

**SISTEM MONITORING POHON DI PERKOTAAN
MENGUNAKAN ESP32 SEBAGAI UPAYA
DETEKSI DINI POHON TUMBANG**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

M. CHANDRA RESWARA

NPM: 2209020136



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2026

**SISTEM MONITORING POHON DI PERKOTAAN
MENGUNAKAN ESP32 SEBAGAI UPAYA
DETEKSI DINI POHON TUMBANG**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi pada Fakultas
Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara**

M. CHANDRA RESWARA

NPM: 2209020136

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : SISTEM MONITORING POHON DI PERKOTAAN
MENGUNAKAN ESP32 SEBAGAI UPAYA
DETEKSI DINI POHON TUMBANG
Nama Mahasiswa : M. CHANDRA RESWARA
NPM : 2209020136
Program Studi : TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing



(Mahardika Abdi Prawira Tanjung, S.Kom., M.Kom.)



NIDN. 0117088902

Ketua Program Studi
Teknologi Informasi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0117019301

Dekan



(Dr. M. Kholidzmi, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

**SISTEM MONITORING POHON DI PERKOTAAN
MENGUNAKAN ESP32 SEBAGAI UPAYA
DETEKSI DINI POHON TUMBANG**

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 2 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



M. Chandra Reswara NPM.

NPM: 2209020136

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Chandra Reswara
NPM : 2209020136
Program Studi : Teknologi Informasi
Karya Ilmiah : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

**SISTEM MONITORING POHON DI PERKOTAAN
MENGUNAKAN ESP32 SEBAGAI UPAYA
DETEKSI DINI POHON TUMBANG**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 2 Juni 2026

Yang membuat pernyataan

M. Chandra Reswara NPM.

NPM: 2209020136

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : M. Chandra Reswara
Tempat dan Tanggal Lahir : Medan, 25 November 2004
Alamat Rumah : Jl. Brigjend Katamso Gg Bali
Telepon/Faks/HP : 083155303825
E-mail : reswarachan@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD	: SDN 060884 Medan	TAMAT: 2016
SMP	: SMPN 36 Medan	TAMAT: 2019
SMA	: SMAN 13 Medan	TAMAT: 2022

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, berkat, dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Sistem Monitoring Pohon Di Perkotaan Menggunakan ESP32 Sebagai Upaya Deteksi Dini Pohon Tumbang”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta doa sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd. selaku rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Assoc. Prof. Dr. Al-Khowarizmi, M.Kom. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi UMSU.
3. Ibu Dr. Firahti Rizky, S.Kom.,M.Kom. selaku Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU yang telah memberikan arahan dan dukungan selama penulis menempuh pendidikan.
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom. selaku Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan pelayanan yang baik kepada semua mahasiswa

untuk kelancaran studi.

5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, M.Kom. selaku Ketua Prodi Teknologi Informasi yang telah memberikan arahan dan dukungan selama penulis menempuh pendidikan.
6. Bapak Mahardika Abdi Prawira Tanjung, S.Kom., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Yang paling utama untuk Almarhum Ayah, dengan penuh rasa cinta, hormat, dan kerinduan yang mendalam, penulis mengucapkan terima kasih atas segala kasih sayang, perjuangan, serta pengorbanan yang telah diberikan semasa hidup. Meskipun kini Ayah telah tiada, setiap nasihat, doa, dan nilai kehidupan yang Ayah tanamkan senantiasa hidup dalam hati penulis dan menjadi kekuatan dalam setiap langkah, termasuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Untuk Ibunda tercinta, Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas cinta yang begitu tulus, doa yang tidak pernah putus, serta keteguhan hati dalam mendampingi dan mendukung penulis hingga sampai pada titik ini. Terima kasih karena telah menjadi sosok ibu sekaligus ayah bagi penulis, yang dengan penuh kesabaran dan kekuatan mampu membimbing, menjaga, dan menguatkan penulis dalam setiap keadaan. Segala pencapaian ini tidak terlepas dari doa dan pengorbanan Ibunda. Semoga Ibunda selalu diberikan kesehatan, kebahagiaan, serta umur yang panjang. Karya sederhana ini penulis persembahkan sebagai wujud cinta, bakti, dan rasa terima kasih yang tak akan pernah terbalaskan.
9. Untuk Afik, Gilang, Doni, Handika, Wildan, Rakha, Aqil dan Melpan, penulis

mengucapkan terima kasih yang tulus karena telah menjadi sahabat yang selalu hadir dan berarti bagi penulis selama masa perkuliahan ini. Dari awal perkuliahan hingga penyusunan skripsi, kalian selalu hadir dengan cara kalian masing-masing memberi dukungan, menemani di saat sulit, dan menghadirkan tawa di tengah tekanan. Setiap kebersamaan, cerita, dan perjuangan yang kita lalui bersama menjadi kenangan berharga yang tidak akan terlupakan. Kehadiran kalian bukan hanya sebagai teman, tetapi juga sebagai tempat berbagi dan saling menguatkan.

10. Untuk Arya Prasetya, Akmal, Tama, Agil, Nizar, dan Wildan, terima kasih sudah banyak membantu dan selalu ada di saat penulis membutuhkan dukungan. Terima kasih juga karena sudah percaya dan tidak pernah ragu untuk membantu penulis di berbagai kesempatan. Kehadiran kalian benar-benar berarti dan menjadi salah satu alasan penulis bisa sampai di titik ini dan menyelesaikan skripsi ini.
11. Untuk seseorang yang selalu ada untuk penulis, Winna Nurlyanti. terima kasih telah menjadi tempat cerita, tempat berkeluh kesah, dan tempat kembali di saat lelah. Terima kasih atas dukungan yang selalu diberikan tanpa henti selama masa perkuliahan hingga akhirnya penulis bisa sampai di tahap menyelesaikan skripsi ini. Kehadiranmu sangat berarti dan menjadi salah satu penyemangat terbesar dalam perjalanan penulis.
12. Terakhir, untuk diri sendiri. Terima kasih kepada diri penulis sendiri yang telah mampu bertahan sejauh ini. Terima kasih karena tidak menyerah di saat-saat sulit, tetap berusaha meskipun lelah, dan terus melangkah hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Tidak semua perjalanan mudah, tetapi penulis

telah membuktikan bahwa setiap proses yang dijalani dengan kesabaran dan usaha akan membawa sampai pada titik ini. Semoga ke depan tetap kuat, tetap rendah hati, dan terus berjuang untuk hal-hal yang lebih baik.

SISTEM MONITORING POHON DI PERKOTAAN MENGUNAKAN ESP32 SEBAGAI UPAYA DETEKSI DINI POHON TUMBANG

ABSTRAK

Pohon di kawasan perkotaan memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan, namun juga berpotensi menimbulkan risiko apabila mengalami kerusakan atau ketidakstabilan yang dapat menyebabkan pohon tumbang. Permasalahan utama dalam pengelolaan pohon kota adalah keterbatasan metode monitoring yang masih dilakukan secara manual dan tidak mampu memberikan informasi secara real-time. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring pohon berbasis Internet of Things (IoT) sebagai upaya deteksi dini potensi pohon tumbang. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan sensor MPU6050 untuk mendeteksi sudut kemiringan pohon. Selain itu, digunakan sensor soil moisture dan rain sensor sebagai parameter pendukung kondisi lingkungan. Data yang diperoleh dari sensor diproses menggunakan metode threshold untuk mengklasifikasikan kondisi pohon ke dalam kategori normal, waspada, dan bahaya. Selanjutnya, data dikirimkan secara real-time ke aplikasi mobile berbasis Expo Go melalui jaringan internet dan disimpan pada Firebase Realtime Database. Metode penelitian yang digunakan adalah metode prototype, yang meliputi tahap perancangan, pembuatan, pengujian, dan evaluasi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan kemiringan pohon secara real-time dan mengirimkan informasi kondisi pohon dengan baik melalui aplikasi mobile. Sistem ini juga dapat memberikan notifikasi peringatan dini ketika kondisi pohon berada pada kategori bahaya. Dengan demikian, sistem monitoring pohon berbasis IoT yang dikembangkan dapat menjadi solusi alternatif dalam meningkatkan efektivitas pemantauan pohon di kawasan perkotaan serta mendukung upaya mitigasi risiko pohon tumbang.

Kata Kunci: Internet of Things, ESP32, MPU6050, monitoring pohon, deteksi dini, real-time.

URBAN TREE MONITORING SYSTEM USING ESP32 FOR EARLY DETECTION OF FALLING TREES

ABSTRACT

Urban trees play an important role in maintaining environmental balance; however, they also pose potential risks if structural damage or instability occurs, which may lead to tree falls. The main problem in urban tree management lies in the limitations of conventional monitoring methods that are still conducted manually and are unable to provide real-time information. Therefore, this study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based tree monitoring system as an early detection effort for potential tree falls. The system is developed using an ESP32 microcontroller as the main controller and an MPU6050 sensor to detect the tilt angle of trees. In addition, a soil moisture sensor and a rain sensor are used as supporting environmental parameters. The data obtained from the sensors are processed using a threshold-based method to classify tree conditions into normal, alert, and danger categories. Furthermore, the data are transmitted in real-time to a mobile application developed using Expo Go via the internet and stored in Firebase Realtime Database. The research method employed is the prototype method, which includes the stages of system design, development, testing, and evaluation. The results show that the system is capable of detecting changes in tree tilt in real-time and delivering accurate information through the mobile application. The system is also able to provide early warning notifications when the tree condition reaches a dangerous level. In conclusion, the developed IoT-based tree monitoring system can serve as an alternative solution to improve the effectiveness of urban tree monitoring and support risk mitigation efforts against falling trees.

Keywords: Internet of Things, ESP32, MPU6050, tree monitoring, early detection, real-time.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Sistem Otomasi	6
2.2 Internet of Things (IoT).....	6
2.3 Monitoring Real-Time Berbasis Mobile.....	8
2.4 Algoritma Threshold.....	8
2.5 Perangkat Keras (Hardware).....	9
2.5.1 ESP32.....	9
2.5.2 Sensor MPU6050	10
2.5.3 Rain Sensor (Sensor Hujan).....	11
2.5.4 Soil Moisture Sensor.....	13
2.5.5 Kabel Jumper	14
2.6 Perangkat Lunak	14
2.6.1 Arduino IDE.....	14
2.6.2 Aplikasi Monitoring Berbasis Expo Go.....	16
2.6.3 Draw.io.....	17
2.6.4 Balsamiq	18
2.7 Flowchart	18
2.8 Metodologi Pengembangan Sistem.....	20
2.9 Prinsip Kerja Deteksi Dini Pohon Tumbang	21
2.10 Ringkasan Penelitian Terdahulu	22
2.11 Analisis Gap.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Tahapan Awal Penelitian	26
3.2 Kebutuhan Fungsi Sistem	26
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	26
3.3.1 Observasi.....	26
3.3.2 Studi Pustaka.....	27
3.3.3 Eksperimen.....	27
3.4 Prosedur Alur Penelitian	28
3.5 Flowchart Sistem	29
3.6 Analisis Kebutuhan Perancangan	29
3.6.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras (Hardware)	30
3.6.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak (Software).....	31
3.6.3 Analisis Kebutuhan Bahan Perancangan	31
3.7 Perancangan Prototype	32
3.7.1 Perancangan Rangkaian Antar Komponen	34

3.7.2 Prinsip Kerja Sistem	36
3.8 Diagram Blok Sistem.....	36
3.9 Jadwal Penelitian	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Pembuatan Perangkat Keras (Hardware).....	40
4.1.1 Pembuatan Desain Prototype	40
4.1.2 Perakitan Perangkat Keras (Hardware).....	41
4.2 Pembuatan Perangkat Lunak (Software)	43
BAB V PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Simbol Flowchart	19
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3.1 Analisis Kebutuhan Hardware	30
Tabel 3.2 Analisis Kebutuhan Software	31
Tabel 3.3 Analisis Kebutuhan Bahan Perancangan	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Internet of Things (IoT)	7
Gambar 2. 2 ESP32	9
Gambar 2. 3 MPU6050.....	11
Gambar 2. 4 Rain Sensor	12
Gambar 2. 5 Soil Moisture	13
Gambar 2. 6 Kabel Jumper	14
Gambar 2. 7 Arduino IDE	15
Gambar 2. 8 Logo EXPO GO.....	16
Gambar 2. 9 Draw.io	17
Gambar 2. 10 Balsamiq	18
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	28
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem	29
Gambar 3. 3 Perancangan Prototype.....	33
Gambar 3. 4 Diagram Blok Sistem.....	37
Gambar 4. 1 Desain Prototype Alat.....	41
Gambar 4. 2 Tampak Depan Alat	42
Gambar 4. 3 Tampak Belakang Alat	42
Gambar 4. 4 Tampak Dalam Alat.....	43
Gambar 4. 5 Tampilan Kondisi Normal	43
Gambar 4. 6 Tampilan Kondisi Waspada.....	44
Gambar 4. 7 Tampilan Kondisi Bahaya	45
Gambar 4. 8 Tampilan Firebase Realtime Database.....	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pohon kota merupakan elemen penting dalam sistem ruang terbuka hijau perkotaan yang berperan dalam menjaga keseimbangan lingkungan, meningkatkan kualitas udara, serta memberikan kenyamanan bagi masyarakat. Namun, di sisi lain, keberadaan pohon di kawasan perkotaan juga berpotensi menimbulkan risiko keselamatan, terutama apabila kondisi fisik dan stabilitas pohon tidak terpantau dengan baik. Salah satu permasalahan yang sering terjadi di berbagai kota di Indonesia adalah kejadian pohon tumbang, yang dapat menyebabkan kerusakan fasilitas umum, gangguan aktivitas masyarakat, serta membahayakan keselamatan jiwa.

Namun, di sisi lain keberadaan pohon di kawasan perkotaan juga berpotensi menimbulkan risiko keselamatan apabila kondisi fisik dan stabilitas pohon tidak terpantau dengan baik. Seiring bertambahnya usia pohon serta tekanan lingkungan perkotaan, pohon dapat mengalami kerusakan struktural pada batang maupun tajuk yang berpotensi menyebabkan pohon tumbang. Penelitian oleh (Purwidianti dkk., 2022) mengungkapkan bahwa pohon dengan tingkat kerusakan struktural pada batang dan tajuk memiliki potensi bahaya yang signifikan terhadap keselamatan pengguna ruang terbuka hijau.

Kejadian pohon tumbang dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti kerusakan fasilitas umum, gangguan aktivitas masyarakat, hingga membahayakan keselamatan jiwa. Kasus pohon tumbang juga terjadi di berbagai

kota di Indonesia, termasuk di Kota Medan. Salah satu kejadian dilaporkan menyebabkan dua warga mengalami luka berat setelah tertimpa pohon yang tumbang akibat hujan deras dan angin kencang di Kecamatan Medan Denai (Antara Sumut, 2021). Selain itu, kejadian hujan lebat juga pernah menyebabkan sedikitnya sembilan titik pohon tumbang di Kota Medan yang mengakibatkan kerusakan pada rumah dan kendaraan warga (Mistar, 2025). Kejadian lainnya juga menunjukkan pohon tumbang dapat mengakibatkan terganggunya akses jalan akibat batang pohon yang menutup badan jalan (Detik Sumut, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa kejadian pohon tumbang merupakan permasalahan nyata yang berulang dan perlu mendapatkan perhatian serius.

Selama ini, pengelolaan dan pemantauan kondisi pohon kota di Indonesia umumnya masih dilakukan secara manual dan periodik, melalui metode penilaian visual seperti *Forest Health Monitoring* (FHM) dan *Visual Tree Assessment* (VTA). Metode tersebut penting untuk menilai kondisi kesehatan pohon secara umum, namun memiliki keterbatasan dalam mendeteksi perubahan kemiringan dan pergerakan pohon secara kontinu dan real-time, terutama pada interval waktu antarinspeksi (Nabawiah dkk., 2025). Akibatnya, potensi pohon tumbang dapat luput dari pengamatan sebelum mencapai kondisi yang membahayakan.

Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan tambahan berbasis teknologi yang mampu mendukung sistem pemantauan konvensional. Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pemasangan sensor pada objek untuk memantau perubahan kondisi secara terus-menerus dan mengirimkan data secara real-time. Dalam penelitian ini, sistem monitoring dirancang dengan menggunakan sensor MPU6050 yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan sudut kemiringan

pohon melalui sensor accelerometer dan gyroscope. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses menggunakan mikrokontroler ESP32 yang memiliki kemampuan komunikasi WiFi untuk mengirimkan data ke sistem monitoring secara online. Selanjutnya, data tersebut ditampilkan melalui aplikasi monitoring yang dikembangkan menggunakan Expo Go sehingga pengguna dapat memantau kondisi pohon secara real-time.

1.2 Rumusan Masalah

Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem monitoring pohon di kawasan perkotaan berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau perubahan kemiringan pohon sebagai indikator potensi pohon tumbang?
2. Bagaimana penerapan sensor MPU6050 dan mikrokontroler ESP32 dalam sistem monitoring pohon untuk memperoleh data kemiringan dan pergerakan pohon secara real-time?
3. Bagaimana penyajian data hasil monitoring pohon agar dapat memberikan informasi kondisi pohon secara jelas sebagai pendukung deteksi dini pohon tumbang?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada satu objek pohon sebagai prototipe sistem monitoring. Implementasi dan pengujian sistem tidak mencakup pemantauan banyak pohon secara bersamaan maupun analisis perbandingan antar pohon,

sehingga hasil penelitian difokuskan pada evaluasi kinerja sistem pada satu titik pemasangan sensor.

2. Sensor penelitian ini tidak membahas faktor biologis dan ekologis pohon, seperti kondisi perakaran, kesehatan jaringan kayu, jenis tanah, maupun nutrisi pohon.
3. Parameter pendukung yang digunakan dalam sistem ini adalah kelembapan tanah (soil moisture sensor) dan keberadaan hujan (rain sensor) sebagai informasi kondisi lingkungan, tanpa melakukan analisis intensitas curah hujan maupun kajian geoteknik tanah secara mendalam.
4. Sistem yang dirancang berfungsi sebagai alat monitoring dan pendukung deteksi dini, bukan sebagai sistem prediksi atau penentu kepastian pohon tumbang.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem monitoring pohon berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau perubahan kemiringan pohon di kawasan perkotaan.
2. Mengimplementasikan sensor MPU6050 dan mikrokontroler ESP32 sebagai komponen utama dalam sistem monitoring pohon untuk mendeteksi dan mengirimkan data kemiringan pohon secara real-time.
3. Menyajikan data hasil monitoring pohon dalam bentuk informasi yang mudah dipahami, sehingga dapat digunakan sebagai pendukung deteksi dini terhadap potensi pohon tumbang.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem monitoring pohon di kawasan perkotaan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor MPU6050 dan mikrokontroler ESP32.
2. Sistem yang dirancang diharapkan mampu memberikan informasi perubahan kemiringan pohon secara real-time sebagai pendukung deteksi dini terhadap potensi pohon tumbang.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam penerapan teknologi IoT dan sistem tertanam untuk monitoring lingkungan, khususnya pemantauan objek statis berbasis sensor.
4. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan menjadi bahan rujukan bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengembangan sistem monitoring pohon atau sistem monitoring lingkungan berbasis IoT.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Otomasi

Sistem otomasi merupakan sistem yang dirancang untuk menjalankan suatu proses secara otomatis berdasarkan input sensor dan logika pemrograman tanpa intervensi manusia secara terus-menerus. Dalam penelitian ini, sistem otomasi diterapkan pada sistem monitoring pohon di perkotaan, di mana pembacaan sudut kemiringan, pemrosesan data, hingga pengiriman informasi dilakukan secara mandiri oleh mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali.

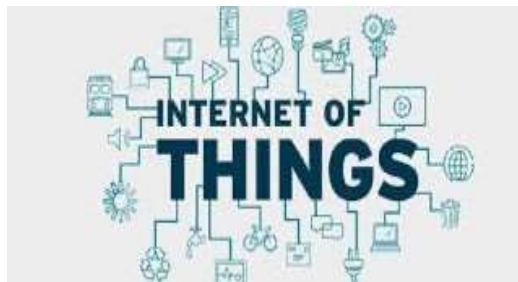
Menurut (Dodik Kurniawan & Budjianto, 2025), mikrokontroler ESP32 memiliki kemampuan mengelola input dan output secara terintegrasi serta bekerja stabil dalam sistem yang beroperasi terus-menerus. Hal ini menunjukkan bahwa ESP32 dapat diimplementasikan sebagai komponen utama dalam sistem otomasi monitoring yang membutuhkan pembacaan sensor secara kontinu dan real-time.

Selain itu, (Tua & Muthalib, 2024) menjelaskan bahwa sistem berbasis IoT dengan sensor kemiringan mampu memberikan respons otomatis ketika nilai sudut melewati ambang batas tertentu. Konsep ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan, di mana sistem secara otomatis mengirimkan peringatan ketika terdeteksi perubahan kemiringan pohon yang berpotensi menimbulkan risiko tumbang.

2.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) memiliki peranan penting dalam penelitian ini karena memungkinkan sistem monitoring pohon di perkotaan dilakukan secara otomatis,

real-time, dan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan IoT, data yang diperoleh dari sensor yang terpasang pada pohon, seperti perubahan kemiringan atau getaran, dapat dikumpulkan dan dikirimkan secara langsung melalui jaringan internet ke sistem pemantauan tanpa harus dilakukan pengamatan manual.



Gambar 2. 1 Internet of Things (IoT)

Hal ini sejalan dengan konsep IoT yang mengintegrasikan perangkat fisik, sensor, dan jaringan internet sehingga perangkat mampu berkomunikasi dan bertukar data secara mandiri tanpa campur tangan manusia secara langsung (Syahri & Basri, 2025).

Dalam penelitian ini, penerapan IoT berfungsi sebagai sarana deteksi dini terhadap potensi pohon tumbang, di mana data sensor dapat dipantau secara kontinu dan diolah untuk memberikan informasi kondisi pohon secara cepat. Melalui sistem berbasis IoT, informasi kondisi pohon dapat diakses dari jarak jauh sehingga meningkatkan kecepatan respons terhadap potensi bahaya yang dapat mengancam keselamatan masyarakat. Penerapan IoT juga meningkatkan efektivitas sistem monitoring karena memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat berdasarkan data aktual yang dikirimkan secara real-time, sebagaimana ditunjukkan pada penelitian sistem berbasis IoT yang mampu memberikan peringatan dini dan meningkatkan respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan (Syahri & Basri, 2025).

2.3. Monitoring Real-Time Berbasis Mobile

Monitoring real-time merupakan proses pemantauan suatu kondisi atau parameter yang dilakukan secara langsung pada saat data diperoleh tanpa adanya jeda waktu yang signifikan. Dalam sistem berbasis Internet of Things (IoT), data yang dibaca oleh sensor akan diproses oleh mikrokontroler dan dikirimkan melalui jaringan internet sehingga informasi dapat ditampilkan secara cepat kepada pengguna. Dengan sistem real-time, perubahan kondisi dapat diketahui segera dan memungkinkan tindakan dilakukan lebih responsif.

Menurut (Halim & Ardiani, 2024), monitoring berbasis mobile memungkinkan data dari perangkat IoT ditampilkan secara langsung melalui aplikasi Android sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan jarak jauh secara fleksibel dan efisien. Pendekatan ini mendukung kemudahan akses informasi kapan saja dan di mana saja melalui perangkat seluler yang terhubung ke internet.

2.4. Algoritma Threshold

Algoritma deteksi dini pada penelitian ini menggunakan pendekatan threshold berbasis nilai sudut kemiringan batang pohon yang diperoleh dari sensor MPU6050. Sensor MPU6050 merupakan sensor inersia berbasis MEMS yang mampu membaca perubahan orientasi dan kemiringan objek secara akurat pada tiga sumbu, sehingga banyak digunakan dalam sistem monitoring berbasis sudut (Tua & Muthalib, 2024). Pada tahap awal, sistem melakukan kalibrasi untuk menentukan posisi referensi ketika pohon berada dalam kondisi stabil. Selanjutnya, sudut kemiringan dibaca secara periodik dan dibandingkan dengan ambang batas yang telah ditentukan sebagai dasar identifikasi potensi ketidakstabilan struktur pohon.

Pendekatan threshold-based detection banyak digunakan dalam sistem

peringatan dini berbasis IoT karena sederhana dan responsif dalam mendeteksi perubahan signifikan (Prasetyo & Susanto, 2025).

2.5 Perangkat Keras (Hardware)

2.5.1 ESP32



Gambar 2. 2 ESP32

ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT) karena telah dilengkapi dengan fitur komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth. Selain itu, ESP32 memiliki kinerja yang cukup tinggi dengan konsumsi daya yang efisien serta mendukung berbagai antarmuka komunikasi seperti ADC, PWM, dan I2C, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi monitoring dan otomasi. Dengan kemampuan tersebut, ESP32 berperan sebagai pusat pengolahan data sekaligus pengirim data ke sistem monitoring berbasis internet (Parulian Sinaga & Abdi Prawira Tanjung, 2025).

Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pusat kendali utama yang mengolah data dari sensor MPU6050, sensor kelembapan tanah, dan sensor hujan, serta mengirimkan data tersebut ke cloud untuk ditampilkan pada aplikasi monitoring berbasis mobile secara real-time. Perangkat ini memastikan pembacaan

sensor dan transmisi data berjalan otomatis melalui jaringan internet sehingga kondisi pohon dapat dipantau dari jarak jauh.

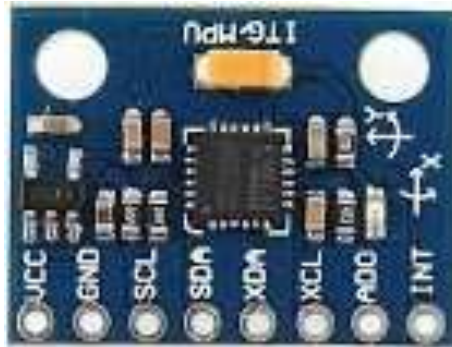
ESP32 merupakan mikrokontroler generasi baru yang dikembangkan oleh Espressif Systems dan merupakan penerus dari ESP8266. ESP32 memiliki prosesor dual-core 32-bit dengan frekuensi hingga 240 MHz serta sudah terintegrasi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga sangat mendukung implementasi aplikasi berbasis Internet of Things (IoT). Menurut (Espressif, 2022), keunggulan ESP32 terletak pada konsumsi daya yang efisien, kemampuan multitasking, serta fleksibilitas koneksi dengan berbagai sensor dan modul eksternal.

Dalam penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali utama yang menerima data sensor secara berkala, mengolahnya menjadi nilai kondisi pohon, serta mengirimkan data tersebut ke server atau aplikasi monitoring untuk ditampilkan secara real-time. Penelitian oleh (Setiawan dkk., 2024) pada sistem IoT berbasis ESP32 menunjukkan bahwa mikrokontroler ini mampu menangani pembacaan dan pengiriman data sensor secara simultan serta menjaga kestabilan koneksi Wi-Fi dalam sistem monitoring berbasis IoT

2.5.2 Sensor MPU6050

MPU6050 merupakan sensor inersia berbasis MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) yang mengintegrasikan accelerometer dan gyroscope dalam satu modul. Sensor ini mampu mengukur percepatan linier dan kecepatan sudut pada tiga sumbu, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi orientasi, kemiringan, dan pergerakan suatu objek. (Akram dkk., 2025) menyatakan bahwa MPU6050 banyak digunakan dalam sistem monitoring karena memiliki sensitivitas yang baik dan ukuran yang relatif kecil, sehingga mudah diintegrasikan pada

berbagai objek.



Gambar 2. 3 MPU6050

Kegunaan utama sensor MPU6050 dalam sistem monitoring adalah sebagai pendeteksi perubahan posisi dan kemiringan objek. (Tua & Muthalib, 2024) menjelaskan bahwa data accelerometer dari MPU6050 dapat dimanfaatkan untuk menghitung sudut kemiringan suatu objek secara akurat, khususnya pada kondisi statis atau perubahan yang terjadi secara perlahan. Dalam konteks monitoring pohon, sensor ini digunakan untuk mengamati perubahan sudut kemiringan batang pohon sebagai indikator awal ketidakstabilan.

Cara kerja sensor MPU6050 dimulai dari pengukuran percepatan gravitasi pada masing-masing sumbu. Data percepatan ini kemudian diolah menggunakan persamaan trigonometri untuk memperoleh nilai sudut kemiringan. Nilai tersebut dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi I2C untuk selanjutnya diproses dan dikirimkan ke sistem monitoring. Menurut (Akram dkk., 2025), pendekatan ini efektif digunakan dalam sistem deteksi dini karena mampu merepresentasikan perubahan orientasi objek secara real-time tanpa memerlukan sistem mekanik tambahan.

2.5.3 Rain Sensor (Sensor Hujan)

Rain sensor atau sensor hujan merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan air hujan pada suatu permukaan melalui perubahan nilai

konduktivitas ketika terkena air. Sensor ini banyak digunakan dalam sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) karena mekanisme kerjanya yang sederhana dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler. (Rasyad dkk., 2025) menjelaskan bahwa sensor hujan berfungsi sebagai pendeteksi kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi perubahan fisik objek yang dipantau, sehingga sering dimanfaatkan sebagai bagian dari sistem monitoring lingkungan secara real-time.



Gambar 2. 4 Rain Sensor

Dalam penelitian ini, rain sensor digunakan sebagai sensor pendukung dalam sistem monitoring pohon di perkotaan berbasis IoT. Penggunaan sensor hujan bertujuan untuk memberikan informasi kondisi lingkungan saat terjadi perubahan kemiringan batang pohon yang terdeteksi oleh sensor utama. Informasi keberadaan hujan digunakan sebagai data kontekstual untuk mendukung proses deteksi dini pohon tumbang, tanpa menganalisis intensitas curah hujan secara mendalam. Pendekatan penggunaan sensor hujan sebagai data pendukung dalam sistem monitoring lingkungan juga diterapkan oleh (Fitriawati dkk., 2023) yang menunjukkan bahwa integrasi sensor hujan dapat meningkatkan pemahaman kondisi lingkungan terhadap perubahan objek yang dipantau.

2.5.4 Soil Moisture Sensor

Soil moisture sensor merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat kelembapan tanah dengan mendeteksi perubahan nilai listrik pada media tanah. Dalam sistem monitoring lingkungan, sensor ini berfungsi untuk memberikan informasi kondisi tanah secara langsung dan berkelanjutan. (Biabdillah dkk., 2026) menjelaskan bahwa sensor kelembapan tanah banyak dimanfaatkan dalam sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) karena mampu menyediakan data kondisi tanah secara real-time dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler. Informasi kelembapan tanah sering digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi stabilitas objek yang berada di atasnya.



Gambar 2. 5 Soil Moisture

Dalam penelitian ini, soil moisture sensor digunakan sebagai sensor pendukung dalam sistem monitoring pohon perkotaan. Sensor ini berfungsi untuk memberikan informasi kondisi kelembapan tanah di sekitar pohon yang dipantau, yang dapat memengaruhi kestabilan pohon secara tidak langsung. Pemilihan soil moisture sensor didasarkan pada kemampuannya dalam memberikan data kondisi tanah secara kontinu dengan sistem yang sederhana dan biaya yang relatif rendah. Pendekatan penggunaan sensor kelembapan tanah sebagai data pendukung dalam sistem monitoring berbasis IoT juga diterapkan oleh (Sabarina dkk., 2023), yang

menunjukkan bahwa data kelembapan tanah dapat digunakan sebagai informasi tambahan untuk memahami perubahan kondisi lingkungan yang terpantau oleh sistem.

2.5.5 Kabel Jumper



Gambar 2. 6 Kabel Jumper

Kabel jumper merupakan kabel penghubung yang digunakan untuk menghubungkan antar komponen elektronik pada rangkaian prototipe tanpa proses penyolderan. Kabel ini umum digunakan pada breadboard dan papan pengembangan karena memiliki konektor pin di kedua ujungnya serta tersedia dalam tipe male-to-male, male-to-female, dan female-to-female. Dalam perancangan sistem berbasis mikrokontroler, kabel jumper mempermudah proses perakitan serta pengujian rangkaian karena dapat dipasang dan dilepas dengan mudah (Alerafi & Sriyanti, 2024).

Dalam penelitian sistem monitoring pohon berbasis ESP32 ini, kabel jumper digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan sensor MPU6050, soil moisture sensor, dan rain sensor sebagai jalur distribusi daya serta komunikasi data.

2.6 Perangkat Lunak

2.6.1 Arduino IDE

Dokumentasi sistem merupakan bagian penting dalam penelitian akademik, terutama pada penulisan skripsi. Diagram dan penjelasan perangkat lunak yang jelas serta terstruktur membantu pembaca memahami proses kerja sistem yang dirancang.

Arduino Integrated Development Environment (Arduino IDE) merupakan perangkat lunak open-source yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler, termasuk ESP32. Arduino IDE menyediakan antarmuka yang sederhana serta dukungan berbagai library, sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem embedded dan Internet of Things (IoT).



Gambar 2. 7 Arduino IDE

Menurut (Kamal dkk., 2023), Arduino IDE digunakan sebagai media pemrograman untuk membuat, mengedit, dan mengunggah kode program ke board mikrokontroler, serta mempermudah proses pengujian rangkaian digital maupun analog. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa implementasi Arduino IDE memberikan kemudahan dalam proses pengembangan sistem karena dilengkapi fitur verifikasi (compile) sebelum program di-upload ke perangkat keras . Dalam penelitian ini, Arduino IDE digunakan sebagai perangkat lunak utama untuk

memprogram ESP32 pada sistem monitoring pohon berbasis IoT

2.6.2 Aplikasi Monitoring Berbasis Expo Go



Gambar 2. 8 Logo EXPO GO

Dalam pengembangan aplikasi monitoring pohon berbasis Internet of Things (IoT), penulis mempertimbangkan penggunaan Expo Go, yang merupakan bagian dari ekosistem Expo dan menyediakan runtime untuk menjalankan aplikasi React Native secara langsung pada perangkat Android maupun iOS. Expo Go memungkinkan pengembang mengeksekusi aplikasi tanpa perlu mengatur lingkungan native secara penuh, sehingga proses pengembangan menjadi lebih cepat dan meminimalkan kesalahan akibat modifikasi kode native. Aplikasi dapat dijalankan langsung melalui pemindaian QR Code, sehingga pengembang dapat melihat antarmuka dan fungsi aplikasi secara real-time pada perangkat nyata, yang memudahkan proses debugging serta verifikasi fungsionalitas sistem monitoring yang dikembangkan (Hutri, 2023).

Expo Go juga menyediakan akses ke API platform-netral yang memungkinkan penggunaan fitur perangkat seperti koneksi internet, notifikasi, dan akses data secara real-time tanpa harus menulis kode khusus untuk masing-masing platform. Selain itu, Expo mendukung penggunaan config plugins yang memungkinkan penyesuaian atau penambahan kode native bila diperlukan, sehingga pengembangan aplikasi tetap fleksibel tanpa kehilangan keunggulan

runtime yang disediakan Expo. Dengan fitur tersebut, aplikasi monitoring dalam penelitian ini dapat digunakan untuk menampilkan data kemiringan pohon, kelembapan tanah, serta kondisi hujan yang dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 secara real-time, sehingga meningkatkan efisiensi pengembangan dan keandalan sistem monitoring yang dibangun (Hutri, 2023).

2.6.3 Draw.io

Draw.io merupakan aplikasi berbasis web yang digunakan untuk membuat berbagai jenis diagram secara online, termasuk diagram sistem dan pemodelan perangkat lunak. Aplikasi ini memiliki tampilan yang responsif serta terintegrasi dengan layanan penyimpanan seperti Google Drive, sehingga memudahkan pengguna dalam menyimpan dan mengelola hasil rancangan diagram. Draw.io banyak dimanfaatkan dalam kegiatan perancangan dan dokumentasi sistem karena kemudahan akses serta penggunaannya.



draw.io

Gambar 2. 9 Draw.io

Penggunaan Draw.io dalam pembuatan diagram sistem terbukti membantu proses visualisasi dan analisis kebutuhan perangkat lunak secara lebih terstruktur. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Marthiawati dkk., 2024), penggunaan aplikasi Draw.io dalam pembuatan diagram mendukung pemahaman mahasiswa dalam proses analisis dan desain sistem, serta meningkatkan efektivitas dalam

mendokumentasikan kebutuhan sistem

2.6.4 Balsamiq

Balsamiq merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat *wireframe* atau desain sketsa antarmuka pengguna secara cepat dan mudah. Dengan pendekatan desain *low-fidelity*, Balsamiq menyediakan elemen antarmuka seperti tombol, teks, formulir, dan struktur halaman yang dapat disusun melalui fitur *drag-and-drop*. Penggunaan tools ini membantu perancang sistem memvisualisasikan struktur utama tampilan aplikasi sebelum tahap implementasi dilakukan.



balsamiq Wireframes

Gambar 2. 10 Balsamiq

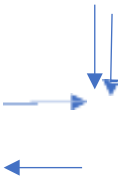




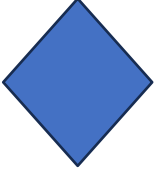
Penggunaan Balsamiq dalam perancangan antarmuka terbukti membantu pada tahap awal desain sistem informasi, terutama dalam menggambarkan struktur tampilan dan alur interaksi pengguna dengan sistem. Menurut (Norhayati, 2022), penggunaan Balsamiq Mockups dalam pembuatan tampilan antarmuka membantu mempercepat proses visualisasi rancangan serta memberikan gambaran awal yang jelas terhadap kebutuhan pengguna dalam sistem informasi yang dikembangkan.



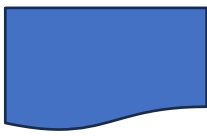


2.7 Flowchart

Menurut (Febianto dkk., 2022), flowchart merupakan representasi grafis dari langkah-langkah prosedur dalam sebuah program yang digunakan untuk menjelaskan alur pemrosesan secara visual. Flowchart menampilkan diagram

langkah kerja yang menggambarkan urutan proses dan pengambilan keputusan dengan menggunakan simbol-simbol yang disusun secara sistematis, sehingga memudahkan pemahaman terhadap logika dan struktur suatu sistem sebelum diimplementasikan dalam bentuk kode program.

Tabel 2. 1 Simbol Flowchart

No.	Simbol	Keterangan
1.		Flow: simbol yang digunakan untuk menggunakan antara simbol yang satu dengan yang lain. Symbol ini disebut juga dengan connecting line.
2.		On-page Reference: Simbol untuk menandakan keluar-masuk atau penyambungan proses dalam lembar kerja yang sama.
3.		Off-Page Reference: Simbol keluar-masuk atau penyambungan proses dalam lembar kerja yang berbeda.
4.		Terminator: Simbol yang menyatakan awal atau akhir suatu program.
5.		Process: Simbol yang menyatakan suatu proses yang dilakukan computer.
6.		Decision: Simbol yang menyatukan kondisi tertentu yang akan menghasilkan dua kemungkinan jawaban yaitu iya atau tidak

7.		Input/Output: Simbol yang menyatakan proses input atau Output tanpa tergantung peralatan.
8.		Manual operation: Simbol yang menyatakan suatu proses yang tidak dilakukan oleh komputer.
9.		Document: Simbol yang menyatakan bahwa input berasal dari dokumen dalam bentuk fisik, atau output yang perlu dicetak.
10		Predefine Proses: Simbol untuk pelaksanaan suatu bagian (Sub-program) atau Prosedure.
11		Display: Simbol yang menyatakan peralatan Output yang digunakan.

2.8 Metodologi Pengembangan Sistem

Metodologi pengembangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Prototype. Metode ini dipilih karena sesuai untuk pengembangan sistem monitoring pohon berbasis Internet of Things (IoT) yang memerlukan perancangan dan pengujian bertahap, baik pada sisi perangkat keras maupun

perangkat lunak. Melalui pembuatan prototype awal, sistem dapat diuji terlebih dahulu untuk memastikan pembacaan sensor, pengolahan data kemiringan, serta pengiriman data ke aplikasi monitoring berjalan dengan baik sebelum dikembangkan menjadi sistem final. Menurut (Ningsih & Nurfauziah, 2023), metode Prototype lebih tepat digunakan pada sistem yang dikembangkan berdasarkan kebutuhan tertentu dan memerlukan evaluasi secara bertahap, karena memungkinkan adanya perbaikan dan penyempurnaan sebelum implementasi akhir dilakukan. Pendekatan ini relevan dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT karena memberikan fleksibilitas dalam proses pengujian dan penyesuaian sistem sesuai kebutuhan penelitian

2.9 Prinsip Kerja Deteksi Dini Pohon Tumbang

Prinsip kerja deteksi dini pohon tumbang pada penelitian ini didasarkan pada pemantauan sudut kemiringan batang pohon sebagai indikator utama kestabilan. Penggunaan sensor inersia seperti MPU6050 untuk mendeteksi perubahan orientasi objek telah banyak diterapkan pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler (Akram dkk., 2025). Sensor membaca perubahan sudut secara periodik dan membandingkannya dengan nilai referensi yang diperoleh saat kalibrasi awal.

Nilai kemiringan yang terbaca kemudian dibandingkan dengan ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan. Pendekatan berbasis ambang batas umum digunakan dalam sistem monitoring real-time karena sederhana dan responsif terhadap perubahan parameter fisik (Tua & Muthalib, 2024). Klasifikasi kondisi dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

- a. Kemiringan $\leq 10^\circ \rightarrow$ Normal
- b. $10^\circ < \text{Kemiringan} \leq 20^\circ \rightarrow$ Waspada

c. Kemiringan $> 20^\circ \rightarrow$ Bahaya

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, sistem secara otomatis menentukan status kondisi pohon dan mengirimkan notifikasi melalui aplikasi monitoring berbasis IoT. Implementasi monitoring real-time melalui integrasi sensor dan aplikasi Android memungkinkan penyampaian informasi secara cepat dan berkelanjutan (Ulum & Bahrul, 2023).

Proses ini berlangsung secara berulang sehingga sistem dapat berfungsi sebagai alat bantu deteksi dini potensi pohon tumbang di kawasan perkotaan. Parameter kelembapan tanah dan kondisi hujan digunakan sebagai informasi pendukung dalam sistem monitoring, namun tidak menjadi penentu utama dalam proses klasifikasi deteksi dini.

2.10 Ringkasan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan kajian pustaka yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT), penggunaan sensor inersia, serta penerapan mikrokontroler dalam sistem deteksi dini. Penelitian-penelitian tersebut menjadi acuan dalam perancangan dan pengembangan sistem monitoring pohon perkotaan, khususnya dalam pemilihan sensor, mikrokontroler, serta metode monitoring yang digunakan.

Analisis terhadap penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui metode yang telah diterapkan serta mengidentifikasi kelebihan dan kekurangannya. Ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan proses perbandingan dan analisis, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Judul dan Peneliti	Pembahasan	Metode	Kelebihan/ Kekurangan
1	(Dini dkk., 2022) – Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Pohon Tua Berbahaya	Sistem monitoring pohon tua berbasis Android, Website, dan Arduino dengan integrasi anemometer untuk deteksi angin kencang serta SIG untuk pemetaan lokasi pohon.	Waterfall, Anemometer, Web & Android	Kelebihan: Terintegrasi dengan sistem informasi geografis dan monitoring lokasi. Kekurangan: Belum menggunakan sensor kemiringan batang pohon secara langsung.
2	(Raharja dkk., 2024) – Pemanfaatan IoT Untuk Monitoring Deteksi Tanah	Monitoring kondisi tanah longsor berbasis IoT untuk mitigasi risiko.	IoT dan sensor lingkungan.	Kelebihan: data monitoring dapat diakses secara real-time untuk mendukung mitigasi risiko. Kekurangan: tidak membahas secara spesifik pemantauan kemiringan batang pohon.
3	(Akram dkk., 2025) – Instrument Response Analysis Based on MEMS Sensor MPU6050	Analisis respons MPU6050 dalam mendeteksi perubahan orientasi dan kemiringan objek.	Sensor MPU6050 (MEMS)	Kelebihan: sensor MPU6050 memiliki sensitivitas dan akurasi yang baik dalam mendeteksi perubahan sudut. Kekurangan: belum diintegrasikan dalam sistem monitoring berbasis IoT untuk

				objek lingkungan terbuka.
4	(Rachman & Nahlunnisa, 2024) – Analisis Tingkat Kerusakan Pepohonan Kota	Evaluasi kondisi fisik pohon kota sebagai dasar mitigasi risiko.	Observasi dan penilaian visual.	Kelebihan: memberikan analisis mendalam terkait kondisi dan risiko pohon perkotaan. Kekurangan: monitoring dilakukan secara manual dan periodik, belum berbasis sistem real-time.
5	(Tua & Muthalib, 2024) – Rancang Bangun Mitigasi Bencana Longsor Berbasis Internet of Things	Sistem mitigasi longsor berbasis IoT menggunakan sensor MPU6050 dan mikrokontroler untuk notifikasi real-time	ESP32, MPU6050 dan IoT (Blynk)	Kelebihan: Integrasi sensor kemiringan dan IoT berjalan efektif dengan notifikasi real time. Kekurangan: Objek penelitian masih tanah longsor dan belum diterapkan pada batang pohon di kawasan perkotaan.
6	(Prasetyo & Susanto, 2025) – Design and Construction of an IoT- Based Landslide Early Detection System	Pengembangan sistem deteksi dini tanah longsor berbasis IoT dengan pemantauan perubahan sudut kemiringan tanah secara real-time	IoT dan sensor kemiringan.	Kelebihan: Sistem mampu memonitor perubahan sudut secara real-time dan mengirim data jarak jauh. Kekurangan: Objek penelitian berfokus pada tanah longsor, bukan batang pohon di kawasan perkotaan.

2.11 Analisis Gap

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu yang telah dipaparkan pada Tabel

2.1, dapat diketahui bahwa penerapan sistem berbasis Internet of Things (IoT) dalam monitoring dan deteksi dini telah berkembang pesat. Penelitian (Dini dkk., 2022) mengembangkan sistem monitoring pohon tua berbasis SIG dan anemometer, namun indikator yang digunakan masih berfokus pada kecepatan angin dan kondisi visual, belum mengukur kemiringan batang pohon secara langsung. Penelitian (Prasetyo & Susanto, 2025) serta (Raharja dkk., 2024) menunjukkan efektivitas sistem IoT dalam monitoring real-time untuk mitigasi bencana, tetapi objek penelitian masih terbatas pada tanah dan parameter lingkungan umum.

Penelitian (Akram dkk., 2025) membuktikan bahwa sensor MPU6050 memiliki akurasi baik dalam mendeteksi perubahan sudut, namun belum diimplementasikan dalam sistem monitoring pohon berbasis IoT. (Rachman & Nahlunnisa, 2024) mengkaji kondisi fisik pohon kota secara manual, sehingga belum mendukung pemantauan berkelanjutan dan otomatis. Sementara itu, (Tua & Muthalib, 2024) telah memanfaatkan MPU6050 untuk deteksi kemiringan tanah longsor secara real-time, tetapi belum diterapkan pada objek batang pohon yang memiliki karakteristik berbeda.

Dengan demikian, masih terdapat celah penelitian pada integrasi ESP32 dan sensor MPU6050 dalam sistem monitoring kemiringan batang pohon berbasis IoT untuk deteksi dini pohon tumbang di kawasan perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut melalui perancangan sistem monitoring kemiringan pohon secara real-time sebagai upaya mitigasi risiko.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Awal Penelitian

Penelitian ini menggunakan Prototype Based Iterative Development. Yang artinya tidak akan langsung membuat sistem jadi, melainkan membuat model awal (prototype) yang kemudian akan diuji, dievaluasi, dan diperbaiki secara berulang sampai sistem monitoring pohon di perkotaan berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor MPU6050 sebagai deteksi dini pohon tumbang ini dapat berjalan optimal sesuai dengan target perancangan.

3.2 Kebutuhan Fungsi Sistem

Sistem monitoring pohon ini akan memastikan apa saja fitur wajib yang akan diterapkan seperti sistem yang mampu mendeteksi kemiringan batang pohon secara otomatis, dapat mengklasifikasikan kondisi pohon berdasarkan nilai sudut kemiringan (Normal, Waspada, dan Bahaya), serta mampu menampilkan data hasil pembacaan sensor secara real-time pada aplikasi mobile. Sistem ini juga dapat memberikan notifikasi peringatan dini apabila terdeteksi potensi pohon tumbang berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

3.3.1 Observasi

Pengamatan (observasi) secara langsung merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengamati kondisi lingkungan dan objek penelitian secara nyata di lapangan. Dalam penelitian ini, observasi dilakukan untuk

mengetahui kondisi pohon yang berpotensi mengalami kemiringan atau risiko tumbang, serta mengidentifikasi faktor lingkungan seperti kelembapan tanah dan kondisi cuaca yang dapat mempengaruhi kestabilan pohon. Melalui observasi ini, penulis dapat mengetahui permasalahan yang sering terjadi terkait kurangnya sistem pemantauan pohon secara real-time sehingga berpotensi menimbulkan bahaya.

3.3.2 Studi Pustaka

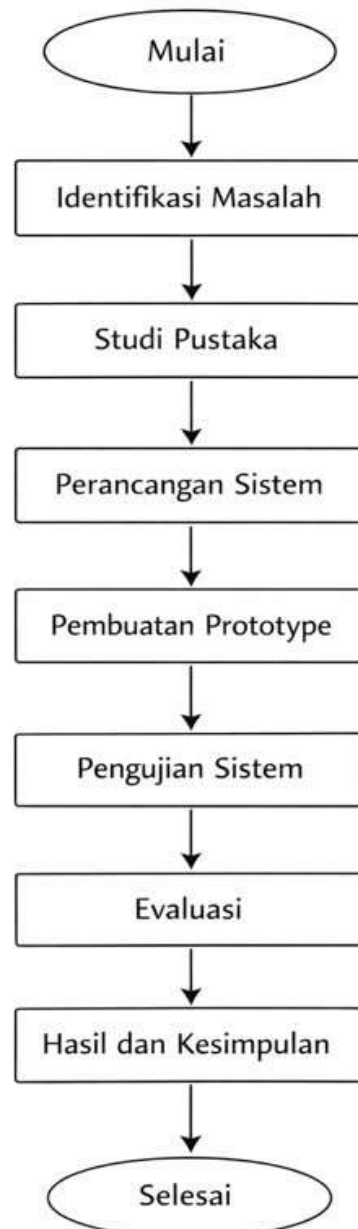
Studi pustaka dilakukan dengan cara menelaah dan mempelajari berbagai referensi yang berkaitan dengan topik penelitian, seperti buku, jurnal ilmiah, artikel penelitian terdahulu, serta dokumentasi teknis mengenai Internet of Things (IoT), mikrokontroler ESP32, dan sensor MPU6050. Melalui studi pustaka ini, penulis memperoleh konsep, teori, serta metode yang relevan untuk mendukung perancangan dan pengembangan sistem monitoring pohon berbasis IoT.

3.3.3 Eksperimen

Penulis menggunakan metode eksperimen sebagai bagian dari proses pengumpulan data dan pengujian sistem. Tahap eksperimen dimulai dengan perancangan desain sistem dan diagram rangkaian, kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan komponen perangkat keras seperti ESP32, sensor MPU6050, dan sensor pendukung lainnya. Setelah itu dilakukan proses pemrograman menggunakan Arduino IDE serta uji coba sistem untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sudut kemiringan dan kestabilan pengiriman data ke platform monitoring. Hasil dari eksperimen ini digunakan untuk mengevaluasi serta menyempurnakan sistem yang telah dibuat.

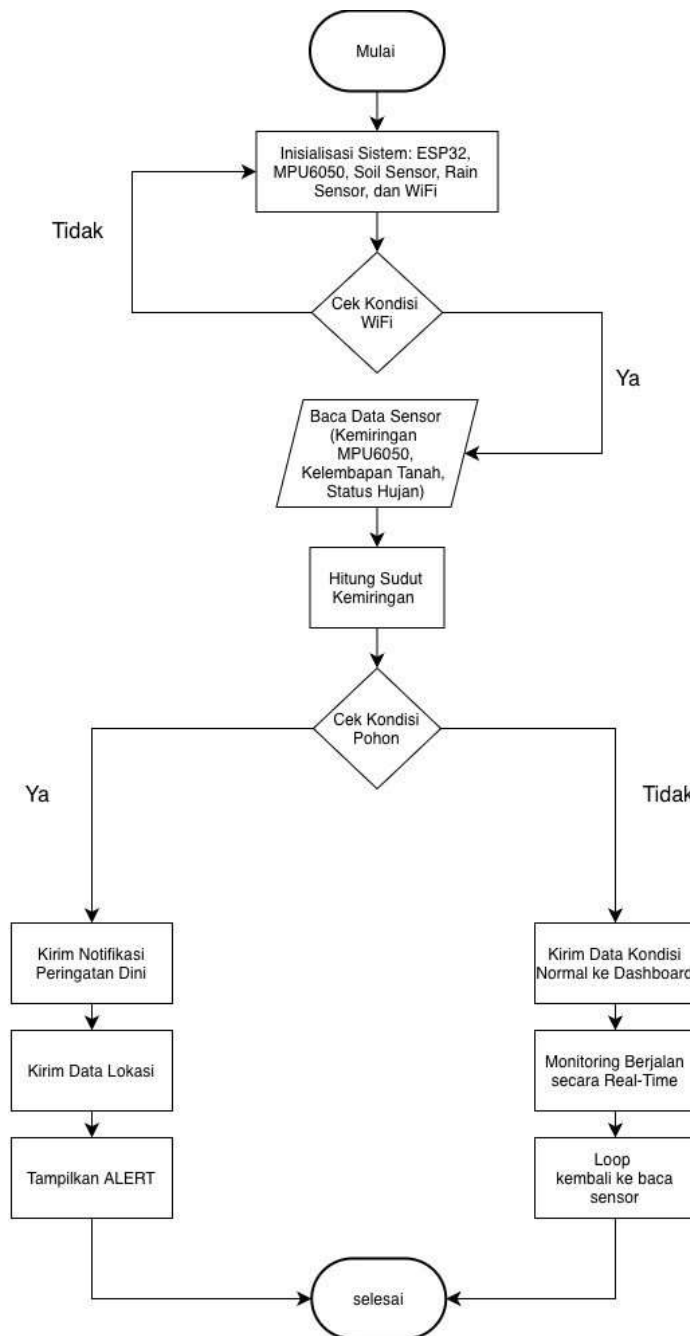
3.4 Prosedur Alur Penelitian

Prosedur alur penelitian pada sistem monitoring pohon berbasis IoT ini disusun secara sistematis sesuai dengan metode penelitian yang digunakan. Alur penelitian tersebut digambarkan dalam diagram berikut untuk memperjelas tahapan pengembangan sistem.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.5 Flowchart Sistem



Gambar 3. 2 Flowchart Sistem

3.6 Analisis Kebutuhan Perancangan


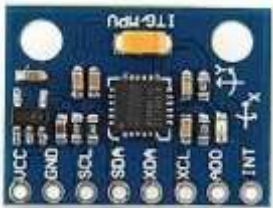


Analisis kebutuhan perancangan dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh komponen dan spesifikasi yang dibutuhkan dalam membangun sistem deteksi dini pohon tumbang berbasis Internet of Things (IoT). Tahapan ini bertujuan agar sistem

yang dirancang sesuai dengan kebutuhan fungsional dan mampu bekerja secara optimal dalam mendeteksi perubahan kemiringan pohon serta kondisi lingkungan pendukung.

3.6.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras yang digunakan dalam sistem ini merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai alat pengambilan data, pemrosesan, serta pengiriman informasi secara real-time.

Tabel 3. 1 Analisis Kebutuhan Hardware





No	Hardware	Fungsi
1	<p>ESP32</p> 	<p>Sebagai mikrokontroler utama yang mengolah data sensor dan mengirimkan data ke cloud melalui WiFi.</p>
2	<p>MPU6050</p> 	<p>Untuk mendeteksi sudut kemiringan pohon dalam satuan derajat ($^{\circ}$).</p>
3	<p>Sensor Soil Moisture</p> 	<p>Untuk mengukur tingkat kelembapan tanah di sekitar akar pohon dalam bentuk persentase (%).</p>
4	<p>Rain Sensor</p> 	<p>Untuk mendeteksi kondisi hujan atau tidak hujan sebagai data pendukung lingkungan.</p>

5	<p style="text-align: center;">Kabel Jumper</p> 	<p style="text-align: center;">Menghubungkan antar komponen elektronik.</p>
---	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------

3.6.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak digunakan untuk memprogram mikrokontroler, mengolah data, serta menampilkan hasil monitoring pada aplikasi mobile.

Tabel 3. 2 Analisis Kebutuhan Software





No	Software	Fungsi
1	<p style="text-align: center;">Arduino IDE</p> 	<p style="text-align: center;">Digunakan untuk menulis dan mengunggah program ke ESP32.</p>
2	<p style="text-align: center;">Expo Go</p> 	<p style="text-align: center;">Digunakan untuk menjalankan, menguji, dan menampilkan aplikasi monitoring berbasis mobile.</p>
3	<p style="text-align: center;">Draw.io</p>  <p style="text-align: center;">draw.io</p>	<p style="text-align: center;">Digunakan untuk membuat diagram blok dan flowchart sistem.</p>
4	<p style="text-align: center;">Balsamiq Wireframes</p>  <p style="text-align: center;">balsamiq Wireframes</p>	<p style="text-align: center;">Digunakan untuk merancang wireframe atau desain awal antarmuka (UI) aplikasi monitoring sebelum dikembangkan ke aplikasi mobile.</p>

3.6.3 Analisis Kebutuhan Bahan Perancangan

Bahan perancangan digunakan untuk membangun prototipe alat agar sistem

dapat diuji secara langsung di lapangan.

Tabel 3. 3 Analisis Kebutuhan Bahan Perancangan

No	Bahan Perancangan	Fungsi
1	Box Panel / Casing Tahan Air 	Melindungi rangkaian elektronik dari hujan dan kondisi lingkungan luar.
2	Replika Pohon 	Sebagai media simulasi untuk pengujian sistem monitoring kemiringan pohon
3	Pelindung Kabel 	Melindungi kabel dari kerusakan akibat cuaca.
4	Baut dan pengikat 	Untuk memastikan pemasangan sensor stabil dan tidak bergeser.

3.7 Perancangan Prototype

Berikut ini merupakan gambaran perancangan prototype untuk membangun sistem monitoring pohon di perkotaan berbasis Internet of Things (IoT) sebagai deteksi dini pohon tumbang dengan menggunakan mikrokontroler ESP32. Dengan itu, dapat dilihat rangkaian perancangan prototype sebagai berikut.



Gambar 3. 3 Perancangan Prototype

Semua perangkat dapat dihubungkan sesuai dengan fungsinya dengan menggabungkan sensor dan hardware lainnya seperti sensor kemiringan (MPU6050) sebagai pembaca sudut kemiringan batang pohon, sensor soil moisture sebagai pengukur kelembapan tanah, rain sensor sebagai pendeteksi kondisi hujan, serta ESP32 sebagai pusat kendali sistem yang mengolah dan mengirimkan data ke aplikasi monitoring secara real-time.

Secara umum, arsitektur sistem deteksi dini pohon tumbang terdiri dari tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output yang terintegrasi dalam satu sistem IoT.

1. Bagian Input

- a. Sensor Kemiringan (MPU6050) digunakan untuk membaca sudut kemiringan batang pohon.
- b. Sensor Soil Moisture digunakan untuk mengukur kelembapan tanah di sekitar akar pohon.
- c. Rain Sensor digunakan untuk mendeteksi kondisi hujan sebagai faktor pendukung risiko pohon tumbang.

2. Bagian Proses
 - a. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang menerima data dari seluruh sensor.
 - b. Data yang diterima diproses berdasarkan ambang batas kemiringan yang telah ditentukan.
 - c. Hasil proses digunakan untuk menentukan status kondisi pohon (Normal, Waspada, atau Bahaya) serta mengirimkan data ke server melalui koneksi Wi-Fi.
3. Bagian Output
 - a. Aplikasi mobile digunakan untuk menampilkan data kemiringan, kelembapan tanah, kondisi hujan, dan status sistem secara real-time.
 - b. Sistem notifikasi akan aktif apabila terdeteksi kondisi bahaya sebagai peringatan dini kepada pengguna

3.7.1 Perancangan Rangkaian Antar Komponen

Berikut penjelasan hubungan antar komponen utama dalam sistem:

1. ESP32 Dengan Sensor Kemiringan (MPU6050)
 - a. Pin SDA dan SCL sensor dihubungkan ke pin I2C pada ESP32.
 - b. Sensor kemiringan berfungsi untuk membaca sudut kemiringan batang pohon dalam satuan derajat ($^{\circ}$).
 - c. Data sudut kemiringan dikirimkan ke ESP32 untuk diproses dan diklasifikasikan berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan.
2. ESP32 Dengan Sensor Soil Moisture
 - a. Output analog sensor soil moisture dihubungkan ke pin ADC pada ESP32.
 - b. Sensor soil moisture berfungsi untuk mengukur tingkat kelembapan tanah

di sekitar akar pohon.

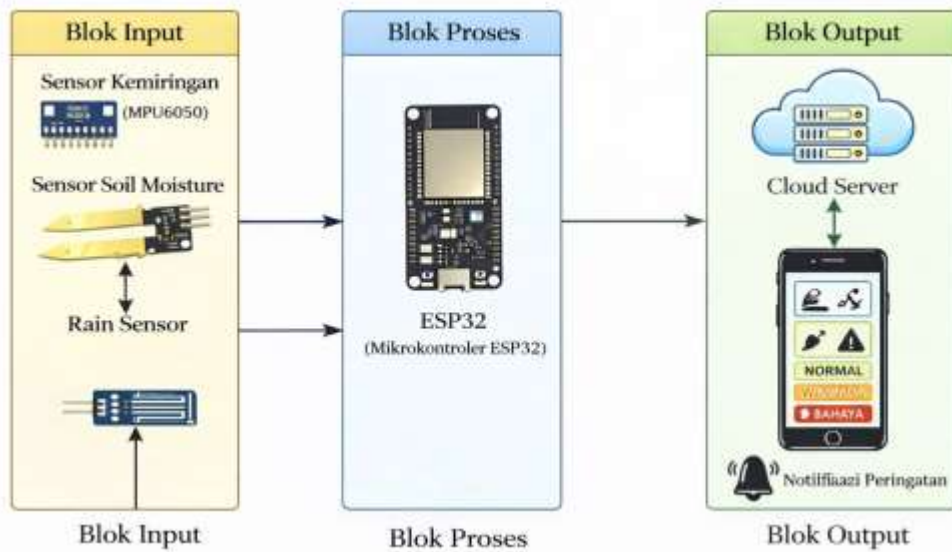
- c. Data kelembapan tanah digunakan sebagai parameter pendukung dalam menentukan tingkat risiko pohon tumbang.
3. ESP32 Dengan Rain Sensor
 - a. Output digital atau analog rain sensor dihubungkan ke pin ESP32.
 - b. Rain sensor berfungsi untuk mendeteksi adanya air hujan pada permukaan sensor.
 - c. Data kondisi hujan digunakan sebagai faktor pendukung dalam analisis sistem.
 4. ESP32 Dengan Aplikasi Mobile (Monitoring IoT)
 - a. ESP32 terhubung ke jaringan Wi-Fi untuk mengirimkan data sensor ke cloud server.
 - b. Data yang dikirim meliputi sudut kemiringan, kelembapan tanah, dan kondisi hujan.
 - c. Informasi tersebut ditampilkan secara real-time pada aplikasi mobile sebagai media monitoring pengguna.
 5. ESP32 Dengan Catu Daya (Power Supply / Baterai)
 - a. Sistem menggunakan sumber tegangan berupa baterai atau adaptor sebagai catu daya utama.
 - b. Catu daya berfungsi untuk menyuplai tegangan yang stabil ke ESP32 dan seluruh sensor yang terhubung.
 - c. Tegangan yang stabil diperlukan agar pembacaan sensor dan proses pengiriman data berjalan dengan optimal.

3.7.2 Prinsip Kerja Sistem

Prinsip kerja sistem deteksi dini pohon tumbang berbasis IoT adalah sebagai berikut:

6. Sistem dinyalakan dan ESP32 melakukan inisialisasi seluruh sensor.
7. Sensor kemiringan (MPU6050) membaca sudut kemiringan batang pohon secara berkala.
8. Sensor soil moisture membaca tingkat kelembapan tanah di sekitar akar pohon.
9. Rain sensor mendeteksi kondisi hujan pada lingkungan sekitar.
10. Data dari seluruh sensor dikirimkan ke ESP32 untuk diproses.
11. ESP32 membandingkan nilai sudut kemiringan dengan ambang batas yang telah ditentukan, yaitu:
 - a. $\leq 10^\circ \rightarrow$ Status Normal
 - b. $10^\circ - 20^\circ \rightarrow$ Status Waspada
 - c. $\geq 20^\circ \rightarrow$ Status Bahaya
12. Data hasil klasifikasi dikirimkan ke cloud server melalui koneksi Wi-Fi.
13. Aplikasi mobile menampilkan informasi kemiringan pohon, kelembapan tanah, kondisi hujan, serta status sistem secara real-time.
14. Jika sistem mendeteksi kondisi Bahaya, maka notifikasi peringatan dikirimkan kepada pengguna sebagai bentuk deteksi dini potensi pohon tumbang.

3.8 Diagram Blok Sistem



Gambar 3. 4 Diagram Blok Sistem

1. Blok Input

Blok input merupakan bagian awal sistem yang berfungsi sebagai sumber data. Pada sistem ini, terdapat tiga sensor utama, yaitu:

- a. Sensor Kemiringan (MPU6050). Sensor kemiringan digunakan untuk mendeteksi sudut kemiringan batang pohon dalam satuan derajat ($^{\circ}$). Data sudut yang diperoleh akan dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai sinyal input untuk menentukan kondisi pohon berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan.
- b. Sensor Soil Moisture. Sensor soil moisture berfungsi untuk mengukur tingkat kelembapan tanah di sekitar akar pohon. Nilai kelembapan ini menjadi parameter pendukung dalam menganalisis kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi kestabilan pohon.
- c. Rain Sensor. Rain sensor digunakan untuk mendeteksi kondisi hujan pada lingkungan sekitar. Data ini menjadi indikator tambahan dalam sistem monitoring untuk mengetahui kondisi cuaca saat terjadi perubahan kemiringan pohon.

Ketiga sensor ini berperan penting dalam mendukung sistem deteksi dini

potensi pohon tumbang.

2. Blok Proses

Blok proses merupakan pusat kendali sistem yang diwakili oleh mikrokontroler ESP32, yang memiliki beberapa fungsi utama, antara lain:

- a. Menerima data dari sensor kemiringan, sensor soil moisture, dan rain sensor.
- b. Mengolah data sudut kemiringan berdasarkan logika program yang telah dirancang sesuai dengan metode ambang batas (threshold).
- c. Menentukan keputusan sistem, seperti menetapkan status kondisi pohon (Normal, Waspada, atau Bahaya).
- d. Mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke server IoT melalui koneksi Wi-Fi.
- e. Mendistribusikan informasi ke perangkat output, baik lokal maupun jarak jauh.

ESP32 menjadi inti sistem karena mengintegrasikan fungsi kontrol, pemrosesan data, pengambilan keputusan, dan komunikasi IoT dalam satu perangkat.

3. Blok Output

Blok output merupakan bagian sistem yang menampilkan hasil pemrosesan data dan menjalankan aksi sistem. Blok ini terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

- a. Aplikasi Mobile Monitoring. Aplikasi mobile berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan data kemiringan pohon, kelembapan tanah, kondisi hujan, serta status sistem secara real-time.
- b. Notifikasi Peringatan. Sistem akan mengirimkan notifikasi kepada pengguna apabila terdeteksi kondisi bahaya berdasarkan nilai ambang batas kemiringan.

3.9 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian tersebut digunakan untuk mengetahui tanggal, bulan, dan tahun dalam pemrosesan di setiap kegiatan pembuatan skripsi, yang akan selalu diperbarui setiap tahap pemrosesannya sampai dengan ujian skripsi.

Tabel 3. 4 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Jadwal Penelitian
1	Pengajuan judul (ACC)	04-12-2025
2	Penulisan proposal	20-12-2025
3	Bimbingan proposal	14-01-2026 – 27-02-2026
4	Seminar proposal	06-03-2026
5	Penelitian dan tindakan	21-03-2026
6	Penyusunan proposal lanjutan	29-03-2026
7	Analisis dan bimbingan hasil penelitian	08-04-2026
8	Ujian skripsi	

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

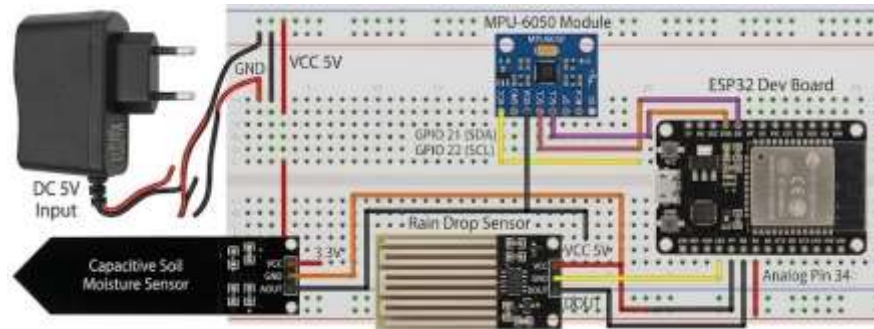
4.1 Pembuatan Perangkat Keras (Hardware)

Pembuatan perangkat keras dilakukan untuk mengembangkan sistem monitoring kemiringan pohon berbasis Internet of Things (IoT) secara real-time. Sistem ini dirancang agar mampu mendeteksi perubahan kemiringan pohon, kondisi kelembapan tanah, serta intensitas hujan, kemudian mengirimkan data tersebut ke aplikasi mobile sebagai bentuk peringatan dini terhadap potensi pohon tumbang.

Perangkat yang digunakan terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor MPU6050 untuk mendeteksi kemiringan dan percepatan, sensor soil moisture untuk mengukur kelembapan tanah, serta sensor hujan untuk mendeteksi kondisi cuaca. Selain itu, modul catu daya digunakan untuk menyuplai energi ke seluruh rangkaian agar sistem dapat bekerja secara kontinu.

Setiap komponen dihubungkan sesuai dengan fungsi masing-masing sehingga data dari sensor dapat dibaca, diproses, dan dikirimkan ke database secara real-time. Hasil pembuatan perangkat keras ditunjukkan melalui prototype alat monitoring pohon yang dirancang agar tahan terhadap kondisi lingkungan luar serta mampu bekerja secara stabil. Integrasi seluruh komponen memastikan sistem mampu memberikan informasi kondisi pohon secara menyeluruh, sehingga dapat membantu dalam upaya pencegahan risiko pohon tumbang di lingkungan sekitar.

4.1.1 Pembuatan Desain Prototype



Gambar 4. 1 Desain Prototype Alat

Desain prototype dilakukan untuk memvisualisasikan susunan perangkat secara keseluruhan sebelum tahap perakitan fisik dilakukan. Proses ini mencakup penempatan komponen utama, jalur koneksi, serta pengaturan posisi sensor agar dapat bekerja secara optimal.

Pada tahap ini, mikrokontroler ESP32 ditempatkan sebagai pusat kendali yang menghubungkan seluruh sensor. Sensor MPU6050 diposisikan untuk mendeteksi kemiringan pohon secara akurat, sedangkan sensor soil moisture ditempatkan pada bagian tanah di sekitar pohon untuk mengukur tingkat kelembapan. Sensor hujan dipasang pada area terbuka agar dapat mendeteksi intensitas air hujan secara langsung.

Desain prototype juga mempertimbangkan ketahanan perangkat terhadap kondisi lingkungan luar, seperti hujan dan panas, dengan menggunakan casing pelindung. Selain itu, efisiensi penggunaan energi juga diperhatikan agar perangkat dapat beroperasi dalam jangka waktu yang lama.

Dengan adanya desain prototype ini, proses perakitan dapat dilakukan secara lebih terstruktur, meminimalkan kesalahan, serta mempermudah tahap pengujian sistem secara keseluruhan.

4.1.2 Perakitan Perangkat Keras (Hardware)

Perakitan perangkat keras dilakukan setelah desain prototype selesai dengan

menghubungkan seluruh komponen sesuai dengan skema rangkaian yang telah dirancang. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data dari sensor MPU6050 melalui komunikasi I2C, serta membaca data dari sensor soil moisture dan sensor hujan melalui pin analog.

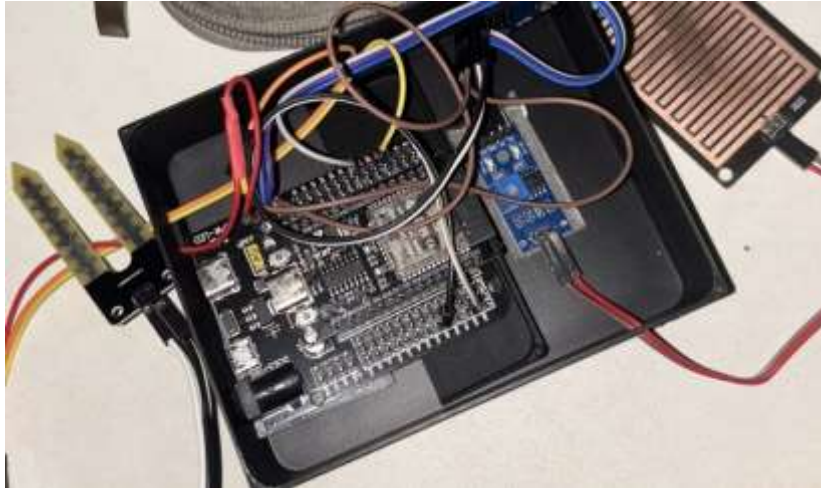
Hasil perakitan menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat bekerja dengan baik dalam membaca data kondisi lingkungan. Data kemiringan pohon, kelembapan tanah, dan kondisi hujan berhasil diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke database secara real-time.

Kabel power, ground, dan jalur data disusun secara rapi untuk menghindari kesalahan koneksi serta menjaga kestabilan sistem. Perangkat juga telah diuji secara fungsional untuk memastikan bahwa sensor dapat merespons perubahan kondisi dengan cepat dan akurat.

Dengan demikian, sistem perangkat keras yang telah dirakit siap digunakan sebagai alat monitoring pohon berbasis IoT yang dapat memberikan informasi secara real-time kepada pengguna.



Gambar 4. 2 Tampak Depan Alat | Gambar 4. 3 Tampak Belakang Alat



Gambar 4.4 Tampak Dalam Alat

4.2 Pembuatan Perangkat Lunak (Software)



Gambar 4.5 Tampilan Kondisi Normal

Gambar ini menampilkan antarmuka aplikasi monitoring saat kondisi pohon berada dalam keadaan normal. Status ditampilkan sebagai AMAN, yang menunjukkan bahwa tidak terdapat potensi bahaya. Nilai kemiringan pohon

ditampilkan dalam bentuk data numerik, disertai informasi kelembapan tanah dan kondisi hujan.

Tampilan ini memberikan informasi secara sederhana dan mudah dipahami oleh pengguna, sehingga memudahkan dalam melakukan pemantauan kondisi pohon secara berkala.



Gambar 4. 6 Tampilan Kondisi Waspada

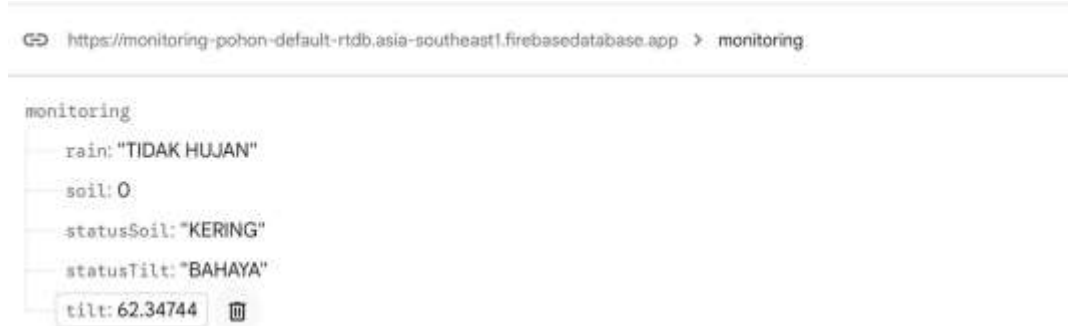
Gambar ini memperlihatkan antarmuka aplikasi ketika sistem mendeteksi kondisi yang mulai menunjukkan potensi risiko. Status ditampilkan sebagai WASPADA, yang menandakan adanya perubahan kondisi seperti peningkatan kemiringan pohon atau kelembapan tanah yang cukup tinggi. Data sensor ditampilkan secara real-time untuk memberikan gambaran kondisi aktual di lapangan. Tampilan ini memberikan peringatan dini kepada pengguna agar lebih memperhatikan kondisi pohon dan melakukan langkah antisipasi sebelum terjadi

kondisi yang lebih berbahaya.



Gambar 4. 7 Tampilan Kondisi Bahaya

Gambar ini menunjukkan antarmuka aplikasi saat sistem mendeteksi kondisi yang berpotensi berbahaya. Status ditampilkan sebagai BAHAYA, disertai notifikasi peringatan yang muncul pada layar, menandakan bahwa kemiringan pohon telah melebihi batas aman atau kondisi tanah sangat lembap akibat hujan. Data sensor ditampilkan secara real-time untuk memberikan informasi kondisi yang kritis. Dengan adanya notifikasi ini, pengguna dapat segera mengambil tindakan penanganan guna menghindari risiko pohon tumbang



Gambar 4. 8 Tampilan Firebase Realtime Database

Gambar ini menunjukkan tampilan Firebase Realtime Database yang digunakan untuk menyimpan data dari sistem monitoring. Data yang disimpan meliputi nilai kemiringan, kelembapan tanah, dan status hujan yang dikirimkan oleh ESP32.

Database ini memungkinkan aplikasi mobile untuk mengakses data secara langsung sehingga informasi dapat ditampilkan secara real-time. Integrasi dengan Firebase memastikan sistem monitoring dapat berjalan secara kontinu dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembuatan sistem monitoring pohon berbasis Internet of Things (IoT), maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Mikrokontroler ESP32 mampu berfungsi dengan baik sebagai pusat pengolahan data dalam sistem monitoring pohon. Perangkat ini dapat membaca dan mengelola data dari berbagai sensor serta mengirimkannya ke database secara real-time.
2. Sensor MPU6050, soil moisture, dan sensor hujan dapat bekerja secara efektif dalam mendeteksi kondisi kemiringan pohon, kelembapan tanah, serta intensitas hujan. Data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai indikator potensi terjadinya pohon tumbang.
3. Sistem monitoring berbasis aplikasi mobile menggunakan Expo Go mampu menampilkan data kondisi pohon secara real-time. Integrasi dengan Firebase Realtime Database memungkinkan informasi dapat diakses dengan cepat dan akurat oleh pengguna.

5.2 Saran

Sistem yang telah dibuat masih memiliki beberapa keterbatasan, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut. Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan perangkat dapat dilakukan dengan menambahkan pelindung

yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem agar alat lebih awet dan stabil saat digunakan di luar ruangan.

2. Aplikasi mobile dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur histori data, sehingga pengguna dapat melihat perubahan kondisi pohon dalam jangka waktu tertentu.
3. Penambahan sensor lain, seperti sensor angin, dapat meningkatkan akurasi sistem dalam mendeteksi potensi pohon tumbang.
4. Sistem notifikasi dapat dikembangkan lebih lanjut agar terintegrasi dengan pihak terkait, seperti petugas lingkungan atau layanan darurat, sehingga penanganan dapat dilakukan lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Akram, R. S., Satrio, A., Sutejo, B., Martha, A. A., Widodo, H. S., Nugroho, H. A., Prakoso, T. A., & Hidayat, N. (2025). Instrument Response of the Indonesian People's Accelerograph (ARI) Type I Based on MEMS Sensor MPU6050. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 13(2), 164. <https://doi.org/10.33394/jps.v13i2.15206>
- Alerafi, N., & Sriyanti, R. (2024). PROTOTYPE SMART GOR MENGGUNAKAN NODEMCU ESP8266 UNTUK KONTROL LAMPU OTOMATIS. *Jurnal BATIRSI*, 8(1).
- Antara Sumut, (2025). *Dua warga luka berat tertimpa pohon di Medan Denai*. <https://sumut.antaranews.com/berita/331942/dua-warga-luka-berat-tertimpa-pohon-di-medan-denai>
- Biabdillah, F., Wajiansyah, A., Mulia, A., & Wa ode denada mar ella. (2026). SMARTSOIL: SISTEM MONITORING KELEMBABAN TANAH BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN ESP32 DAN SENSOR SOIL MOISTURE. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 14(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v14i1.8788>
- Detik Sumut, (2025). *Hujan Disertai Angin Terjang Medan, Jalanan Banjir-Sejumlah Pohon Tumbang*. <https://www.detik.com/sumut/berita/d-7402538/hujan-disertai-angin-terjang-medan-jalanan-banjir-sejumlah-pohon-tumbang>
- Dini, O. N., Rhisma, D., & Sari, E. (2022). *Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Pohon Tua Berbahaya*.
- Dodik Kurniawan, M., & Budjianto, A. (2025). IMPLEMENTASI SISTEM PROGRAMABLE TIMER MENGGUNAKAN ESP32-C3 SUPERMINI DENGAN TAMPILAN OLED DAN INDIKATOR BUZZER. Dalam *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 9, Nomor 6).
- Espressif. (2022). *ESP32 Technical Overview*. <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- Febianto, A., Rahman Putera, A., & Nugrahanti, F. (2022). *Analisa Perancangan Sistem Pendukung Keputusan Stock By Condition Suku Cadang Motor Berbasis Web Dengan Metode Moora*.
- Fitriawati, N., Maariz, A., Aqil Wiputra, M., Randika Dafa Armanto, M., & Cahayani, E. (2023). *INOVASI PROTOTIPE: SISTEM MONITORING TINGGI AIR*.

- Halim, W., & Ardiani, F. (2024). Pengembangan Aplikasi Android untuk Monitoring Suhu dan Kelembaban berbasis Internet of Things. Dalam *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi (JIMIK)* (Vol. 5, Nomor 2). <https://journal.stmiki.ac.id>
- Kamal, Mahanin Tyas, U., & Apri Buckhari, A. (2023). *IMPLEMENTASI APLIKASI ARDUINO IDE PADA MATA KULIAH SISTEM DIGITAL* (Vol. 1, Nomor 1).
- Marthiawati, Kevin Kurniawansyah, Hafiz Nugraha, & Fiqa Khairunnisa. (2024). Pelatihan Pembuatan UML (Unified Modelling Language) Menggunakan Aplikasi Draw.io Pada Prodi Sistem Informasi Universitas Muhammadiyah Jambi. *Transformasi Masyarakat : Jurnal Inovasi Sosial dan Pengabdian*, 1(2), 25–33. <https://doi.org/10.62383/transformasi.v1i2.109>
- Mistar, (2025). *Sembilan Pohon Tumbang Akibat Hujan Deras di Medan*. <https://mistar.id/news/medan/sembilan-pohon-tumbang-akibat-hujan-deras-di-medan>
- Nabawiah, S., Pamunca, A. R., Wahyuni, D. S., Sukendro, A., Kurniawati, F., Herliyana, E. N., Rachmadiyanto, A. N., & Putra, E. I. (2025). PENILAIAN TINGKAT KERUSAKAN POHON DARI BERBAGAI FAMILI DI KEBUN RAYA BOGOR Assessing the Damage Level of Trees from Different Families in Bogor Botanical Gardens. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 16(01).
- Ningsih, W., & Nurfauziah, H. (2023). *PERBANDINGAN MODEL WATERFALL DAN METODE PROTOTYPE UNTUK PENGEMBANGAN APLIKASI PADA SISTEM INFORMASI*.
- Norhayati. (2022). Rancangan RANCANGAN APLIKASI READING COMPREHENSION BERBASIS WEB. *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, 3(3), 331–340. <https://doi.org/10.37859/coscitech.v3i3.4308>
- Parulian Sinaga, G., & Abdi Prawira Tanjung, M. (2025). RANCANG BANGUN SMART DONATION BOX UNTUK OTOMATISASI PERHITUNGAN DANA DONASI BERBASIS IOT. In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 9, Issue 5).
- Prasetyo, S., & Susanto, R. (2025). Design and Construction of an Internet of Things-Based Landslide Early Detection System in Landslide-Prone Areas. *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering*, 5(2), 458–474. <https://doi.org/10.30811/jaise.v5i2.6847>
- Purwidiyanti, Latifah, S., & Hidayati, E. (2023). ANALISIS KESEHATAN POHON DI TAMAN RIA TAMAN KOTA DI KOTA BIMA. *Jurnal Rimba Lestari*, 2(2), 52–62. <https://doi.org/10.29303/rimbalestari.v2i2.1284>

- Rachman, I. N. A., & Nahlunnisa, H. (2024). Analisis Tingkat Kerusakan Pepohonan Kota Sebagai Dasar Mitigasi Bencana Angin Di Lima Jalan Utama Kota Mataram. *JURNAL TENGGAWANG*, 14, 138–149.
- Raharja, S. D., Saurina, N., & Setiawan Indras Pratama, A. (2024). *Pemanfaatan Internet of Things untuk Monitoring Deteksi Tanah Longsor*. IX(4).
- Rasyad, S., Rahman, A., & Anggara, A. (2025). *Alat Monitoring Kondisi Udara Dan Cuaca Pada Ruang Terbuka Berbasis Iot Dengan Platfrom Via Telegram*. 10(1). <https://doi.org/10.31851/ampere>
- Sabarina, N., Zahara, M., Jannah, M., & Artikel, H. (2023). *Sistem IoT (Internet of Things) Untuk Mendeteksi Kelembapan Tanah Pada Tanaman Cabai Berbasis Node MCU Info Artikel ABSTRAK* (Vol. 1, Nomor 1). <https://jurnal.komputasi.org/index.php/jst>
- Setiawan, H. K., Rudi Susanto, & Pramono. (2024). Consumer Counting System in Stores Based on Internet of Things (IoT) With ESP 32 Microcontroller and Ultrasonic Distance Sensor. *Journal of Advances in Information and Industrial Technology*, 6(2), 93–102. <https://doi.org/10.52435/jaiit.v6i2.569>
- Syahri, A., & Basri, Mhd. (2025). Perancangan Sistem Keamanan untuk Deteksi Pencurian Menggunakan Sensor Magnetic dan RFID Berbasis Internet of Things. *Hello World Jurnal Ilmu Komputer*, 4(3), 163–170. <https://doi.org/10.56211/helloworld.v4i3.1166>
- Tua, R., & Muthalib, M. (2024). Implementation of system landslide disaster mitigation based internet of things Rancang bangun mitigasi bencana longsor berbasis internet of things. *Journal Geuthee of Engineering and Energy (JOGE)*, 3(1), 43–50. <https://doi.org/10.52626/joge.v%vi%i.35>

