N. R. A., Natasya, A. A., & Rusdi, M. (2022). Implementasi sensor accelerometer sebagai sistem alarm pendeteksi gempa berbasis IoT, 855–864.

9. Pramono, S. A., Wahyuningsih, E. S., Rustendi, I., & Bayuaji, H. (2024). Pengembangan teknologi TI untuk monitoring dan mitigasi bencana alam berdasarkan data lingkungan lokasi Desa Binangun, 278–288.

10. Prastiwi, Y., Risky, C., Pawestri, R., Putro, O. S., Yuyun, C., Prototipe, P., Pemantauan, S., Tanah, K., IoT, B., Merah, B., & Scince, E. (2025). Pengembangan prototipe sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah berbasis IoT pada tanaman bawang merah. *1*(1).

11. Pratiwi, R., Samsumar, L. D., Zaenudin, A. A., & Suryadi, E. (2024). Rancang bangun prototype sistem pendeteksi gempa berbasis IoT menggunakan notifikasi Telegram. *Rancang Bangun Prototype Sistem Pendeteksi Gempa Berbasis IoT Menggunakan Notifikasi Telegram Rini, 4*, 14–20.

12. Rizakir, F., Soekarno, S. A., Teknologi, J., Mekatronika, R., Bandung, P. M., Coblong, K., Bandung, K., & Barat, J. (2025). Sistem kunci otomatis pada casing rokok berbasis Arduino Nano dengan LCD I2C. *13*(1).

13. Rizki et al. (2025). Penggunaan simulator Wokwi untuk meningkatkan Internet of Things. *Edusaintek: Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi, 12*(1), 72–81.

14. Sabara, E. (2022). Desain dan implementasi media pembelajaran mikrokontroler berbasis hybrid learning menggunakan simulasi Wokwi. *19*(3), 186–193.

15. Setiawan, R., Triharminto, H. H., & Fahrurozi, M. (2021). Gesture control menggunakan IMU MPU 6050. *3*, 24–25. https://doi.org/10.54706/senastindo.v3.2021.133

16. Sitorus, S. P., Karim, A., & Pane, R. (2025). Implementasi robotik pendeteksi kebocoran gas dan kebakaran di rumah tangga. *3*(1), 165–180.

17. Syahputra, F. (2022). *Perancangan alarm deteksi gempa dan peringatan dini berbasis mikrokontroler ATmega 8*, 17–25.

18. Tritunggal, F. A., Pradana, C., Rizqi, E., & Pradani, K. (2023). Sistem deteksi gempa otomatis berbasis mikrokontroler Arduino dan sensor accelerometer MPU6050. *2*(2), 98–104.

19. Tyas, U. M., Buckhari, A. A., Studi, P., Teknologi, P., Pendidikan, P. S., Pembelajaran, P., & Belajar, H. (2023). Implementasi aplikasi Arduino IDE pada mata kuliah sistem digital. *1*.

20. Wahid, A. A. (2020). Analisis metode waterfall untuk pengembangan sistem informasi, 1–5.

21. Wahyuni, F. D., Elektronika, L., Fisika, J., Unand, K., & Manis, L. (2022). Prototipe sistem peringatan dini tanah longsor translasi berbasis potensiometer geser dan sensor kelembaban tanah dengan keluaran notifikasi SMS. *11*(2), 242–248.

22. Yuliano, N. R., Rizky, A., & Putri, W. (2025). Sistem pendeteksi getaran gempa menggunakan sensor IoT berbasis mobile. *3*, 315–323.