SISTEM MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS STEK TANAMAN MAWAR MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED CONTROL BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

MUHAMMAD TAUFIQ MANDILI NASUTION

2509020257P



PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

SISTEM MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS STEK TANAMAN MAWAR MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED CONTROL BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

SKRIPSI

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

MUHAMMAD TAUFIQ MANDILI NASUTION
NPM. 2509020257P

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFROMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi	:	**SISTEM MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS STEK TANAMAN MAWAR MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED CONTROL BERBASIS INTERNET OF THING (IOT)**
Nama Mahasiswa	:	MUHAMMAD TAUFIQ MANDILI NASUTION
NPM	:	2509020257P
Program Studi	:	TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing

Ferdy Riza, S.T., M.Kom
NIDN. 0103068901

Ketua Program Studi

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

Dekan

(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

SISTEM MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS STEK TANAMAN MAWAR MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED CONTROL BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

SKRIPSI

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

Medan, 20 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Mhd Taufiq Mandili Nst

NPM. 2509020257P

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama	: Muhammad Taufiq Mandili Nasution
NPM	: 2509020257P
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

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

SISTEM MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS STEK TANAMAN MAWAR MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED CONTROL BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

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, 20 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



MHD TAUFIQ MANDILI NST

NPM. 2509020257P

Dipindai dengan CamScanner

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: Muhammad Taufiq Mandili Nasution
Tempat dan Tanggal Lahir	: Sipirok, 22 Maret 2003
Alamat Rumah	: Jl. Pasar Belakang, Pasar Sipirok
Telepon/Faks/HP	: 085148497988
E-mail	: taufiqnst393@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	:
Alamat Kantor	:

DATA PENDIDIKAN

SD	: SD N 101206 SIPIROK	TAMAT: 2008 - 2015
SMP	: SMP N 1 SIPIROK	TAMAT: 2015 - 2018
SMA	: SMA N 1 ARSE	TAMAT: 2018 - 2021

KATA PENGANTAR



Puji Syukur kepada Allah SWT berkat Rahmat, Hidayah, dan Karunia-nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi dengan judul "**SISTEM MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS STEK TANAMAN MAWAR MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED CONTROL BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)"**.

Laporan proposal skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mengerjakan skripsi pada program Strata-1 di Jurusan Teknologi Informasi Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Penulis menyadari dalam penyusunan proposal skripsi ini tidak akan selesai tanpa batuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimah kasih Kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Al - Khowarizmi, S.Kom., M.Kom selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Dr. firahmi rizky, S.kom., M.Kom Wakil Dekan I Program Studi Teknologi Informasi
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom. Wakil Dekan III Program Studi Teknologi Informasi
5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom. Ketua Prodi Program Studi Teknologi Informasi
6. Bapak Okvi Nugroho, S.Kom, M.Kom. Sekretaris Prodi Teknologi Informasi
7. Bapak Ferdy Riza, S.T., M.Kom yang telah membantu penulis dalam keberhasilan pembuatan skripsi ini.
8. Saya ucapkan Terima kasih kepada orang tua saya, yang telah memberikan dukungan dari segi doa dan usahanya.

Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga laporan proposal skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi bidang Pendidikan dan penerapan dilapangan serta bisa dikembangkan lebih lanjut.

Medan, 20 Agustus 2026



MUHAMMAD TAUFIQ MANDILI NASUTION

Dipindai dengan CamScanner

SISTEM MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS STEK TANAMAN MAWAR MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED CONTROL BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

ABSTRAK

Tanaman mawar (*Rosa sp.*) merupakan tanaman hias yang memiliki nilai estetika dan ekonomi serta dapat diperbanyak melalui stek. Keberhasilan pertumbuhan stek dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama kelembapan media tanam. Penyiraman secara manual belum tentu sesuai dengan kondisi media tanam, sehingga diperlukan sistem monitoring dan penyiraman otomatis. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 dengan algoritma *Rule Based Control*. Sistem menggunakan sensor *capacitive soil moisture* untuk mengukur kelembapan media tanam dan sensor DHT22 untuk memantau suhu serta kelembapan udara. Pengendalian penyiraman menggunakan aturan IF-THEN dengan ambang batas kelembapan 40%. Pompa air akan aktif ketika kelembapan media tanam di bawah 40% dan mati ketika kelembapan mencapai atau melebihi nilai tersebut. Data sensor ditampilkan secara real-time melalui dashboard web berbasis PHP, MySQL, dan XAMPP. Hasil pengujian terhadap 20 data menunjukkan tingkat akurasi pengendalian sebesar 100%. Pada kondisi kering dengan kelembapan 10–15%, pompa berhasil aktif, sedangkan pada kondisi basah dengan kelembapan 59–67%, pompa tetap mati. Dashboard web juga berhasil menampilkan data sensor secara real-time, menyimpan riwayat pembacaan, serta menyediakan kendali manual untuk pompa pupuk. Dengan demikian, sistem ini mampu melakukan monitoring dan penyiraman otomatis berdasarkan kondisi kelembapan media tanam serta mendukung pemeliharaan stek tanaman mawar.

Kata kunci: Internet of Things, ESP32, Rule Based Control, Soil Moisture, DHT22, Penyiraman Otomatis, Stek Tanaman Mawar.

MONITORING AND AUTOMATIC WATERING SYSTEM FOR ROSE CUTTINGS USING A RULE-BASED CONTROL ALGORITHM BASED ON THE INTERNET OF THINGS (IOT)

ABSTRACT

Rose (Rosa sp.) is an ornamental plant with aesthetic and economic value that can be propagated through stem cuttings. The growth of rose cuttings is influenced by environmental conditions, particularly the moisture level of the growing medium. Manual watering may not always match the actual moisture conditions, making an automated monitoring and watering system necessary. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based monitoring and automatic watering system using an ESP32 microcontroller and the Rule Based Control algorithm. The system uses a capacitive soil moisture sensor to measure growing medium moisture and a DHT22 sensor to monitor air temperature and humidity. Watering is controlled using IF-THEN rules with a moisture threshold of 40%. The water pump is activated when the moisture level falls below 40% and deactivated when it reaches or exceeds this threshold. Sensor data are displayed in real time through a web dashboard developed using PHP, MySQL, and XAMPP. Testing of 20 data points showed a control accuracy of 100%. Under dry conditions with moisture levels of 10–15%, the pump operated as expected, while under wet conditions with moisture levels of 59–67%, the pump remained off. The web dashboard also successfully displayed real-time sensor data, stored measurement history, and provided manual control of the fertilizer pump. Therefore, the developed system can monitor environmental conditions and automate watering based on the moisture level of the growing medium, supporting the maintenance of rose cuttings.

*Keywords**:** Internet of Things, ESP32, Rule Based Control, Soil Moisture, DHT22, Automatic Watering, Rose Cuttings.*

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN..... i
PERNYATAAN ORISINALITAS..... ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... iii
RIWAYAT HIDUP..... iv
KATA PENGANTAR..... v
ABSTRAK..... vii
ABSTRACT..... viii
DAFTAR ISI..... ix
DAFTAR GAMBAR..... xii
DAFTAR TABEL..... xiii
BAB I. PENDAHULUAN..... 1
1.1 Latar Belakang Masalah..... 1
1.2 Rumusan Masalah..... 2
1.3 Batasan Masalah..... 3
1.4 Tujuan Penelitian..... 3
1.5 Manfaat Penelitian..... 4
BAB II. LANDASAN TEORI..... 5
2.1. Internet of Things (IoT)..... 5
2.1.2. Komponen IoT..... 5
2.1.2.1. ESP 32 Devkit V1..... 5
2.1.2.2. Micro Water Pump 12V..... 6
2.1.2.3. Sensor Soil Mosture..... 7
2.1.2.4. Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT22)..... 8
2.1.2.1. Relay 2 channel..... 9
2.1.2.1. Arduino IDE..... 10
2.2. Algoritma Rule Based Control..... 11
2.2.1. Pengertian Rule Based Control..... 11
2.2.2. Konsep Aturan IF-THEN..... 12
2.2.3. Threshold..... 12
2.2.1. Persamaan Algoritma Rule Based Control..... 13
2.3. Mawar *(Rosa sp)*..... 14
2.3.1. Tanaman Mawar..... 14
2.3.2. Metode Perbanyakan Tanaman Melalui Stek..... 14
2.3.2. Faktor Pertumbuhan Stek Tanaman Mawar..... 15
2.4. Unified Modeling Language (UML)..... 16
2.3.2. Pengertial UML..... 16
2.3.2. Use Case Diagram..... 17
2.3.2. Activity Diagram..... 18
2.3.2. Class Diagram..... 18
2.5. Penelitian Terdahulu..... 19
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN..... 22
3.1. Alat Dan Bahan Penelitian..... 22
3.1.1. Alat..... 22
3.1.2. Bahan..... 23
3.2. Teknik Pengumpulan Data..... 23
3.3. Perancangan Sistem..... 24

3.3.1. Diagram Blok Sistem..... 24
3.3.2. Penerapan Algoritma Rule Based Control..... 27
3.4. Perancangan Hardware..... 28
3.4.1. Desain Visual 3D..... 29
3.5. Perancangan Software..... 31
3.5.1. Perancangan Program ESP32 Menggunakan Arduino IDE... 31
3.5.2. Perancangan Koneksi Wi-Fi dan Dashboard Web..... 31
3.5.3. Perancangan Kontrol Manual Pompa Pupuk via Dashboard Web..... 32
3.6. Perancangan UML Sistem..... 33
3.6.1. Use Case Diagram..... 33
3.6.2. Activity Diagram..... 35
3.6.3. Class Diagram..... 37
3.7. Pengujian Sistem..... 39
3.7.1. Pengujian Sensor..... 39
3.7.2. Pengujian Algoritma Rule Based Control..... 39
3.7.3. Pengujian Aktuator..... 40
3.7.4. Pengujian Sistem Monitoring Dashboard..... 40
3.7.5. Pengujian Sistem Keseluruhan..... 40
3.8. Analisis Sistem..... 40
3.8.1. Analisis Pembacaan Sensor..... 41
3.8.2. Analisis Kinerja Algoritma Rule Based Control..... 41
3.8.3. Analisis Kinerja Sistem Penyiraman..... 41
3.8.4. Analisis Sistem Monitoring IoT..... 41
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... 42
4.1. Implementasi Hardware..... 42
4.2. Implementasi Dashboard Web..... 43
4.3. Hasil Pengujian Sensor..... 46
4.3.1. Pengujian Sensor Kelembapan Tanah (Soil Moisture)..... 46
4.3.2. Pengujian Sensor DHT22..... 48
4.4. Hasil Pengujian Algoritma Rule Based Control..... 49
4.4.1. Analisis Tingkat Akurasi Algoritma..... 51
4.5. Hasil Pengujian Aktuator..... 51
4.6. Hasil Pengujian Dashboard Web dan Kontrol Manual Pompa Pupuk..... 52
4.7. Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan..... 53
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... 55
5.1. Kesimpulan..... 55
5.2 Saran..... 56
DAFTAR PUSTAKA..... 57

DAFTAR GAMBAR

2.1. ESP 32 Devkit V1 6
2.2. Micro Water Pump 12V 7
2.3. Sensor Soil Mosture 8
2.4. Sensor DHT22 9
2.5. Relay 2 Channel 10
2.6. Arduino IDE 11
3.1. Diagram blok sistem 25
3.2. Desain Penerapan Algoritma 27
3.3. Skema Rangkaian 29
3.4. Desain Visual 3D 30
3.5. Use Case Diagram Sistem 34
3.6. Activity Diagram 36
3.7. Class Diagram 38
4.1. Hasil Implementasi Alat 42
4.2. Dashboard Web 44
4.3. Riwayat Data Sensor 45

DAFTAR TABEL

2.1. Simbol Use Case Diagram..... 17
2.2. Simbol Activity Diagram..... 18
2.3. Simbol Class Diagram..... 19
2.4. Penelitian Terdahulu..... 20
3.1. Peralatan Yang Digunakan..... 22
3.2. Bahan Hardware..... 23
3.3. Bahan Software..... 23
3.4. Deskripsi Use Case..... 40
4.1. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah..... 46
4.2. Hasil Pengujian Sensor DHT22..... 48
4.3. Hasil Pengujian Algoritma Rule Based Control..... 49
4.4. Hasil Pengujian Aktuator..... 51
4.5. Hasil Pengujian Dashboard Web..... 52
4.6 Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan..... 54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Tanaman mawar (*Rosa sp.*) merupakan salah satu tanaman hias yang banyak dibudidayakan karena memiliki nilai keindahan dan nilai ekonomi. Salah satu cara perbanyakan tanaman mawar adalah menggunakan metode stek karena dapat menghasilkan tanaman baru yang memiliki karakteristik sama dengan tanaman induknya. Namun, keberhasilan pertumbuhan stek tanaman mawar dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama ketersediaan air dan kelembapan media tanam. Pada fase awal pertumbuhan, akar tanaman masih belum berkembang dengan baik sehingga membutuhkan kondisi media tanam yang sesuai agar dapat tumbuh secara optimal.

Kelembapan media tanam menjadi salah satu faktor penting dalam proses perawatan tanaman karena berpengaruh terhadap ketersediaan air bagi akar. Media tanam yang terlalu kering dapat menyebabkan tanaman kekurangan air, sedangkan media yang terlalu basah dapat menghambat perkembangan akar. Oleh karena itu, pemberian air perlu dilakukan sesuai dengan kondisi kelembapan media tanam, bukan hanya berdasarkan perkiraan waktu penyiraman. Penelitian Aisyah et al. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan sensor kelembapan tanah pada sistem irigasi berbasis *Internet of Things (IoT)* dapat membantu menentukan kebutuhan penyiraman tanaman secara lebih tepat dan efisien.

Pada proses pemeliharaan tanaman, penyiraman masih sering dilakukan secara manual sehingga membutuhkan perhatian dan waktu dari pengguna. Selain itu, penyiraman berdasarkan jadwal tertentu belum tentu sesuai dengan kebutuhan tanaman karena kondisi media tanam dapat berubah. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah membuat sistem penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things (IoT).* Sistem ini memanfaatkan sensor untuk membaca kondisi media tanam, mikrokontroler untuk mengolah data, serta pompa air sebagai alat penyiraman otomatis. Penggunaan mikrokontroler ESP32 banyak diterapkan pada sistem IoT karena memiliki kemampuan pengolahan data dan koneksi internet

yang mendukung proses monitoring serta pengendalian perangkat secara otomatis (Correa-Quiroz et al., 2025).

Pada penelitian ini, metode pengambilan keputusan menggunakan algoritma *Rule Based Control*. Algoritma ini bekerja berdasarkan aturan tertentu dengan konsep *if-then* untuk menentukan tindakan sistem. Data dari sensor kelembapan media tanam akan diproses oleh ESP32, kemudian sistem akan menentukan apakah pompa air perlu diaktifkan atau dimatikan. Apabila kelembapan media tanam berada di bawah batas yang telah ditentukan, maka pompa akan menyala, sedangkan apabila kelembapan sudah mencukupi maka pompa akan berhenti bekerja.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar berbasis Internet of Things dengan penerapan algoritma *Rule Based Control*. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat membantu proses perawatan stek tanaman mawar melalui penyiraman otomatis berdasarkan kondisi kelembapan media tanam serta mengurangi ketergantungan terhadap penyiraman secara manual.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem monitoring dan penyiraman otomatis pada stek tanaman mawar (*Rosa sp.*) berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32?
2. Bagaimana menerapkan algoritma *Rule Based Control* dalam menentukan keputusan penyiraman otomatis berdasarkan nilai kelembapan media tanam?
3. Bagaimana kinerja sistem dalam membaca kondisi kelembapan media tanam dan mengendalikan pompa air secara otomatis pada stek tanaman mawar?

1.3. Batasan Masalah

Untuk mengatasi perluasan pembahasan yang tidak sesuai dengan tujuan penelitian, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada beberapa hal berikut:

1. Objek penelitian yang digunakan adalah stek tanaman mawar (*Rosa sp.*).
2. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data dan pengendalian sistem.
3. Parameter utama yang digunakan dalam pengambilan keputusan penyiraman adalah nilai kelembapan media tanam dalam pot/polibek.
4. Sensor DHT22 digunakan untuk memonitor kondisi suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman.
5. Algoritma yang digunakan dalam sistem adalah *Rule Based Control* dengan aturan berdasarkan nilai kelembapan media tanam.
6. Aktuator yang dikendalikan dalam sistem adalah pompa air untuk melakukan penyiraman otomatis dan pompa pupuk cair yang dikendalikan secara manual melalui *Dashboard Web*.
7. Implementasi penelitian ini hanya dilakukan pada sistem berbasis web dan tidak mencakup pengembangan aplikasi berbasis mobile.
8. Penguijian sistem dilakukan dalam jangka waktu terbatas dan tidak mencakup seluruh siklus stek tanaman mawar secara penuh.
9. Penelitian tidak membahas faktor lain yang memengaruhi tanaman seperti intensitas cahaya, hama, penyakit tanaman, dan analisis fisiologi tanaman secara mendalam.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukan penelitian ini antara lain untuk:

1. Merancang sistem monitoring dan penyiraman otomatis pada stek tanaman mawar (*Rosa sp.*) berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32.
2. Menerapkan algoritma *Rule Based Control* sebagai metode pengambilan keputusan penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan media tanam.
3. Menguji kinerja sistem dalam membaca kelembapan media tanam dan mengendalikan pompa air secara otomatis.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat diharapkan dari penelitian ini yaitu:

1. Menghasilkan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things yang dapat membantu proses pemeliharaan stek tanaman mawar berdasarkan kondisi kelembapan media tanam.
2. Memberikan penerapan algoritma *Rule Based Control* pada sistem otomatisasi tanaman sehingga proses pengambilan keputusan penyiraman dapat dilakukan secara terstruktur.
3. Menjadi referensi pengembangan sistem berbasis IoT dan mikrokontroler untuk penerapan teknologi pertanian cerdas (*smart farming*).

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Internet Of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor, mikrokontroler, dan aktuator saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pengumpulan data dan pengendalian secara otomatis. Teknologi IoT memungkinkan suatu sistem dapat melakukan pemantauan kondisi secara *real-time* tanpa harus dilakukan secara langsung oleh pengguna (Kumar et al., 2023).

Dalam bidang pertanian, IoT banyak diterapkan untuk mendukung konsep *smart farming* melalui penggunaan sensor yang mampu membaca kondisi lingkungan tanaman. Data yang diperoleh dari sensor dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan pengambilan keputusan otomatis, seperti pengaturan sistem penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan media tanam (Aisyah et al., 2025).

Dalam penelitian ini, IoT diterapkan untuk mendukung pemantauan kondisi media tanam dan pengaturan penyiraman secara otomatis pada stek tanaman mawar. Sensor kelembapan digunakan untuk memperoleh data kondisi media tanam, kemudian ESP32 mengolah data tersebut berdasarkan aturan pada algoritma Rule Based Control guna menentukan apakah pompa air perlu diaktifkan atau dihentikan.

2.1.1 Komponen IoT

2.1.1.1 ESP 32 Devkit V1

ESP32 DevKit V1 merupakan papan pengembangan (*development board*) yang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai komponen utama untuk menjalankan proses pengolahan data pada berbagai aplikasi berbasis elektronik dan Internet of Things (IoT). ESP32 dikembangkan oleh Espressif Systems dengan kemampuan pemrosesan yang cukup tinggi serta memiliki fitur komunikasi nirkabel berupa Wi-Fi dan Bluetooth yang sudah terintegrasi (*on-board*) sehingga dapat mendukung koneksi antarperangkat dalam sistem IoT (Espressif Systems, 2024).

ESP32 DevKit V1 memiliki beberapa fitur pendukung seperti pin *General Purpose Input Output* (GPIO), *Analog to Digital Converter* (ADC), serta antarmuka komunikasi UART, SPI, dan I2C. Fitur tersebut memungkinkan ESP32 terhubung dengan berbagai perangkat masukan seperti sensor maupun perangkat keluaran seperti aktuator untuk membangun sistem otomatisasi (Barral Vales et al., 2024).

ESP32 banyak digunakan dalam pengembangan sistem IoT karena memiliki ukuran yang relatif kecil, konsumsi daya rendah, kemampuan pengolahan data yang baik, serta mendukung komunikasi internet tanpa memerlukan modul tambahan. Kemampuan tersebut menjadikan ESP32 sebagai salah satu mikrokontroler yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem monitoring, otomasi rumah, dan sistem pertanian berbasis teknologi (*smart farming*) (Sutono & Mohamed, 2025).



Gambar 2.1 ESP 32 Devkit V1
Sumber : (Barral Vales et al., 2024).

2.1.1.2 Micro Water Pump 12V

Micro Water Pump 12V merupakan perangkat elektromekanik yang berfungsi untuk memindahkan air atau cairan dari satu tempat ke tempat lainnya menggunakan energi listrik sebagai sumber penggerak. Pompa ini bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui motor DC sehingga menghasilkan tekanan yang dapat mendorong aliran air (Sari et al., 2023).

Pompa air mini dengan tegangan 12V banyak digunakan pada sistem otomatisasi skala kecil karena memiliki ukuran yang ringkas, mudah dikendalikan, dan membutuhkan daya yang relatif rendah. Penggunaan pompa DC memungkinkan perangkat dikendalikan oleh mikrokontroler melalui komponen

tambahan seperti relay atau *driver module* sebagai penghubung antara sistem kendali dengan sumber daya pompa (Pratama et al., 2024).

Dalam sistem berbasis IoT dan otomatisasi pertanian, *Micro Water Pump* sering digunakan sebagai aktuator untuk mengatur distribusi air berdasarkan keputusan sistem kendali. Integrasi antara pompa air, sensor, dan mikrokontroler memungkinkan proses pemberian air dilakukan secara otomatis sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan (Rahman et al., 2025).



Gambar 2.2 Micro Water Pump 12V
Sumber : (Pratama et al., 2024).

2.1.1.3 Sensor Soil Mosture

Sensor kelembapan tanah (*soil moisture sensor*) merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur tingkat kandungan air atau kelembapan yang terdapat pada media tanah. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan karakteristik listrik pada tanah akibat perbedaan kadar air, kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh mikrokontroler (Aisyah et al., 2025).

Secara umum, sensor kelembapan tanah memiliki dua jenis keluaran, yaitu sinyal analog dan digital. Sinyal analog menghasilkan nilai yang berubah sesuai dengan tingkat kelembapan tanah, sedangkan sinyal digital memberikan keluaran berdasarkan batas nilai tertentu yang telah diatur melalui modul komparator. Sensor dengan keluaran analog lebih sering digunakan pada sistem otomatisasi karena memberikan data kelembapan yang lebih detail (Sutono & Mohamed, 2025).

Prinsip kerja sensor kelembapan tanah menggunakan perubahan nilai resistansi atau konduktivitas antara elektroda sensor ketika terjadi perubahan

kadar air pada media tanam. Kandungan air yang lebih tinggi menyebabkan media memiliki kemampuan menghantarkan listrik yang lebih baik, sehingga menghasilkan perubahan nilai pembacaan sensor (Rahman et al., 2024).

Sensor kelembapan tanah banyak digunakan dalam sistem pertanian berbasis teknologi karena mampu memberikan informasi kondisi air pada media tanam secara langsung. Data dari sensor tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan sistem penyiraman otomatis untuk menjaga ketersediaan air sesuai kebutuhan tanaman (Correa-Quiroz et al., 2025).



Gambar 2.3 Sensor Soil Mosture
Sumber : (Rahman et al., 2024)

2.1.1.4 Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT22)

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara secara bersamaan. Sensor ini memiliki kemampuan membaca perubahan kondisi lingkungan dan menghasilkan data digital yang dapat langsung diproses oleh mikrokontroler. DHT22 banyak digunakan pada sistem monitoring lingkungan karena memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan sensor sejenis seperti DHT11 (Aosong Electronics, 2023).

Sensor DHT22 menggunakan elemen kapasitif untuk mendeteksi kelembapan udara dan termistor untuk mengukur suhu. Data hasil pembacaan sensor dikonversi menjadi sinyal digital sehingga proses komunikasi dengan mikrokontroler dapat dilakukan menggunakan satu jalur komunikasi (*single-wire communication*) yang sederhana (Raj et al., 2024).

DHT22 memiliki rentang pengukuran suhu sekitar -40°C hingga 80°C dengan tingkat akurasi sekitar ±0,5°C, sedangkan pengukuran kelembapan berada pada rentang 0–100% Relative Humidity (RH). Karakteristik tersebut membuat sensor DHT22 banyak digunakan dalam berbagai sistem monitoring berbasis Internet of Things yang membutuhkan pengukuran kondisi lingkungan secara berkala (Kumar et al., 2023).

Dalam penerapan sistem otomatisasi pertanian, sensor DHT22 digunakan untuk memperoleh informasi kondisi lingkungan sekitar tanaman, seperti perubahan suhu dan kelembapan udara. Data tersebut dapat digunakan sebagai informasi tambahan dalam proses pemantauan kondisi tanaman dan lingkungan pertumbuhan (Sutono & Mohamed, 2025).



Gambar 2.4 Sensor DHT22
Sumber : (Sutono & Mohamed, 2025).

2.1.1.5 Relay 2 channel

Relay Module 2 Channel merupakan komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengendalikan perangkat listrik menggunakan sinyal dari mikrokontroler. Relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, yaitu perubahan kondisi kontak saklar akibat adanya medan magnet pada kumparan relay (Kumar et al., 2023).

Relay dua channel memiliki dua jalur saklar yang dapat digunakan untuk mengendalikan dua perangkat secara terpisah. Komponen ini sering digunakan pada sistem berbasis mikrokontroler karena mampu menghubungkan perangkat

dengan kebutuhan daya lebih besar tanpa memberikan beban langsung pada pin mikrokontroler (Pratama et al., 2024).

Dalam sistem otomatisasi berbasis IoT, relay berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dan aktuator seperti pompa air atau perangkat listrik lainnya. Pengendalian dilakukan dengan memberikan sinyal ON/OFF dari mikrokontroler sehingga aktuator dapat bekerja sesuai keputusan sistem (Sutono & Mohamed, 2025).



Gambar 2.5 Relay 2 Channel
Sumber : (Sutono & Mohamed, 2025).

2.1.1.6 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, melakukan kompilasi, dan mengunggah program ke berbagai jenis mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32. Arduino IDE menyediakan lingkungan pemrograman berbasis bahasa C/C++ yang memudahkan pengguna dalam membuat program untuk mengendalikan perangkat elektronik berbasis mikrokontroler (Arduino, 2024).

Arduino IDE memiliki beberapa fitur utama, seperti *editor code* untuk penulisan program, *compiler* untuk mengubah kode program menjadi bahasa mesin yang dapat dipahami mikrokontroler, serta *serial monitor* untuk melakukan pemantauan komunikasi data antara komputer dan perangkat mikrokontroler. Fitur tersebut membantu proses pengembangan dan pengujian sistem berbasis mikrokontroler (Kurniawan et al., 2023).

Dalam pengembangan sistem berbasis ESP32, Arduino IDE dapat digunakan dengan menambahkan dukungan *board package* ESP32 sehingga pengguna dapat melakukan pemrograman, konfigurasi pin, serta mengatur komunikasi antara mikrokontroler dengan sensor maupun aktuator. Penggunaan Arduino IDE pada sistem IoT banyak diterapkan karena memiliki antarmuka sederhana dan mendukung berbagai pustaka (*library*) yang diperlukan untuk integrasi perangkat elektronik (Rahman et al., 2024).



Gambar 2.6 Arduino IDE
Sumber : (Arduino, 2024)

2.2 Algoritma Rule Based Control

2.2.1 Pengertian Rule Based Control

Rule Based Control merupakan metode pengendalian yang menggunakan sekumpulan aturan untuk menghasilkan suatu keputusan berdasarkan kondisi masukan yang diterima oleh sistem. Metode ini menerapkan aturan berbentuk IF-THEN, yaitu apabila suatu kondisi terpenuhi maka sistem akan menjalankan tindakan tertentu sesuai aturan yang telah ditentukan (Wang et al., 2023).

Pada sistem kendali berbasis sensor, *Rule Based Control* digunakan untuk menghubungkan nilai masukan dari sensor dengan tindakan yang dilakukan oleh aktuator. Metode ini memiliki struktur aturan yang sederhana sehingga mudah diterapkan pada berbagai sistem otomatisasi berbasis mikrokontroler.

2.2.2 Konsep Aturan IF-THEN

Pada algoritma *Rule Based Control*, aturan dibuat berdasarkan hubungan antara kondisi masukan (*condition*) dan tindakan keluaran (*action*). Kondisi merupakan nilai yang diperoleh dari sensor, sedangkan tindakan merupakan keputusan yang diberikan oleh sistem berdasarkan aturan yang telah dibuat.
Bentuk umum aturan pada *Rule Based Control* adalah:

IF kondisi THEN aksi

Pada sistem penyiraman otomatis, kondisi yang digunakan adalah nilai kelembapan media tanam, sedangkan aksi yang diberikan berupa pengaktifan atau penghentian pompa air.
Aturan sistem dapat dituliskan sebagai berikut:
Rule 1

IF SM < T

THEN Pompa = ON

Rule 2

IF SM ≥ T

THEN Pompa = OFF

Keterangan:

a) SM = nilai kelembapan media tanam.
b) T = nilai batas kelembapan (*threshold*).

2.2.3 Threshold

Threshold merupakan nilai batas yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan keputusan suatu sistem. Nilai ini berfungsi sebagai pembanding antara nilai pembacaan sensor dengan kondisi yang telah ditentukan sehingga sistem dapat memberikan tindakan yang sesuai (Kurniawan et al., 2024).

Pada algoritma *Rule Based Control*, nilai *threshold* digunakan untuk menentukan perubahan kondisi sistem. Apabila nilai masukan sensor berada di bawah atau melewati nilai batas yang telah ditentukan, maka sistem akan menjalankan aturan tertentu sesuai dengan kondisi tersebut.

Dalam sistem penyiraman otomatis, nilai *threshold* digunakan sebagai batas kelembapan media tanam untuk menentukan apakah tanaman membutuhkan penyiraman atau tidak.

Nilai *threshold* dapat dinyatakan sebagai:

T = Nilai batas kelembapan

2.2.4 Persamaan Algoritma Rule Based Control

Keputusan pada algoritma *Rule Based Control* dapat direpresentasikan dalam bentuk fungsi keputusan sebagai berikut:

$$P = f(SM)$$

Keterangan:

a) P = kondisi kerja pompa air.

b) f = fungsi keputusan berdasarkan aturan *Rule Based Control*.

c) SM = nilai kelembapan media tanam.

Fungsi keputusan tersebut dapat dijabarkan menjadi:

$$P = \begin{cases} ON, & SM < T \\ OFF, & SM \geq T \end{cases}$$

Keterangan:

a) ON = pompa air aktif

b) OFF = pompa air tidak aktif

c) T = nilai batas (*threshold*) kelembapan.

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa fungsi keputusan akan menghasilkan keluaran berdasarkan perbandingan nilai kelembapan media tanam terhadap nilai *threshold*. Apabila nilai kelembapan berada di bawah batas yang ditentukan, sistem akan memberikan keputusan untuk mengaktifkan pompa. Sebaliknya, apabila nilai kelembapan telah mencapai atau melebihi batas, maka pompa akan berada pada kondisi mati.

2.3 Mawar (*Rosa sp.*)

2.3.1 Tanaman Mawar (*Rosa sp.*)

Tanaman mawar (*Rosa sp.*) merupakan salah satu tanaman hias dari famili Rosaceae yang banyak dibudidayakan karena memiliki nilai estetika dan ekonomi yang tinggi. Tanaman ini dikenal memiliki bunga dengan variasi warna dan bentuk yang beragam sehingga banyak dimanfaatkan sebagai tanaman hias maupun komoditas bunga potong (Kumar et al., 2023).

Mawar merupakan tanaman tahunan yang membutuhkan kondisi lingkungan sesuai untuk mendukung pertumbuhan vegetatif maupun pembentukan bunga. Faktor seperti ketersediaan air, kondisi media tanam, dan intensitas cahaya menjadi beberapa faktor yang memengaruhi proses pertumbuhan tanaman (Rahman et al., 2024).

Pertumbuhan tanaman mawar dipengaruhi oleh perkembangan sistem perakaran yang berperan dalam penyerapan air dan unsur hara. Oleh karena itu, pada fase awal pertumbuhan terutama pada tanaman hasil perbanyakan vegetatif, kondisi lingkungan perlu dijaga agar proses pembentukan akar dan pertumbuhan tanaman dapat berlangsung dengan baik.

2.3.2 Metode Perbanyakan Tanaman Melalui Stek

Stek merupakan salah satu metode perbanyakan tanaman secara vegetatif dengan memanfaatkan bagian tanaman seperti batang, daun, atau akar untuk menghasilkan individu tanaman baru. Metode ini dilakukan tanpa melalui proses perkawinan sehingga tanaman baru yang dihasilkan memiliki karakteristik yang relatif sama dengan tanaman induknya (Hartmann et al., 2023).

Metode stek banyak digunakan dalam perbanyakan tanaman hias karena memiliki beberapa kelebihan, seperti proses perbanyakan yang lebih cepat, tidak membutuhkan biji, serta mampu mempertahankan sifat unggul dari tanaman induk. Keberhasilan metode stek dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi bahan stek, media tanam, ketersediaan air, dan kondisi lingkungan selama proses pertumbuhan akar (Rashid et al., 2024).

Pada tanaman mawar (*Rosa sp.*), metode stek umumnya dilakukan menggunakan bagian batang yang memiliki jaringan aktif untuk membentuk akar

baru. Proses pembentukan akar pada stek membutuhkan kondisi lingkungan yang sesuai, terutama kelembapan media tanam yang cukup agar jaringan tanaman tidak mengalami kehilangan air selama fase awal pertumbuhan.

Kelembapan media tanam menjadi salah satu faktor penting dalam keberhasilan pertumbuhan stek karena berhubungan dengan ketersediaan air yang dibutuhkan dalam proses pembentukan akar. Kondisi media yang terlalu kering dapat menyebabkan stek mengalami kekurangan air, sedangkan kondisi media yang terlalu basah dapat menghambat pertumbuhan akar akibat kurangnya sirkulasi udara pada media tanam.

2.3.3 Faktor Pertumbuhan Stek Tanaman Mawar

Pertumbuhan stek tanaman mawar dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan yang berperan dalam proses pembentukan akar dan perkembangan tanaman. Kondisi lingkungan yang sesuai diperlukan agar stek mampu mempertahankan keseimbangan air, membentuk sistem perakaran, serta mengalami pertumbuhan secara optimal (Hartmann et al., 2023).

1. Ketersediaan Air

   Air merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan tanaman karena berperan dalam proses metabolisme, transportasi unsur hara, serta menjaga keseimbangan kadar air dalam jaringan tanaman. Pada fase awal pertumbuhan stek, ketersediaan air perlu diperhatikan karena sistem perakaran belum berkembang secara sempurna sehingga kemampuan tanaman dalam menyerap air masih terbatas (Rashid et al., 2024).

   Kekurangan air pada media tanam dapat menyebabkan stek mengalami kehilangan kadar air sehingga menghambat proses pembentukan akar. Sebaliknya, pemberian air yang berlebihan dapat menyebabkan kondisi media terlalu jenuh sehingga mengurangi ketersediaan oksigen yang dibutuhkan oleh akar.

2. Kelembapan Media Tanam

   Kelembapan media tanam merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi keberhasilan pertumbuhan stek tanaman. Kondisi

kelembapan yang sesuai dapat membantu menjaga ketersediaan air bagi tanaman serta mendukung proses pembentukan akar baru.

Nilai kelembapan media tanam yang terlalu rendah dapat menyebabkan tanaman mengalami stres akibat kekurangan air, sedangkan kelembapan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gangguan perkembangan akar. Oleh karena itu, pemantauan kelembapan media tanam diperlukan agar pemberian air dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan tanaman (Aisyah et al., 2025).

3. Kondisi Lingkungan

Selain air dan kelembapan media tanam, faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan udara juga dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman. Kondisi lingkungan yang stabil dapat membantu proses adaptasi stek selama fase awal pertumbuhan.

Pemantauan kondisi lingkungan dapat dilakukan menggunakan sensor untuk memperoleh data secara berkala sehingga perubahan kondisi tanaman dapat diketahui lebih cepat. Penerapan teknologi monitoring berbasis IoT menjadi salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk membantu pengamatan kondisi lingkungan tanaman secara otomatis (Correa-Quiroz et al., 2025)

2.4 Unified Modeling Language (UML)

2.4.1 Pengertian UML

Unified Modeling Language (UML) merupakan bahasa pemodelan yang digunakan untuk menggambarkan, merancang, dan mendokumentasikan suatu sistem secara visual. UML membantu pengembang dalam memahami hubungan antara komponen sistem, alur proses, serta interaksi antara pengguna dengan sistem yang dibuat (Pressman & Maxim, 2023).

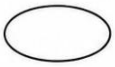
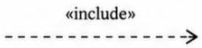
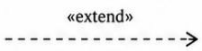
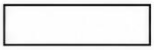
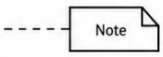
Dalam pengembangan sistem berbasis perangkat keras dan perangkat lunak, UML digunakan untuk memberikan gambaran mengenai proses kerja sistem sebelum dilakukan tahap implementasi. Penggunaan UML dapat membantu proses analisis dan perancangan agar sistem yang dikembangkan memiliki struktur yang lebih jelas (Sommerville, 2023).

Pada sistem berbasis Internet of Things (IoT), UML dapat digunakan untuk menggambarkan hubungan antara sensor, mikrokontroler, aktuator, serta pengguna sebagai bagian dari rancangan sistem.

2.4.2 Use Case Diagram

Use Case Diagram merupakan diagram UML yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara pengguna (*actor*) dengan fungsi yang tersedia pada suatu sistem. Diagram ini menunjukkan aktivitas atau layanan yang dapat dilakukan oleh pengguna terhadap sistem (Pressman & Maxim, 2023). Simbol-simbol *Use Case* Diagram dapat dilihat pada table 2.1.

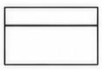
Tabel 2.1. Simbol-simbol *Use Case* Diagram

No.	Simbol	Nama	Keterangan
1.		*Actor*	Menspesifikasikan himpunan peran yang pengguna mainkan ketika berinteraksi dengan *use case*.
2.		*Use Case*	Deskripsi dari urutan aksi-aksi yang ditampilkan sistem yang menghasilkan suatu hasil yang terukur bagi suatu aktor.
3.		*Association*	Asosiasi antara aktor dan *use case*, digambarkan sebagai garis yang menghubungkan keduanya.
4.		*Include*	Relasi *use case* tambahan ke sebuah *use case* yang ditambahkan, *use case* yang ditambahkan memerlukan *use case* ini untuk menjalankan fungsinya.
5.		*Extend*	Relasi *use case* tambahan ke sebuah *use case* yang ditambahkan, *use case* yang menambahkan dapat berdiri sendiri walau tanpa *use case* tambahan ini.
6.		*System Boundary*	Menspesifikasikan paket yang menampilkan sistem secara terbatas.
7.		*Note*	Elemen fisik yang eksis saat aplikasi dijalankan dan mencerminkan suatu sumber daya komputasi.
8.		*Generalization*	Hubungan generalisasi dan spesialisasi antara dua aktor atau dua *use case*.

2.4.3 Activity Diagram

Activity Diagram merupakan diagram UML yang digunakan untuk menggambarkan aliran aktivitas atau proses kerja suatu sistem. Diagram ini menunjukkan urutan aktivitas mulai dari proses awal hingga proses selesai (Sommerville, 2023). Simbol-simbol *Activity* Diagram dapat dilihat pada table 2.2.

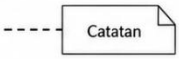
Tabel 2.2. Simbol-simbol *Activity* Diagram

No.	Simbol	Nama	Keterangan
1.		*Initial Node*	Menandakan awal dari alur aktivitas.
2.		*Activity*	Menunjukkan aktivitas atau kegiatan yang dilakukan oleh sistem atau aktor.
3.		*Decision*	Menunjukkan titik keputusan atau percabangan berdasarkan kondisi tertentu.
4.		*Control Flow*	Menunjukkan aliran kontrol atau urutan aktivitas.
5.		*Fork*	Menunjukkan pemecahan aliran menjadi beberapa aliran paralel.
6.		*Join*	Menunjukkan penggabungan beberapa aliran menjadi satu aliran.
7.		*Activity Final Node*	Menandakan akhir dari sebuah aktivitas.
8.		*Flow Final Node*	Mengakhiri aliran kontrol pada titik tertentu.
9.		*Swimlane (Pool)*	Menunjukkan pembagian aktivitas berdasarkan aktor atau sistem.
10.		*Lane*	Menunjukkan sub-pembagian dalam pool untuk memisahkan tanggung jawab atau peran.

2.4.4 Class Diagram

Class Diagram merupakan diagram UML yang digunakan untuk menggambarkan struktur kelas dalam suatu sistem, termasuk atribut, operasi, serta hubungan antar kelas. Diagram ini banyak digunakan untuk menjelaskan struktur data dan hubungan antar objek dalam sistem (Pressman & Maxim, 2023). Simbol-simbol *Class* Diagram dapat dilihat pada table 2.3.

Tabel 2.3. Simbol-simbol *Class* Diagram

No.	Simbol	Nama	Keterangam
1.	NamaKelas - atribut : tipe data + operasi() : tipe data	*Class*	Kelas pada sistem yang memiliki atribut (properties) dan operasi (methods).
2.		*Association*	Hubungan umum antara dua kelas.
3.		*Directed Association*	Asosiasi berarah, menunjukkan satu kelas mengetahui kelas lainnya.
4.		*Generalization (Inheritance)*	Hubungan pewarisan (*inheritance*), di mana kelas anak mewarisi atribut dan operasi dari kelas induk.
5.		*Aggregation*	Hubungan agregasi (*has-a*), menunjukkan kelas memiliki bagian yang masih dapat berdiri sendiri.
6.		*Composition*	Hubungan komposisi (*has-a*), menunjukkan kelas memiliki bagian yang tidak dapat berdiri sendiri tanpa kelas induk.
7.		*Dependency*	Hubungan ketergantungan, di mana perubahan pada satu kelas dapat mempengaruhi kelas lainnya.
8.		*Note*	Catatan atau keterangan tambahan pada class diagram.
9.		*Multiplicity*	Menunjukkan kardinalitas (jumlah hubungan) antara kelas. Contoh: 1, 0..1, *, 1..*, n.m.

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan kajian terhadap penelitian yang memiliki keterkaitan dengan topik yang akan dikembangkan. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui metode, teknologi, serta hasil penelitian sebelumnya yang dapat dijadikan sebagai dasar pengembangan sistem. Beberapa penelitian terkait penerapan *Internet of Things* (IoT) pada sistem monitoring tanaman dan penyiraman otomatis disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti dan Tahun	Metode/Teknologi	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Ini
1	Aisyah et al. (2025)	IoT, sensor kelembapan tanah, mikrokontroler, sistem irigasi otomatis.	Sistem mampu melakukan penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan media sehingga penggunaan air lebih efisien.	Penelitian ini berfokus pada stek tanaman mawar dengan penerapan algoritma Rule Based Control sebagai metode pengambilan keputusan penyiraman.
2	Correa-Quiroz et al. (2025)	ESP32, sensor lingkungan, dan sistem monitoring irigasi berbasis IoT.	Sistem mampu melakukan pemantauan kondisi tanaman serta membantu proses pengelolaan irigasi secara otomatis.	Penelitian ini menggunakan aturan IF-THEN berbasis threshold kelembapan media tanam untuk menentukan kondisi pompa ON/OFF.
3	Sutono & Mohamed (2025)	ESP32, DHT22, sensor kelembapan tanah, relay, dan platform IoT.	Sistem mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan dan mengendalikan perangkat secara otomatis menggunakan relay.	Penelitian ini lebih spesifik pada penyiraman otomatis stek tanaman mawar dengan algoritma Rule Based Control sebagai mekanisme pengendalian.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa penerapan teknologi *Internet of Things* pada bidang pertanian telah banyak dikembangkan untuk melakukan monitoring kondisi tanaman dan otomatisasi penyiraman. Penggunaan sensor kelembapan media tanam menjadi salah satu

pendekatan yang banyak digunakan karena mampu memberikan informasi kondisi air secara langsung.

Namun, beberapa penelitian sebelumnya masih berfokus pada sistem monitoring atau pengendalian irigasi secara umum. Penelitian ini memiliki pengembangan berupa penerapan algoritma *Rule Based Control* untuk menentukan keputusan penyiraman berdasarkan nilai kelembapan media tanam pada objek khusus berupa stek tanaman mawar (*Rosa sp.*).

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan sistem monitoring dan penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things* yang dapat membantu menjaga kondisi kelembapan media tanam secara lebih terkontrol melalui proses pengambilan keputusan otomatis.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat Dan Bahan Penelitian

Alat penelitian dan bahan penelitian yang lain akan diimplementasikan dengan perngkat lunak dan digunakan untuk Sistem Monitoring dan Penyiraman Otomatis Stek Tanaman Mawar Menggunakan Algoritma *Rule Base Control* Berbasis *Internet Of Things* (IoT), antara lain sebagai berikut:

3.1.1 Alat

Dalam proses pembuatan alat ini, penulis menggunakan beberapa alat dan bahan. Berikut ini merupakan alat-alat yang dipergunakan dalam proses pembuatan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Peralatan yang digunakan

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah	Keterangan
1.	Seperangkat Laptop	-*Processor*: 12th Gen Intel(R) i5-1235P (12 CPUs) -RAM: 8Gb -*Storage*: 512Gb SSD -Grafis: Intel Iris Xe Graphics -*Display*: Layar 14inci *Full HD* -Sistem Operasi: Windows 11 Home	1	Sebagai alat untuk memprogram mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE dan membangun Dashboard Web menggunakan Visual Studio Code (VS Code).
2.	Solder listrik	-Daya: 40 watt -Tegangan: 220 volt -Frekuensi: 50Hz	1	Sebagai alat penghubung antar komponen
3.	Obeng	Obeng Phillips	1	Sebagai alat untuk membuka dan mengunci baut

4.	Penyedot Timah	Diameter Noozle 1.5mm	1	Sebagai alat untuk membersihkan sisa timah cair dari proses penyolderan
6.	Kabel Type-C	Panjang 1 Meter	1	Sebagai penghubung antar perangkat elektronik

3.1.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang dipergunakan dalam proses pembuatan dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Bahan Hardware

No.	Nama Bahan	Jumlah
1.	Esp32 Devkit V1	1
2.	Sensor Soil Mosture Capacitive	1
3.	Sensor Suhu dan Kelembapan Udara DHT22	1
4.	Micro Water Pump 12V	2
5.	Adaptor Power 12V 5A	1
6.	Kabel Jumper	1
7.	PCB Matrix	1
8.	Box Hitam X10	1

Tabel 3.3 Bahan Software

No.	Nama Perangkat Lunak
1.	Arduino IDE
2.	XAMPP, PHP, MySQL (phpMyAdmin)
3.	Visual Studio Code (VS Code)

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui metode observasi dan pengujian langsung terhadap sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar (*Rosa sp.*) yang telah dirancang. Data diperoleh dari hasil pembacaan sensor kelembapan media tanam (*soil moisture*) dan sensor

DHT22 yang digunakan untuk mengetahui kondisi media tanam serta lingkungan sekitar tanaman selama proses pengujian berlangsung.

Selain itu, data juga dikumpulkan dari hasil pengujian penerapan algoritma *Rule Based Control* dalam menentukan keputusan penyiraman. Pengujian dilakukan dengan mengamati respons sistem terhadap perubahan nilai kelembapan media tanam berdasarkan nilai *threshold* yang telah ditentukan. Apabila nilai kelembapan berada di bawah batas yang ditetapkan, sistem akan memberikan perintah untuk mengaktifkan pompa air, sedangkan apabila kelembapan telah mencapai kondisi yang sesuai, sistem akan mempertahankan pompa dalam keadaan mati.

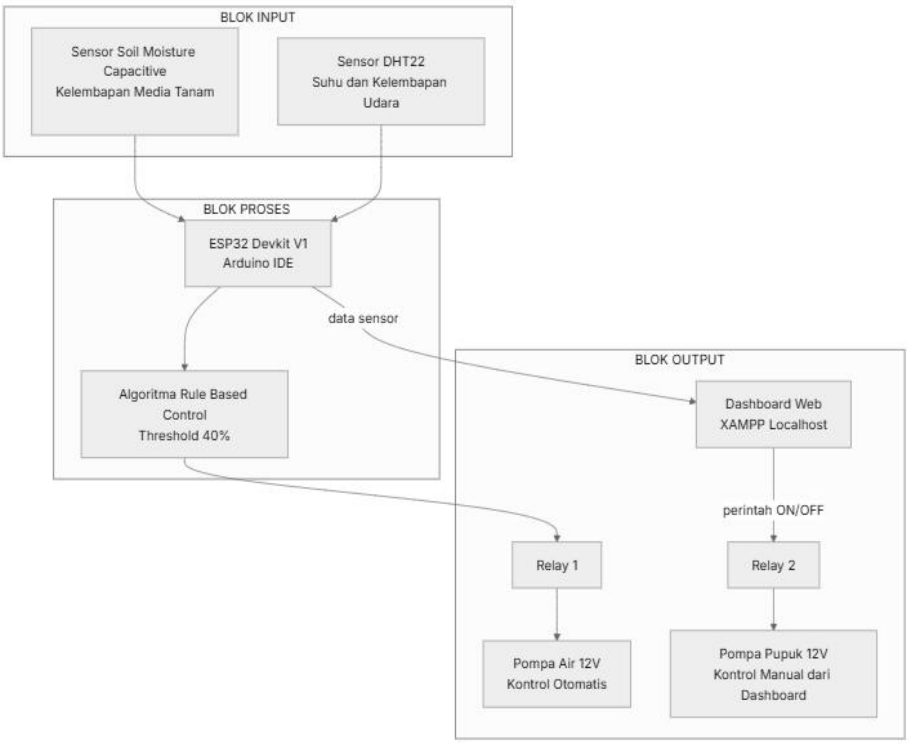
Pengamatan dilakukan secara berkala untuk mengetahui kinerja sensor, respons aktuator pompa air, serta kestabilan sistem dalam melakukan proses monitoring dan penyiraman otomatis. Data hasil pengujian kemudian digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan sistem dalam menjaga kelembapan media tanam stek tanaman mawar sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

3.3 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk menggambarkan hubungan antar komponen dan proses kerja sistem secara keseluruhan. Sistem yang dirancang terdiri dari bagian input, proses, dan output.

3.3.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem merupakan gambaran sederhana yang menunjukkan hubungan antar komponen serta alur kerja sistem yang dirancang. Pada penelitian ini, diagram blok digunakan untuk menjelaskan proses mulai dari pembacaan data oleh sensor *capacitive soil moisture* dan DHT22, pengolahan data oleh ESP32 menggunakan algoritma *Rule Based Control*, hingga pengendalian pompa air secara otomatis berdasarkan batas kelembapan 40%. Selain itu, ESP32 mengirimkan data sensor melalui jaringan Wi-Fi agar dapat dipantau melalui dashboard web, sedangkan pompa pupuk dapat dikendalikan secara manual melalui dashboard tersebut.



Gambar 3. 1. Diagram blok sistem

Adapun fungsi dari masing-masing blok diagram adalah sebagai berikut :

A. Blok Masukan (*Input*)

Pada bagian input, sistem menggunakan sensor sebagai sumber data untuk memperoleh informasi kondisi tanaman dan lingkungan sekitar. Sensor utama yang digunakan adalah sensor kelembapan media tanam *capacitive soil moisture* yang berfungsi untuk membaca tingkat kelembapan pada media tanam stek tanaman mawar (*Rosa sp.)*

Selain itu, sistem juga menggunakan sensor DHT22 untuk membaca kondisi lingkungan berupa temperatur udara dan kelembapan udara. Data dari sensor kelembapan tanah dan sensor DHT22 Kemudian dikirimkan menuju ESP32 untuk dilakukan proses pengolahan dan pengiriman data monitoring.

B. Blok Proses (*Process)*

Pada bagian proses, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali utama yang menerima dan mengolah data dari sensor. Data hasil pembacaan sensor kelembapan media tanam dan DHT22 diproses menggunakan

program yang dibuat melalui Arduino IDE. Dalam pengambilan keputusan penyiraman, sistem menerapkan algoritma *Rule Based Control* dengan menggunakan nilai kelembapan media tanam sebagai parameter utama. Nilai kelembapan yang terbaca dibandingkan dengan nilai *threshold* sebesar 40%. Apabila nilai kelembapan berada di bawah batas tersebut, ESP32 memberikan perintah untuk mengaktifkan pompa air. Sebaliknya, apabila nilai kelembapan telah mencapai atau melebihi 40%, pompa air dipertahankan dalam keadaan mati.

Selain mengendalikan pompa air secara otomatis, ESP32 menerima perintah kontrol pompa pupuk dari *Dashboard Web.* Perintah tersebut berupa kondisi *ON* atau *OFF* yang diberikan secara manual oleh pengguna melalui laptop. ESP32 juga mengirimkan data sensor, status pompa air, status pompa pupuk, waktu pembacaan, dan status koneksi menuju alamat IP laptop melalui jaringan *Wi-Fi* yang sama.

C. Blok Keluaran (*Output*)

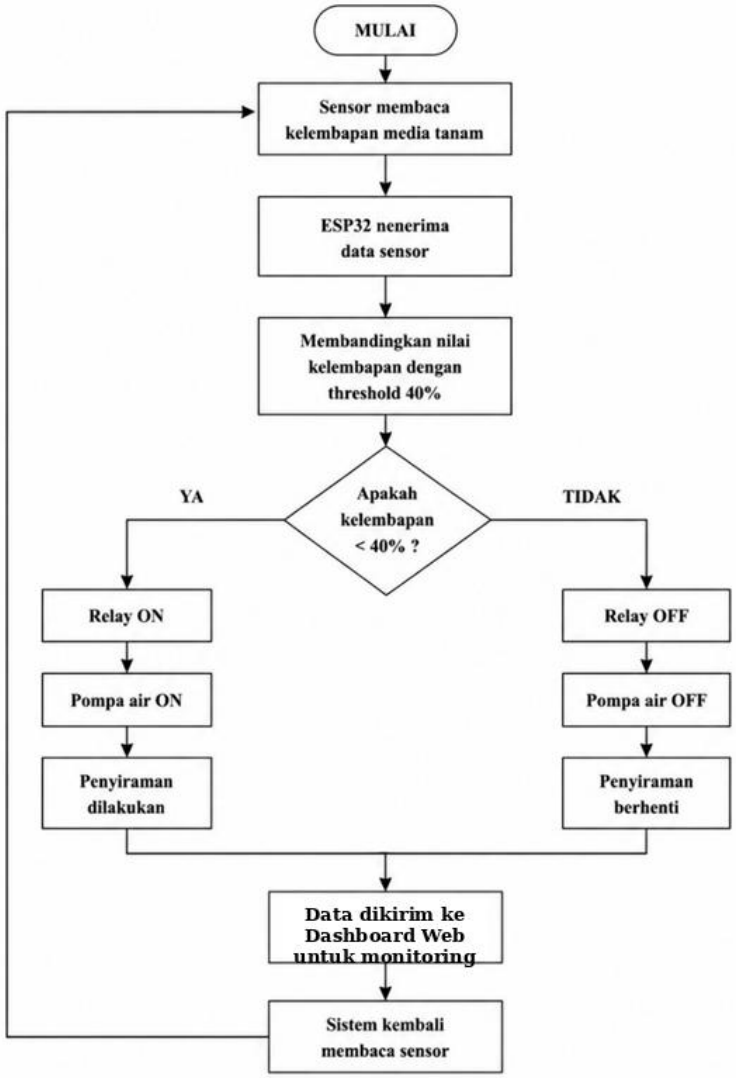
Pada bagian *output*, sistem menghasilkan tindakan berdasarkan keputusan algoritma dan perintah pengguna. Modul relay dua channel digunakan sebagai penghubung antara ESP32 dengan aktuator, yaitu pompa air 12V dan pompa pupuk cair.

Pompa air 12V berfungsi sebagai aktuator utama sistem penyiraman otomatis. Pompa air akan aktif apabila nilai kelembapan media tanam berada di bawah *threshold* yang telah ditentukan. Pompa air akan mati apabila nilai kelembapan media tanam telah mencapai atau melebihi *threshold.* Pompa pupuk cair digunakan sebagai aktuator tambahan yang dikendalikan secara manual. Pengguna dapat mengaktifkan atau menonaktifkan pompa pupuk melalui tombol *ON/OFF* pada *Dashboard Web*. Pompa pupuk tidak dikendalikan berdasarkan jadwal otomatis dan tidak menggunakan algoritma *Rule Based Control.*

Data hasil pembacaan sensor, status pompa air, status pompa pupuk, waktu, dan status ESP32 ditampilkan pada *Dashboard Web* yang dijalankan melalui XAMPP dan diakses menggunakan *browser* pada laptop dengan alamat localhost.

3.3.2 Penerapan Algoritma Rule Based Control

Penerapan algoritma *Rule Based Control* pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan tindakan penyiraman secara otomatis berdasarkan nilai kelembapan media tanam. Alur penerapan algoritma tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Ga

mbar 3. 2. Desain Penerapan Algoritma

Berdasarkan alur kerja sistem pada gambar diatas, berikut adalah penjelasannya:

Proses kerja sistem dimulai dengan tahap inisialisasi perangkat, yaitu ESP32, sensor kelembapan media tanam (*capacitive soil moisture*), modul relay,

dan koneksi Dashboard Web. Setelah seluruh komponen siap, sistem mulai melakukan pembacaan kondisi media tanam menggunakan sensor kelembapan.

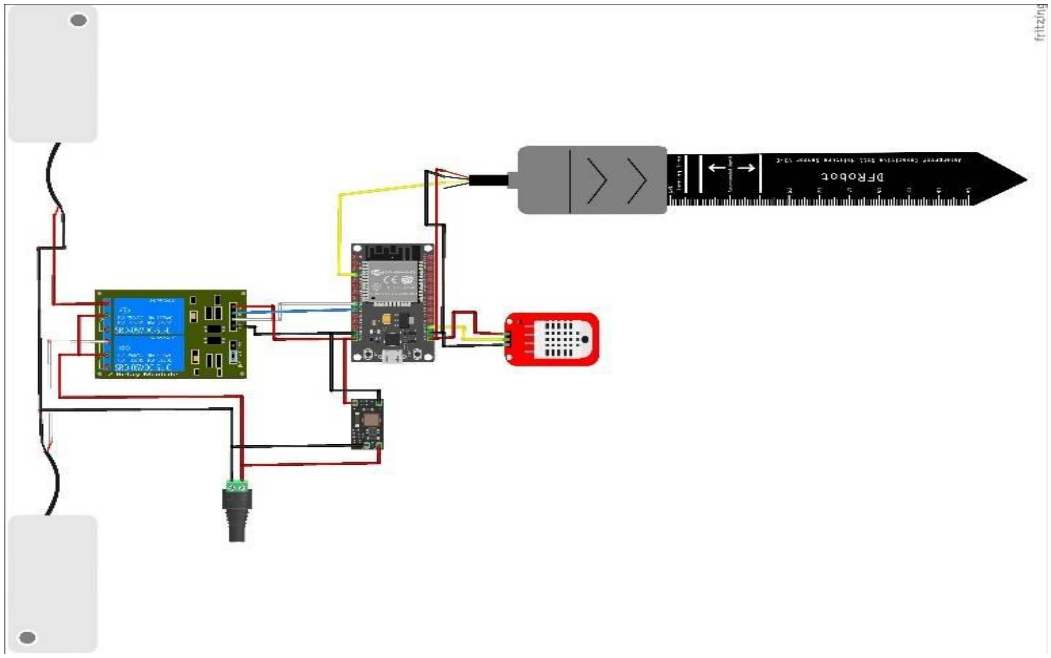
Nilai kelembapan yang diperoleh dari sensor kemudian dikirimkan menuju ESP32 untuk diproses. Pada tahap ini, ESP32 menjalankan algoritma *Rule Based Control* dengan membandingkan nilai kelembapan media tanam terhadap nilai batas (*threshold*) yang telah ditentukan, yaitu 40%. Apabila nilai kelembapan media tanam kurang dari 40%, maka sistem menganggap media tanam berada dalam kondisi kering sehingga ESP32 memberikan perintah kepada relay untuk aktif. Relay kemudian menghubungkan sumber daya menuju pompa air sehingga pompa menyala dan proses penyiraman dilakukan. Sebaliknya, apabila nilai kelembapan media tanam lebih besar atau sama dengan 40%, maka sistem menganggap kondisi media tanam masih memiliki kelembapan yang cukup. ESP32 akan memberikan perintah kepada relay untuk tidak aktif sehingga pompa air tetap dalam kondisi mati dan proses penyiraman dihentikan.

Setelah proses pengambilan keputusan selesai, data hasil pembacaan sensor dan status kerja pompa dikirimkan menuju Dashboard Web untuk kebutuhan monitoring. Pengguna dapat memantau kondisi kelembapan media tanam serta status penyiraman melalui browser pada laptop yang menjalankan XAMPP. Selanjutnya, sistem akan kembali melakukan pembacaan sensor secara berulang (*looping*) untuk memantau perubahan kondisi kelembapan media tanam. Dengan proses tersebut, sistem dapat melakukan penyiraman otomatis sesuai kebutuhan stek tanaman mawar tanpa memerlukan pengoperasian secara manual.

3.4 Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras dilakukan untuk menentukan hubungan antar komponen yang digunakan pada sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar (*Rosa sp.*). Perangkat keras yang dirancang terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor kelembapan media tanam, sensor DHT22, modul relay, pompa air 12V, serta perangkat pendukung lainnya.
Setiap komponen memiliki fungsi yang saling terintegrasi, dimana sensor digunakan sebagai sumber data masukan (*input*), ESP32 melakukan proses pengolahan data berdasarkan algoritma *Rule Based Control*, sedangkan relay dan

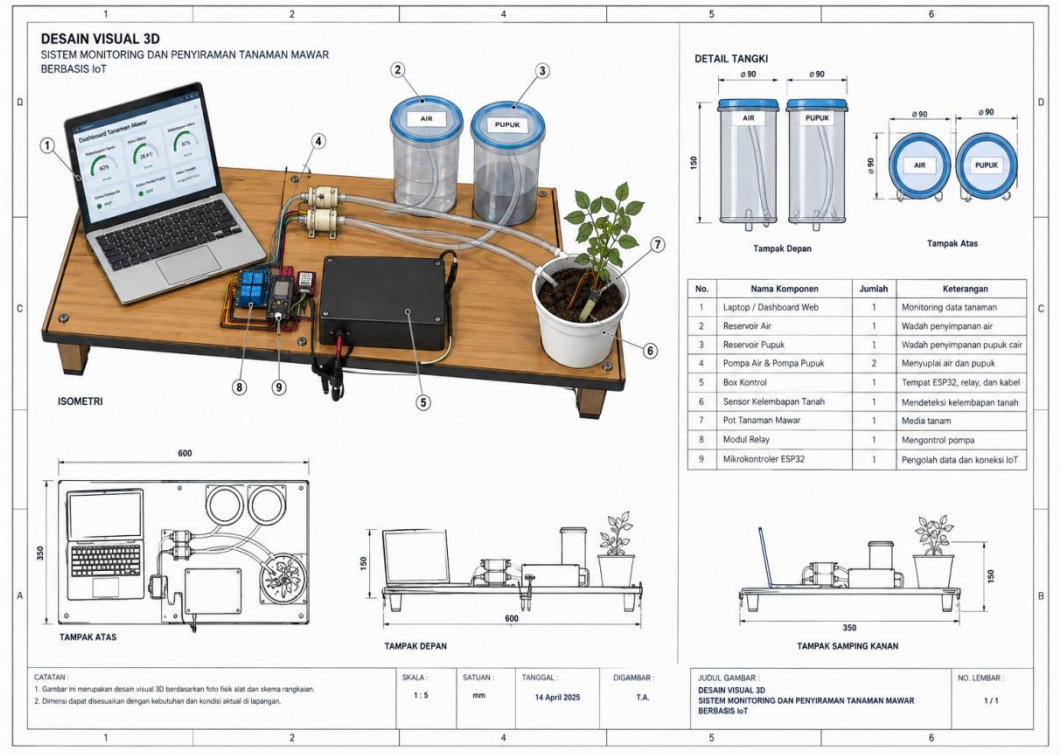
pompa air berfungsi sebagai keluaran (*output*) untuk melakukan penyiraman otomatis. Berikut merupakan gambaran skema rangkaian pada alat penyiraman otomatis stek tanaman mawar.



Gambar 3. 3 Skema Rangkaian

3.4.1 Desain Visual 3D

Perancangan hardware merupakan tahap untuk menggambarkan bentuk, susunan, dan penempatan komponen yang digunakan dalam membangun sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar (*Rosa sp.*). Pada penelitian ini, perancangan hardware dibuat dalam bentuk desain visual 3D agar susunan perangkat yang akan digunakan dapat terlihat dengan lebih jelas. Desain visual alat dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 4 Desain Visual 3D

Desain visual 3D pada Gambar 3.4 merupakan representasi rancangan perangkat keras yang memperlihatkan tata letak komponen utama dalam sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar. Desain ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai tata letak komponen, mulai dari laptop sebagai media pemantauan melalui Dashboard Web, wadah penampungan air dan pupuk cair, pompa, kotak elektronik, hingga sensor yang digunakan untuk memantau kondisi tanaman. Dengan adanya desain tersebut, hubungan antar bagian alat lebih mudah dipahami sebelum melihat proses perakitan dan implementasinya secara langsung. Perancangan ini disesuaikan dengan kebutuhan sistem yang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor kelembapan media tanam sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman, serta sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan udara. Sistem juga dilengkapi dengan dua pompa yang memiliki fungsi berbeda, yaitu pompa air yang bekerja secara otomatis berdasarkan algoritma *Rule Based Control* dengan nilai *threshold* 40% dan pompa pupuk cair yang dikendalikan secara manual melalui Dashboard Web.

3.5 Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak dilakukan untuk mengatur proses kerja sistem mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data, pengambilan keputusan menggunakan algoritma *Rule Based Control*, hingga pengiriman data monitoring melalui Dashboard Web. Program pada sistem dibuat menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Program tersebut ditanamkan pada mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem. Selain itu, Dashboard Web digunakan sebagai media monitoring untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor secara *real-time*.

3.5.1 Perancangan Program ESP32 Menggunakan Arduino IDE

Arduino IDE digunakan sebagai perangkat lunak untuk membuat, mengedit, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32. Program yang dibuat mengatur komunikasi antara ESP32 dengan seluruh komponen yang digunakan, seperti sensor kelembapan media tanam, sensor DHT22, relay, pompa air, dan Dashboard Web. Selain Arduino IDE, Visual Studio Code (VS Code) digunakan sebagai editor kode untuk membangun antarmuka Dashboard Web berbasis PHP yang berjalan pada server lokal XAMPP.

Tahapan kerja program meliputi:

1. Melakukan inisialisasi perangkat keras.
2. Membaca data sensor kelembapan media tanam dan sensor DHT22.
3. Mengolah data sensor menggunakan algoritma *Rule Based Control*.
4. Memberikan perintah kepada relay berdasarkan hasil keputusan algoritma.
5. Mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air.
6. Mengirimkan data sensor menuju Dashboard Web.

3.5.2 Perancangan Koneksi Wi-Fi dan Dashboard Web

Sistem menggunakan koneksi Wi-Fi sebagai media komunikasi antara ESP32 dengan server Dashboard Web berbasis XAMPP. Data hasil pembacaan sensor yang telah diproses oleh ESP32 dikirimkan melalui jaringan internet sehingga pengguna dapat melakukan monitoring kondisi tanaman.

Proses koneksi sistem dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Inisialisasi ESP32

   Pada tahap awal, ESP32 melakukan proses inisialisasi perangkat dan mempersiapkan modul komunikasi WiFi yang tersedia pada mikrokontroler.
2. Menghubungkan ESP32 dengan Jaringan WiFi

   ESP32 melakukan koneksi menggunakan nama jaringan (*SSID*) dan kata sandi (*password*) WiFi yang telah ditentukan pada program.
3. Verifikasi Koneksi Internet

   Setelah proses koneksi berhasil, ESP32 akan memastikan bahwa perangkat telah terhubung dengan jaringan internet sehingga dapat melakukan komunikasi data dengan server lokal XAMPP.
4. Mengirimkan Data Sensor ke Dashboard Web

   Data hasil pembacaan sensor yang telah diproses oleh ESP32 dikirimkan secara berkala menuju server lokal (XAMPP) menggunakan protokol HTTP, kemudian disimpan ke database MySQL melalui skrip PHP.
5. Monitoring melalui Dashboard Web

   Data yang diterima oleh server PHP akan ditampilkan dalam bentuk nilai monitoring pada browser di laptop yang menjalankan XAMPP.

3.5.3 Perancangan Kontrol Manual Pompa Pupuk via Dashboard Web

Selain sistem penyiraman otomatis, sistem juga dilengkapi dengan fitur kontrol manual untuk pompa pupuk. Kontrol manual ini dilakukan melalui Dashboard Web yang diakses menggunakan browser pada laptop yang menjalankan XAMPP. Pengguna dapat mengaktifkan atau menonaktifkan pompa pupuk kapan saja dengan menekan tombol ON/OFF yang tersedia pada antarmuka Dashboard Web.

Ketika pengguna menekan tombol ON pada Dashboard Web, permintaan dikirimkan melalui protokol HTTP dari browser menuju server XAMPP. Skrip PHP pada server kemudian memproses permintaan tersebut dan mengirimkan perintah kepada ESP32 melalui jaringan Wi-Fi lokal untuk mengaktifkan relay yang terhubung dengan pompa pupuk. Pompa pupuk akan terus bekerja selama

tombol dalam kondisi ON, dan akan berhenti ketika pengguna menekan tombol OFF.

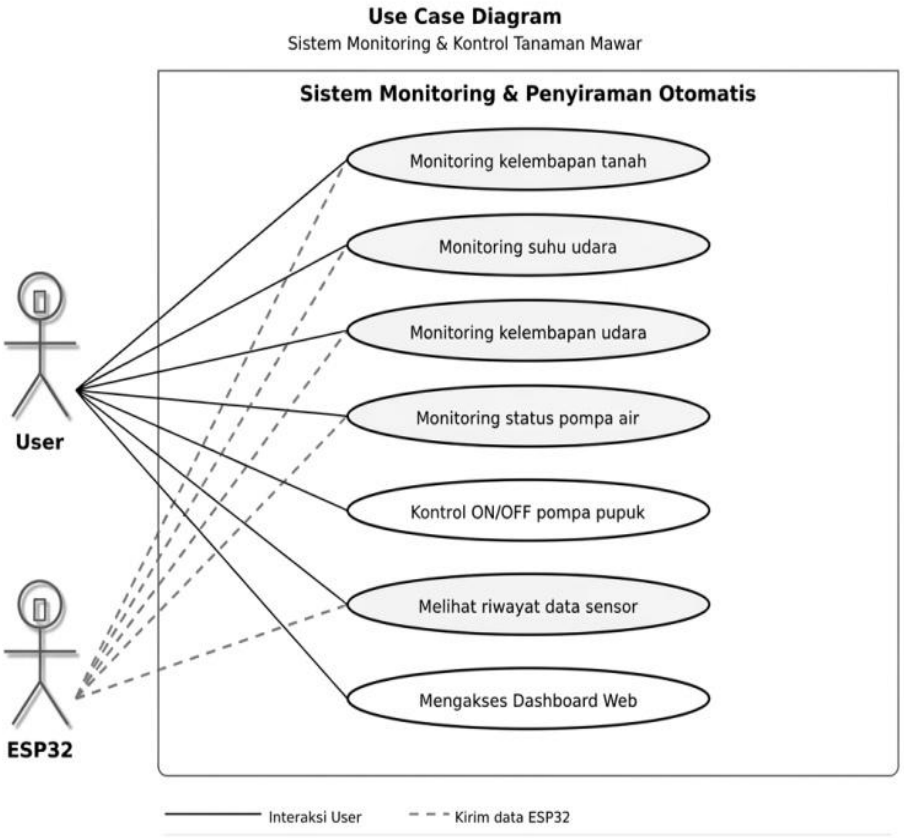
Pendekatan kontrol manual ini dipilih karena pemberian pupuk pada tanaman mawar tidak perlu dilakukan secara terjadwal otomatis, melainkan disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan tanaman yang dinilai langsung oleh pengguna. Dengan demikian, sistem ini memberikan fleksibilitas penuh kepada pengguna dalam menentukan waktu dan frekuensi pemupukan.

3.6 Perancangan UML Sistem

3.6.1 Use Case Diagram

Use Case Diagram merupakan pemodelan yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara pengguna (*user*) dengan sistem yang dirancang. Pada penelitian ini, *Use Case* Diagram menggambarkan interaksi pengguna dalam melakukan pemantauan sistem monitoring dan penyiraman otomatis pada stek tanaman mawar.

Sistem bekerja secara otomatis dalam membaca kondisi kelembapan media tanam, melakukan pengambilan keputusan menggunakan algoritma *Rule Based Control*, serta mengendalikan pompa air. Pengguna hanya berinteraksi dengan sistem melalui Dashboard Web untuk melakukan proses monitoring.



G

ambar 3. 5 *Use Case Diagram Sistem*

A. Aktor Sistem

1. User

User merupakan pengguna yang melakukan pemantauan terhadap kondisi tanaman melalui Dashboard Web. User dapat melihat data hasil pembacaan sensor dan mengetahui kondisi kerja sistem penyiraman otomatis.

B. Deskripsi Use Case

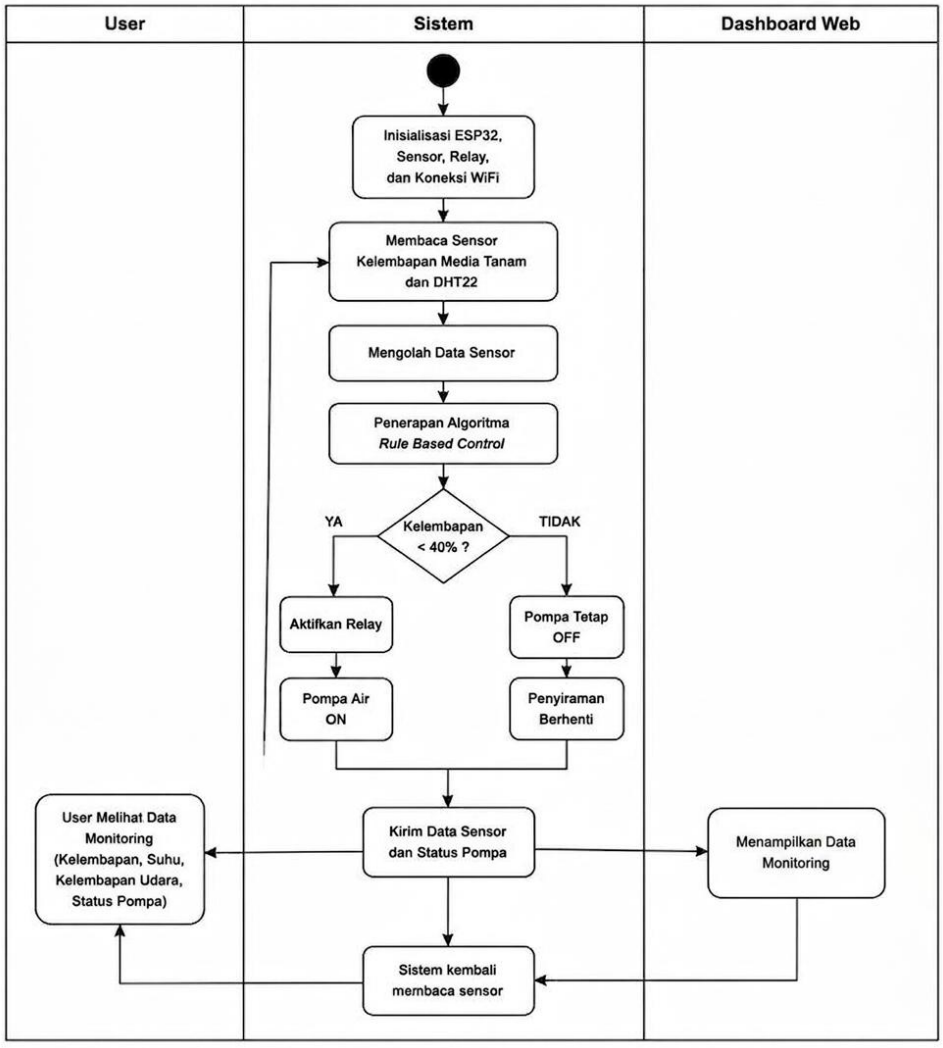
Untuk deskripsi *use case* diagram dapat dilihat pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Deskripsi Use Case

No	Use Case	Deskripsi
1	Monitoring Kelembapan Media Tanam	User dapat melihat nilai kelembapan media tanam yang diperoleh dari sensor *capacitive soil moisture*.
2	Monitoring Suhu Udara	User dapat melihat data suhu lingkungan sekitar tanaman dari sensor DHT22.
3	Monitoring Kelembapan Udara	User dapat melihat data kelembapan udara dari sensor DHT22.
4	Monitoring Status Pompa	User dapat mengetahui kondisi pompa apakah sedang aktif atau tidak aktif.
5	Monitoring Sistem melalui Dashboard Web	User dapat melakukan pemantauan sistem secara *real-time* menggunakan browser pada laptop yang menjalankan XAMPP.

3.6.2 Activity Diagram

Activity Diagram merupakan diagram UML yang digunakan untuk menggambarkan alur aktivitas dan proses kerja suatu sistem dari awal hingga akhir. Pada penelitian ini, Activity Diagram menggambarkan proses kerja sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar berbasis IoT, mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data menggunakan algoritma *Rule Based Control*, pengendalian pompa, hingga pengiriman data monitoring melalui Dashboard Web.



Gambar 3. 6 Activity Diagram

Berikut penjelasan setiap bagian pada Activity Diagram:

a. User

User berperan sebagai pengguna yang melakukan pemantauan sistem melalui Dashboard Web. User dapat melihat informasi kondisi tanaman berupa nilai kelembapan media tanam, suhu udara, kelembapan udara, dan status pompa secara *real-time*.

b. Sistem

Sistem dikendalikan oleh ESP32 yang melakukan inisialisasi perangkat, membaca data sensor, dan mengolah data menggunakan algoritma *Rule Based Control*. Berdasarkan nilai *threshold* kelembapan 40%, sistem menentukan kondisi pompa. Jika kelembapan < 40%, pompa akan aktif,

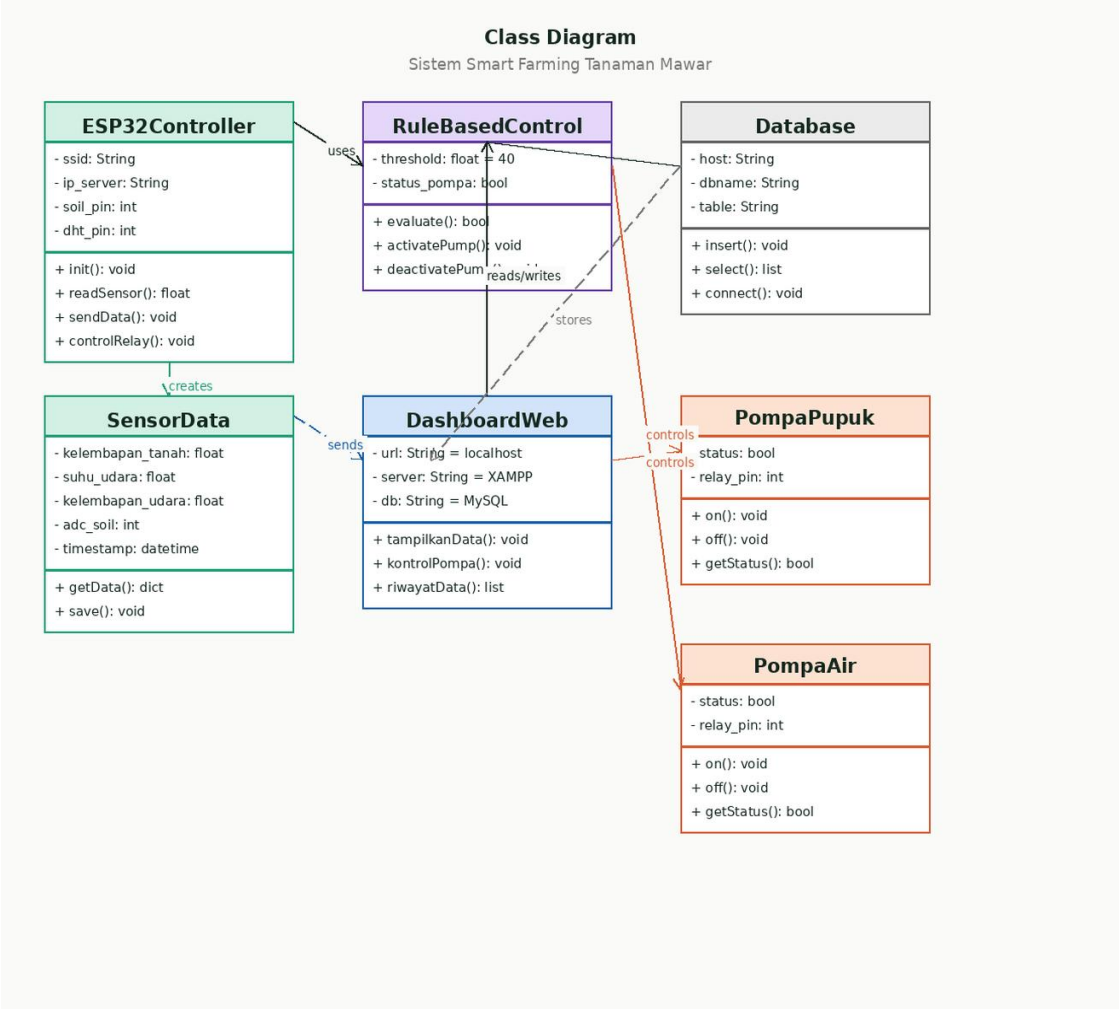
sedangkan jika kelembapan ≥ 40%, pompa tetap mati. Data sensor dan status pompa kemudian dikirimkan ke Dashboard Web untuk monitoring.

c. Dashboard Web

Dashboard Web berfungsi sebagai media monitoring yang menerima data dari ESP32 melalui koneksi WiFi. Data yang diterima ditampilkan kepada user sehingga kondisi tanaman dan sistem penyiraman dapat dipantau secara *real-time*.

3.6.3 Class Diagram

Pada penelitian ini, *Class* Diagram digunakan untuk menggambarkan hubungan antar bagian sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar berbasis IoT. Struktur kelas terdiri dari Sensor, ESP32 Controller, Rule Based Control, Relay Controller, Pompa Air, Data Monitoring, dan Dashboard Web Monitoring Monitoring yang saling berinteraksi dalam proses pembacaan data, pengambilan keputusan, pengendalian penyiraman, serta pengiriman data monitoring.



Gambar 3. 7 Class Diagram

Berdasarkan gambar Class Diagram, Sensor berfungsi sebagai sumber data dengan melakukan pembacaan nilai kelembapan media tanam, suhu, dan kelembapan udara. Data hasil pembacaan sensor kemudian diterima oleh ESP32 Controller sebagai pusat pengolahan sistem. ESP32 melakukan proses pembacaan data, pengolahan informasi, serta komunikasi dengan Dashboard Web melalui koneksi WiFi.

Selanjutnya, data kelembapan media tanam diproses oleh kelas Rule Based Control untuk menentukan keputusan penyiraman berdasarkan nilai *threshold* 40%. Apabila nilai kelembapan berada di bawah batas tersebut, algoritma memberikan perintah kepada Relay Controller untuk mengaktifkan pompa air. Sebaliknya, apabila kelembapan telah mencapai batas yang ditentukan, relay akan mempertahankan kondisi pompa dalam keadaan mati. Kelas Pompa Air berfungsi

sebagai aktuator yang menjalankan proses penyiraman berdasarkan perintah dari relay. Sementara itu, kelas Data Monitoring digunakan untuk menyimpan dan mengelola data hasil pembacaan sensor serta status pompa. Data tersebut kemudian dikirimkan oleh ESP32 menuju Dashboard Web Monitoring untuk ditampilkan kepada pengguna secara *real-time*.

Dengan adanya Class Diagram ini, hubungan antar komponen sistem dapat terlihat dengan jelas, mulai dari proses pengambilan data oleh sensor, pengolahan menggunakan algoritma *Rule Based Control*, pengendalian pompa, hingga proses monitoring melalui Dashboard Web.

3.7 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian dilakukan terhadap beberapa bagian utama, yaitu sensor, algoritma *Rule Based Control*, aktuator, dan sistem monitoring.

3.7.1 Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca kondisi tanaman dan lingkungan. Sensor yang diuji meliputi sensor kelembapan media tanam (*soil moisture*) dan sensor DHT22.

Parameter yang diamati:

1. Nilai kelembapan media tanam.
2. Nilai suhu udara.
3. Nilai kelembapan udara.

3.7.2 Pengujian Algoritma *Rule Based Control*

Pengujian algoritma dilakukan untuk mengetahui kesesuaian keputusan sistem berdasarkan nilai kelembapan media tanam. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai kelembapan terhadap nilai *threshold* 40%.

Aturan sistem:

Kondisi	Keputusan
Kelembapan < 40%	Pompa aktif
Kelembapan ≥ 40%	Pompa mati

3.7.3 Pengujian Aktuator

Pengujian aktuator dilakukan untuk mengetahui respons relay dalam mengendalikan pompa air berdasarkan perintah dari ESP32.

Parameter yang diamati:

1. Kondisi relay ON/OFF.
2. Kondisi pompa air bekerja atau tidak.

3.7.4 Pengujian Sistem Monitoring Dashboard

Pengujian monitoring dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pengiriman dan tampilan data dari ESP32 menuju aplikasi Dashboard.

Data yang diamati:

1. Nilai kelembapan media tanam.
2. Suhu dan kelembapan udara.
3. Status kerja pompa.

3.7.5 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan menggabungkan seluruh komponen untuk mengetahui kinerja alat dalam melakukan monitoring dan penyiraman otomatis berdasarkan algoritma *Rule Based Control*.

3.8 Analisis Sistem

Analisis sistem dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar (*Rosa sp.*) yang telah dirancang. Data hasil pengujian akan dianalisis berdasarkan kemampuan setiap bagian sistem dalam menjalankan fungsi sesuai dengan perancangan.

Analisis dilakukan terhadap beberapa aspek, yaitu:

3.8.1 Analisis Pembacaan Sensor

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor kelembapan media tanam dan sensor DHT22 dalam membaca kondisi tanaman dan lingkungan sekitar.

Data yang dianalisis meliputi:

1. nilai kelembapan media tanam.
2. nilai suhu udara.
3. nilai kelembapan udara.

3.8.2 Analisis Kinerja Algoritma *Rule Based Control*

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian keputusan sistem berdasarkan aturan yang telah dibuat.

Sistem dinyatakan bekerja sesuai rancangan apabila.

1. pompa aktif ketika nilai kelembapan berada di bawah *threshold* 40%.
2. pompa tidak aktif ketika nilai kelembapan mencapai atau melebihi 40%.

3.8.3 Analisis Kinerja Sistem Penyiraman

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui respons aktuator dalam melakukan penyiraman otomatis berdasarkan keputusan algoritma.

Aspek yang diamati:

1. keberhasilan relay dalam mengendalikan pompa.
2. respons pompa terhadap perubahan kondisi kelembapan media tanam.
3. kesesuaian proses penyiraman dengan rancangan sistem.

3.8.4 Analisis Sistem Monitoring IoT

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan komunikasi antara ESP32 dengan Dashboard Web.

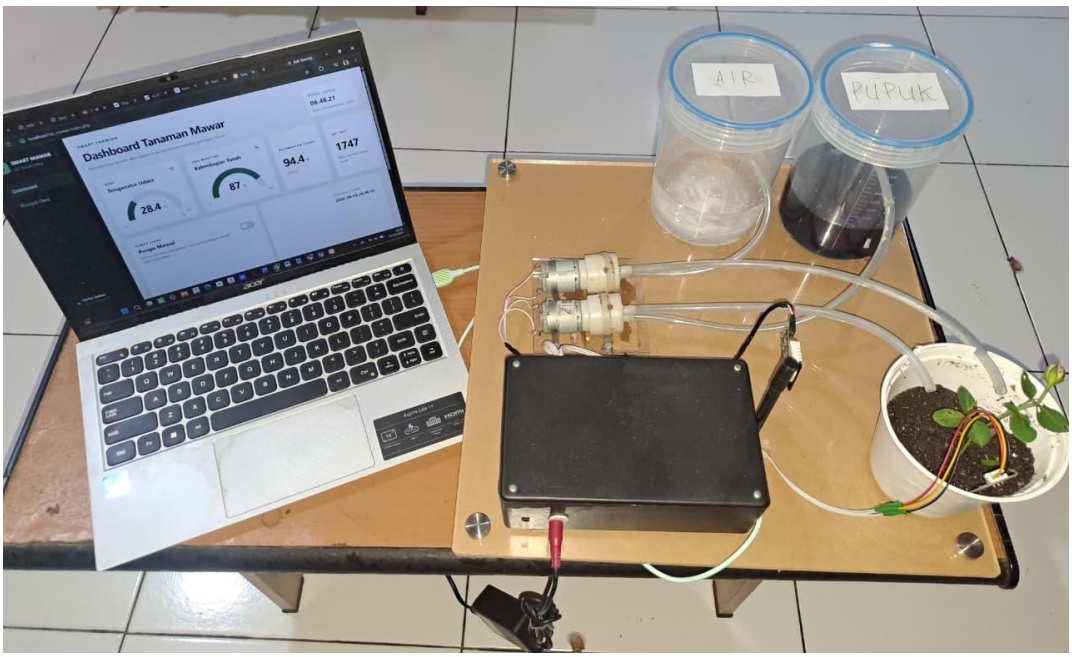
Data yang dianalisis:

1. keberhasilan pengiriman data sensor.
2. tampilan data monitoring.
3. status sistem yang ditampilkan pada Dashboard Web.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Hardware

Implementasi hardware merupakan tahap penerapan dari rancangan perangkat keras yang telah dibuat sebelumnya. Pada tahap ini, seluruh komponen dirakit menjadi satu kesatuan sistem yang dapat digunakan untuk melakukan monitoring dan penyiraman otomatis pada stek tanaman mawar (*Rosa sp.*). Komponen yang digunakan meliputi ESP32 sebagai pusat kendali, sensor kelembapan media tanam, sensor DHT22, modul relay, serta pompa air dan pompa pupuk cair. Setiap komponen memiliki fungsi masing-masing dan saling terhubung untuk mendukung proses kerja sistem. Hasil perakitan perangkat keras ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Implementasi Alat

Pada tahap implementasi hardware, seluruh komponen sistem dirakit sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Komponen utama yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32 DevKit V1, sensor kelembapan tanah (*soil moisture capacitive*), sensor DHT22, relay 2 channel,

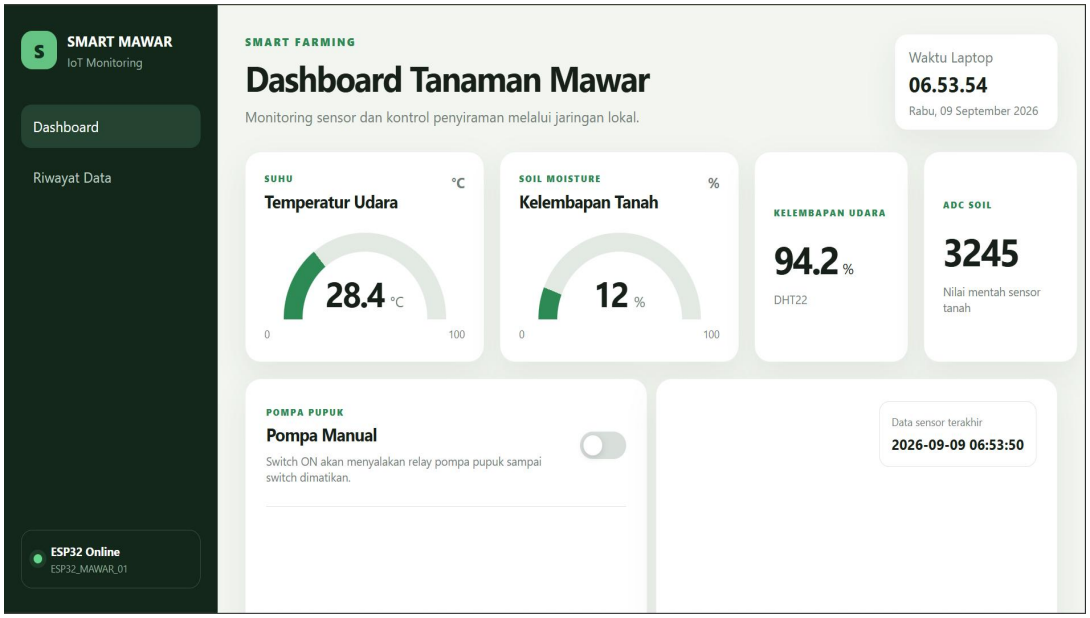
pompa air 12V, dan pompa pupuk yang dikendalikan secara manual melalui dashboard web.

ESP32 DevKit V1 terhubung ke laptop melalui kabel USB untuk keperluan upload program menggunakan Arduino IDE. Setelah program berhasil diunggah, ESP32 dan laptop terhubung ke jaringan Wi-Fi yang sama sehingga ESP32 dapat mengirimkan data sensor ke server lokal (XAMPP) yang berjalan di laptop. Sensor soil moisture dihubungkan ke pin ADC ESP32 untuk membaca nilai kelembapan tanah secara analog, sedangkan sensor DHT22 dihubungkan ke pin digital ESP32 menggunakan komunikasi single-wire.

Relay 2 channel digunakan untuk mengendalikan dua aktuator secara terpisah, yaitu pompa air dan pompa pupuk. Pompa air dikendalikan secara otomatis oleh algoritma Rule Based Control berdasarkan nilai kelembapan tanah, sedangkan pompa pupuk dikendalikan secara manual melalui tombol ON/OFF pada dashboard web.

4.2 Implementasi Dashboard Web

Implementasi Dashboard Web merupakan tahap penerapan antarmuka yang digunakan untuk memantau kondisi stek tanaman mawar melalui data yang dikirimkan oleh ESP32. Dashboard ini menampilkan informasi berupa kelembapan media tanam, suhu dan kelembapan udara, serta status kerja pompa. Selain itu, pengguna dapat mengaktifkan atau menonaktifkan pompa pupuk secara manual melalui tombol yang tersedia. Tampilan Dashboard Web yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Dashboard Web

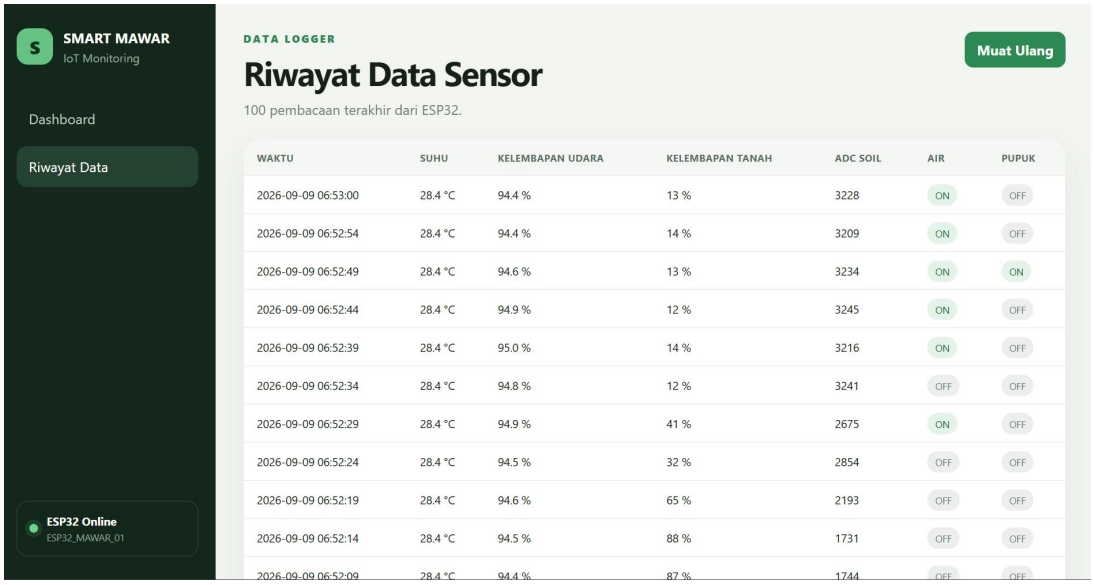
Dashboard web dibangun menggunakan PHP sebagai bahasa pemrograman sisi server, MySQL sebagai basis data untuk menyimpan riwayat data sensor, serta Apache sebagai web server yang dijalankan melalui XAMPP. Dashboard web diakses melalui browser pada laptop menggunakan alamat localhost, sehingga seluruh proses monitoring berlangsung dalam jaringan lokal tanpa memerlukan koneksi internet eksternal.

Tampilan dashboard web terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

a. Gauge Temperatur Udara: menampilkan nilai suhu udara yang dibaca oleh sensor DHT22 dalam satuan derajat Celsius (°C).
b. Gauge Kelembapan Tanah: menampilkan nilai kelembapan media tanam dari sensor soil moisture dalam satuan persen (%).
c. Indikator Kelembapan Udara: menampilkan nilai kelembapan udara dari sensor DHT22 dalam satuan persen (%).
d. Nilai ADC Soil: menampilkan nilai mentah analog-to-digital converter (ADC) dari sensor soil moisture sebagai referensi pembacaan sensor.
e. Tombol ON/OFF Pompa Pupuk: tombol kontrol manual untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa pupuk dari dashboard web.

f. Indikator Waktu dan Status ESP32: menampilkan waktu sistem secara real-time beserta status koneksi ESP32 (Online/Offline).

Selain menampilkan kondisi tanaman secara langsung, Dashboard Web juga menyediakan halaman Riwayat Data Sensor yang digunakan untuk melihat kembali hasil pembacaan sensor yang telah tersimpan. Halaman ini menampilkan data dalam bentuk tabel yang mencakup waktu pencatatan, suhu udara, kelembapan udara, kelembapan media tanam, nilai ADC sensor tanah, serta status pompa air dan pompa pupuk. Dengan adanya halaman ini, pengguna dapat melihat dan memeriksa data sebelumnya untuk membantu proses pemantauan serta evaluasi kinerja sistem. Tampilan Riwayat Data Sensor dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Riwayat Data Sensor

Halaman Riwayat Data menampilkan 100 data pembacaan sensor terakhir dari ESP32 dalam bentuk tabel yang memuat kolom waktu, suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, nilai ADC soil, status pompa air, dan status pompa pupuk.

4.3 Hasil Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca kondisi tanaman dan lingkungan secara akurat. Sensor yang diuji meliputi sensor kelembapan tanah (soil moisture capacitive) dan sensor DHT22 untuk suhu serta kelembapan udara. Data pembacaan sensor ditampilkan secara real-time pada dashboard web dan disimpan ke dalam basis data MySQL.

4.3.1 Pengujian Sensor Kelembapan Tanah (Soil Moisture)

Pengujian sensor kelembapan tanah dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi tanah kering dan kondisi tanah basah. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

No	Waktu	Kondisi Tanah	Kelembapan Tanah (%)	ADC Soil	Status Pompa Air
1	2026-09-09 01:21:17	Kering	14	3207	ON
2	2026-09-09 01:21:12	Kering	14	3206	ON
3	2026-09-09 01:21:07	Kering	10	3299	ON
4	2026-09-09 01:21:02	Kering	15	3199	ON
5	2026-09-09 01:20:58	Kering	15	3194	ON
6	2026-09-09 01:20:52	Kering	15	3194	ON
7	2026-09-08 23:41:28	Kering	15	3194	ON
8	2026-09-08 23:41:23	Kering	14	3209	ON
9	2026-09-08 23:41:18	Kering	14	3215	ON
10	2026-09-07	Basah	61	2279	OFF

	16:13:08				
11	2026-09-07 16:13:03	Basah	60	2290	OFF
12	2026-09-07 16:12:58	Basah	61	2277	OFF
13	2026-09-07 16:12:53	Basah	63	2239	OFF
14	2026-09-07 16:12:48	Basah	63	2234	OFF
15	2026-09-07 16:12:43	Basah	67	2150	OFF
16	2026-09-07 16:12:38	Basah	65	2185	OFF
17	2026-09-07 16:12:33	Basah	65	2186	OFF
18	2026-09-07 16:12:28	Basah	65	2189	OFF
19	2026-09-07 16:12:23	Basah	66	2170	OFF
20	2026-09-07 16:12:18	Basah	67	2159	OFF

Berdasarkan Tabel 4.1, hasil pengujian sensor kelembapan tanah menunjukkan bahwa sensor mampu membaca kondisi kelembapan media tanam secara konsisten. Pada kondisi tanah kering (data ke-1 hingga ke-9), nilai kelembapan berkisar antara 10% hingga 15% dengan nilai ADC antara 3194 hingga 3299. Pada kondisi tanah basah (data ke-10 hingga ke-20), nilai kelembapan berkisar antara 59% hingga 67% dengan nilai ADC antara 2150 hingga 2320. Sensor menunjukkan respons yang stabil terhadap perubahan kondisi kelembapan media tanam, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor berfungsi dengan baik.

4.3.2 Pengujian Sensor DHT22

Sensor DHT22 digunakan untuk memantau kondisi suhu udara dan kelembapan udara di sekitar tanaman. Hasil pengujian sensor DHT22 ditampilkan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor DHT22

No	Waktu	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Udara (%)
1	2026-09-09 01:21:17	28.9	91.5
2	2026-09-09 01:21:12	28.9	91.6
3	2026-09-09 01:21:07	28.8	91.6
4	2026-09-09 01:21:02	28.8	91.4
5	2026-09-09 01:20:58	28.8	91.4
6	2026-09-09 01:20:52	28.8	91.4
7	2026-09-08 23:41:28	29.5	89.9
8	2026-09-08 23:41:23	29.5	89.9
9	2026-09-08 23:41:18	29.5	89.9
10	2026-09-07 16:13:08	24.3	72.1
11	2026-09-07 16:13:03	24.3	72.1
12	2026-09-07 16:12:58	24.3	72.1
13	2026-09-07 16:12:53	24.3	72.1
14	2026-09-07 16:12:48	24.3	72.1
15	2026-09-07 16:12:43	24.3	72.1

Berdasarkan Tabel 4.2, sensor DHT22 menunjukkan pembacaan yang konsisten pada setiap sesi pengujian. Pada sesi pengujian tanggal 9 September 2026, suhu udara berkisar antara 28.8°C hingga 29.5°C dengan kelembapan udara antara 89.9% hingga 91.6%, mencerminkan kondisi lingkungan dengan suhu hangat dan kelembapan udara tinggi. Pada sesi pengujian tanggal 7 September 2026, suhu udara tercatat stabil pada 24.3°C dengan kelembapan udara 72.1%, menunjukkan kondisi lingkungan yang lebih sejuk. Sensor DHT22 terbukti mampu mendeteksi perbedaan kondisi lingkungan secara akurat dan memberikan data yang relevan untuk proses monitoring sistem.

4.4 Hasil Pengujian Algoritma Rule Based Control

Pengujian algoritma Rule Based Control dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian keputusan sistem dalam mengendalikan pompa air berdasarkan nilai kelembapan media tanam. Algoritma bekerja menggunakan konsep IF-THEN dengan nilai threshold kelembapan tanah sebesar 40%.

Aturan yang diterapkan pada sistem adalah sebagai berikut:

a. IF kelembapan tanah < 40% THEN pompa air = ON (kondisi tanah kering, penyiraman dibutuhkan)

b. IF kelembapan tanah ≥ 40% THEN pompa air = OFF (kondisi tanah cukup lembap, penyiraman tidak dibutuhkan)

Pengujian algoritma dilakukan dengan mengamati keputusan sistem pada dua kondisi kelembapan tanah yang berbeda, yaitu kondisi tanah kering dan kondisi tanah basah. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Algoritma Rule Based Control

No	Kelembapan Tanah (%)	Threshold (%)	Kondisi	Keputusan Sistem	Status Pompa Air	Kesesuaian
1	14	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
2	14	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
3	10	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
4	15	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
5	15	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
6	15	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
7	15	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
8	14	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
9	14	40	Kering	Pompa ON	ON	✓ Sesuai
10	61	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
11	60	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
12	61	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai

13	63	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
14	63	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
15	67	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
16	65	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
17	65	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
18	65	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
19	66	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai
20	67	40	Basah	Pompa OFF	OFF	✓ Sesuai

Berdasarkan Tabel 4.3, hasil pengujian algoritma Rule Based Control menunjukkan bahwa seluruh 20 data pengujian menghasilkan keputusan yang sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan. Tingkat keberhasilan algoritma mencapai 100% (20/20 data sesuai).

Pada 9 data kondisi tanah kering dengan nilai kelembapan berkisar 10% hingga 15% (di bawah threshold 40%), sistem secara konsisten memberikan keputusan untuk mengaktifkan pompa air (ON). Pada 11 data kondisi tanah basah dengan nilai kelembapan berkisar 59% hingga 67% (di atas threshold 40%), sistem secara konsisten mempertahankan pompa air dalam kondisi mati (OFF).

Analisis lebih lanjut terhadap nilai ADC soil menunjukkan korelasi yang jelas antara nilai ADC dengan kondisi kelembapan tanah. Pada kondisi tanah kering, nilai ADC berkisar antara 3194 hingga 3299 (nilai tinggi menunjukkan resistansi tinggi akibat sedikitnya kandungan air). Sebaliknya, pada kondisi tanah basah, nilai ADC berkisar antara 2150 hingga 2320 (nilai rendah menunjukkan resistansi rendah akibat banyaknya kandungan air pada media tanam).

Hasil ini membuktikan bahwa implementasi algoritma Rule Based Control pada sistem penyiraman otomatis stek tanaman mawar berjalan sesuai dengan rancangan dan mampu mengambil keputusan yang tepat berdasarkan kondisi kelembapan media tanam secara real-time.

4.4.1 Analisis Tingkat Akurasi Algoritma

Perhitungan tingkat akurasi algoritma Rule Based Control dilakukan menggunakan perbandingan antara jumlah keputusan yang sesuai dengan total data pengujian. Rumus perhitungan akurasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = (\text{Jumlah Keputusan Benar} / \text{Total Data Pengujian}) \times 100\%$$

$$\text{Akurasi} = (20 / 20) \times 100\% = 100\%$$

Tingkat akurasi algoritma Rule Based Control mencapai 100% pada pengujian yang dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa penetapan nilai threshold kelembapan tanah sebesar 40% telah sesuai dengan kebutuhan media tanam stek tanaman mawar, dan sistem mampu mengendalikan pompa air secara otomatis dengan tepat berdasarkan kondisi kelembapan yang terdeteksi oleh sensor.

4.5 Hasil Pengujian Aktuator

Pengujian aktuator dilakukan untuk mengetahui respons relay dalam mengendalikan pompa air berdasarkan perintah dari ESP32. Pengujian ini memastikan bahwa relay dapat mengaktifkan dan menonaktifkan pompa air sesuai dengan keputusan algoritma Rule Based Control.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Aktuator

No	Kondisi Kelembapan	Keputusan Algoritma	Status Relay	Kondisi Pompa Air	Hasil
1	< 40% (Kering)	Pompa ON	Aktif (LOW)	Menyala	✓ Berhasil
2	< 40% (Kering)	Pompa ON	Aktif (LOW)	Menyala	✓ Berhasil
3	< 40% (Kering)	Pompa ON	Aktif (LOW)	Menyala	✓ Berhasil
4	≥ 40% (Basah)	Pompa OFF	Non-aktif (HIGH)	Mati	✓ Berhasil
5	≥ 40% (Basah)	Pompa OFF	Non-aktif (HIGH)	Mati	✓ Berhasil
6	≥ 40% (Basah)	Pompa OFF	Non-aktif (HIGH)	Mati	✓ Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.4, relay berhasil merespons perintah dari ESP32 dengan tepat pada setiap kondisi pengujian. Ketika algoritma Rule Based Control

memberikan perintah pompa ON, relay berpindah ke kondisi aktif (LOW) sehingga arus listrik mengalir ke pompa air dan pompa menyala. Sebaliknya, ketika kondisi kelembapan sudah mencukupi dan algoritma memberikan perintah pompa OFF, relay kembali ke kondisi non-aktif (HIGH) dan pompa air berhenti bekerja. Seluruh pengujian aktuator menghasilkan respons yang sesuai dengan perintah sistem, menunjukkan bahwa komponen relay dan pompa air berfungsi dengan baik.

4.6 Hasil Pengujian Dashboard Web dan Kontrol Manual Pompa Pupuk

Pengujian dashboard web dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pengiriman data sensor dari ESP32 ke server XAMPP serta ketepatan tampilan data monitoring pada antarmuka dashboard. Selain itu, pengujian juga mencakup fungsionalitas kontrol manual pompa pupuk melalui tombol ON/OFF pada dashboard web.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Dashboard Web

No	Komponen yang Diuji	Kondisi	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1	Koneksi ESP32 ke Server	ESP32 & laptop terhubung Wi-Fi yang sama	ESP32 Online, data terkirim	ESP32 Online, data diterima server	✓ Berhasil
2	Tampilan Suhu Udara (Gauge)	DHT22 aktif membaca	Nilai suhu tampil real-time	Suhu 28.8°C tampil pada gauge	✓ Berhasil
3	Tampilan Kelembapan Tanah (Gauge)	Sensor soil moisture aktif	Nilai kelembapan tampil real-time	Kelembapan 15% tampil pada gauge	✓ Berhasil
4	Tampilan Kelembapan Udara	DHT22 aktif membaca	Nilai % kelembapan udara tampil	Nilai 91.4% tampil	✓ Berhasil
5	Tampilan Nilai ADC Soil	Sensor soil moisture aktif	Nilai ADC mentah tampil	Nilai 3199 tampil	✓ Berhasil
6	Kontrol Manual Pompa Pupuk (ON)	Tombol switch diaktifkan	Relay pompa pupuk aktif, pompa menyala	Pompa pupuk menyala	✓ Berhasil

7	Kontrol Manual Pompa Pupuk (OFF)	Tombol switch dinonaktifkan	Relay pompa pupuk nonaktif, pompa mati	Pompa pupuk mati	✓ Berhasil
8	Halaman Riwayat Data	Data tersimpan di MySQL	100 data terakhir tampil di tabel	100 data tampil dengan benar	✓ Berhasil
9	Timestamp Data	Setiap pembacaan tersimpan	Waktu pembacaan tercatat akurat	Waktu tampil sesuai pembacaan sensor	✓ Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.5, seluruh komponen dashboard web berhasil berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. ESP32 berhasil terhubung ke server lokal XAMPP melalui jaringan Wi-Fi dan mengirimkan data sensor secara berkala setiap 5 detik. Data suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan nilai ADC soil ditampilkan secara real-time pada dashboard web dengan tampilan yang informatif.

Fitur kontrol manual pompa pupuk melalui tombol ON/OFF pada dashboard web juga berfungsi dengan baik. Ketika tombol diaktifkan, relay pompa pupuk langsung merespons dan pompa pupuk menyala. Ketika tombol dinonaktifkan, pompa pupuk berhenti bekerja. Halaman riwayat data menampilkan 100 data pembacaan sensor terakhir secara lengkap, memungkinkan pengguna untuk memantau perkembangan kondisi tanaman dari waktu ke waktu.

4.7 Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen sistem, mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data menggunakan algoritma Rule Based Control, pengendalian aktuator, pengiriman data ke server, hingga tampilan pada dashboard web. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh bagian sistem dapat bekerja secara sinergis dan menghasilkan output yang sesuai.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

No	Skenario Pengujian	Kondisi Awal	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1	Penyiraman otomatis kondisi tanah kering	Kelembapan tanah 10–15% (< 40%)	Pompa air ON, data tampil di dashboard	Pompa air ON, data tampil real-time	✓ Berhasil
2	Penyiraman otomatis kondisi tanah basah	Kelembapan tanah 59–67% (≥ 40%)	Pompa air OFF, data tampil di dashboard	Pompa air OFF, data tampil real-time	✓ Berhasil
3	Kontrol manual pompa pupuk dari dashboard	Pompa pupuk OFF, tombol dashboard OFF	Tombol ON → pompa pupuk menyala	Pompa pupuk menyala setelah tombol ON	✓ Berhasil
4	Monitoring kondisi lingkungan	DHT22 aktif membaca suhu & kelembapan udara	Data suhu & kelembapan udara tampil di dashboard	Data tampil dengan nilai akurat	✓ Berhasil
5	Penyimpanan riwayat data	Sistem berjalan, data masuk ke MySQL	100 data terakhir tersimpan dan dapat ditampilkan	Riwayat data tampil pada halaman Data Logger	✓ Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.6, pengujian sistem keseluruhan menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem bekerja secara terintegrasi dengan baik. Sistem berhasil melakukan penyiraman otomatis berdasarkan kondisi kelembapan tanah menggunakan algoritma Rule Based Control, memungkinkan kontrol manual pompa pupuk dari dashboard web, menampilkan data monitoring secara real-time, dan menyimpan riwayat data sensor ke dalam basis data MySQL. Semua skenario pengujian berhasil dilakukan sesuai dengan tujuan perancangan sistem, sehingga sistem ini dapat dinyatakan layak untuk digunakan dalam proses pemeliharaan stek tanaman mawar.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar menggunakan algoritma Rule Based Control berbasis Internet of Things (IoT), dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1, sensor kelembapan tanah (soil moisture capacitive), sensor DHT22, relay 2 channel, pompa air 12V, serta pompa pupuk yang dikendalikan secara manual melalui dashboard web.
2. Sistem monitoring dan penyiraman otomatis stek tanaman mawar berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1, sensor kelembapan tanah (soil moisture capacitive), sensor DHT22, relay 2 channel, pompa air 12V, serta pompa pupuk yang dikendalikan secara manual melalui dashboard web.
3. Hasil pengujian algoritma Rule Based Control menunjukkan tingkat akurasi sebesar 100% dari 20 data pengujian, dengan seluruh keputusan sistem sesuai dengan aturan IF-THEN yang telah ditetapkan. Pada kondisi tanah kering (kelembapan 10–15%), pompa air aktif, sedangkan pada kondisi tanah basah (kelembapan 59–67%), pompa air tidak aktif.
4. Sensor kelembapan tanah dan sensor DHT22 menunjukkan kinerja yang konsisten dan akurat dalam membaca kondisi media tanam dan lingkungan sekitar tanaman. Nilai ADC soil pada kondisi kering berkisar 3194–3299, sedangkan pada kondisi basah berkisar 2150–2320, menunjukkan korelasi yang jelas antara nilai ADC dengan tingkat kelembapan tanah.
5. Dashboard web yang dibangun menggunakan PHP, MySQL, dan Apache (XAMPP) berhasil menampilkan data monitoring secara real-time, menyimpan riwayat data sensor, serta menyediakan fitur kontrol manual untuk pompa pupuk melalui tombol ON/OFF. Dashboard dapat diakses

6. melalui browser di laptop menggunakan alamat localhost dalam jaringan lokal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut:

1. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan koneksi internet eksternal sehingga dashboard web dapat diakses dari mana saja, tidak hanya melalui jaringan lokal. Penggunaan layanan cloud atau hosting dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan aksesibilitas sistem.
2. Penambahan fitur penjadwalan otomatis untuk pemupukan dapat dipertimbangkan pada pengembangan berikutnya, sehingga sistem dapat mengelola pemberian pupuk secara lebih terstruktur tanpa perlu intervensi manual setiap saat.
3. Penambahan sensor pendukung sensor intensitas cahaya dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam memantau kondisi pertumbuhan stek tanaman mawar secara lebih komprehensif.
4. Pengujian sistem dalam jangka waktu lebih panjang yang mencakup seluruh siklus pertumbuhan stek tanaman mawar perlu dilakukan untuk memperoleh data yang lebih representatif mengenai efektivitas sistem dalam mendukung pertumbuhan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

Afdal Bintang Syahputra, & Agus Ulinuha. (2025). Integrasi komponen elektronika berbasis ESP32 dan sensor kelembapan untuk penyiraman otomatis pada tanaman anggrek. Jurnal Sains dan Teknologi, 14(1), 47–55. https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v14i1.93007

Agustina, E. B., & Dewi, A. T. (2023). Perancangan alat penyiram tanaman otomatis berbasis mikrokontroler dan Internet of Things (IoT). Lontar Physics Today, 2(3).

Aisyah, N., Ulhaq, E. D., Dharmawan, A., & Purbakawaca, R. (2025). Design of an IoT-based smart irrigation system using soil moisture sensors for water efficiency. Journal Online of Physics, 11(1), 89–97. https://doi.org/10.22437/jop.v11i1.48928

Arduino. (2024). Arduino IDE documentation. Arduino. https://docs.arduino.cc/software/ide/

Blynk Inc. (2024). Blynk IoT documentation. Blynk IoT Platform. https://docs.blynk.io/

Dhevina Maharani, A. Abd. Jabbar, & Sri Nita. (2024). Automatic plant watering system with Internet of Things for monitoring and controlling soil moisture. Journal on Internet Engineering Technologies and Applications, 1(1), 21–27.

Espressif Systems. (2024). ESP32 series datasheet. Espressif Systems. https://www.espressif.com/

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2023). Plant propagation: Principles and practices (10th ed.). Pearson.

Kumar, A., Singh, R., & Sharma, P. (2023). Internet of Things based smart agriculture system: A review. Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 3, 1–12.

Mahendra, T., & Ihsan, M. (2026). IoT-based soil moisture monitoring and automatic watering system. Jurnal Teknologi dan Open Source, 9(1), 28–36. https://doi.org/10.36378/jtos.v9i1.5300

Mendrofa, R. K. I., Latifa, U., & Setiawan, M. A. (2026). Rancang bangun sistem irigasi otomatis berbasis ESP32 dan sensor kelembapan tanah untuk monitoring real-time. EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control, 9(1), 534–546. https://doi.org/10.32493/epic.v9i1.60045

Morchid, A., Jebabra, R., Khalid, H. M., El Alami, R., Qjidaa, H., & Ouazzani Jamil, M. (2024). IoT-based smart irrigation management system to enhance agricultural water security using embedded systems, telemetry data, and cloud computing. Results in Engineering, 23, 102829. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102829

Nehra, M. K., Ali, G., & Singh, J. (2023). Standardization of rose flower propagation by improving the climatic conditions in India. International Journal of Plant & Soil Science, 35(19), 1367–1371. https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i193680

Pratiwi, S. D., Sugianto, R. A., & Pane, M. A. S. (2026). IoT-based soil moisture monitoring and automatic irrigation system using ESP32 and YL-69 sensors for oil palm seedlings in the main nursery. Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi.

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2023). Software engineering: A practitioner's approach (9th ed.). McGraw-Hill.

Raesyafudin Stiawan, M. I., & Supardi, Z. A. I. (2024). Smart farming: Merancang alat penyiram tanaman otomatis berbasis kelembapan tanah dan waktu menggunakan mikrokontroler ESP32. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, 13(3), 124–132. https://doi.org/10.26740/ifi.v13n3.p124-132

Roziqin, M., Kabes, A. F., & Haq, S. Z. N. (2025). Rancang bangun penyiraman tanaman cabe otomatis menggunakan ESP32 dan sensor kelembapan tanah. Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 13(3S1). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7966

Sangha, L., Shortridge, J., & Frame, W. (2023). The impact of nitrogen treatment and short-term weather forecast data in irrigation scheduling of corn and cotton on water and nutrient use efficiency in humid climates. Agricultural Water Management, 283, 108314. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108314

Sommerville, I. (2023). Software engineering (11th ed.). Pearson.

Sutono, S., & Mohamed, Y. H. (2025). IoT-based smart agriculture system using ESP32, DHT22, and soil moisture sensors with relay control, MySQL–Bootstrap (without PDO), and Chart.js for water-scarce environments. Proceeding of International Conference on Informatics, Engineering, Science & Technology, 1, 1–8. https://doi.org/10.34010/incitest.v1i.823

Wang, L., Chen, Y., & Zhang, H. (2023). Rule-based control systems for intelligent automation applications. IEEE Access, 11.

Westari, D., & Ilman, S. (2024). Sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32, moisture sensor, DHT22 sensor dan Blynk. Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika, 3(4), 314–321. https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i4.4941

Zakaria, Y., Al Munawaroh, I. H., Widyaningsih, S. N., & Apriliyanto, E. (2026). Testing and evaluation of an IoT-based smart irrigation system for soil moisture monitoring. Journal of Computer Science and Informatics Engineering, 5(2), 157–171. https://doi.org/10.55537/cosie.v5i2.1492