IMPLEMENTASI SISTEM IRIGASI OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* PADA PERTANIAN CABAI



Disusun Oleh:

N a m a : Muhammad Haris Rusnanda

NIM : 22523282

PROGRAM STUDI INFORMATIKA – PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2026

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

IMPLEMENTASI SISTEM IRIGASI OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* PAD PERTANIAN CABAI

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

N a m a : Muhammad Haris Rusnanda

NIM : 22523282

Yogyakarta, 30 Juni 2026

Pembimbing,



(Ir. Kurniawan Dwi Irianto, S.T., M.Sc.)

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

IMPLEMENTASI SISTEM IRIGASI OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* PADA PERTANIAN CABAI

TUGAS AKHIR

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer dari Program Studi Informatika – Program Sarjana di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 30 Juni 2026

Tim Penguji

Ir. Kurniawan Dwi Irianto, S.T., M.Sc. _____

Anggota 1
Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D. _____

Anggota 2

Dr. Raden Teduh Dirgahayu, S.T. M.sc. _____

Mengetahui,
Ketua Program Studi Informatika – Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

(Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D.)

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Haris Rusnanda

NIM : 22523282

Tugas akhir dengan judul:

IMPLEMENTASI SISTEM IRIGASI OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* PADA PERTANIAN CABAI

Menyatakan bahwa seluruh komponen dan isi dalam tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, tugas akhir yang diajukan sebagai hasil karya sendiri ini siap ditarik kembali dan siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun.

Demikian surat pernyataan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 30 Juni 2026



(Muhammad Haris Rusnanda)

Dipindai dengan CamScanner

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulilah, segala puji bagi Allah Swt. atas segala nikmat, rahmat dan kesempatan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi Strata Satu (S1) serta menyusun karya ini. Karya ini penulis persembahkan untuk kedua orang tua tercinta, almarhum Bapak dan Mamah, yang telah memberikan pesan, semangat, inspirasi dan kasih sayang serta dorongan untuk penulis agar selalu semangat dalam menempuh pendidikan. Kepada kedua kakak tercinta saya, serta saudara, om dan tante yang senantiasa memberikan dukungan selama menempuh proses pembelajaran. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, keluarga, teman-teman, serta menjadi referensi yang bermanfaat bagi penelitian selanjutnya. Atas terselesaikanya penulisan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung, serta selalu memanjatkan rasa syukur kehadirat Allah Swt.

HALAMAN MOTO

“Orang tua tidak selalu dapat memberikan semua hal yang diinginkan anaknya, tetapi ilmu yang bermanfaat adalah bekal dan warisan terbaik yang dapat diberikan, karena ilmu akan terus menyertai dan menjadi manfaat sepanjang kehidupan”
- Ruswan Ridwan Jamal

وَأُفَوِّضُ اَمْرِيْٓ اِلَى اللّٰهِ
“Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah”
Qs Ghafir:44

“Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar, maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan”
-Imam Syafii

“To infinity and beyond!”
Buzz Lightyear – Toy Story

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Segala puji bagi Allah Swt. atas segala nikmat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan, doa, bantuan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada: :

1. Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunian-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kepada keluarga tercinta, khususnya ibu penulis, Ibu Eliyatun, atas segala jerih payah, usaha, kasih sayang, doa, dukungan, semangat serta kesediaannya untuk selalu mendengarkan setiap keluh kesah penulis selama menempuh pendidikan. Kepada almarhum Bapak, Bapak Ruswan Ridwan Jamal, yang semasa hidup telah memberikan pesan dan dorongan kepada penulis untuk terus menempuh pendidikan karena beliau ingin mewariskan ilmu yang bermanfaat kepada anak-anaknya. Semoga segala kebaikan dan pesan beliau senantiasa menjadi pedoman bagi penulis. Serta kepada kakak penulis, Mochammad Yusuf Fauzan, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan motivasi sehingga menjadi bagian yang sangat berarti dalam perjalanan pendidikan penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Dr. Sri Kusumadewi, S.Si., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku ketua Program Studi Informatika Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Ir. Kurniawan Dwi Irianto, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu, masukan, serta dukungan kepada penulis selama proses penyusunan hingga terselesaikan tugas akhir.
7. Bapak Zainudin Zukhri, S.T., M.I.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan.
8. Kepada Ir. H. Moch Hasyim dan Hj. Rokhayah, serta Sri Nofidiyahwati, S.I.Kom., dan Hermawan Setiadi, S.T., serta Mochammad Arjuna Prabaswara, penulis mengucapkan terima kasih atas segala kebaikan, doa, dukungan, semangat,

motivasi, serta bantuan yang telah diberikan selama proses pendidikan. Segala perhatian dan kebaikan yang diberikan akan selalu dikenang oleh penulis..

9. Kepada Ibu Nurhikmah, dan Ibu Fitri serta saudara-saudara penulis di lingkungan tempat tinggal, yaitu Neisha, Rere, Saka, dan Biyan, yang telah memberikan doa, dukungan, bantuan, serta semangat dengan cara mereka masing-masing. Kerinduan dan dukungan kecil dari kalian menjadi motivasi tersendiri bagi penulis selama menempuh pendidikan.
10. Kepada Nashwa Nevrida Khalila, S.Psi., terimakasih atas segala dukungan, semangat, doa, serta ketersediaannya menjadi tempat penulis berbagi cerita, berkeluh kesah dan berdiskusi selama proses pendidikan.
11. Kepada teman-teman Informatika Angkatan 2022 serta seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas kebersamaan, pengalaman, dukungan, dan bantuan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi.

Wassalamualaikum Warahmatullalhi Wabarakatuh

Yogyakarta, 30 Juni 2026



(Muhammad Haris Rusnanda)

SARI

Penyiraman tanaman cabai yang masih dilakukan secara manual menyebabkan penggunaan tenaga dan waktu yang cukup besar serta berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian pemberian air terhadap kebutuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk menimplementasikan sistem irigasi otomatis berabsis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan pemantauan kelembapan tanah dan pengendalian penyiraman secara *real-time* pada pertanian cabai. Metode yang digunakan adalah *prototype* melalui tahapan komunikasi, perencanaan, perancangan, implementasi dan evaluasi sistem dengan pengumpulan data melalui observasi dan wawancara petani. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor kelembapan tanah, relay, pompa air, layar OLED, Firebase Realtime Database, dan terhubung aplikasi Android. Sistem mendukung tiga mode penyiraman, yaitu otomatis, manual, dan jadwal, serta tetap menjalankan penyiraman lokal secara otomatis ketika perangkat tidak terhubung ke internet. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring kelembapan tanah, mengendalikan proses penyiraman sesuai kondisi dan mode yang dipilih, serta menyimpan data monitoring dan riwayat penyiraman secara *real-time* sehingga dapat membantu meningkatkan efisiensi pengelolaan irigasi pada tanaman cabai.

Kata kunci: *Internet of Things*, irigasi otomatis, ESP32, Kelembapan tanah, tanaman cabai.

GLOSARIUM

Android	sistem operasi perangkat bergerak yang digunakan untuk menjalankan aplikasi atau sistem
Bluetooth	teknologi komunikasi nirkabel jarak dekat yang digunakan untuk proses *pairing* perangkat.
ESP32	mikrokontroler yang digunakan sebagai pusat pengendali sistem
Firebase Realtime Database	basis data *cloud* yang digunakan untuk menyimpan dan memperbarui data secara *real-time.*
Internet of Things	konsep teknologi antar perangkat melalui internet untuk betukar data.
Mikronkontroler	komputer berukuran kecil yang berfungsi sebagai pusat pengendali perangkat elektronik.
Monitoring	proses pemantauan data secara langsung saat sistem berkomunikasi.
Pairing	proses menghubungkan dua perangkat agar dapat berkomunikasi.
Prototype	metode pengembangan sistem melalui pembuatan model awal.
Real-time	proses penyajian atau pembaruan data secara langsung tanpa jeda.
Android	sakelar elektronik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutus aliran listrik ke pompa berdasarkan perintah
Soil Moisture	sensor yang digunakan untuk membaca tingkat kelembapan tanah.
Treshold	nilai ambang batas yang digunakan untuk mengambil keputusan dalam sistem.
WiFi	teknologi jaringan nirkabel yang digunakan untuk menghubungkan perangkat ke internet.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
HALAMAN MOTO vi
KATA PENGANTAR vii
SARI ix
GLOSARIUM x
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR GAMBAR xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Metode Penelitian 4
1.7 Sistematika Penulisan 4
BAB II LANDASAN TEORI 6
2.1 *Internet of Things* 6
2.1.1 Definisi *Internet of Things* 6
2.1.2 Cara Kerja *Internet of Things* 6
2.1.3 Penerapan *Internet of Things* 7
2.2 Pertanian Cabai 7
2.3 *Smart Farming* 8
2.4 Irigasi Otomatis 8
2.5 Komponen Perangkat Keras Yang Digunakan 9
2.5.1 ESP 32 9
2.5.2 Breadboard 10
2.5.3 Kabel Jumper 11

2.5.4 LCD OLED 11
2.5.5 Sensor Kelembapan 12
2.5.6 Pompa DC Mini 13
2.5.7 Relay 13
2.6 Komponen Perangkat Lunak 14
2.6.1 Arduino IDE 14
2.6.2 Firebase 14
2.7 Blackbox Testing 15
2.8 Kajian Literatur 16
BAB III METODOLOGI 20
3.1 Komunikasi 21
3.1.1 Observasi 21
3.1.2 Wawancara 21
3.1.3 Ringkasan Hasil Wawancara 23
3.2 Rencana Cepat (*Quick Plan)* 26
3.2.1 Kebutuhan Fungsional 27
3.2.2 Kebutuhan Non Fungsional 28
3.3 Perancangan Sistem 30
3.3.1 Ruang Lingkup Kerja Sistem 30
3.3.2 Konsep dan Mode Pengoperasian Sistem 30
3.3.3 Alur Kerja Sistem 31
3.3.4 Gambaran Umum Sistem 33
3.3.5 Alur Kerja Sistem 34
3.4 Perancangan Alat 35
3.5 Pembuatan *Prototype* Sistem 38
3.6 Rencana Pengujian Sistem 40
3.6.1 *Black Box Testing* 40
3.6.2 Pengujian Sistem 41
3.6.3 Pengujian Pemantauan Kelembapan Tanah 41
3.6.4 Pengujian Penyiraman 41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 43
4.1 Implementasi Sistem 43
4.1.1 Implementasi Perangkat Keras 43
4.1.2 Kalibrasi Sensor Kelembapan Tanah 44

4.1.3 Penentuan Nilai Ambang Batas (*Threshold*) 44
4.1.4 Konfigurasi Pompa 46
4.1.5 Konfigurasi Layar 46
4.2 Implementasi Perangkat Lunak 47
4.2.1 Inisialisasi *Library* dan Konfigurasi Sistem 47
4.2.2 Implementasi Pairing dan Koneksi WiFi 49
4.2.3 Implementasi Pengendalian Penyiraman 53
4.2.4 Implementasi Firebase Realtime Database 55
4.2.5 Implementasi OLED 57
4.3 Pengujian 58
4.3.1 *Black Box Testing* 58
4.3.2 Implementasi Pengujian Sistem 62
4.3.3 Pengujian Pemantauan Kelembapan Tanah 63
4.3.4 Hasil Pengujian Penyiraman 64
4.4 Umpan Balik Pengguna 65
4.5 Evaluasi Sistem 71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 73
5.1 Kesimpulan 73
5.2 Saran 73
DAFTAR PUSTAKA 75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Literatur 16
Tabel 3.1 Daftar Pertanyaan 22
Tabel 3.2 Ringkasan Hasil Wawancara 23
Tabel 4.1 Kalibrasi nilai sensor 44
Tabel 4.2 Penentuan nilai ambang batas (*Treshold*) 45
Tabel 4.3 *Library* yang digunakan 47
Tabel 4.4 Konfigurasi pin perangkat 48
Tabel 4.5 Tahapan pairing dan koneksi WiFi 49
Tabel 4.6 Data dan perintah yang disimpan pada Firebase Realtime Database 55
Tabel 4.7 Data yang ditampilkan pada OLED 57
Tabel 4.8 Pengujian koneksi sistem 58
Tabel 4.9 Pengujian pembacaan kelembapan 59
Tabel 4.10 Pengujian mode otomatis 60
Tabel 4.11 Pengujian tampilan OLED 61
Tabel 4.12 Pengujian riwayat data 61
Tabel 4.13 Pemantauan kelembapan 63
Tabel 4.14 Pengujian Penyiraman 65
Tabel 4.15 Umpan balik 66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 ESP32 9
Gambar 2.2 Breadboard 10
Gambar 2.3 Kabel Jumper 11
Gambar 2.4 LCD Oled 11
Gambar 2.5 Sensor Kelembapan 12
Gambar 2.6 Pompa dc mini 13
Gambar 2.7 Relay *dual chanel* 13
Gambar 3.1 Diagram Prototyping 20
Gambar 3.2 Wawancara dengan petani cabai 26
Gambar 3.3 *Workflow* sistem 32
Gambar 3.4 Gambaran Umum Sistem 33
Gambar 3.5 Rangkaian alat 36
Gambar 3.6 *Protoype* sistem 39
Gambar 4.1 Realisasi sistem 43
Gambar 4.2 Inisialisasi *library* sistem 48
Gambar 4.3 Implementasi pairing Bluetooth dan koneksi WiFi 52
Gambar 4.4 Logika pengendalian pompa 54
Gambar 4.5 Pengujian sistem 62
Gambar 4.6 Umpan balik pengguna 69

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketahanan pangan dan perekonomian masyarakat Indonesia sangat dipengaruhi oleh sektor pertanian. Sebagai negara yang dilewati garis khatulistiwa, Indonesia memiliki keragaman iklim yang tinggi. Namun, perubahan iklim yang terjadi saat ini menjadi masalah serius karena berdampak pada perubahan pola curah hujan, peningkatan suhu global, serta meningkatnya frekuensi bencana seperti kekeringan, banjir, dan cuaca ekstrem (Nalendra & Mujiono, 2020). Kondisi tersebut menyebabkan petani sering kesulitan dalam mengatur kebutuhan air bagi tanaman, khususnya pada lahan pertanian terbuka yang sangat bergantung pada cuaca. Di sisi lain, ketergantungan terhadap sistem irigasi tradisional juga memperbesar risiko kesalahan manusia, inefisiensi tenaga kerja, dan keterlambatan dalam proses penyiraman (Anggraini et al., 2025). Akibatnya, banyak petani mengalami penurunan hasil panen hingga gagal panen karena faktor curah hujan yang tidak menentu serta penggunaan air yang tidak efisien, terutama pada tanaman cabai pada lahan terbuka yang sensitif terhadap perubahan kelembapan tanah.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem irigasi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung pertanian modern. Dudi Ali Murtanto dan Imam Suharjo (2022) dalam "Rancang Bangun *Smart Irigation* Tanaman Cabai Berbasis IoT" merancang sistem irigasi menggunakan mikrokontroler NodeMCU dengan sensor kelembapan tanah (*Soil Moisture Sensor*) yang terhubung dengan aplikasi Android. Sistem ini memungkinkan proses penyiraman tanaman cabai dengan otomatis berdasarkan kelembapan tanah yang terdeteksi oleh sensor, sehingga petani dapat memantau dan mengontrol penyiraman melalui perangkat seluler. Penelitian ini menunjukkan bahwa menggunakan IoT untuk sistem irigasi dapat membantu mengoptimalkan distribusi air, menghemat tenaga kerja serta mempermudah pemantauan kondisi tanah secara Real-time. Hasil penelitian tersebut menjadi dasar penting dalam pengembangan irigasi cerdas yang lebih efektif dan efisien untuk berbagai jenis tanaman, termasuk tanaman cabai di dalam lahan terbuka.

Dudi Ali Murtanto dan Imam Suharjo (2022) dalam "Rancang Bangun *Smart Irrigation* Tanaman Cabai Berbasis IoT" telah berhasil merancang sistem tersebut dengan baik yang dapat memantau kelembapan tanah secara Real-time, namun masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan. Sistem yang dikembangkan hanya berfokus pada kelembapan tanah dan belum mempertimbangkan faktor lingkungan seperti curah hujan, suhu udara yang dapat mempengaruhi kebutuhan air tanaman. Sistem tersebut masih bergantung pada jaringan WiFi yang stabil untuk menjalankan sistem dengan optimal, sehingga tidak dapat berjalan dengan baik jika berada di daerah dengan akses WiFi yang terbatas. Sistem tersebut masih memiliki keterbatasan karena sangat bergantung pada ketersediaan jaringan WiFi yang stabil, sehingga penerapannya kurang optimal pada lahan pertanian terbuka yang memiliki keterbatasan akses jaringan dan dipengaruhi kondisi cuaca.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Stiawan dan Supardi (2024) mengembangkan alat penyiraman tanaman cabai otomatis berbasis kelembapan tanah dan waktu menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem ini mampu melakukan penyiraman secara terjadwal serta menyesuaikan lama penyiraman berdasarkan tingkat kelembapan tanah, dengan hasil pengujian menunjukkan bahwa kelembapan tanah berpengaruh sebesar 80,7% terhadap lama waktu penyiraman. Meskipun demikian, hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa durasi penyiraman tidak hanya dipengaruhi oleh kelembapan tanah, tapi turut dipengaruhi oleh faktor lain seperti jenis tanaman, kondisi tanah, iklim, cuaca dan jenis pupuk yang digunakan. Selain itu, sistem yang dikembangkan masih mengandalkan konektivitas jaringan WiFi, sehingga penerapannya kurang optimal pada lahan pertanian terbuka dengan keterbatasan akses jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sistem irigasi otomatis berbasis ESP32 telah mampu meningkatkan efektivitas penyiraman, masih diperlukan pengembangan lebih lanjut agar sistem dapat lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan dan kebutuhan petani di lapangan.

Penelitian sebelumnya mengenai sistem irigasi otomatis menggunakan Arduino Uno telah berhasil bekerja sesuai dengan rancangan. Penelitian yang dilakukan oleh Nurdiana dan Perawati (2021) menyimpulkan bahwa semakin tinggi tingkat kelembapan tanah, maka nilai resistensi sensor semakin besar sehingga arus yang mengalir semakin kecil, yang ditunjukkan oleh penurunan tegangan keluaran sensor. Namun, sistem yang dikembangkan tersebut tidak dapat digunakan untuk petani melakukan pemantauan kelembapan tanah secara jarak jauh, karena Arduino Uno tidak memiliki modul WiFi bawaan (Widyatmika et al., 2021). Akibatnya proses pemantauan tidak dapat dilakukan secara jarak jauh melalui aplikasi, serta kelembapan

tanah yang terbaca belum tersimpan secara otomatis sebagai riwayat untuk keperluan analisis dan observasi perkembangan kondisi tanaman.

1.2 Rumusan Masalah

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

a. Bagaimana merancang sistem irigasi berbasis IoT dapat diterapkan untuk tanaman cabai?
b. Bagaimana sistem tersebut dapat memantau secara Real-time kondisi kelembapan tanah di lahan terbuka
c. Bagaimana kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* dalam mendukung proses penyiraman tanaman cabai berdasarkan kondisi kelembapan tanah?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan terfokus pada solusi, maka diterapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

a. Sistem hanya dikembangkan di lahan terbuka.
b. Fokus pada otomatisasi pengendalian penyiraman menggunakan sensor kelembapan tanah.
c. Penelitian ini menggunakan sampling tahap pertumbuhan tanaman untuk memantau tingkat efisiensi air.
d. Penelitain berfokus pada perancangan dan implementasi sistem IoT, meliputi perangkat keras dan perangkat lunak pada ESP32.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat diterapkan pada tanaman cabai di lahan terbuka, mengembangkan sistem yang mampu memantau kondisi kelemban tanah secara *real-time* melalui aplikasi, serta mengetahui kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam mendukung proses penyiraman tanaman cabai berdasarkan kondisi kelembapan tanah.

1.5 Manfaat Penelitian

a. Bagi Petani
    1. Mempermudah proses pengelolaan irigasi dengan sistem otomatis.

2. Memantau kondisi tanah secara real-time menggunakan aplikasi Android melalui Firebase Realtime Database.
3. Menyediakan riwayat kelembapan tanah dan penyiraman yang dapat digunakan untuk memantau kondisi tanah.

b. Bagi Peneliti
1. Menambah wawasan dan pengalaman dalam penerapan teknologi *Internet of Things* pada bidang pertanian, khususnya sistem irigasi otomatis di lahan terbuka.
2. Memberikan dasar dan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem irigasi berbasis *Internet of Things.*

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *prototyping* sebagai pendekatan dalam proses pengembangan sistem. Pemilihan metode ini disesuaikan dengan kebutuhan penulis untuk melakukan pengembangan karena melakukan interaksi secara langsung dengan pengguna. Adapun tahapannya adalah

a. Pengumpulan Kebutuhan
b. Perancangan prototype
c. Evaluasi dan perbaikan
d. Pengembangan sistem
e. Pengujian sistem
f. Evaluasi sistem

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan dalam lima bab, terdiri dari :

a. BAB I Pendahuluan
b. BAB II Landasan Teori
c. BAB III Metodologi Penelitian
d. BAB IV Hasil dan Pembahasan
e. BAB V Kesimpulan dan Saran

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 *Internet of Things*

2.1.1 Definisi *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) adalah teknologi modern yang dirancang untuk mengoptimalkan pemanfaatan konektivitas internet yang selalu aktif. Konsep ini memungkinkan berbagai perangkat di sekitar kita saling terhubung dan berinteraksi, sehingga berbagai aktivitas sehari-hari dapat dilakukan dengan lebih mudah, cepat, dan efisien. Perkembangan IoT semakin pesat seiring dengan penerapannya dalam berbagai aspek kehidupan, terutama dalam mendukung otomatisasi dan meningkatkan efisiensi pekerjaan manusia (Selay et al., 2020).

2.1.2 Cara Kerja *Internet of Things*

Pada sistem IoT, sensor yang terpasang pada perangkat berperan penting untuk mengumpulkan data dari lingkungan (Selay et al., 2020). Data tersebut akan dikirimkan ke mikrokontroler, seperti ESP32 dan Arduino, untuk diproses lebih lanjut. Setelah data diolah, mikrokontroler dapat berkomunikasi dengan perangkat lain yang terhubung dengan sistem sehingga memungkinkan terjadinya pengendalian dan pengaturan perangkat secara otomatis tanpa ada perlu interaksi manual secara langsung.

Internet of Things dasarnya dirancang untuk memantau dan mengendalikan perangkat dari jarak jauh dengan memanfaatkan konektivitas internet. Karena konektivitasnya dengan internet maka data yang ditampilkan adalah data Real-time. Dengan adanya data secara Real-time maka dapat mempermudah aktivitas di bidang pertanian untuk membantu mengambil keputusan, meningkatkan efisiensi dan mengurangi ketergantungan pada pengelolaan manual.

Secara sederhana, IoT bekerja berdasarkan logika dan perintah pemrograman yang telah ditanamkan di dalam sistem. Setiap perintah memungkinkan terjadinya komunikasi antar perangkat secara otomatis, meskipun berada pada jarak yang jauh (Selay et al., 2020). Dengan pemrograman yang terintegrasi, sistem IoT mampu menjalankan tindakan tertentu secara mandiri berdasarkan data yang diperoleh dari sensor, sehingga peran manusia dalam pengoperasian langsung dapat diminimalkan.

2.1.3 Penerapan *Internet of Things*

Penerapan teknologi IoT telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang untuk mendukung aktivitas manusia. Dalam bidang kesehatan, IoT dimanfaatkan untuk memantau kondisi pasien, sedangkan pada pelayanan publik untuk mengontrol dan memantau aktivitas masyarakat. Di bidang pendidikan dimanfaatkan untuk presensi siswa dan staf, serta dalam kehidupan sehari hari untuk mengontrol perangkat elektronik (Selay et al., 2020). Pada bidang pertanian, IoT memiliki potensi yang besar untuk diterapkan karena berbagai manfaat , seperti pemantauan suhu lingkungan, kelembapan tanah, dan otomatisasi penyiraman. Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh (Suja'i et al., 2024) menunjukkan IoT mampu mendeteksi keberadaan hama tikus dan melakukan pengusiran secara otomatis.

2.2 Pertanian Cabai

Di Indonesia, cabai menjadi salah satu kebutuhan pangan utama masyarakat yang digunakan hampir setiap hari. Tanaman hortikultura ini banyak dibudidayakan karena berbagai manfaatnya. Selain rasanya yang pedas untuk bumbu masakan, cabai juga memiliki pigmen warna merah yang dapat dimanfaatkan sebagai pewarna alami pada makanan. Umumnya tanaman cabai dapat tumbuh pada ketinggian 500–1200 meter di atas permukaan laut (Irfandri et al., 2021), sehingga mudah untuk dibudidayakan di berbagai wilayah. Cabai termasuk tanaman yang fleksibel terhadap lingkungan, meskipun pertumbuhan optimal tetap dipengaruhi oleh faktor seperti pengelolaan air dan kelembapan tanah. Faktor-faktor tersebut menjadi dasar penting dalam perencanaan sistem irigasi untuk mendukung budidaya yang efisien.

Kelembapan tanah merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan tanaman cabai karena menunjukkan kondisi ketersediaan air pada media tanam. Kondisi kelembapan yang sesuai diperlukan untuk menjaga ketersediaan air bagi tanaman dan mendukung pertumbuhan secara optimal. Beberapa penelitian menggunakan rentang kelembapan tanah 60–80% sebagai acuan kondisi kelembapan untuk tanaman cabai dalam pengelolaan penyiraman (Nalendra & Mujiono, 2020) (Syahri & Ulansari, 2023). Rentang tersebut digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini untuk menentukan kondisi kelembapan tanah dan pengendalian penyiraman secara otomatis.

Rentang kelembapan tersebut digunakan sebagai acuan operasional dalam penelitian ini dan tidak dimaksudkan sebagai nilai yang berlaku secara universal untuk seluruh tahap pertumbuhan maupun seluruh jenis atau varietas tanaman cabai. Hal ini karena kebutuhan air tanaman dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti tahap pertumbuhan, kondisi lingkungan, media tanam, dan karakteristik tanaman. Penelitian ini tidak melakukan pengujian

untuk membandingkan kebutuhan kelembapan pada setiap tahap pertumbuhan maupun antarjenis atau varietas cabai. Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada penggunaan kelembapan tanah sebagai parameter untuk menentukan kondisi penyiraman, bukan pada pengukuran volume kebutuhan air tanaman dalam satuan liter.

Di Indonesia, cabai menjadi komoditas dengan permintaan yang tinggi dan nilai ekonomi yang besar. Namun produktivitas tanaman cabai masih relatif rendah, dengan rata-rata produksi sekitar 6,7 ton per hektar . Hal ini menunjukkan cabai menjadi salah satu komoditas strategis yang berperan penting dalam perekonomian nasional, terutama karena tingginya permintaan masyarakat terhadap cabai. Ketersediaan pasokan cabai merupakan hal yang harus diperhatikan agar suplai dan permintaan tetap seimbang.

2.3 *Smart Farming*

Kondisi pertanian di Indonesia masih bergantung pada sistem tradisional yang bergantung pada tenaga manusia dan sistem konvensional. Di beberapa wilayah masih ada petani yang menggunakan peralatan tradisional untuk bercocok tanam, seperti pacul, sabit, cetok, ember, dan karung (Utami et al., 2023). Jika pertanian masih mengandalkan peralatan tradisional, pekerjaan akan menjadi lebih lambat, tenaga yang digunakan lebih banyak, dan hasil panen cenderung lebih rendah dibandingkan penggunaan teknologi modern (Cahyaningsih & Adinugraha, 2022).

Seiring dengan berkembangnya teknologi, pertanian mulai berkembang yang semula menggunakan peralatan tradisional kini telah menggunakan alat yang lebih modern (Maulida et al., 2023). Contohnya, petani yang awalnya membajak sawah menggunakan kerbau kini beralih ke mesin traktor. Transformasi ini terus berlanjut, di mana saat ini petani juga mulai menerapkan sistem otomatisasi dalam pengelolaan lahan. Penerapan teknologi cerdas dalam pertanian modern mampu meningkatkan efisiensi sumber daya pertanian seperti air dan pupuk serta meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian (Nawangsari, 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi dalam pertanian dapat meningkatkan efisiensi, produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Selain itu, teknologi juga membantu menekan biaya produksi, sehingga keuntungan yang diperoleh petani dapat meningkat (Halawa, 2024).

2.4 Irigasi Otomatis

Saat ini di era modern, masih banyak petani yang menerapkan metode tradisional (Akedo et al., 2025). Pola ini umumnya dilakukan secara manual, seperti menyiram tanaman sesuai

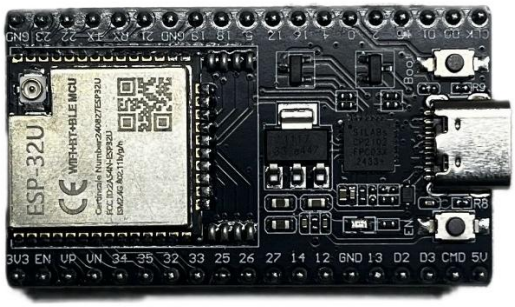
jadwal, membuka dan menutup saluran air, atau memindahkan alat irigasi secara manual. Meskipun telah tersedia teknologi modern, penerapannya masih sangat terbatas di kalangan petani kecil dan menengah, sehingga sebagian proses irigasi masih bergantung pada tenaga manusia.

Akibat penerapan irigasi tradisional, penyiraman sering tidak sesuai dengan kebutuhan air pada tanah, baik terlalu banyak maupun kurang. Yang berdampak pada pertumbuhan tanaman dan produktivitas hasil panen. Metode ini membutuhkan tenaga manusia yang cukup besar dan pengawasan terus-menerus. Pengelolaan irigasi pada lahan dapat menyebabkan hasil panen yang tidak maksimal dan penggunaan air yang kurang efisien (Junaidi & Ramadhani, 2024).

Kondisi irigasi tradisional masih banyak diterapkan di lapangan menunjukkan adanya kebutuhan untuk penerapan teknologi yang dapat menggantikan proses manual tersebut. Salah satu solusi yang semakin relevan adalah sistem irigasi otomatis berbasis IoT, terutama di lahan pertanian cabai. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis IoT tidak hanya mampu memantau kelembapan tanah secara Real-time dengan sensor yang terhubung ke mikrokontroler, tetapi juga dapat mengatur pompa penyiraman secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman, sehingga beban kerja petani dapat diminimalkan secara signifikan. Implementasi sistem irigasi otomatis pada lahan cabai bahkan dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi operasional serta produktivitas tanaman di wilayah pedesaan yang tidak memiliki akses listrik, membuktikan bahwa teknologi ini bukan sekedar pilihan, melainkan kebutuhan yang mendesak bagi pertanian modern guna memastikan pengairan yang tepat dan responsif terhadap kondisi tanah (Samad et al., 2025).

2.5 Komponen Perangkat Keras Yang Digunakan

2.5.1 ESP 32



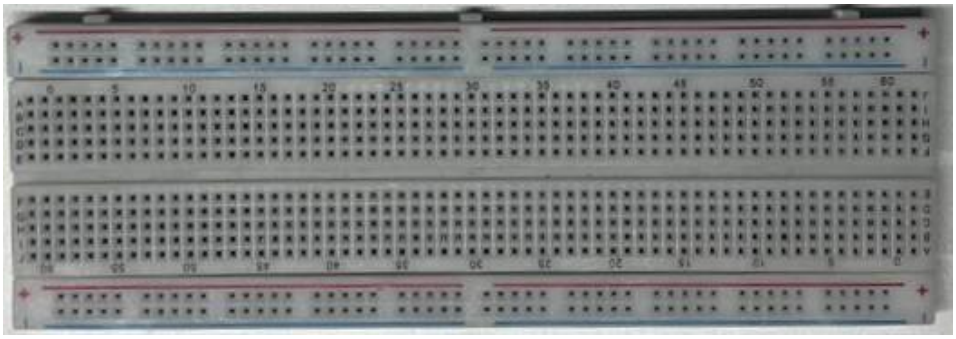
Gambar 2.1 ESP32

ESP32 adalah sebuah modul utama yang digunakan di dalam pengembangan *Internet of Things* (Masykur et al., 2021). ESP32 merupakan perkembangan dari ESP8266 yang memiliki

berbagai pembaruan. Di dalam mikrokontroler tersebut sudah tertanam *System on Chip* (SoC) yang telah dilengkapi dengan fitur komunikasi nirkabel berupa WiFi dan *Bluetooth*, serta berbagai periferal pendukung lainnya (Nizam et al., 2022). Dengan fitur tersebut mampu mendukung proses komunikasi dan pengiriman data secara nirkabel dalam sistem *Internet of Things*.

ESP32 adalah mikrokontroler berbasis *System on Chip* (SoC) yang dirancang untuk memberikan kemampuan pemrosesan dan konektivitas tinggi pada aplikasi *Internet of Things*. Modul ini menggunakan prosesor utama Tensilica Xtensa 32-bit LX6 dengan konfigurasi satu atau dua inti serta kecepatan *clock* hingga 240 MHz, sehingga mampu memproses data secara efisien dalam sistem otomatisasi. ESP32 juga dilengkapi fitur komunikasi nirkabel berupa WiFi 2,4 GHz dan *Bluetooth* versi 4.2, memungkinkan pertukaran data antar perangkat secara Real-time. Selain itu, mikrokontroler ini menyediakan berbagai jenis memori internal dan antarmuka *input/output* seperti ADC, DAC, I²C, UART, SPI, CAN 2.0, I²S, PWM, serta hingga ±30 pin GPIO yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor dan aktuator pada sistem tertanam (Kurnia AR, 2025).

2.5.2 Breadboard



Gambar 2.2 Breadboard

Breadboard merupakan papan uji yang digunakan untuk merangkai sirkuit elektronik secara sementara tanpa proses menyolder. Penggunaan breadboard bertujuan untuk mempermudah pengujian komponen serta perancangan prototipe sebelum sistem diimplementasikan secara permanen. Dalam pengembangan sistem IoT, breadboard membantu memastikan sensor, modul, dan mikrokontroler dapat berfungsi dengan baik sebelum dipasang pada rangkaian permanen (Masykur et al., 2021).

Selain itu, breadboard juga memiliki susunan jalur yaitu horizontal dan vertikal, sehingga memudahkan pengguna dalam mengatur alur rangkaian sesuai kebutuhan sistem. Karakteristik

ini memungkinkan perubahan konfigurasi rangkaian dilakukan secara cepat tanpa merusak komponen yang digunakan. Oleh karena itu, breadboard sangat cocok digunakan pada tahap awal pengembangan sistem *Internet of Things*, khususnya dalam pengujian dan penyempurnaan desain perangkat keras sebelum dilakukan perakitan secara permanen.

2.5.3 Kabel Jumper



Gambar 2.3 Kabel Jumper

Untuk membuat alat prototipe diperlukan kabel penghubung yang disebut kabel jumper. Kabel jumper digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen elektronik dalam perancangan rangkaian prototipe, khususnya pada sistem berbasis mikrokontroler. Pada umumnya kabel jumper memiliki tiga jenis yaitu *male to male*, *female to male*, dan *female to female*. Umumnya panjang dari kabel ini adalah antara 10-20cm (Octaviano, 2023).

Kabel jumper biasanya digunakan bersama dengan breadboard untuk menghubungkan komponen seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler, misalnya ESP32 atau NodeMCU, tanpa memerlukan penyolderan. Kabel ini memiliki inti berupa kabel serabut dengan pelindung (*housing*) yang berbentuk bulat dan kotak, sehingga bersifat fleksibel dan mudah digunakan dalam penyusunan rangkaian elektronik

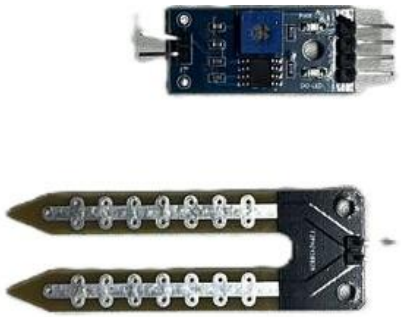
2.5.4 LCD OLED



Gambar 2.4 LCD Oled

OLED merupakan salah satu jenis *display* digital yang banyak digunakan dalam sistem IoT untuk menampilkan informasi secara visual. OLED berguna untuk menampilkan data sehingga memudahkan pengguna melihat hasil pengukuran secara langsung (Jannah et al., 2024). Teknologi OLED memiliki keunggulan dibandingkan layar LCD konvensional karena setiap piksel pada layar menghasilkan cahaya sendiri tanpa memerlukan lampu latar, sehingga tampilan menjadi lebih terang, kontras tinggi, dan hemat energi. Modul OLED yang sering digunakan dalam aplikasi IoT berukuran kecil, misalnya 0,96 inci dengan resolusi 128x64 *piksel*, serta dapat dihubungkan dengan mikrokontroler seperti ESP32 melalui *interface* I2C yang hanya membutuhkan dua pin komunikasi. Dalam sistem IoT, layar OLED digunakan untuk menampilkan kondisi tanah dan status pompa tanpa harus selalu terhubung ke aplikasi jarak jauh. Penggunaan OLED dalam prototipe IoT terbukti efektif sebagai antarmuka visual lokal karena kemudahan integrasi dan kemampuan menampilkan informasi secara langsung kepada pengguna (Jannah et al., 2024).

2.5.5 Sensor Kelembapan



Gambar 2.5 Sensor Kelembapan

Sensor kelembapan atau *soil moisture* merupakan perangkat yang berfungsi untuk mendeteksi kadar air di dalam tanah. Menggunakan prinsip kapasitif, sensor ini bekerja dengan memanfaatkan dua pelat kapasitor yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Perubahan tingkat kelembaban akan memengaruhi nilai permitivitas dielektrik, yang kemudian dikonversi menjadi *output* tegangan yang linear. Perangkat ini memiliki rentang ukur 0–100% dengan tingkat akurasi sebesar ±5% RH (Riyanti & Prastyo, 2022).

Sensor kelembapan pada umumnya digunakan petani untuk mengetahui kondisi tanah (Masykur et al., 2021). Dalam sistem irigasi otomatis berbasis IoT, data dari sensor kelembapan secara Real-time ke mikrokontroler ESP untuk diproses. Sensor ini memiliki peran yang sangat krusial karena keseluruhan kerja sistem irigasi bergantung pada data yang dihasilkan sensor, termasuk pengaktifan atau penghentian pompa secara otomatis. Dengan demikian, sistem

mampu menyesuaikan penyiraman sesuai kondisi tanah yang sebenarnya, sehingga memudahkan petani dalam pengelolaan irigasi, memastikan tanah tetap berada pada tingkat kelembapan optimal, dan meminimalkan risiko kekurangan atau kelebihan air. Keandalan sensor kelembapan ini menjadi salah satu faktor utama dalam memastikan sistem irigasi otomatis bekerja efektif dan responsif terhadap kebutuhan sistem.

2.5.6 Pompa DC Mini



Gambar 2.6 Pompa dc mini

Pompa digunakan untuk menambahkan energi pada cairan, sehingga air dapat mengalir secara terus menerus (Pratama et al., 2021). Dalam pengembangan ini, pompa berfungsi sebagai penggerak air untuk menyiram tanah, sehingga kelembapan tanah dapat meningkat sesuai kebutuhan tanaman. Pengoperasian pompa dikendalikan mikrokontroler melalui modul relay yang dapat mengaktifkan atau mematikan pompa secara otomatis berdasarkan data sensor kelembapan tanah.

2.5.7 Relay



Gambar 2.7 Relay *dual chanel*

Komponen yang berisi kumparan elektromagnetik yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik ini dapat digunakan menjadi saklar otomatis (Masykur et al., 2021). Karena relay adalah komponen yang terhubung dengan mikrokontroler

ESP32 maka dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan pompa secara otomatis untuk mengatur pompa secara otomatis berdasarkan hasil pembacaan nilai tanah yang telah diproses oleh mikrokontroler. Saat mikrokontroler menerima data dari sensor tanah yang menunjukkan tingkat kelembapan berada di bawah ambang batas, relay akan mengaktifkan aliran listrik ke pompa, sehingga pompa dapat menyiram tanaman secara otomatis. Sebaliknya, ketika tanah sudah cukup lembap, relay memutus aliran listrik sehingga pompa berhenti bekerja. Dengan mekanisme ini, relay memungkinkan sistem irigasi otomatis untuk bekerja secara responsif, aman, dan efisien, serta mengurangi kebutuhan pengawasan manual, memastikan tanaman dapat mendapatkan air sesuai kebutuhan secara Real-time.

2.6 Komponen Perangkat Lunak

2.6.1 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak pengembangan yang bersifat open *source* dan digunakan untuk mengendalikan mikrokontroler *single-board*. Perangkat lunak ini menyediakan fasilitas untuk menulis, membuka, mengompilasi, serta mengunggah program ke dalam papan mikrokontroler. Arduino IDE dirancang dengan antarmuka sederhana sehingga dapat mempermudah pengguna dalam mengembangkan berbagai aplikasi berbasis mikrokontroler, termasuk sistem *Internet of Things* (Nizam et al., 2022).

Arduino IDE juga mendukung berbagai jenis papan mikrokontroler seperti Arduino Uno, ESP32, dan ESP8266 melalui penambahan *board manager*. Selain itu, Arduino IDE menyediakan berbagai Pustaka yang memudahkan pengembang dalam mengintegrasikan sensor, aktuatuor, serta modul komunikasi seperti WiFi dan *Bluetooth* tanpa harus menulis kode dari awal. Fitur serial monitor yang tersedia juga sangat membantu dalam proses *debugging* dan pemantauan data secara langsung. Dengan dukungan komunitas yang luas serta dokumentasi yang lengkap, Arduino IDE menjadi salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis mikrokontroler, khususnya pada implementasi *Internet of Things* (IoT).

2.6.2 Firebase

Firebase adalah layanan basis data berbasis *cloud* sekaligus jembatan yang menghubungkan aplikasi dengan penyimpanan data di *cloud*. Dengan Firebase Realtime Database, data disimpan dalam format JSON dan secara otomatis tersinkronisasi secara Real-

time ke semua klien yang terhubung, sehingga aplikasi selalu menerima pembaruan data tanpa perlu intervensi manual (Santoso & Sitohang, 2024).

Firebase digunakan dalam ini untuk beberapa fungsi utama, antara lain sebagai media penyimpanan data sensor kelembapan tanah, di dalam data Firebase Realtime Database akan disimpan dalam tiga status yaitu kering, lembap, dan basah. Selain itu Firebase Realtime memungkinkan dapat menjadi jembatan untuk membaca data sensor untuk ditampilkan ke dalam aplikasi secara Real-time tanpa memerlukan penyegaran secara manual. Melalui mekanisme sinkronisasi data tersebut, Firebase Realtime Database juga menyediakan komunikasi dua arah secara langsung antara sistem fisik dan pengguna, sehingga proses pemantauan dan pengendalian irigasi dapat dilakukan dengan cepat dan responsif.

2.7 Blackbox Testing

Menurut penelitian yang dilakukan (Uminingsih et al., 2022) *Black Box Testing* merupakan metode pengujian yang digunakan untuk menguji fungsi suatu sistem berdasarkan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang dihasilkan tanpa memperhatikan struktur program, logika, maupun kode yang digunakan di dalam sistem. Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi atau masukan tertentu pada sistem, kemudian mengamati keluaran yang dihasilkan dan membandingkannya dengan hasil yang diharapkan.

Metode *Black Box Testing* digunakan untuk mengetahui apakah fungsi-fungsi yang terdapat pada suatu sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai kondisi atau masukan pada sistem, kemudian mengamati respons yang dihasilkan. Dengan demikian, fungsi sistem yang sesuai maupun yang tidak sesuai dengan kebutuhan dapat diketahui berdasarkan hasil pengujian.

Pada penelitian ini, *Black Box Testing* digunakan untuk menguji sensor dan perangkat yang digunakan dalam sistem irigasi berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengujian meliputi sensor kelembapan tanah, ESP32, relay, pompa, OLED, koneksi perangkat, serta komunikasi dan penyimpanan data. Setiap skenario pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi tertentu pada perangkat, kemudian hasil yang diperoleh dibandingkan dengan hasil yang diharapkan untuk menentukan keberhasilan fungsi yang diuji.

2.8 Kajian Literatur

Tabel 2.1 Kajian Literatur

No.	Nama/Tahun	Judul	Alat Yang Digunakan	Kelebihan	Keterbatasan	Keterangan
1	(Stiawan & Supardi, 2024)	*Smart Farming* – Merancang Alat Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Kelembapan Tanah Dan Waktu Menggunakan Mikrokontroler Esp32	Esp32, *Soil Moisture* sensor, Relay Kf-301, *Water Pump* DC 12 V, LM2596, DC Soket	Sistem menyiram otomatis berdasarkan kelembapan tanah dan waktu. Menggunakan ESP32 yang memiliki performa dan konektivitas baik.	Belum mengintegrasikan pemantauan jarak jauh Pemantauan dan kontrol masih terbatas pada perangkat lokal atau pengujian laboratorium.	Tidak disebutkan nilai ideal untuk tanaman tertentu.
2	(Nalendra & Mujiono, 2020)	Perancangan IoT (*Internet of Things*) pada Sistem Irigasi Tanaman Cabai	NodeMCU ESP8266, sensor kelembapan tanah, relay, pompa air, aplikasi *mobile* (Android).	Sistem irigasi dapat dikontrol dan dipantau jarak jauh melalui ponsel, penyiraman dilakukan secara otomatis berdasarkan kelembapan tanah, serta membantu menjaga kondisi tanah agar sesuai kebutuhan tanaman cabai .	Sistem belum mendukung pencatatan penyimpanan perubahan status kelembapan tanah secara berkala untuk analisis jangka panjang.	Nilai ideal kelembapan tanah untuk tanaman cabai berada pada angka 60-80%.
3	(Andrian, 2024)	Sistem Irigasi Otomatis IoT *Off-Grid* untuk Optimalisasi	Sistem irigasi tetes, tangki air, selang.	Mampu meningkatkan produktivitas cabai hingga ±25% dan menghemat	Sistem belum dilengkapi pengendalian otomatis dan	Tidak disebutkan nilai ideal

No.	Nama/Tahun	Judul	Alat Yang Digunakan	Kelebihan	Keterbatasan	Keterangan
		Budidaya Cabai di Wilayah Pedesaan Tanpa Listrik		penggunaan air hingga ±35% dibandingkan irigasi manual.	pemantauan berbasis sensor atau aplikasi jarak jauh.	kelembapan untuk tanaman cabai.
4	(Syahri & Ulansari, 2023)	Penyiraman Otomatis dengan NodeMCU Berbasis IoT untuk Tanaman Cabai	NodeMCU, Sensor Soil Moisture FC-28, DHT11, Relay, Pompa Air Mini, Lcd, Aplikasi Blynk	Sistem mampu Menyiram tanaman sesuai ambang kelembapan tanah. kelembapan tanah Memanfaatkan Iot untuk pemantauan.	Pemantauan hanya melalui aplikasi Blynk, belum ada fitur pemantauan jarak jauh Tidak ada tampilan lokal selain aplikasi	Pompa akan menyala ketika nilai kelembapan < 60% dan akan berhenti ketika kelembapan > 80%
5	(Murtado & Suharjo, 2022)	Rancang Bangun *Smart Irrigation* Tanaman Cabai Berbasis IoT	NodeMCU ESP8266, Sensor Soil Moisture, Relay, Water Pump, Aplikasi Android, Firebase	Penyiraman otomatis berdasarkan kelembapan tanah. Pemantauan jarak jauh melalui aplikasi Android Sistem IoT membantu petani memantau kondisi tanah	Pemantauan hanya melalui aplikasi Android, belum berbasis website Belum mendeteksi kondisi curah hujan Membutuhkan WiFi yang stabil	
6	(Hasna Khaira Aswha et al., 2025)	Implementasi *Internet of Things* (IoT) pada Sistem Irigasi	ESP32, Sensor Kelembapan Tanah, Pompa Air Mini DC,	Mampu Menjaga kelembapan tanah ideal secara otomatis, efisien dalam	Bergantung pada jaringan WiFi dan sangat bergantung pada	

No.	Nama/Tahun	Judul	Alat Yang Digunakan	Kelebihan	Keterbatasan	Keterangan
		Otomatis untuk Tanaman Cabai Menggunakan Aplikasi Blynk	Relay, Kabel Jumper, Adaptor, Selang, dan Aplikasi Blynk	penggunaan air, serta memiliki fitur kontrol manual dan pemantauan jarak jauh melalui ponsel.	ketersediaan catu daya listrik yang konstan.	
7	(Iksal et al., 2023)	Rancang Bangun Sistem Prototipe Penyiraman Tanaman Cabai Otomatis	NodeMCU ESP8266, Soil Moisture, DHT11, Relay, Pompa, Blynk	Penyiraman otomatis sesuai kebutuhan cabai, nilai kelembapan jelas, monitoring jarak jauh.	Masih menggunakan mikrokontroler ESP8266	
8	(Prihartono & Oktafianto, 2024)	Sistem Pengendali Waktu Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai Rawit Menggunakan Metode Fuzzy Logic	ESP32, Sesnsor Soil Moisture YL-69, DHT22, RTC	Mampu menyesuaikan durasi penyiraman berdasarkan kelembapan dan suhu secara otomatis.	Sistem relatif kompleks dan belum menyediakan monitoring berbasis aplikasi Android/	Pompa akan menyala ketika nilai kelembapan di bawah 60%.

Berdasarkan hasil perbandingan terhadap delapan penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian telah berhasil mengembangkan sistem penyiraman otomatis tanaman cabai berbasis *Internet of Things* dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah sebagai parameter utama pengambilan keputusan. Beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh (Nalendra & Mujiono, 2020), (Syahri & Ulansari, 2023), serta (Iksal et al., 2023), telah menetapkan nilai ambang kelembapan ideal tanaman cabai pada rentang 60-80% sebagai dasar pengendalian penyiraman otomatis. Selain itu, penggunaan teknologi IoT terbukti mampu membantu proses pemantauan kondisi tanah dan meningkatkan efisiensi penyiraman dibandingkan metode manual.

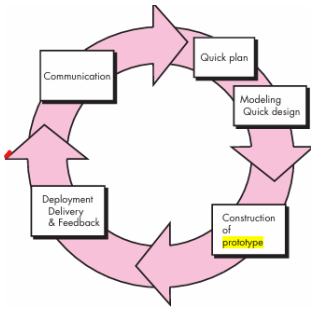
Namun demikian, kajian literatur juga menunjukkan sejumlah keterbatasan pada penelitian sebelumnya. Beberapa sistem masih belum dilengkapi dengan fitur pemantauan jarah jauh dan hanya diuji pada skala laboratorium atau perangkat lokal (Stiawan & Supardi, 2024). Penelitian lain telah menyediakan pemantauan jarak jauh, tetapi masih terbatas pada platform tertentu seperti aplikasi blynk atau aplikasi Android tanpa pengembangan fitur lanjutan (Syahri & Ulansari, 2023). Selian itu sebagian peneliti masih menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang memiliki keterbatasan performa dibandingkan ESP32, serta terdapat sistem yang relatif kompleks karena menerapkan metode fuzzy *logic* tanpa menyediakan antarmuka pemantauan berbasis aplikasi Android (Prihartono & Oktafianto, 2024).

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan acuan dari penelitian-penelitian sebelumnya, yaitu penggunaan nilai ideal kelembapan tanah tanaman cabai sebagai dasar pengendalian penyiraman otomatis, penerapan teknologi IoT untuk pemantauan jarak jauh, serta pemanfaatan mikrokontroler ESP32 yang memiliki performa dan konektivitas lebih baik. Selanjutnya, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem penyiraman otomatis tanaman cabai berbasis ESP32 dengan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi Android yang lebih praktis, sederhana, dan mudah digunakan oleh pengguna, sehingga diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem dan kemudahan pemantauan di lapangan.

BAB III
METODOLOGI

Dalam suatu penelitian, penggunaan metode sangat diperlukan sebagai pedoman agar proses penelitian dapat berjalan secara terarah, sistematis, dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Metode penelitian berperan penting dalam membantu peneliti mengumpulkan, mengolah, serta menganalisis data sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan. Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan melalui metode wawancara kepada petani cabai dengan sejumlah pertanyaan terkait proses penyiraman, kendala yang dihadapi, serta kebutuhan terhadap sistem irigasi. Dengan adanya metode yang jelas, penelitian dapat menghasilkan solusi yang relevan terhadap permasalahan yang ada di lapangan.

Metode prototype dipilih untuk menyelesaikan penelitian ini karena sesuai dengan pengembangan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) yang masih memerlukan penyesuaian berdasarkan kebutuhan pengguna. Metode ini memungkinkan peneliti untuk melakukan pembuatan model awal sistem yang langsung dapat diuji dan dievaluasi oleh pengguna, sehingga memperoleh umpan balik untuk penyempurnaan sistem. Menurut (Pressman, 2014), metode Prototype terdiri dari beberapa tahapan, yaitu *communication, quick plan, modelling, (quick design), construction of prototype,* serta *deployment*, *delivery, and feedback*. Tahapan – tahapan tersebut menggambarkan proses pengembangan sistem yang dilakukan secara interaktif, sehingga sistem dapat terus disempurnakan sesuai kebutuhan pengguna. Oleh karena itu metode ini dinilai tepat untuk diterapkan dalam pengembangan sistem irigasi otomatis pada tanaman cabai agar lebih efektif, efisien, dan sesuai dengan kondisi lapangan.



Gambar 3.1 Diagram Prototyping
(Pressman, 2014)

3.1 Komunikasi

Tahap komunikasi merupakan langkah awal yang krusial dalam siklus pengembangan sistem. Proses ini bertujuan untuk membangun pemahaman yang selaras antara peneliti sebagai pengembang dan petani sebagai pengguna akhir yang terkait batasan sistem yang akan dibangun. Komunikasi yang efektif memungkinkan peneliti untuk menggali informasi secara komprehensif mengenai kendala teknis maupun non-teknis yang sering dialami oleh petani di lokasi penelitian.

Melalui interaksi dua arah ini, peneliti dapat melakukan identifikasi masalah secara akurat, sehingga solusi yang dirancang benar-benar relevan dengan kebutuhan di lapangan. Fokus utama dari tahap komunikasi ini adalah untuk memetakan alur kerja konvensional dalam proses pemeliharaan tanaman cabai, yang kemudian akan dijadikan landasan dalam merancang fitur pada sistem penyiraman otomatis. Dengan memahami kebiasaan dan kebutuhan spesifik pengguna, diharapkan sistem yang dihasilkan memiliki tingkat kemudahan pengguna yang tinggi dan mampu menjawab tantangan produktivitas pertanian.

3.1.1 Observasi

Observasi dilakukan secara langsung di lahan pertanian cabai yang berada di daerah Pakem, Sleman. Pengembang secara langsung mengamati proses penyiraman yang dilakukan oleh petani, mulai dari menentukan tingkat kelembapan tanah, pengambilan air, hingga proses penyiraman tanaman cabai secara manual.

Berdasarkan hasil observasi diperoleh sebuah kesimpulan bahwa petani masih menggunakan cara tradisional untuk melakukan penyiraman. Metode tersebut memerlukan tenaga dan waktu yang relatif besar serta berpotensi menimbulkan tidak konsisten dalam pemberian air. Selain itu, petani tidak memiliki sistem pemantauan yang dapat diakses secara jarak jauh, sehingga diperlukan kehadiran langsung di lahan untuk mengetahui kondisi tanah. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem berbasis teknologi yang mampu membantu proses penyiraman secara otomatis dan dapat dipantau secara efisien.

3.1.2 Wawancara

Setelah dilakukan observasi, maka dilanjutkan proses selanjutnya yaitu wawancara dengan petani secara langsung di lapangan. Wawancara ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang lebih rinci terkait kondisi aktual, permasalahan yang dihadapi, serta kebutuhan pengguna terhadap sistem yang akan dikembangkan. Hasil dari wawancara ini digunakan

sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan sistem agar solusi yang dirancang dapat sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

Dalam proses wawancara, peneliti menyusun sejumlah pertanyaan yang disusun secara sistematis untuk menggali informasi dari pengguna. Pertanyaan yang diajukan mencakup pengalaman petani dalam menanam cabai serta luas lahan yang dikelola. Selain itu, pertanyaan juga difokuskan pada metode penyiraman, apakah berdasarkan jadwal atau kondisi tanah.

Selanjutnya wawancara juga menggali informasi terkait kendala yang dihadapi selama proses penyiraman, termasuk kemungkinan terjadinya kekurangan atau kelebihan air pada tanaman. Peneliti juga menanyakan mengenai pentingnya kelembapan tanah terhadap hasil panen, serta tingkat efisiensi tenaga dan waktu dalam proses penyiraman manual. Pada bagian akhir, pertanyaan diarahkan pada respons pengguna terhadap penerapan teknologi, seperti minat dalam menggunakan sistem irigasi otomatis berbasis sensor kelembapan tanah serta kelayakan sistem yang dapat dipantau melalui aplikasi ponsel. Daftar pertanyaan disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Daftar Pertanyaan

No.	**Pertanyaan**
1	Sudah berapa lama Bapak/Ibu menanam cabai dan berapa luas lahan yang dikelola?
2	Metode penyiraman apa yang saat ini digunakan pada tanaman cabai?
3	Seberapa sering penyiraman dilakukan dalam satu hari atau satu minggu?
4	Apakah penyiraman dilakukan berdasarkan jadwal atau kondisi tanah?
5	Kendala apa yang sering dihadapi dalam proses penyiraman tanaman cabai?
6	Apakah pernah terjadi tanaman cabai kekurangan atau kelebihan air
7	Menurut Bapak/Ibu, seberapa penting kelembapan tanah terhadap hasil panen cabai?
8	Apakah penyiraman manual membutuhkan waktu dan tenaga yang besar?
9	Apakah Bapak/Ibu tertarik menggunakan sistem irigasi otomatis berbasis sensor kelembapan tanah?
10	Apakah sistem irigasi yang dapat dipantau melalui aplikasi ponsel layak diterapkan di lahan cabai?

Berdasarkan daftar pertanyaan wawancara pada tabel di atas, peneliti memperoleh berbagai informasi terkait kondisi aktual proses penyiraman tanaman cabai, kendala yang dihadapi petani, serta kebutuhan terhadap sistem irigasi yang lebih efektif. Data hasil wawancara tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi permasalahan utama serta merumuskan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan.

3.1.3 Ringkasan Hasil Wawancara

Berdasarkan daftar pertanyaan pada tabel 3.1, telah dilakukan wawancara secara langsung dengan petani cabai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Wawancara dilakukan terhadap lima orang petani dengan permasalahan yang berbeda-beda. Hasil dari wawancara tersebut kemudian dirangkum dan disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Ringkasan Hasil Wawancara

No.	Responden	Lokasi	Hasil Wawancara
1	Kamijo	Pakem, Sleman	Berdasarkan hasil wawancara Bp. Kamijo, diketahui bahwa responden telah menanam cabai selama kurang lebih 5 tahun dengan luas lahan sekitar 0,7 hektar. Penyiraman masih dilakukan secara manual menggunakan selang dan disesuaikan dengan umur tanaman, yaitu dilakukan setiap hari pada masa awal tanam, kemudian semakin jarang seiring pertumbuhan tanaman, hingga saat mendekati masa panen penyiraman dilakukan sekitar satu kali dalam seminggu. Penentuan penyiraman dilakukan berdasarkan kondisi tanah dan pengalaman petani. Responden menyampaikan kendala berupa keterbatasan waktu dan tenaga serta kesulitan menentukan jumlah air yang tepat, sehingga tertarik menggunakan sistem irigasi otomatis berbasis sensor yang dapat dipantau melalui ponsel.

No.	Responden	Lokasi	Hasil Wawancara
2	Ruwiyanti	Pakem, Sleman	Berdasarkan hasil wawancara dengan Ibu Ruwiyanti, diketahui bahwa responden telah menanam cabai selama kurang lebih 4 tahun dengan luas lahan sekitar 0,5 hektar. Penyiraman tanaman masih dilakukan secara manual menggunakan selang dan disesuaikan dengan umur tanaman cabai. Pada masa awal penanaman, penyiraman dilakukan setiap hari, kemudian frekuensinya dikurangi seiring pertumbuhan tanaman, hingga mendekati masa panen penyiraman dilakukan sekitar satu kali dalam seminggu. Responden menyampaikan bahwa proses penyiraman manual memerlukan waktu dan tenaga yang cukup besar, terutama saat kondisi cuaca tidak menentu. Selain itu, responden juga mengalami kesulitan dalam menentukan jumlah air yang sesuai untuk menjaga kelembapan tanah, sehingga tertarik menggunakan sistem irigasi otomatis berbasis sensor yang dapat dipantau melalui ponsel agar penyiraman menjadi lebih efektif dan efisien.
3	Panut	Pakem, Sleman	Berdasarkan wawancara dengan petani ketiga, diketahui bahwa responden telah menanam cabai selama 6 tahun dengan luas lahan sekitar 1.200 m². Penyiraman dilakukan menggunakan selang sebanyak dua kali sehari. Penentuan penyiraman hanya berdasarkan pengalaman. Responden mengaku sering mengalami kesulitan dalam mengatur jumlah air, terutama saat perubahan cuaca. Kelembapan tanah

No.	Responden	Lokasi	Hasil Wawancara
			dianggap sebagai faktor utama dalam keberhasilan panen, sehingga responden menyatakan minat terhadap penggunaan sistem otomatis yang dapat dikontrol melalui aplikasi.
4	Supri	Pakem, Sleman	Berdasarkan wawancara dengan petani keempat, responden telah menanam cabai selama kurang lebih 4 tahun dengan luas lahan ±900 m². Penyiraman masih dilakukan secara manual dan tidak memiliki jadwal tetap, melainkan berdasarkan kondisi tanah. Kendala utama adalah waktu yang terbatas serta tenaga yang cukup besar untuk melakukan penyiraman secara rutin. Responden menyatakan bahwa kelembapan tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, sehingga sistem irigasi otomatis dinilai layak diterapkan untuk meningkatkan efisiensi.
5	Wiyono	Pakem, Sleman	Berdasarkan wawancara dengan petani kelima, diketahui bahwa responden telah menanam cabai selama sekitar 5 tahun dengan luas lahan kurang lebih 1.000 m². Penyiraman dilakukan secara manual 1–2 kali sehari tergantung cuaca. Responden sering mengalami kondisi tanaman yang tidak stabil akibat penyiraman yang kurang tepat. Kelembapan tanah dinilai sangat penting dalam menentukan kualitas hasil panen. Oleh karena itu, responden tertarik menggunakan sistem irigasi otomatis berbasis sensor yang dapat dipantau melalui aplikasi ponsel karena dianggap lebih praktis dan efektif.

Setelah dilakukan wawancara dengan lima petani, didapatkan hasil bahwa para petani masih menggunakan metode penyiraman manual dengan bantuan selang. Pada petani pertama dan kedua, penyiraman dilakukan berdasarkan umur tanaman cabai, yaitu setiap hari pada masa awal tanam, kemudian frekuensinya dikurangi seiring pertumbuhan tanaman hingga mendekati masa panen penyiraman dilakukan sekitar satu kali dalam seminggu. Sementara itu, petani lainnya melakukan penyiraman berdasarkan kondisi tanah dan cuaca, bahkan ada yang melakukan penyemprotan tanaman bersamaan dengan pemberian pupuk. Berdasarkan hasil wawancara tersebut, diketahui bahwa para petani masih mengalami kendala dalam menentukan jumlah air yang tepat serta membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup besar dalam proses penyiraman secara manual.



Gambar 3.2 Wawancara dengan petani cabai

3.2 Rencana Cepat (*Quick Plan)*

Pada tahap selanjutnya, setelah dilakukan komunikasi dengan pengguna, maka dilanjutkan ke tahap perencanaan (*quick plan*). Tahap ini merupakan proses awal dalam merumuskan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan berdasarkan informasi yang telah diperoleh dari hasil observasi dan wawancara. Melalui tahap ini, peneliti melakukan analisis terhadap berbagai kebutuhan sistem agar solusi yang dirancang dapat sesuai dengan kondisi dan permasalahan yang ada di lapangan. Proses perencanaan ini juga bertujuan untuk memberikan gambaran awal mengenai arah pengembangan sistem, sehingga pengembangan dapat dilakukan secara lebih terstruktur dan efisien.

Perencanaan cepat ini berfokus pada identifikasi kebutuhan fungsional dan non fungsional. Kebutuhan fungsional berkaitan dengan fungsi atau kemampuan yang harus dimiliki oleh sistem, seperti kemampuan membaca data sensor kelembapan tanah, mengirim data ke database, serta menampilkan informasi secara real-time kepada pengguna. Sedangkan kebutuhan non fungsional berkaitan dengan aspek kinerja, kendala, serta kemudahan

penggunaan sistem, seperti kecepatan respons sistem, kestabilan koneksi, efisiensi penggunaan sumber daya, serta kemudahan antarmuka bagi pengguna. Dengan adanya tahap ini, diharapkan sistem yang dirancang dapat memenuhi kebutuhan pengguna secara optimal.

Selain itu, pada tahap ini peneliti juga mulai menyusun gambaran awal mengenai arsitektur sistem, termasuk hubungan antara perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Penentuan teknologi yang akan digunakan, seperti pemilihan platform mikrokontroler, media komunikasi, serta basis data juga mulai dipertimbangkan pada tahap ini. Dengan adanya perencanaan yang matang, proses pengembangan pada tahap selanjutnya dapat berjalan lebih terarah dan meminimalkan kesalahan yang mungkin terjadi selama proses implementasi sistem.

3.2.1 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional adalah sebuah kebutuhan utama yang berkaitan dengan berjalanya sistem. Kebutuhan ini berfungsi untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi pengguna yaitu petani cabai berdasarkan hasil observasi dan wawancara.

a. Pembacaan Sensor

Sensor kelembapan tanah (*soil moisture*) adalah perangkat utama yang digunakan dalam berjalanya sistem. Sensor tersebut berperan penting sebagai masukkan awal untuk berjalanya sistem yang berfungsi untuk mendapatkan data kelembapan tanah yang akan diteruskan ke ESP32 dan akan dilakukan pengolahan data.

b. Pengolahan Data

Sensor kelembapan tanah (*soil moisture*) adalah perangkat utama yang digunakan dalam berjalanya sistem. Sensor tersebut berperan penting sebagai masukkan awal untuk berjalanya sistem yang berfungsi untuk mendapatkan data kelembapan tanah yang akan diteruskan ke ESP32 dan akan dilakukan pengolahan data.

c. Kontrol Otomatis Pompa

Pompa akan menyala dan mati secara otomatis ketika terdapat perintah dari mikrokontroler sesuai dengan kode yang telah ditanamkan. Ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah batas yang telah ditentukan, maka sistem akan mengaktifkan pompa untuk melakukan penyiraman. Sebaliknya, ketika kelembapan tanah telah mencapai kondisi yang cukup atau berada di atas batas yang ditentukan, maka pompa akan berhenti secara otomatis. Dengan mekanisme ini, sistem dapat menjaga kondisi tanah tetap optimal serta meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam proses penyiraman tanaman.

d. Penentuan Nilai Ambang

Sistem memiliki kemampuan untuk menentukan nilai ambang batas (*threshold*) kelembapan tanah sebagai acuan dalam membedakan kondisi tanah kering dan lembap. Nilai ambang batas ini ditentukan berdasarkan hasil kalibrasi sensor serta kondisi aktual lahan pertanian, sehingga dapat disesuaikan dengan jenis tanaman dan karakteristik tanah. Ketika nilai kelembapan yang terbaca berada di bawah ambang batas, sistem akan mengidentifikasi kondisi tanah sebagai kering dan mengaktifkan proses penyiraman. Sebaliknya, apabila nilai kelembapan berada di atas ambang batas, maka sistem akan menganggap kondisi tanah dalam keadaan lembap sehingga penyiraman tidak diperlukan. Dengan adanya pengaturan ambang batas ini, sistem mampu bekerja secara otomatis dan adaptif dalam menjaga kestabilan kelembapan tanah.

e. Pemantauan Kondisi Tanah

Sistem menyediakan fitur pemantauan kondisi tanah yang mampu menampilkan nilai kelembapan tanah secara real-time. Informasi tersebut ditampilkan melalui layar OLED serta dapat diakses melalui database, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi tanah secara langsung dan berkala. Dengan adanya fitur ini, pengguna dapat melakukan pemantauan secara lebih efektif tanpa harus berada langsung di lokasi, serta dapat mengambil keputusan yang tepat terkait proses penyiraman tanaman.

f. Proses Berjalan Otomatis

Sistem dirancang untuk dapat bekerja secara otomatis tanpa memerlukan intervensi pengguna secara terus-menerus. Seluruh proses, mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data, hingga pengaktifan pompa, berjalan secara berulang sesuai dengan kondisi kelembapan tanah yang terdeteksi oleh sistem. Mekanisme otomatis ini memungkinkan sistem untuk merespons perubahan kondisi tanah secara cepat dan tepat, sehingga kebutuhan air tanaman dapat terpenuhi secara optimal. Selain itu, sistem juga dirancang untuk menjaga kestabilan kinerja dengan meminimalkan keterlambatan dalam proses pengambilan keputusan, sehingga efisiensi penggunaan air dapat ditingkatkan serta mengurangi potensi kesalahan yang disebabkan oleh faktor manusia.

3.2.2 Kebutuhan Non Fungsional

Kebutuhan non-fungsional adalah kebutuhan yang bertujuan untuk memastikan sistem dapat beroperasi secara optimal sehingga mendukung efektivitas penggunaan di lapangan. Kebutuhan ini tidak berhubungan langsung dengan fungsi utama sistem, tetapi memiliki peran

penting dalam menunjang kinerja, keandalan, dan kualitas sistem secara keseluruhan. Kebutuhan non-fungsional meliputi :

a. Real-time

Sistem harus mampu bekerja secara maksimal dalam merespons perubahan nilai kelembapan tanah, baik dalam kondisi kering maupun lembap. Oleh karena itu, diperlukan ketepatan waktu dalam proses pembacaan data dan pengambilan keputusan. Ketepatan waktu penyiraman ditentukan oleh kecepatan dan ketepatan sistem dalam menerima, merespons, serta menindaklanjuti data dari sensor secara langsung atau mendekati waktu nyata tanpa jeda waktu yang lama. Sehingga real-time menjadi sebuah kebutuhan non fungsional yang sangat diperlukan dalam sistem penyiraman otomatis.

b. Ketepatan Nilai Data Sensor

Selain ketepatan waktu sistem dalam merespons perubahan data, ketepatan nilai data sensor juga menjadi kebutuhan non-fungsional yang sangat penting. Hal ini dikarenakan akurasi data sensor akan menentukan ketepatan dalam mengambil keputusan. Apabila terjadi kesalahan atau kegagalan dalam pembacaan data, maka tindakan yang dilakukan oleh sistem dapat menjadi tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya.

c. Kemudahan Pengguna

Sistem harus dirancang dengan memperhatikan kemudahan dalam penggunaan oleh pengguna. Informasi yang ditampilkan, seperti nilai kelembapan tanah dan status sistem, harus dapat dipahami dengan jelas. Selain itu, sistem diharapkan dapat dioperasikan tanpa memerlukan keahlian khusus, sehingga pengguna dapat dengan mudah memantau dan memahami kondisi tanah secara langsung.

d. Efisiensi

Sistem harus mampu bekerja secara efisien dalam penggunaan sumber daya, baik dari segi konsumsi daya listrik maupun waktu proses. Penggunaan komponen seperti pompa air dan mikrokontroler diatur agar tidak bekerja secara terus-menerus, melainkan hanya aktif ketika diperlukan. Hal ini bertujuan untuk menghemat energi serta meningkatkan umur pemakaian perangkat.

e. Ketahanan Lingkungan

Sistem harus memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan di lapangan, seperti suhu, kelembapan udara, dan paparan air. Komponen yang digunakan diharapkan mampu bekerja dengan baik dalam kondisi tersebut, sehingga sistem tetap dapat beroperasi secara stabil dan tidak mudah mengalami kerusakan.

3.3 Perancangan Sistem

3.3.1 Ruang Lingkup Kerja Sistem

Sistem dikembangkan untuk mendukung proses budidaya tanaman cabai pada lahan terbuka dengan cakupan penerapan sekitar 40 tanaman cabai yang terbagi menjadi 4 *lane*, dengan setiap *lane* terdiri dari sekitar 10 tanaman dengan setiap *lane* memiliki nilai kelembapan yang hampir sama. Sistem menggunakan satu sensor kelembapan tanah sebagai parameter pemantauan kondisi tanah dan satu pompa sebagai aktuator penyiraman pada area yang dikendalikan. Nilai kelembapan yang diperoleh dari sensor digunakan oleh ESP32 untuk menentukan kondisi tanah dan mengendalikan proses penyiraman.

Lingkup penerapan tersebut digunakan sebagai acuan pada penelitian ini dan tidak dimaksudkan sebagai batas maksimum kemampuan sistem. Penerapan pada jumlah ***lane*** atau tanaman yang lebih banyak, terutama apabila terdapat perbedaan kondisi kelembapan antararea, memerlukan penambahan sensor dan penyesuaian mekanisme distribusi serta pengendalian penyiraman.

3.3.2 Konsep dan Mode Pengoperasian Sistem

Sistem menyediakan tiga mode pengoperasian penyiraman, yaitu mode otomatis, mode manual, dan mode jadwal. Ketiga mode tersebut memiliki mekanisme pengendalian yang berbeda sesuai dengan kebutuhan pengoperasian sistem.

a. Mode Otomatis

Mode otomatis digunakan untuk melakukan pengendalian penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan tanah. Sensor kelembapan tanah membaca nilai kelembapan secara berkala, kemudian ESP32 menentukan kondisi pompa berdasarkan nilai tersebut. Pompa akan diaktifkan ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah batas yang telah ditentukan dan akan dihentikan ketika kelembapan tanah telah mencapai nilai yang ditentukan. Dengan demikian, otomatisasi pada sistem diterapkan pada pengendalian penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan tanah.

b. Mode Manual

Mode manual digunakan ketika pengguna ingin mengendalikan pompa secara langsung melalui aplikasi. Pada mode ini, kondisi pompa tidak ditentukan berdasarkan nilai kelembapan tanah, tetapi mengikuti perintah pengaktifan atau penghentian yang diberikan oleh pengguna.

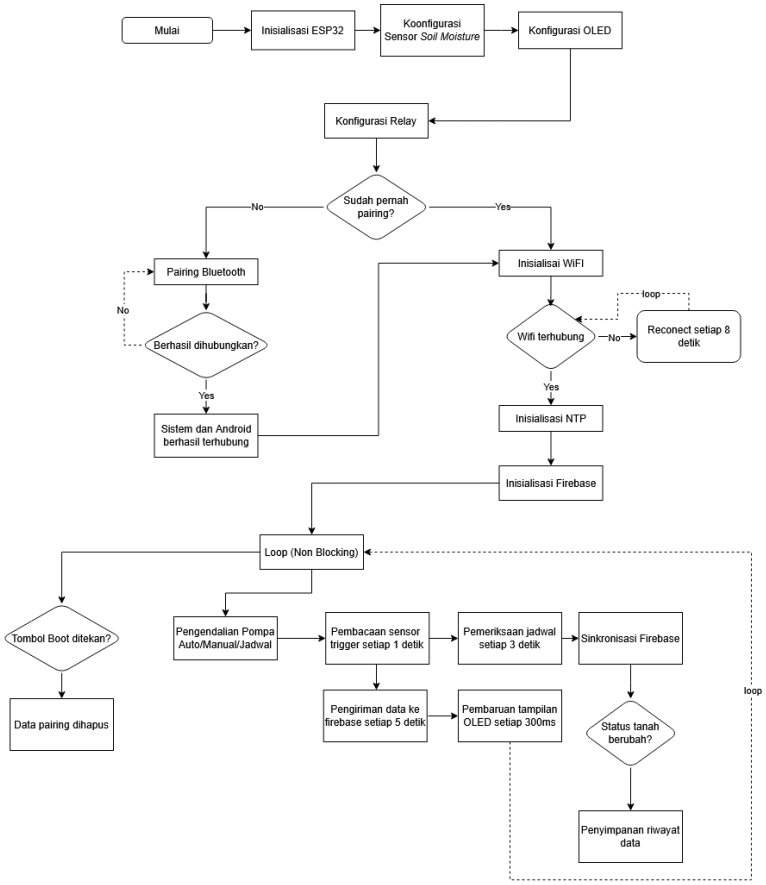
c. Mode Jadwal

Mode jadwal digunakan untuk melakukan penyiraman berdasarkan waktu yang telah ditentukan oleh pengguna. Pada mode ini, pompa akan aktif ketika waktu sistem telah mencapai jadwal penyiraman yang telah dibuat dan akan berhenti setelah durasi penyiraman yang ditentukan selesai

3.3.3 Alur Kerja Sistem

Flowchart merupakan diagram alir yang digunakan untuk menggambarkan urutan proses dan alur kerja suatu sistem secara sistematis. Pada penelitian ini, flowchart digunakan untuk memvisualisasikan proses kerja sistem irigasi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang, mulai dari proses inisialisasi perangkat, koneksi jaringan, pembacaan sensor kelembapan tanah, pengendalian pompa air, hingga proses pengiriman dan penyimpanan data pada Firebase.

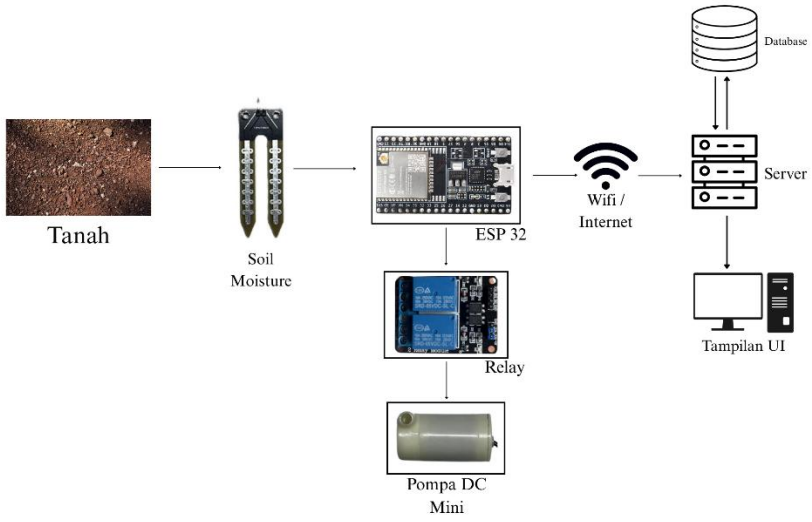
Perancangan *workflow* dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai hubungan antar proses yang terjadi dalam sistem sehingga alur kerja sistem dapat dipahami dengan lebih mudah. Selain itu, *workflow* juga digunakan sebagai acuan dalam proses implementasi perangkat lunak pada mikrokontroler ESP32 agar setiap fungsi yang dirancang dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan sistem.



Gambar 3.3 *Workflow* sistem

Berdasarkan Gambar 3.3 *workflow* menggambarkan urutan proses yang dilakukan oleh sistem irigasi berbasis *Internet of Things* (IoT) mulai dari proses inisialisasi perangkat hingga sistem menjalankan fungsi utama. Proses tersebut meliputi inisialisasi komponen perangkat keras, proses pairing perangkat, koneksi jaringan WiFi, inisialisasi layanan Firebase, serta proses monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman. Selain itu, *workflow* juga menunjukkan proses pertukaran data antara perangkat dan aplikasi monitoring yang digunakan untuk mendukung pemantauan kondisi tanah serta pengelolaan penyiraman secara jarak jauh. Flowchart ini digunakan sebagai acuan dalam proses implementasi sistem agar seluruh fungsi yang dirancang dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

3.3.4 Gambaran Umum Sistem



Gambar 3.4 Gambaran Umum Sistem

Gambaran umum sistem menjelaskan alur kerja dan hubungan antar komponen yang terdapat pada sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dirancang untuk melakukan pemantauan dan pengendalian penyiraman tanaman secara otomatis berdasarkan kondisi kelembapan tanah.

Proses dimulai dari sensor soil moisture yang ditanam pada tanah. Sensor ini berfungsi untuk membaca nilai kelembapan tanah secara langsung. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data. ESP32 akan memproses data tersebut untuk menentukan kondisi tanah, apakah dalam keadaan kering, lembap, atau basah.

Selanjutnya, berdasarkan hasil pengolahan data, ESP32 akan mengirimkan perintah ke modul relay. Relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang menghubungkan atau memutus aliran listrik ke pompa air. Jika kondisi tanah terdeteksi kering, maka relay akan mengaktifkan pompa DC mini untuk melakukan penyiraman. Sebaliknya, jika kondisi tanah sudah cukup lembap, maka pompa akan dimatikan secara otomatis.

Selain mode otomatis, sistem juga menyediakan mode manual dan mode jadwal. Pada mode manual pengguna dapat mengontrol pompa sesuai kebutuhan. Pada mode jadwal pompa dapat diaktifkan berdasarkan jadwal yang telah dibuat sebelumnya. Mode yang terdapat dalam sistem dapat dikontrol melalui aplikasi dan akan berjalan ketika ESP32 terhubung dengan WiFi/Internet.

Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan jaringan WiFi untuk mengirimkan data ke server melalui internet. Data tersebut kemudian disimpan di dalam database berbasis *cloud*. Informasi yang tersimpan dapat diakses oleh pengguna melalui antarmuka aplikasi (UI), sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanah secara real-time tanpa harus berada langsung di lokasi.

Dengan adanya integrasi antara sensor, mikrokontroler, aktuator, serta sistem berbasis cloud, sistem ini mampu bekerja secara otomatis dan efisien dalam mengelola proses irigasi, sehingga dapat membantu petani dalam meningkatkan efektivitas penyiraman serta efisiensi penggunaan air.

3.3.5 Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem penyiraman otomatis ini menggambarkan proses kerja alat mulai dari membaca kondisi kelembapan tanah hingga melakukan penyiraman secara otomatis.

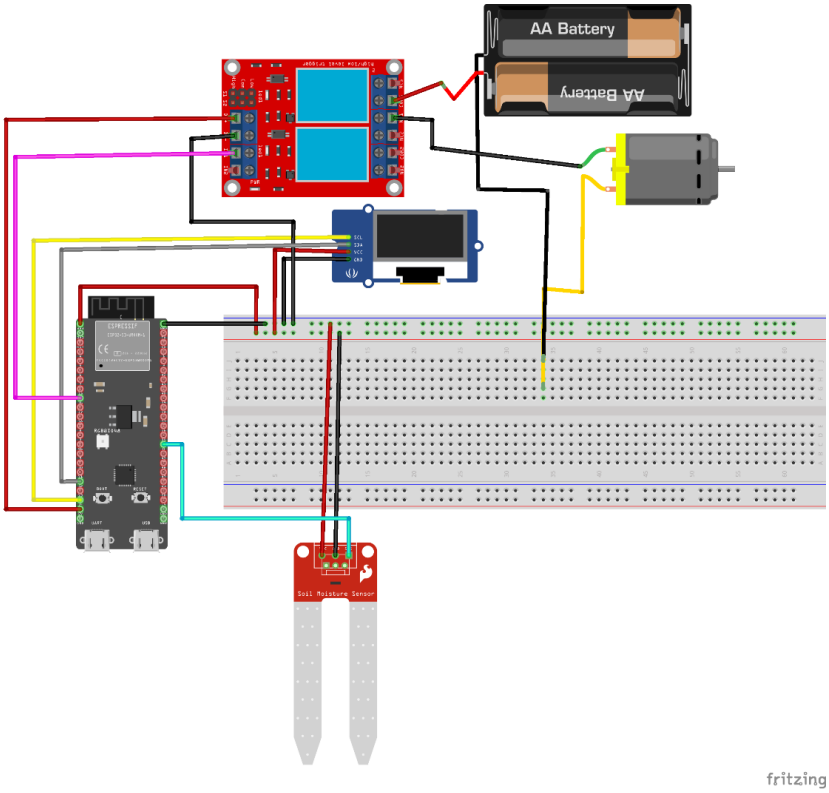
a. Sistem diaktifkan dengan memberikan sumber tegangan pada ESP32 dan seluruh komponen yang terhubung.
b. ESP32 melakukan insialisasi perangkat yang meliputi sensor kelembapan tanah, relay, OLED, dan modul pendukung lainya.
c. Sistem memeriksa status pairing yang tersimpan. Jika perangkat belum pernah dipasangkan, sistem akan mengaktifkan Bluetooth dan menunggu hingga proses pairing dengan aplikasi berhasil dilakukan.
d. Setelah proses pairing berhasil atau perangkat telah dipasangkan sebelumnya, sistem akan melakukan koneksi dengan jaringan WiFi menggunakan data yang tersimpan.
e. Jika koneksi WiFi berhasil, sistem melakukan sinkronisasi waktu menggunakan NTP dan menginisialisasi Firebase untuk proses monitoring dan penyimpanan data.
f. Sistem memasuki proses utama (*loop)* dan melakukan pembacaan nilai kelembapan tanah secara berkala menggunakan *soil moisture*.
g. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan nilai kelembapan tanah dan status kondisi tanah, yaitu kering, lembap, dan basah.
h. ESP32 membaca mode penyiraman yang dipilih pengguna melalui Firebase, yaitu mode otomatis, manual, dan jadwal.
i. Jika sistem menggunakan mode manual, pompa air dapat dikendalikan berdasarkan perintah yang diberikan melalui aplikasi Android.

j. Jika sistem menggunakan mode jadwal, maka pompa air akan aktif sesuai waktu penyiraman yang telah ditentukan.
k. Jika sistem menggunakan otomatis, pompa air akan menyala ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah batas yang telah ditentukan dan akan berhenti ketika kelembapan tanah telah mencapai nilai yang ditentukan.
l. Sistem menampilkan informasi kelembapan tanah dan status kondisi tanah secara Real-time pada layar OLED.
m. Data kelembapan tanah dan aktivitas penyiraman dikirimkan ke Firebase dan ditampilkan pada aplikasi Android.
n. Apabila koneksi WiFi terputus, sistem dapat tetap dapat melakukan pembacaan sensor dan pengendalian pompa menggunakan mode otomatis lokal berdasarkan nilai kelembapan tanah yang terbaca. Sistem akan terus mencoba menghubungkan kembali ke jaringan WiFi secara berkala.
o. Seluruh proses berlangsung secara berulang (*loop)* selama sistem dalam keadaan aktif.

3.4 Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi Fritzing sebagai media untuk memvisualisasikan rangkaian perangkat keras yang akan dibangun. Rancangan ini bertujuan untuk memberikan gambaran awal mengenai hubungan antar komponen dalam sistem, sehingga dapat meminimalkan kesalahan pada tahap implementasi.

Melalui perancangan ini, setiap komponen seperti sensor, mikrokontroler, dan aktuator dapat diidentifikasi koneksi pin serta alur kerjanya sebelum dilakukan proses perakitan secara langsung. Dengan demikian, proses pembuatan alat menjadi lebih terstruktur dan efisien.



Gambar 3.5 Rangkaian alat

Untuk memudahkan peneliti membuat gambaran rangkaian alat, maka dibuar sebuah rancangan rangkaian sistem yang terdapat sensor, dan alat-alat yang lain.

a. Mikrokontroller (ESP32)

ESP32 berperan sebagai kontrol utama dalam sistem penyiraman otomatis. Komponen ini bertugas menerima dan mengolah data dari sensor, kemudian menentukan tindakan yang diperlukan, seperti mengaktifkan pompa secara otomatis serta mengirimkan data perubahan ke data Base.

b. Breadboard

Breadboard digunakan sebagai media penghubung antar komponen dalam rangkaian. Pada rangkaian ini, jalur positif (+) pada breadboard dihubungkan ke pin 3.3V (3V3) pada ESP32, sedangkan jalur negatif (-) dihubungkan ke pin GND pada ESP32. Hal ini bertujuan untuk mendistribusikan sumber tegangan ke seluruh komponen yang digunakan.

c. Sensor Kelembapan Tanah

Sensor kelembapan tanah digunakan untuk membaca nilai kelembapan tanah. Berikut adalah rangkaian sensor kelembapan tanah :

1. Pin VCC pada sensor dihubungkan pada breadboard positif (+).
2. Pin GND pada sensor dihubungkan pada breadboard negatif (-).
3. Pin AO (*Analog Output*) pada sensor dihubungkan ke pin 34 pada ESP32. Rangkaian ini berfungsi untuk memberi masukkan nilai ke ESP32.

d. LCD OLED

LCD OLED digunakan untuk menampilkan informasi nilai kelembapan tanah secara real time, value kelembapan tanah (kering dan lembap), status pompa (aktif dan non-aktif), dan status internet yaitu terhubung dengan WiFi atau tidak terhubung dengan WiFi dengan rangkaian

1. Pin VCC pada LCD terhubung ke pin positif (+) pada breadboard.
2. Pin GND pada LCD terhubung ke pin negatif (-) pada breadboard.
3. Pin SDA pada LCD terhubung ke pin 21 pada ESP32.
4. Pin SCL pada LCD terhubung ke pin 22 pada ESP32.

e. LED

LED berfungsi sebagai indikator tingkat kelembapan tanah. Pada sistem menggunakan dua led, yaitu berwarna merah dan hijau, dengan rangkaian sebagai berikut :

1. Kaki anoda (+) LED merah dihubungkan ke pin 25 pada ESP32 melalui resistor sebagai pembatas arus.
2. Kaki katoda (-) LED merah dihubungkan ke jalur negatif (-) pada breadboard.
3. Kaki anoda (+) LED hijau dihubungkan ke pin 26 pada ESP32 melalui resistor sebagai pembatas arus.
4. Kaki katoda (-) LED hijau dihubungkan ke jalur negatif (-) pada breadboard.
5. Fungsi LED merah adalah sebagai indikasi tanah dalam keadaan kering, dan LED hijau memberi indikasi tanah dalam keadaan lembap.

f. Relay

Untuk mengatur nyala pompa secara otomatis berdasarkan perintah ESP32 maka relay digunakan pada rangkaian sistem ini.

1. Pin VCC pada relay terhubung ke jalur positif (+) pada breadboard.
2. Pin GND pada relay terhubung ke jalur negatif (-) pada breadboard.
3. Pin In pada relay terhubung ke pin 27 pada ESP32.

4. Terminal COM (Common) pada rellay dihubungkan ke sumber tegangan dari power supply.

g. Pompa

Pompa air digunakan sebagai aktuator untuk melakukan proses penyiraraman tanaman secara otomatis. Pompa akan aktif atau non-aktif berdasarkan perintah ESP32 melalui relay, dengan rangkaian sebagai berikut :

1. Kabel positif (+) pompa dihubungkan ke terminal No. (*Normally Open*) pada relay.
2. Kabel pompa negatif (-) dihubungkan pada *power supply*.

Rangkaian ini memungkinkan pompa menyala ketika relay aktif dan akan mati ketika relay tidak aktif.

h. Power Supply

Power supply digunakan sebagai sumber tegangan untuk menghidupkan pompa dan relay pada sistem dengan rangkaian sebagai berikut :

1. Kutub positif (+) *power supply* dihubungkan ke terminal COM pada relay.
2. Kutub negatif (-) pada *power supply* dihubungkan dengan pompa secara langsung.

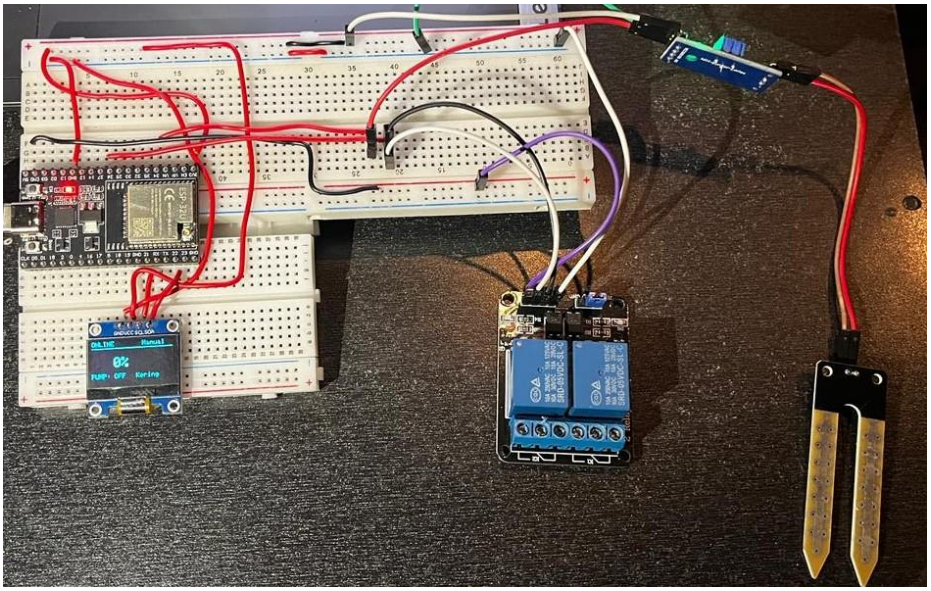
Power supply digunakan sebagai sumber tegangan utama untuk mengoperasikan pompa melalui relay.

3.5 Pembuatan *Prototype* Sistem

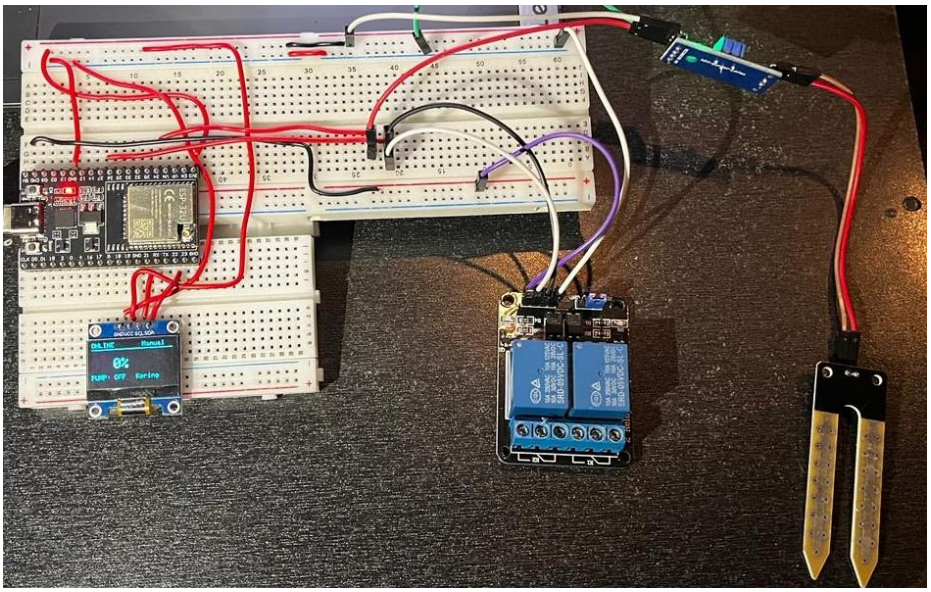
embuatan prototipe sistem dilakukan berdasarkan rancangan perangkat keras yang telah dibuat pada tahap perancangan alat. Pada tahap ini, komponen perangkat keras dirangkai secara langsung menggunakan breadboard sesuai dengan koneksi yang telah ditentukan pada rancangan. Komponen yang digunakan meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor kelembapan tanah sebagai pembaca kondisi tanah, OLED sebagai media tampilan informasi, relay sebagai pengendali pompa, serta pompa sebagai aktuator penyiraman.

Pembuatan prototipe bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat terhubung dan berfungsi sesuai dengan rancangan sebelum perangkat diimplementasikan ke dalam bentuk akhir. Pada tahap ini dilakukan pengecekan terhadap koneksi antar komponen serta fungsi dasar sistem, seperti pembacaan sensor kelembapan tanah, tampilan informasi pada

OLED, dan pengendalian pompa melalui relay. Alat jadi terdapat pada



Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Protoype* sistem

Berdasarkan Gambar 3.6, prototipe menunjukkan hasil perakitan komponen perangkat keras pada *panel box*. Prototipe tersebut digunakan sebagai dasar untuk memastikan integrasi antar komponen sebelum dilakukan implementasi perangkat dalam bentuk akhir.

3.6 Rencana Pengujian Sistem

3.6.1 *Black Box Testing*

Pengujian sistem pada penelitian ini menggunakan metode *Black Box Testing*. Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi atau masukan tertentu pada sistem, kemudian mengamati keluaran yang dihasilkan dan membandingkannya dengan hasil yang diharapkan. Pengujian dilakukan terhadap fungsi perangkat dan sistem yang telah dirancang untuk mengetahui kesesuaian antara fungsi yang diharapkan dengan hasil yang diperoleh.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah fitur dan perangkat yang digunakan dalam sistem dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan. Tahapan pengujian meliputi pengujian koneksi sistem, pembacaan kelembapan tanah, penyiraman, tampilan OLED, dan riwayat data. Setiap pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi atau masukan tertentu, kemudian mengamati hasil yang diperoleh dan membandingkannya dengan hasil yang diharapkan.

a. Pengujian Koneksi Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan koneksi Bluetooth dan WiFi serta mempertahankan fungsi sistem ketika koneksi internet terputus.

b. Pengujian Pembacaan Kelembapan Tanah

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca kondisi kelembapan tanah dan memastikan nilai yang diperoleh dapat ditampilkan serta dikirimkan ke sistem.

c. Pengujian Penyiraman

Pengujian dilakukan untuk mengetahui respons pompa terhadap kondisi kelembapan tanah dan perintah pada mode otomatis, manual, dan jadwal.

d. Pengujian Tampilan OLED

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian informasi yang ditampilkan pada OLED, meliputi nilai kelembapan, kondisi tanah, status pompa, mode pengoperasian, waktu, dan status koneksi.

e. Pengujian Riwayat

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan kondisi dan aktivitas penyiraman dapat dicatat dan disimpan sebagai data riwayat pada sistem.

3.6.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah fungsi utama sistem irigasi berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi atau masukan pada setiap fungsi yang diuji, kemudian mengamati respons sistem dan membandingkannya dengan hasil yang diharapkan.

Pengujian sistem meliputi koneksi perangkat, pembacaan sensor kelembapan tanah, pengendalian pompa, perubahan mode pengoperasian, tampilan informasi pada OLED, serta penyimpanan data riwayat. Pengujian dilakukan pada kondisi yang telah ditentukan untuk memastikan setiap fungsi dapat memberikan keluaran yang sesuai dengan rancangan. Hasil dari setiap pengujian akan dicatat dan digunakan untuk menentukan keberhasilan fungsi sistem.

3.6.3 Pengujian Pemantauan Kelembapan Tanah

Pengujian pemantauan kelembapan tanah dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca kondisi kelembapan tanah menggunakan sensor kelembapan tanah. Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi tanah dengan tingkat kelembapan yang berbeda, kemudian mengamati nilai kelembapan yang dibaca oleh sensor dan ditampilkan pada sistem.

Hasil pembacaan sensor selanjutnya diamati melalui tampilan OLED dan sistem monitoring untuk memastikan nilai kelembapan dapat diperbarui sesuai dengan perubahan kondisi tanah. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah proses pembacaan dan pemantauan kelembapan tanah dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang.

3.6.4 Pengujian Penyiraman

Pengujian penyiraman dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengendalikan pompa sesuai dengan kondisi kelembapan tanah dan mode pengoperasian yang digunakan. Pengujian dilakukan pada mode otomatis, manual, dan jadwal dengan memberikan kondisi atau perintah yang sesuai pada masing-masing mode.

Pada mode otomatis, pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi kelembapan tanah di bawah dan di atas batas yang telah ditentukan untuk mengamati respons pompa terhadap kondisi tanah. Pada mode manual, pengujian dilakukan dengan memberikan perintah untuk menyalakan dan mematikan pompa melalui sistem. Pada mode jadwal, pengujian dilakukan dengan memberikan waktu dan durasi penyiraman yang telah ditentukan, kemudian mengamati apakah pompa bekerja sesuai dengan jadwal tersebut.

Hasil pengujian diamati berdasarkan kondisi pompa yang dihasilkan dari setiap mode pengoperasian dan dibandingkan dengan hasil yang diharapkan. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan proses penyiraman dapat berjalan sesuai dengan rancangan sistem.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

4.1.1 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras merupakan sebuah tahap realisasi rancangan rangkaian yang telah dibuat sebelumnya. Pada tahap ini, seluruh komponen diintegrasikan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Proses implementasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara nyata dan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang sebelumnya.



Gambar 4.1 Realisasi sistem

Sistem penyiraman otomatis telah diimplementasikan dalam bentuk perangkat keras yang terintegrasi. ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan berbagai

komponen melalui breadboard. Sensor kelembapan tanah terhubung untuk membaca kondisi tanah secara langsung, kemudian data tersebut dikirimkan ke ESP32 untuk diproses. Selanjutnya ESP32 mengontrol modul relay yang berfungsi sebagai saklar untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa. Seluruh komponen terhubung melalui kabel jumper sesuai dengan perancangan yang telah dibuat sebelumnya, sehingga sistem dapat bekerja secara terintegrasi dalam menjalankan proses penyiraman otomatis.

4.1.2 Kalibrasi Sensor Kelembapan Tanah

Sensor kelembapan tanah (*Soil Moisture Sensor*) merupakan komponen *input* utama dalam sistem yang digunakan untuk mendeteksi kondisi kelembapan tanah. Nilai yang dihasilkan oleh sensor ini bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan karakteristik sensor, sehingga diperlukan proses kalibrasi untuk menentukan nilai batas minimum dan maksimum yang dibaca oleh sensor.

Hasil kalibrasi disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kalibrasi nilai sensor

Nilai Minimal	Nilai Maksimal
1420	4095

Berdasarkan hasil kalibrasi sensor, diketahui bahwa nilai 1420 merepresentasikan kondisi kelembapan minimum (0%), sedangkan nilai 4095 merepresentasikan nilai maksimal kondisi kelembapan (100%). Rentang nilai tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses konversi nilai pembacaan sensor menjadi persentase kelembapan tanah. Proses konversi dilakukan dengan memetakan nilai analog yang diperoleh sensor ke dalam skala 0% hingga 100%, sehingga data yang dihasilkan lebih mudah untuk dianalisis dan dibaca oleh pengguna.

Selain itu hasil konversi ini juga menjadi parameter utama dalam pengolahan data pada sistem, seperti pemantauan kondisi tanah secara Real-time dan pengendalian perangkat aktuator (pompa). Dengan demikian, proses kalibrasi memiliki peran penting dalam memastikan akurasi dan keandalan sistem dalam membaca kelembapan tanah.

4.1.3 Penentuan Nilai Ambang Batas (*Threshold*)

Penentuan nilai ambang batas (*Threshold*) merupakan parameter utama dalam sistem yang digunakan untuk mengendalikan aktuator berdasarkan hasil pembacaan sensor kelembapan tanah. Pada mode otomatis, proses pengaktifan aktuator sepenuhnya dikendalikan

oleh sistem berdasarkan nilai yang diperoleh dari sensor, sehingga penentuan *Threshold* memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan respons sistem terhadap kondisi tanah.

Beberapa penelitian terdahulu yang telah mengembangkan sistem serupa pada tanaman cabai telah dijelaskan pada Bab II Subbab 2.7 Kajian Literatur. Penelitian yang dilakukan oleh Nalendra & Mujiono (2020), Syahri & Ulansari (2023), serta Iksal et al. (2023) menunjukkan bahwa kelembapan tanah optimal untuk tanaman cabai berada pada rentang 60%–80%. Rentang nilai tersebut kemudian digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini untuk menentukan klasifikasi kondisi kelembapan tanah pada sistem.

Pada implementasinya, pembacaan sensor kelembapan tanah menghasilkan nilai analog (ADC) yang kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase untuk memudahkan proses interpretasi data. Selanjutnya, nilai tersebut diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu kering, lembap, dan basah. Klasifikasi ini digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan sistem irigasi otomatis, khususnya dalam mengendalikan proses penyiraman tanaman cabai secara real-time. Selain itu, nilai ambang batas juga ditampilkan dalam bentuk nilai ADC dan persentase agar hubungan antara pembacaan sensor dan hasil konversi dapat terlihat dengan jelas.

Pembagian nilai ambang batas disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Penentuan nilai ambang batas (*Treshold*)

No.	Nilai ADC	Nilai (%)	Status
1	1420-1999	0-59	Kering
2	2000-3499	60-80	Lembap
3	3500-4095	81-100	Basah

Berdasarkan tabel 4.2, setiap rentang nilai ADC yang telah dikonversi ke dalam bentuk persentase digunakan untuk menentukan kondisi kelembapan tanah. Kondisi kering, lembap, dan basah menjadi acuan utama dalam pengambilan keputusan sistem untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa dengan mode otomatis. Dengan demikian, sistem dapat melakukan penyiraman otomatis sesuai dengan kondisi tanah yang terdeteksi secara Real-time.

4.1.4 Konfigurasi Pompa

Pompa air pada sistem ini digunakan sebagai aktuator utama yang berfungsi untuk melakukan proses penyiraman tanaman secara otomatis. Pompa dikendalikan melalui modul relay yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 pada pin GPIO 27. Konfigurasi yang digunakan adalah aktif LOW, sehingga relay akan aktif ketika diberikan logika LOW dan nonaktif ketika diberikan logika HIGH.

Pengendalian pompa pada sistem ini terdiri dari dua mode, yaitu mode otomatis dan mode manual. Pada mode otomatis, pompa akan bekerja berdasarkan hasil pembacaan sensor kelembapan tanah. Apabila sistem mendeteksi kondisi tanah dalam keadaan kering, maka pompa akan aktif secara otomatis untuk melakukan penyiraman, dan akan nonaktif ketika kondisi tanah telah mencapai tingkat kelembapan yang telah ditentukan.

Sementara itu, pada mode manual, pengendalian pompa dilakukan oleh pengguna melalui aplikasi yang terhubung dengan Firebase Realtime Database. Pada mode ini, pengguna dapat menyalakan atau mematikan pompa secara langsung sesuai kebutuhan.

Dengan demikian, pompa dapat beroperasi secara fleksibel sesuai dengan mode yang dipilih, sehingga proses penyiraman tanaman dapat dilakukan secara efektif berdasarkan kondisi tanah maupun kebutuhan pengguna.

4.1.5 Konfigurasi Layar

Layer OLED digunakan sebagai media tampilan informasi pada sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT). Oled yang digunakan memiliki jenis SSD1306 dengan komunikasi I2C. Modul ini terhubung dengan mikrokontroler ESP32 melalui pin SDA pada GPIO21 dan SCL pada GPIO 22.

Informasi yang ditampilkan pada layar OLED meliputi nilai kelembapan tanah dalam bentuk persen, status kondisi tanah (kering, lembap, dan basah), serta nilai pembacaan sensor secara Real-time, dan mode penyiraman yang digunakan saat ini (manual, otomatis, dan jadwal). Dengan adanya tampilan ini, pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung tanpa perlu membuka aplikasi atau platform eksternal.

Penggunaan OLED pada sistem ini bertujuan untuk memberikan informasi secara cepat, sederhana, dan mudah dipahami oleh pengguna terkait kondisi tanah dan status penyiraman. Selain itu informasi yang ditampilkan sudah sesuai dengan data yang berada Firebase Realtime Database, sehingga nilai yang ditampilkan pada layer dan aplikasi bernilai sama.

4.2 Implementasi Perangkat Lunak

4.2.1 Inisialisasi *Library* dan Konfigurasi Sistem

Tahap inisialisasi merupakan proses awal yang dilakukan sebelum sistem menjalankan fungsi monitoring dan penyiraman otomatis. Pada tahap ini, ESP32 melakukan konfigurasi perangkat lunak yang meliputi pemanggilan *library*, konfigurasi pin perangkat keras, konfigurasi koneksi jaringan, serta inisialisasi layanan Firebase, dan OLED. Tujuan dari proses ini adalah untuk memastikan seluruh komponen sistem dapat beroperasi dan saling komunikasi dengan baik.

Library digunakan pada penelitian ini berfungsi untuk mendukung komunikasi jaringan, pengelolaan database, tampilan informasi, serta sinkronisasi waktu. Daftar *library* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 *Library* yang digunakan

No.	Library	Fungsi
1	`WiFi.h`	Menghubungkan ESP32 dengan jaringan internet melalui WiFi
2	`FirebaseESP32.h`	Menghubungkan ESP32 dengan Firebase Realtime Database
3	`Wire.h`	Mendukung komunikasi I2C antara ESP32 dan OLED
4	`Adafruit GFX`	Menampilkan elemen grafis pada layar OLED
5	`Adafruit_SSD1306.h`	Mengendalikan tampilan OLED SSD1306
6	`BluetoothSerial.h`	Mendukung komunikasi Bluetooth untuk proses pairing
7	`Preferences.h`	Menyimpan data SSID dan *password* WiFi
8	`Time.h`	Sinkronisasi waktu menggunakan layanan NTP

Pemanggilan *library* dilakukan pada bagian awal program agar seluruh fungsi yang diperlukan dapat digunakan selama sistem berjalan. Potongan kode pemanggilan *library* ditunjukkan pada gambar Gambar 4.2.

```
#include <BLEDevice.h>
/ Library utama untuk menggunakan fitur Bluetooth Low Energy (BLE) pada
ESP32.
#include <BLEServer.h>
// Library untuk membuat dan mengelola BLE Server pada ESP32.
#include <BLEUtils.h>
// Library yang menyediakan fungsi-fungsi pendukung untuk komunikasi BLE.
#include <BLE2902.h>
// Library untuk konfigurasi descriptor BLE, termasuk pengaturan notifikasi
pada karakteristik BLE.
#include <WiFi.h>
// Library untuk menghubungkan ESP32 ke jaringan WiFi.
#include <FirebaseESP32.h>
```

```
// Library untuk menghubungkan ESP32 dengan Firebase dan melakukan pertukaran
data.
#include <Wire.h>
// Library untuk komunikasi I2C antara ESP32 dengan perangkat seperti OLED.
#include <Adafruit_GFX.h>
// Library grafis dasar yang digunakan untuk menampilkan teks dan gambar
pada OLED.
#include <Adafruit_SSD1306.h>
// Library untuk mengendalikan OLED dengan driver SSD1306.
#include "time.h"
// Library untuk mengatur dan memperoleh informasi waktu pada ESP32 melalui
NTP.
#include <Preferences.h>
// Library untuk menyimpan dan membaca data konfigurasi secara permanen pada
memori ESP32.
```

Gambar 4.2 Inisialisasi *library* sistem

Selain pemanggilan *library*, dilakukan konfigurasi pin yang digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan sensor kelembapan tanah, relay pompa, dan OLED. Konfigurasi pin bertujuan agar ESP32 dapat mengenali fungsi dari setiap perangkat yang terhubung. Konfigurasi pin perangkat disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Konfigurasi pin perangkat

No.	Komponen	Pin ESP32	Fungsi
1	Sensor *Soil Moisture*	GPIO 34	Membaca nilai kelembapan tanah
2	Relay Pompa	GPIO 27	Mengendalikan pompa air
3	OLED SDA	GPIO 21	Jalur data komunikasi I2C
4	OLED SCL	GPIO 22	Jalur *clock* komunikasi I2C

Setelah konfigurasi pin selesai dilakukan, sistem melanjutkan proses inisialisasi jaringan WiFi dan Firebase Realtime Database. Konfigurasi WiFi digunakan untuk menghubungkan ESP32 ke internet sehingga data monitoring dapat dikirim secara real-time. Sedangkan konfigurasi Firebase digunakan untuk mengatur alamat *host* database dan kunci autentikasi yang digunakan dalam proses pertukaran data antara ESP32 dan aplikasi mobile.

Selain itu, sistem juga melakukan konfigurasi layanan waktu menggunakan *Network Time Protocol* (NTP). Sinkronisasi waktu diperlukan untuk memberikan informasi tanggal dan jam pada setiap data histori kelembapan maupun aktivitas penyiraman yang tersimpan di Firebase. Dengan adanya *timestamp,* pengguna dapat mengetahui waktu terjadinya penyiraman dan perubahan kondisi kelembapan tanah secara lebih akurat.

Tahap terakhir pada proses inisialisasi adalah pengaktifan OLED yang digunakan sebagai media informasi lokal. Setelah OLED berhasil diinisialisasi, sistem akan menampilkan status koneksi serta informasi operasional lainnya sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi perangkat secara langsung tanpa harus membuka aplikasi mobile.

Berdasarkan hasil implementasi yang dilakukan, proses inisialisasi berhasil menghubungkan seluruh komponen perangkat lunak dengan perangkat keras yang digunakan. Dengan demikian, sistem siap menjalankan proses monitoring kelembapan tanah, pengendalian pompa, serta komunikasi data dengan Firebase Realtime Database yang akan dibahas pada subbab berikutnya.

4.2.2 Implementasi Pairing dan Koneksi WiFi

Pada tahap ini, proses pairing digunakan sebagai langkah awal untuk menghubungkan sistem irigasi dengan aplikasi mobile sehingga keduanya dapat saling berkomunikasi. Untuk mempermudah proses konfigurasi awal, sistem memanfaatkan fitur Bluetooth yang tersedia pada ESP32. Melalui Bluetooth, pengguna dapat melakukan identifikasi dan konfigurasi perangkat secara langsung tanpa perlu mengubah program pada mikrokontroler. Selain itu, penggunaan Bluetooth membantu memastikan bahwa proses konfigurasi dilakukan pada perangkat yang sesuai sehingga mengurasi risiko kesalahan koneksi dengan perangkat lain.

Setelah proses pairing berhasil dilakukan, sistem memanfaatkan koneksi WiFi sebagai media komunikasi utama dalam pertukaran data dan pengendalian perangka. WiFi digunakan agar sistem dapat terhubung dengan jaringan internet dan berkomunikasi dengan Firebase Realtime Database. Melalaui koneksi ini, ESP32 dapat mengirimkan data kelembapan tanah, status pompa, status *online* perangkat secara *real-time*. Selain itu, sistem juga dapat menerima perintah aplikasi mobile melalui Firebase, seperti perubahan mode penyiraman maupun kontrol pompa, sehingga komunikasi antara aplikasi dan perangkat dapat berlangsung secara dua arah.

Tahapan pairing dan koneksi *Wifi* disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tahapan pairing dan koneksi WiFi

No.	Proses	Hasil
1	ESP 32 mengaktifkan layanan Bluetooth Low Energi (BLE)	Perangkat siap dideteksi aplikasi

No.	Proses	Hasil
2	Aplikasi melakukan pairing dengan ESP32	Koneksi BLE berhasil
3	Status pairing diverifikasi oleh sistem	ESP32 dan aplikasi saling terhubung
4	ESP32 menghentikan proses *advertising* BLE	Pairing selesai dilakukan
5	ESP32 menggunakan konfigurasi WiFi yang tersimpan pada program	Proses koneksi WiFi dimulai
6	Sistem memverifikasi status koneksi WiFi	ESP32 terhubung dengan internet
7	ESP32 melakukan koneksi ke Firebase Realtime Database	Monitoring dan kontrol dapat dilakukan

Berdasarkan Tabel 4.14, proses komunikasi diawali dengan aktifasi layanan Bluetooth Low Energi pada ESP32. Aplikasi kemudian melakukan pairing dengan perangkat untuk memastikan identitas perangkat yang akan digunakan. Setelah proses pairing berhasil dilakukan, ESP32 melanjutkan proses koneksi ke jaringan WiFi menggunakan konfigurasi yang telah ditetapkan pada sistem. Ketika koneksi internet berhasil diperoleh, perangkat dapat berkomunikasi dengan Firebase Realtime Database untuk melakukan pengiriman data monitoring maupun menerima perintah kontrol dari aplikasi. Implementasi pairing Bluetooth dan koneksi WiFi disajikan pada Gambar 4.3.

```
void initConnection() {
  //  Mendefinisikan  fungsi  initConnection()  untuk  melakukan  proses
inisialisasi koneksi perangkat.

  // Aktifkan BLE
  // Bagian ini digunakan untuk memulai komunikasi Bluetooth Low Energy
(BLE).

  BLEDevice::init("ESP32_Irigasi");
  // Menginisialisasi BLE pada ESP32 dengan nama perangkat "ESP32_Irigasi".

  BLEServer *server =
      BLEDevice::createServer();
  // Membuat BLE Server yang berfungsi sebagai perangkat yang menerima
koneksi dari aplikasi.

  BLEService *service =
      server->createService(SERVICE_UUID);
```

```
  // Membuat layanan BLE menggunakan identitas layanan (SERVICE_UUID) yang
telah ditentukan.

  service->start();
  // Mengaktifkan layanan BLE agar dapat digunakan untuk proses komunikasi.

  BLEAdvertising *advertising =
      BLEDevice::getAdvertising();
  // Mengambil objek advertising BLE untuk membuat perangkat dapat ditemukan
oleh perangkat lain.

  advertising->start();
  // Memulai proses advertising sehingga perangkat ESP32 dapat ditemukan
untuk melakukan pairing.


  // Tunggu proses pairing
  // Sistem menunggu sampai konfigurasi WiFi diterima melalui proses pairing.

  while (!WiFiConfigured) {
    // Melakukan perulangan selama konfigurasi WiFi belum diterima.

    delay(100);
    // Memberikan jeda selama 100 milidetik agar ESP32 tidak menjalankan
perulangan secara terus-menerus.
  }


  // Ambil konfigurasi WiFi
  // Mengambil SSID dan password WiFi yang sebelumnya telah disimpan pada
memori ESP32.

  preferences.begin("WiFi", true);
  // Membuka penyimpanan Preferences dengan nama "WiFi" dalam mode hanya
membaca.

  String ssid =
      preferences.getString("ssid");
  // Mengambil nilai SSID WiFi yang tersimpan dan menyimpannya ke variabel
ssid.

  String password =
      preferences.getString("password");
  // Mengambil password WiFi yang tersimpan dan menyimpannya ke variabel
password.

  preferences.end();
  // Menutup akses ke penyimpanan Preferences setelah data selesai dibaca.


  // Hubungkan WiFi
  // Menghubungkan ESP32 ke jaringan WiFi menggunakan SSID dan password yang
telah diperoleh.

  WiFi.begin(
      ssid.c_str(),
      password.c_str()
  );
  // Memulai proses koneksi WiFi menggunakan SSID dan password yang telah
dikonversi ke format yang dibutuhkan oleh fungsi WiFi.begin().
```

```
  while (
      WiFi.status()
      != WL_CONNECTED
  ) {
    // Melakukan perulangan selama ESP32 belum berhasil terhubung ke jaringan
WiFi.

    delay(500);
    // Memberikan jeda selama 500 milidetik sebelum memeriksa kembali status
koneksi WiFi.
  }


  // Hubungkan Firebase
  // Setelah WiFi berhasil terhubung, sistem melakukan inisialisasi koneksi
ke Firebase.

  Firebase.begin(
      &config,
      &auth
  );
  // Menginisialisasi Firebase menggunakan konfigurasi dan autentikasi yang
telah ditentukan.
}
```

Gambar 4.3 Implementasi pairing Bluetooth dan koneksi WiFi

Gambar 4.3 digunakan untuk implementasi program yang digunakan untuk menjalankan proses pairing Bluetooth dan koneksi WiFi pada ESP32. Pada tahap awal, sistem mengaktifkan layanan Bluetooth Low Energy (BLE) agar perangkat dapat dideteksi dan dihubungkan dengan aplikasi. Setelah proses pairing berhasil dilakukan, sistem menerima atau menggunakan konfigurasi jaringan yang tersedia untuk membangun koneksi ke jaringan WiFi. Selanjutnya, status koneksi diverifikasi sebelum ESP32 melanjutkan proses komunikasi dengan Firebase Realtime Database. Implementasi ini memungkinkan perangkat memperoleh akses internet sehingga proses monitoring dan pengendalian sistem dapat dilakukan melalui aplikasi.

Berdasarkan implementasi yang ditunjukkan pada potongan kode, proses pairing Bluetooth dan koneksi WiFi telah berhasil diterapkan pada sistem. Mekanisme tersebut memungkinkan konfigurasi koneksi dilakukan secara lebih mudah pada tahap awal penggunaan perangkat. setelah ESP32 terhubung dengan internet, sistem dapat menjalankan komunikasi dengan Firebase Realtime Database untuk mendukung pertukaran data monitoring serta pengendalian penyiraman secara *Real-time*. Dengan demikian, proses koneksi yang diterapkan telah mendukung operasional sistem irigasi berbasis IoT sesuai dengan kebutuhan yang dirancang.

4.2.3 Implementasi Pengendalian Penyiraman

Setelah koneksi perangkat dan komunikasi data berhasil dilakukan, sistem menjalankan proses pengendalian penyiraman sebagai fungsi utama dalam menentukan status kerja pompa. Pengendalian dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi koneksi jaringan serta mode operasi yang dipilih pengguna. Sistem mendukung tiga mode penyiraman, yaitu otomatis, manual, dan jadwal, serta menyediakan mekanisme penyiraman lokal dengan menggunakan mode otomatis ketika sistem tidak dapat terhubung dengan internet. Implementasi pengendalian tersebut dilakukan melalui logika program yang bertugas menentukan kondisi aktifasi dan penghentian pompa sesuai parameter yang telah ditetapkan. Logika pengendalian pompa disajikan pada Gambar 4.4.

```
void kontrolPompa() {
  // Mendefinisikan fungsi kontrolPompa() untuk mengatur kondisi pompa
  // berdasarkan koneksi WiFi, mode pengoperasian, dan nilai kelembapan
tanah.

  bool WiFiOk = (WiFi.status() == WL_CONNECTED);
  // Memeriksa status koneksi WiFi.
  // Bernilai true jika ESP32 terhubung ke WiFi dan false jika tidak
terhubung.

  if (!WiFiOk) {
    // Memeriksa apakah ESP32 sedang tidak terhubung ke WiFi.

    if (kelembapan < 70) setPompa(true);
    // Jika kelembapan tanah kurang dari 70%, pompa diaktifkan.

    else setPompa(false);
    // Jika kelembapan tanah 70% atau lebih, pompa dimatikan.

    return;
    // Menghentikan fungsi agar sistem tidak melanjutkan pemeriksaan mode
lainnya.
    // Dengan demikian, ketika WiFi terputus, sistem langsung menggunakan
    // pengendalian berdasarkan kelembapan tanah.
  }

  if (modeControl == "Jadwal") {
    // Memeriksa apakah sistem sedang menggunakan mode Jadwal.

    if (!jadwalAktif) setPompa(false);
    // Jika jadwal tidak sedang aktif, pompa dimatikan.

    return;
    // Menghentikan fungsi setelah pengendalian mode Jadwal selesai.
  }

  if (modeControl == "Manual") {
    // Memeriksa apakah sistem sedang menggunakan mode Manual.

    setPompa(pumpManualReq);
```

```
    // Mengatur kondisi pompa berdasarkan perintah manual yang tersimpan
    // pada variabel pumpManualReq.

    return;
    // Menghentikan fungsi setelah pengendalian mode Manual selesai.
  }

  // Mode Otomatis
  // Jika sistem tidak berada pada mode Jadwal atau Manual,
  // maka sistem menjalankan pengendalian pada mode Otomatis.

  if (kelembapan < 70) setPompa(true);
  // Pada mode Otomatis, pompa diaktifkan jika kelembapan tanah kurang dari
70%.

  else setPompa(false);
  // Pompa dimatikan jika kelembapan tanah mencapai 70% atau lebih.
}
```

Gambar 4.4 Logika pengendalian pompa

Gambar 4.4 menunjukkan implementasi fungsi `kontrolPompa()` yang digunakan untuk mengatur proses penyiraman berdasarkan mode operasi yang sedang aktif pada sistem. Pada tahap awal, sistem memverifikasi status koneksi WiFi. Apabila perangkat tidak terhubung ke internet, ESP32 secara otomatis menggunakan mekanisme penyiraman lokal berdasarkan nilai kelembapan tanah dengan ambang batas sebesar 70%. Selanjutnya, apabila koneksi tersedia, sistem akan memeriksa mode pengendalian yang dipilih pengguna, yaitu mode jadwal, mode manual, atau mode otomatis. Pada mode jadwal, pompa akan mengikuti status jadwal yang telah ditentukan. Pada mode manual, kondisi pompa dikendalikan secara langsung melalui perintah pengguna. Sedangkan pada mode otomatis, sistem menentukan status pompa berdasarkan nilai kelembapan tanah yang terbaca oleh sensor.

Setelah koneksi perangkat dan komunikasi data berhasil dilakukan, sistem menjalankan proses pengendalian penyiraman sebagai fungsi utama dalam menentukan status kerja pompa. Pengendalian dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi koneksi jaringan serta mode operasi yang dipilih pengguna. Sistem mendukung tiga mode penyiraman, yaitu otomatis, manual, dan jadwal, serta menyediakan mekanisme penyiraman lokal ketika perangkat tidak terhubung ke internet. Implementasi pengendalian tersebut dilakukan melalui logika program yang bertugas menentukan kondisi aktif dan penghentian pompa sesuai parameter yang telah ditetapkan.

4.2.4 Implementasi Firebase Realtime Database

Firebase Realtime Database digunakan sebagai media pertukaran data antara perangkat ESP32 dan aplikasi pada sistem irigasi berbasis Internet of Things (IoT). Melalui layanan ini, sistem dapat menyimpan dan menampilkan data hasil monitoring secara real-time serta menerima perintah pengendalian dari aplikasi. Data yang dikelola meliputi informasi kondisi kelembapan tanah, status penyiraman, mode operasi, konfigurasi jadwal, dan riwayat aktivitas sistem Implementasi tampilan OLED. Data dan perintah yang disimpan pada Firebase Realtime Database disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data dan perintah yang disimpan pada Firebase Realtime Database

No.	Path Firebase	Jenis Data	Keterangan
1	/live/value	Kelembapan tanah	Menyimpan nilai kelembapan tanah dalam bentuk persentase
2	/live/status	Status tanah	Menyimpan kondisi tanah (Kering, Lembap, Basah)
3	/live/pump_state	Status pompa	Menyimpan kondisi pompa aktif atau nonaktif
4	/live/mode_aktif	Mode penyiraman	Menyimpan mode penyiraman yang sedang digunakan
5	/live/jadwal_aktif	Status jadwal	Menyimpan status penyiraman berdasarkan jadwal
6	/live/sisa_durasi	Sisa durasi	Menyimpan informasi sisa durasi penyiraman
7	/live/last_Online	Status perangkat	Menyimpan waktu terakhir perangkat terhubung
8	/control/mode	Perintah mode	Menyimpan perintah perubahan mode penyiraman

No.	Path Firebase	Jenis Data	Keterangan
9	/control/pump	Perintah pompa	Menyimpan perintah pengaktifan atau penghentian pompa
10	/schedule/item/date	Jadwal penyiraman	Menyimpan tanggal pelaksanaan penyiraman
11	/schedule/item/time	Jadwal penyiraman	Menyimpan waktu pelaksanaan penyiraman
12	/schedule/item/duration	Durasi penyiraman	Menyimpan lama waktu penyiraman
13	/history	Riwayat sistem	Menyimpan histori kelembapan dan aktivitas penyiraman

Firebase Realtime Database digunakan untuk menyimpan data monitoring, menerima perintah pengendalian, serta mengelola konfigurasi sistem secara real-time. Data monitoring disimpan pada bagian *live* yang berisi informasi kondisi terkini perangkat seperti nilai kelembapan tanah, status tanah, status pompa, mode penyiraman, status jadwal, sisa durasi penyiraman, dan waktu terakhir perangkat terhubung. Selain itu, sistem juga menyediakan bagian c*ontrol* dan *schedule* untuk menerima perintah perubahan mode penyiraman, pengendalian pompa secara manual, serta konfigurasi jadwal penyiraman yang dikirim melalui aplikasi.

Selain data monitoring kelembapan tanah, sistem juga menyimpan data riwayat pada *path* `/history` untuk mendukung proses pelacakan aktivitas penyiraman. Data riwayat tidak hanya menyimpan satu nilai, akan tetapi ada beberapa informasi yang disimpan di dalamnya setiap ada *trigger* status kelembapan. Informasi tersebut meliputi nilai kelembapan awal, nilai kelembapan akhir, status tanah awal, status tanah akhir, waktu pencatatan, mode penyiraman yang digunakan, dan lama penyiraman. Penyimpanan data riwayat ini memungkinkan pengguna melakukan pemantauan perubahan kondisi tanah dan mengevaluasi aktivitas penyiraman yang telah dilakukan oleh sistem.

Berdasarkan implementasi yang telah dilakukan, Firebase Realtime Database digunakan sebagai media pertukaran data antara ESP32 dan aplikasi pada sistem. Melalui layanan ini, data hasil monitoring, perintah pengendalian, konfigurasi sistem, serta riwayat aktivitas penyiraman

dapat disimpan dan diperbarui secara real-time. Implementasi tersebut dirancang untuk mendukung proses pemantauan dan pengendalian penyiraman secara jarak jauh sesuai dengan kebutuhan sistem.

4.2.5 Implementasi OLED

Selain melalui aplikasi, sistem juga menyediakan tampilan informasi secara langsung menggunakan layar OLED. Tampilan ini digunakan sebagai media monitoring lokal untuk membantu pengguna mengetahui kondisi perangkat pada jarak dekat tanpa harus mengakses aplikasi. Informasi yang ditampilkan pada OLED disesuaikan dengan kondisi operasional sistem sehingga pengguna dapat memantau status perangkat secara cepat dan langsung. Data yang ditampilkan pada OLED ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data yang ditampilkan pada OLED

No.	Data yang Ditampilkan
1	Nilai kelembapan
2	Status tanah
3	Mode yang digunakan
4	Sisa durasi pompa jika menggunakan mode jadwal
5	Jam
6	Koneksi WiFi
7	Status pompa

Tabel 4.7 menunjukkan implementasi program yang digunakan untuk memperbarui tampilan informasi pada layar OLED. Berdasarkan potongan kode tersebut, sistem menampilkan status koneksi WiFi dan waktu pada bagian atas layar, kemudian menampilkan nilai kelembapan tanah beserta status kondisi tanah. Selain itu, sistem juga menampilkan mode penyiraman yang sedang aktif serta status pompa. Pada kondisi mode jadwal, OLED menampilkan informasi tambahan berupa sisa durasi penyiraman atau jadwal yang telah dikonfigurasi. Informasi tersebut diperbarui secara berkala sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung melalui perangkat.

Implementasi OLED digunakan sebagai media monitoring lokal dengan menampilkan informasi operasional sistem secara langsung pada perangkat sesuai dengan kondisi yang berlangsung.

4.3 Pengujian

4.3.1 *Black Box Testing*

Pengujian sistem pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui fungsi setiap komponen untuk mengetahui bahwa sistem dapat bekerja dengan baik. Tahap pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi tertentu pada sistem, kemudian membandingkan hasil yang diperoleh dengan hasil yang diharapkan untuk mengetahui apakah fungsi sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan.

a. Pengujian Koneksi Sistem

Pengujian koneksi sistem dilakukan untuk memastikan perangkat dapat melakukan proses *pairing* menggunakan BLE dan dapat terhubung ke jaringan WiFi. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk memastikan sistem tetap dapat beroperasi ketika koneksi WiFi tidak tersedia. Pengujian koneksi sistem disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Pengujian koneksi sistem

No.	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil
1	Melakukan *pairing* BLE saat sistem belum pernah terhubung	Sistem berhasil melakukan *pairing* dan melanjutkan proses inisialisasi	Berhasil
2	Melakukan *pairing* BLE saat perangkat tidak terhubung	Sistem tetap berada pada mode *pairing*	Berhasil
3	Sistem berhasil terhubung ke WiFi	Sistem berjalan dalam kondisi *online*	Berhasil
4	Sistem gagal terhubung dengan WiFi	Sistem tetap berjalan menggunakan kontrol otomatis berdasarkan nilai kelembapan tanah	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian koneksi sistem, perangkat berhasil melakukan proses *pairing* menggunakan BLE dan dapat terhubung ke jaringan WiFi sesuai kebutuhan sistem. Selain itu, sistem tetap dapat beroperasi Ketika koneksi WiFi tidak tersedia dengan menggunakan mekanisme kontrol otomatis berdasarkan kondisi kelembapan tanah.

b. Pengujian Pembacaan Kelembapan Tanah

Pengujian pemantauan kelembapan tanah dilakukan untuk memastikan sistem dapat membaca kondisi kelembapan tanah dan menampilkan informasi hasil pembacaan kepada pengguna. Pengujian pembacaan kelembapan ditampilkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Pengujian pembacaan kelembapan

No.	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil
1	Sensor membaca kondisi tanah	Nilai kelembapan tanah berhasil ditampilkan pada sistem	Berhasil
2	Nilai kelembapan tanah berubah	Nilai kelembapan yang ditampilkan ikut diperbarui	Berhasil
3	Sistem melakukan pemantauan secara berkala	Informasi kelembapan tetap dapat dipantau	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian monitoring kelembapan, sistem mampu menampilkan nilai kelembapan tanah sesuai kondisi yang terbaca oleh sensor. Perubahan kondisi kelembapan juga dapat diperbarui sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan terhadap kondisi tanah.

c. Pengujian Mode Penyiraman

Pengujian mode penyiraman dilakukan untuk memastikan sistem dapat menjalankan penyiraman sesuai mode yang dipilih, baik secara otomatis berdasarkan kelembapan tanah, secara manual oleh pengguna, maupun berdasarkan jadwal yang telah ditentukan. Pengujian mode otomatis disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Pengujian mode otomatis

No.	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil
1	Nilai kelembapan berada pada <60% saat mode otomatis aktif	Pompa menyala secara otomatis	Berhasil
2	Nilai kelembapan berada pada >80% saat mode otomatis aktif	Pompa berhenti secara otomatis	Berhasil
3	Tombol penyiraman diaktifkan pada mode manual	Pompa menyala	Berhasil
4	Tombol penyiraman dimatikan pada mode manual	Pompa berhenti	Berhasil
5	Waktu telah mencapai jadwal penyiraman	Pompa menyala sesuai jadwal	Berhasil
6	Durasi penyiraman pada mode jadwal telah selesai	Pompa berhenti	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian mode penyiraman, sistem mampu menjalankan penyiraman sesuai dengan mode yang dipilih. Pada mode otomatis, penyiraman dilakukan berdasarkan nilai kelembapan tanah, sedangkan pada mode manual dan mode jadwal pompa dapat beroperasi sesuai perintah pengguna dan waktu yang telah ditentukan.

d. Pengujian Tampilan OLED

Pengujian tampilan sistem dilakukan untuk memastikan informasi yang ditampilkan pada layar dapat sesuai dengan kondisi operasi perangkat sehingga pengguna dapat mengetahui status sistem secara langsung.

Pengujian tampilan OLED disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.11 Pengujian tampilan OLED

No.	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil
1	Sistem berhasil terhubung ke WiFi	Status koneksi dan informasi waktu ditampilkan	Berhasil
2	Mode jadwal aktif dan pompa menyala	Informasi penyiraman ditampilkan	Berhasil
3	Sistem gagal terhubung ke WiFi	Status *offline* ditampilkan	Berhasil
4	Pompa dalam kondisi menyala	Status penyiraman ditampilkan	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian tampilan sistem, informasi yang ditampilkan pada layar terlah sesuai dengan kondisi operasi perangkat. Sistem mampu menampilkan status koneksi, informasi penyiraman, serta kondisi *offline* sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan terhadap keadaan sistem secara langsung.

e. Pengujian Riwayat Data

Pengujian riwayat data dilakukan untuk memastikan sistem dapat menyimpan dan menampilkan data aktivitas yang dihasilkan selama proses pemantauan dan penyiraman.

Pengujian riwayat data ditampilkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Pengujian riwayat data

No.	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil
1	Sistem melakukan penyiraman	Data riwayat penyiraman berhasil tersimpan	Berhasil
2	Nilai kelembapan tanah mengalami perubahan	Data perubahan kelembapan berhasil disimpan	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian riwayat data, sistem mampu menyimpan dan menampilkan data aktivitas penyiraman serta perubahan kondisi kelembapan tanah. Data yang tersimpan

dapat digunakan pengguna untuk melakukan pemantauan terhadap aktivitas sistem yang telah terhubung.

Pengujian *Black Box* menunjukkan seluruh fitur pada sistem penyiraman otomatis dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan sistem. Sistem mampu menjalankan fungsi koneksi, pemantauan kelembapan, penyiraman, tampilan informasi, serta penyimpanan data dengan baik.

4.3.2 Implementasi Pengujian Sistem

Implementasi sistem dilakukan melalui tahap pengujian untuk mengetahui kinerja sistem penyiraman otomatis pada tanaman cabai. Pengujian dilakukan di dalam ruangan guna menjaga kestabilan koneksi internet selama proses pemantauan dan pengiriman data ke Firebase Realtime Databse agar lebih akurat. Pada tahap pengujian digunakan satu tanaman cabai berusia satu bulan dengan tinggi sekitar 15 cm sebagai sampel penelitian.

Pengujian dilakukan selama tujuh hari untuk mengamati perubahan kelembapan tanah serta proses penyiraman otomatis yang dilakukan oleh sistem. Pada penelitian ini mode otomatis digunakan sebagai mode utama pengujian sehingga sistem dapat melakukan penyiraman secara otomatis berdasarkan nilai kelembapan tanah yang telah ditentukan. Dengan pengujian tersebut, dapat diketahui kemampuan sistem dalam menjaga kelembapan tanah sesuai kebutuhan tanaman cabai usia satu bulan.

Pengujian sistem dilakukan dengan skenario sesuai dengan Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengujian sistem

4.3.3 Pengujian Pemantauan Kelembapan Tanah

Kelembapan tanah merupakan indikator utama dalam proses kerja sistem irigasi berbasis *Internet of Things* (IoT). Nilai kelembapan tanah digunakan sebagai parameter untuk menentukan kondisi tanah serta mengontrol proses penyiraman yang dilakukan oleh sistem. Oleh karena itu, pemantauan kelembapan tanah menjadi tahap penting untuk mengetahui kondisi media tanam dan memastikan data hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan pada sistem monitoring.

Pada tahap pemantauan, sensor kelembapan tanah membaca kondisi media tanam secara Real-time dan mengirimkan data melalui mikrokontroler ESP32 ke Firebase Realtime Database. Data yang tersimpan kemudian akan ditampilkan pada aplikasi monitoring sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanah dari jarak jauh. Selain menampilkan nilai kelembapan dalam bentuk persentase, sistem juga mampu memberikan informasi kondisi tanah berdasarkan hasil pembacaan sensor, yaitu kering, lembap, dan basah.

Dalam proses pemantauan kelembapan tanah, data yang diamati meliputi waktu, pengamatan, nilai kelembapan tanah, dan status kondisi tanah berdasarkan hasil pembacaan sensor. Data tersebut digunakan untuk mengetahui kondisi kelembapan media tanam selama pengujian berlangsung. Data pemantauan yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari riwayat data yang tersimpan pada Firebase Realtime Database pada bagian nilai kelembapan akhir, sehingga nilai kelembapan yang ditampilkan merupakan hasil pencatatan sistem secara otomatis selama periode pengujian.

Pemantauan kelembapan disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Pemantauan kelembapan

No.	Tanggal	Waktu	Nilai	Status
1	29 Mei 2026	14.53	74%	Lembap
2	30 Mei 2026	14.32	100%	Basah
3	31 Mei 2026	21.18	79%	Lembap
4	1 Juni 2026	23.11	72%	Lembap
5	2 Juni 2026	06.00	100%	Basah

Berdasarkan Tabel 4.6, nilai kelembapan tanah yang terpantau selama pengujian berada pada rentang 72% hingga 100%. Berdasarkan parameter yang digunakan pada sistem, nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi tanah berada pada kategori lembap dan basah. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa sensor kelembapan tanah mampu membaca kondisi media tanam dan mengirimkan data ke sistem monitoring dengan baik.

Selain menampilkan nilai kelembapan dalam bentuk persentase, sistem juga dapat menampilkan status kondisi tanah sesuai dengan hasil pembacaan sensor. Informasi tersebut memudahkan pengguna dalam mengetahui kondisi media tanam tanpa harus melakukan pemeriksaan secara langsung. Dengan demikian, fitur pemantauan kelembapan tanah pada sistem irigasi berbasis IoT yang dirancang telah berjalan sesuai dengan fungsinya dan mampu memberikan informasi kondisi tanah secara real-time kepada pengguna.

4.3.4 Hasil Pengujian Penyiraman

Pengujian penyiraman dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan proses penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan tanah yang terbaca oleh sensor. Pada pengujian ini, sistem dapat menjalankan penyiraman melalui mode otomatis, manual, dan jadwal. Pada mode otomatis, pompa air akan aktif ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah batas yang telah ditentukan dan berhenti ketika kelembapan tanah telah mencapai nilai yang ditetapkan oleh sistem.

Selama proses pengujian berlangsung, sistem memantau perubahan kelembapan tanah secara real-time dan mencatat setiap aktivitas penyiraman ke dalam riwayat yang tersimpan pada Firebase Realtime Database. Riwayat tersebut memuat informasi waktu penyiraman, nilai kelembapan sebelum penyiraman, nilai kelembapan setelah penyiraman, serta mode penyiraman yang digunakan.

Data yang diamati dalam pengujian ini meliputi nilai kelembapan awal sebelum penyiraman, nilai kelembapan akhir setelah penyiraman, status kondisi tanah, serta mode penyiraman yang digunakan. Data tersebut digunakan untuk mengetahui keberhasilan sistem dalam meningkatkan kelembapan tanah sesuai parameter yang telah ditentukan.

Melalui pengujian ini dapat diketahui kemampuan sistem dalam meningkatkan dan menjaga kelembapan tanah sesuai parameter yang digunakan pada tanaman cabai usia satu bulan. Hasil pengujian penyiraman ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Pengujian Penyiraman

No.	Tanggal	Waktu	Nilai Awal	Nilai Akhir	Status	Mode
1	29 Mei 2026	14.53	52%	74%	Lembap	Otomatis
2	30 Mei 2026	02.13	68%	82%	Basah	Otomatis
3	30 Mei 2026	14.32	60%	100%	Basah	Manual
4	31 Mei 2026	12.46	62%	71%	Lembap	Otomatis
5	31 Mei 2026	21.18	66%	79%	Lembap	Otomatis
6	1 Juni 2026	06.24	58%	88%	Basah	Manual
7	1 Juni 2026	23.11	65%	72%	Lembap	Otomatis
8	2 Juni 2026	06.00	43%	100%	Basah	Jadwal

Seluruh proses penyiraman yang dilakukan oleh sistem menunjukkan peningkatan nilai kelembapan tanah setelah penyiraman berlangsung. Nilai kelembapan awal berada pada rentang 43% hingga 68%, sedangkan nilai kelembapan akhir meningkat menjadi 71% hingga 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan kelembapan tanah sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

Pada mode otomatis, pompa air aktif ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah batas minimum yang ditetapkan oleh sistem. Setelah proses penyiraman selesai, nilai kelembapan tanah meningkat hingga mencapai kategori lembap atau basah. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pengendalian otomatis pada sistem dapat berjalan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

Selain mode otomatis, pengujian juga dilakukan pada mode manual dan mode jadwal. Pada mode manual, penyiraman dapat dijalankan melalui aplikasi monitoring dan berhasil meningkatkan kelembapan tanah dari kondisi awal menjadi kondisi yang lebih lembap. Sementara itu, pada mode jadwal, sistem mampu melakukan penyiraman sesuai waktu yang telah ditentukan dan menghasilkan peningkatan kelembapan tanah dari 43% menjadi 100%.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, seluruh mode penyiraman yang tersedia pada sistem, yaitu otomatis, manual, dan jadwal, dapat berfungsi dengan baik. Sistem mampu melakukan penyiraman sesuai kondisi dan perintah yang diberikan serta meningkatkan kelembapan tanah hingga mencapai kondisi yang diharapkan pada tanaman cabai usia satu bulan.

4.4 Umpan Balik Pengguna

Setelah sistem irigasi berbasis *Internet of Things* (IoT) selesai dirancang dan melalui tahap pengujian, diperlukan evaluasi dari sisi pengguna untuk mengetahui tanggapan terhadap sistem yang telah dibuat. Evaluasi ini penting dilakukan karena pengguna merupakan pihak

yang secara langsung berinteraksi dengan sistem, baik melalui fitur monitoring maupun fitur penyiraman yang tersedia. Melalui umpan balik pengguna, dapat diketahui apakah sistem yang dirancang telah sesuai dengan kebutuhan serta mudah digunakan dalam proses perawatan tanaman cabai.

Pengumpulan umpan balik dilakukan melalui wawancara secara langsung terhadap lima orang responden yang telah mencoba menggunakan sistem selama periode pengujian. Wawancara dilakukan dengan memberikan beberapa pertanyaan yang berkaitan dengan kemudahan penggunaan aplikasi, kejelasan informasi yang ditampilkan, serta kinerja fitur penyiraman yang tersedia pada sistem. Selain itu, responden juga diminta memberikan pendapat mengenai kelebihan, kekurangan, dan manfaat sistem dalam membantu proses pemantauan serta penyiraman tanaman.

Hasil wawancara digunakan sebagai bahan evaluasi untuk mengetahui tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem yang telah dirancang. Informasi yang diperoleh dari responden diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengalaman pengguna selama menggunakan sistem serta menjadi masukan untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya.

Umpan balik pengguna ditampilkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Umpan balik

No.	Responden	Ringkasan Umpan Balik
1	Kamijo	Sistem dinilai berpotensi untuk mengatasi permasalahan petani karena fitur yang disediakan sistem untuk menyiram tanaman dalam tiga mode yaitu otomatis, manual, dan jadwal mampu digunakan sesuai dengan kebutuhan petani. Pengguna merasa tertarik dengan fitur sistem yang mampu mencatat riwayat kelembapan dan penyiraman tanah sehingga mampu untuk mengetahui pola kondisi lahan. Selain itu pengguna merasa ketergantungan terhadap WiFi sebagai sumber internet dinilai menjadi salah satu kendala dalam menggunakan sistem di lahan yang tidak mudah dijangkau. Pengguna tertarik untuk menerapkan sistem di lahannya jika lebih memperhatikan kemudahan pengguna, akurasi sensor, dan ketahanan alat di lapangan.

No.	Responden	Ringkasan Umpan Balik
2	Ruwiyanti	Menurut pengguna, sistem yang dirancang bermanfaat karena menyediakan tiga mode penyiraman, yaitu otomatis, manual, dan jadwal, sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhan. Namun, pengguna menilai bahwa ketergantungan sistem terhadap koneksi WiFi masih menjadi kendala, terutama ketika digunakan pada lokasi dengan jaringan yang kurang stabil. Selain itu, fitur riwayat kelembapan tanah dan riwayat penyiraman dinilai sangat bermanfaat karena dapat digunakan untuk memantau kondisi tanah dan menganalisis kebutuhan air tanaman. Pengguna juga merasa terbantu dengan adanya fitur penyiraman otomatis lokal yang tetap dapat berfungsi saat koneksi internet terputus, meskipun hanya pada mode otomatis. Dari sisi penggunaan, sistem dinilai cukup mudah digunakan karena proses konfigurasi awal hanya memerlukan koneksi antara aplikasi dan perangkat melalui Bluetooth.
3	Panut	Menurut pengguna, sistem monitoring yang terintegrasi dengan aplikasi sudah berjalan dengan baik karena mampu menampilkan nilai kelembapan tanah secara real-time. Fitur riwayat kelembapan dan riwayat penyiraman juga dinilai membantu dalam memantau aktivitas sistem yang telah terjadi. Pengguna menilai tampilan informasi pada aplikasi cukup mudah dipahami sehingga memudahkan proses monitoring. Namun, pengguna menyarankan agar akurasi pembacaan sensor terus ditingkatkan agar data yang ditampilkan lebih sesuai dengan kondisi tanah yang sebenarnya. Secara keseluruhan, pengguna menilai sistem telah berfungsi sesuai dengan tujuan yang dirancang.
4	Supri	Menurut pengguna, sistem penyiraman otomatis telah berfungsi dengan baik karena mampu merespons perubahan kondisi kelembapan tanah dan melakukan penyiraman secara otomatis ketika diperlukan. Pengguna juga menilai integrasi antara sensor, ESP32, Firebase, dan aplikasi monitoring berjalan dengan baik karena informasi yang ditampilkan pada aplikasi sesuai dengan

No.	Responden	Ringkasan Umpan Balik
		kondisi yang terdeteksi oleh sistem. Selain itu, fitur mode manual dan jadwal memberikan alternatif pengendalian penyiraman sesuai kebutuhan pengguna. Namun, pengguna menyarankan agar sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan notifikasi ketika penyiraman berlangsung atau ketika kondisi tanah berada pada tingkat kelembapan tertentu.
5	Wiyono	Menurut pengguna, sistem yang dirancang telah mampu menjalankan fungsi utama yang dibutuhkan, yaitu memantau kelembapan tanah dan melakukan penyiraman berdasarkan kondisi tanah yang terukur. Pengguna menilai kombinasi fitur monitoring, pencatatan riwayat, serta tiga mode penyiraman menjadikan sistem lebih lengkap dibandingkan penyiraman konvensional. Selain itu, sistem dinilai mampu membantu mengurangi kebutuhan pengecekan kondisi tanah secara langsung. Namun, pengguna menyarankan agar ketahanan perangkat terhadap kondisi lingkungan dan kestabilan sistem dalam penggunaan jangka panjang dapat terus ditingkatkan agar sistem lebih siap diterapkan pada lahan pertanian yang sebenarnya.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan kepada pengguna, dan dilakukan wawancara untuk mengetahui umpan balik yang diberikan, maka ditemukan beberapa poin penting yaitu:

a. Sistem dinilai mampu membantu proses penyiraman tanaman melalui tiga mode penyiraman yaitu mode otomatis, manual, dan jadwal sehingga pengguna dapat menyesuaikan metode penyiraman sesuai kebutuhan.
b. Fitur pemantauan kelembapan tanah dan pencatatan riwayat kelembapan serta penyiraman dinilai bermanfaat karena membantu pengguna mengetahui kondisi tanah dan aktivitas penyiraman yang telah dilakukan.
c. Sistem mampu menjalankan fungsi penyiraman otomatis dengan baik berdasarkan nilai kelembapan tanah yang terbaca oleh sensor.

d. Fitur penyiraman otomatis lokal saat koneksi internet terputus dinilai membantu karena sistem tetap dapat menjaga kelembapan tanah meskipun fitur monitoring tidak dapat digunakan sementara waktu.
e. Pengguna menilai sistem cukup mudah digunakan karena proses konfigurasi bluetooth dan tidak memerlukan pengaturan yang rumit.
f. Ketergantungan terhadap koneksi WiFi masih menjadi salah satu kendala, terutama apabila sistem digunakan pada lokasi yang memiliki kualitas jaringan internet yang kurang stabil.
g. Akurasi sensor, ketahanan perangkat di lapangan, serta kestabilan sistem dalam penggunaan jangka panjang menjadi aspek yang perlu diperhatikan untuk pengembangan sistem selanjutnya.

Gambar 4.6 menunjukkan proses umpan balik pengguna yang dilakukan untuk mengetahui respon pengguna khsusunya petani cabai terhadap sistem.



Gambar 4.6 Umpan balik pengguna

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan, sebagian besar pengguna memberikan tanggapan positif terhadap sistem yang dirancang. Pengguna menilai bahwa sistem mampu membantu proses pemantauan kelembapan tanah dan penyiraman tanaman cabai secara lebih mudah dibandingkan metode konvensional. Selain itu, fitur monitoring, pencatatan riwayat kelembapan tanah, serta riwayat penyiraman dinilai memberikan informasi yang bermanfaat untuk mengetahui kondisi media tanam dan aktivitas penyiraman yang telah dilakukan. Meskipun demikian, pengguna juga memberikan beberapa masukan terkait

ketergantungan sistem terhadap koneksi internet, akurasi sensor, serta ketahanan perangkat untuk penggunaan jangka panjang.

Hasil umpan balik pengguna tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Masykur et al., 2021) yang menunjukkan bahwa sistem irigasi berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu membantu proses pemantauan kondisi tanah dan pengendalian penyiraman tanaman cabai dari jarak jauh. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa pemanfaatan sensor kelembapan tanah dan aplikasi monitoring dapat membantu pengguna memperoleh informasi kondisi tanah secara lebih cepat dan praktis. Temuan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, di mana pengguna menilai fitur pemantauan kelembapan tanah menjadi salah satu fungsi yang paling bermanfaat dalam sistem yang dirancang.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian (Nalendra & Mujiono, 2020) yang menyatakan bahwa penerapan *Internet of Things* (IoT) pada sistem irigasi tanaman cabai mampu meningkatkan efektivitas proses monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman. Pada penelitian tersebut, pengguna dapat melakukan pemantauan serta pengendalian penyiraman melalui perangkat yang terhubung dengan internet. Kesamaan hasil juga ditemukan pada penelitian ini, di mana sistem mampu melakukan pemantauan kelembapan tanah secara real-time serta menyediakan beberapa mode penyiraman yang dapat digunakan sesuai kebutuhan pengguna.

Selanjutnya, hasil penelitian ini juga memiliki kesesuaian dengan penelitian (Iksal et al., 2023) yang menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis NodeMCU ESP8266 mampu menjaga kelembapan tanah tanaman cabai berdasarkan nilai yang dibaca oleh sensor kelembapan tanah. Selain itu, penelitian tersebut menunjukkan bahwa data hasil pengukuran dapat dipantau melalui jaringan internet dan memiliki kesesuaian dengan kondisi yang ditampilkan pada perangkat lokal. Pada penelitian ini, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan kelembapan tanah setelah proses penyiraman berlangsung serta menampilkan data hasil pembacaan sensor melalui sistem monitoring yang terhubung dengan Firebase Realtime Database.

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian, dan umpan balik pengguna yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang telah berhasil menjalankan fungsi utama sesuai tujuan penelitian. Sistem mampu memantau kondisi kelembapan tanah secara real-time, melakukan penyiraman melalui mode otomatis, manual, dan jadwal, serta menyimpan riwayat data kelembapan dan penyiraman. Hasil pengujian dan umpan balik pengguna menunjukkan bahwa sistem dapat

diterapkan pada tanaman cabai dan memberikan manfaat dalam proses pemantauan serta pengelolaan penyiraman. Temuan tersebut juga didukung oleh hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT dan sensor kelembapan tanah dapat menjadi solusi yang efektif untuk membantu pengelolaan irigasi pada tanaman cabai.

4.5 Evaluasi Sistem

Evaluasi sistem dilakukan untuk menilai kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang berdasarkan hasil implementasi, pengujian, dan umpan balik pengguna. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu memenuhi tujuan penelitian, yaitu membantu pemantauan kelembapan tanah secara real-time dan melakukan penyiraman secara otomatis pada tanaman cabai. Selain itu, evaluasi sistem juga digunakan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan yang masih terdapat pada sistem sebagai bahan pengembangan pada penelitian selanjutnya.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem memiliki beberapa kelebihan. Sistem mampu memantau kondisi kelembapan tanah secara real-time dan menampilkan informasi tersebut kepada pengguna melalui aplikasi monitoring. Selain itu, sistem dapat melakukan penyiraman menggunakan tiga mode, yaitu otomatis, manual, dan jadwal, sehingga memberikan fleksibilitas dalam pengoperasiannya. Sistem juga dilengkapi dengan fitur riwayat kelembapan tanah dan riwayat penyiraman yang dapat digunakan untuk memantau aktivitas sistem selama periode tertentu. Keunggulan lainnya adalah sistem tetap dapat menjalankan penyiraman otomatis berdasarkan nilai kelembapan tanah meskipun koneksi internet terputus, sehingga fungsi utama sistem tetap dapat berjalan.

Meskipun sistem telah berfungsi dengan baik, masih terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Fitur monitoring dan pengendalian jarak jauh masih bergantung pada koneksi internet sehingga tidak dapat digunakan secara optimal ketika jaringan tidak tersedia. Selain itu, akurasi pembacaan sensor kelembapan tanah dapat dipengaruhi oleh kondisi pemasangan sensor dan karakteristik media tanam yang digunakan. Sistem yang dirancang juga masih diuji pada skala prototipe dengan jumlah tanaman yang terbatas sehingga diperlukan pengujian lebih lanjut pada lingkungan pertanian yang lebih luas untuk mengetahui kestabilan dan ketahanan perangkat dalam penggunaan jangka panjang.

Secara keseluruhan, sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang telah mampu memenuhi tujuan penelitian dan berfungsi sesuai dengan rancangan yang dibuat. Sistem berhasil melakukan pemantauan kelembapan tanah, mengendalikan proses

penyiraman secara otomatis maupun berdasarkan perintah pengguna, serta menyimpan data riwayat yang dapat digunakan untuk proses monitoring. Hasil pengujian dan umpan balik pengguna menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi untuk diterapkan dalam membantu pengelolaan irigasi tanaman cabai. Namun demikian, beberapa aspek seperti ketergantungan terhadap koneksi internet, akurasi sensor, dan ketahanan perangkat masih perlu dikembangkan agar sistem dapat digunakan secara lebih optimal pada penelitian dan implementasi selanjutnya.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dirancang dan diimplementasikan pada tanaman cabai. Sistem mampu membaca nilai kelembapan tanah menggunakan sensor kelembapan tanah dan menampilkan informasi tersebut secara real-time melalui aplikasi monitoring.

Sistem yang dirancang juga mampu melakukan penyiraman melalui tiga mode, yaitu mode otomatis, manual, dan jadwal. Pada mode otomatis, sistem dapat mengaktifkan pompa air berdasarkan nilai kelembapan tanah yang terbaca oleh sensor *soil moisture* sehingga kelembapan tanah dapat dipertahankan pada kondisi yang telah ditentukan. Selain itu, sistem dapat menyimpan riwayat kelembapan tanah dan riwayat penyiraman pada Firebase Realtime Database sehingga dapat memantau aktivitas sistem yang telah terjadi.

Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu meningkatkan kelembapan tanah setelah proses penyiraman berlangsung dan seluruh fitur utama dapat berfungsi sesuai dengan rancangan. Berdasarkan hasil umpan balik pengguna, sistem dinilai bermanfaat dalam membantu pemantauan kondisi tanah dan pengelolaan penyiraman tanaman cabai. Dengan demikian, sistem irigasi otomatis berbasis IoT yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian dan memiliki potensi untuk diterapkan pada budidaya tanaman cabai.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu :

a. Menambahkan metode komunikasi alternatif selain WiFi agar sistem tetap dapat melakukan monitoring dan pengendalian jarak jauh pada lokasi yang memiliki keterbatasan jaringan internet.
b. Mengembangkan sistem agar dapat digunakan pada lahan dengan jumlah tanaman yang lebih banyak sehingga dapat diterapkan pada skala pertanian yang lebih luas.
c. Melakukan pengujian dalam jangka waktu yang lebih panjang untuk mengetahui kestabilan sistem serta ketahanan perangkat pada lingkungan pertanian yang sebenarnya.

d. Melakukan kalibrasi dan pengujian sensor yang lebih mendalam untuk meningkatkan akurasi pembacaan kelembapan tanah pada berbagai jenis media tanam.

DAFTAR PUSTAKA

Akedo, F., Sirajuddin, Z., & Suleman, D. (2025). Opini Petani Tentang Inovasi Irigasi Tetes Pada Usahatanilabu Madu Di Suwawa Selatan: Sebuah Kajian Studi Atribut Inovasi. *Agrinesia*, *9*(3), 155–161.

Andrian, R. (2024). Penerapan Sistem Irigasi Tetes terhadap Peningkatan Produktivitas dan Efisiensi Air pada Budidaya Cabai Merah (Capsicum annuum L.). *Teknologi Dan Ilmu Pertanian*, *02*(01), 21–27.

Anggraini, L., Maharani, Zahara, M. L., Sonadinata, H., Zulfari, S. Z., & Budiawati, Y. (2025). *LITERATURE REVIEW : ANALISIS IMPLEMENTASI IOT PADA*. *2*(3), 3601–3611.

Cahyaningsih, & Adinugraha, H. H. (2022). DAMPAK ALAT PERTANIAN MODERN PADI TERHADAP KESEJAHTERAAN MASYARAKAT DI KABUPATEN BATANG Cahyaningsih1,. *Jurnal Riset, Inovasi Dan Teknologi Kabupaten Batang*, *6*(2), 52–61.

Halawa, D. N. (2024). Peran Teknologi Pertanian Cerdas (Smart Farming) untuk Generasi Pertanian Indonesia. *KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, *6*(02), 502–512.

Hasna Khaira Aswha, A., Yovandi, F., Nafi Rosyadi, A., & Pramono, P. (2025). Implementasi Internet of Things (IoT) pada Sistem Irigasi Otomatis untuk Tanaman Cabai Menggunakan Aplikasi Blynk. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Bisnis*, 546–553. https://doi.org/10.47701/68b08q38

Iksal, Liestyoewati, D., & Faqihuddin, R. (2023). Rancang Bangun Sistem Prototipe Penyiram Tanaman Cabai Secara Otomatis Berbasis Nodemcu Esp8266. *Cahaya Mandalika*, 618–623. https://ojs.cahayamandalika.com/index.php/JCM/article/view/1515%0Ahttps://ojs.cahayamandalika.com/index.php/jcm/article/download/1515/1263

Irfandri, Zulfatri, Hamzah, A., Rustam, R., Fauzana, H., & Effendi, A. (2021). Pengembangan Tanaman Cabai Rawit untuk Peningkatan Ekonomi Keluarga di Desa Koto Parambahan Kecamatan Kampar Kabupaten Kampar. *Journal Of Community Services Public Affairs*, *1*(2), 45–50.

Jannah, M. U., Nur'aidha, A. C., & Kumarajati, D. Y. H. (2024). Sistem Deteksi Detak Jantung Berbasis Sensor. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *12*(3), 1961–195.

Junaidi, & Ramadhani, K. (2024). EFEKTIVITAS INTERNET OF THINGS (IOT) PADA SEKTOR PERTANIAN. *Teknologi Komputer Dan Sistem Informasi*, *4*(1), 12–15.

Kurnia AR, H. (2025). Implementasi Iot Pada Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban

Menggunakan Esp32, Firebase Dan Kodular. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, *9*(1), 1781–1787. https://doi.org/10.36040/jati.v9i1.12874

Masykur, F., Prasetyo, A., Widianingrum, I., Litanianda, Y., Setyawan, mohammad B., & Cobantoro, adi F. (2021). *Konsep Dasar Internet of Things* (Ikhsan (ed.)). https://umpopress.umpo.ac.id/media/2022-02-02/konsep-dasar-internet-of-things/mobile/index.html

Maulida, P., Muryani, & Farisitiana, A. R. (2023). Dampak Perkembangan Teknologi Pertanian Terhadap Perubahan Sosial Masyarakat di Kabupaten Madiun. *Student Scientific Creativity Journal (SSCJ)*, *1*(4).

Murtado, D. A., & Suharjo, I. (2022). Merancang dan Mengembangkan Smart Irrigation untuk Tanaman Cabai Berbasis IoT. *JURNAL INFORMATION SYSTEM & ARTIFICIAL INTELLIGENCE*, 56–64.

Nalendra, A. K., & Mujiono, M. (2020). Perancangan IoT (Internet of Things) pada Sistem Irigasi Tanaman Cabai. *Generation Journal*, *4*(2), 61–68.

Nawangsari, Y. R. (2024). PENERAPAN TEKNOLOGI CERDAS DALAM PENGELOLAAN TANAMAN UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SUMBER DAYA DAN HASIL PERTANIAN. *Jurnal Literasi Indonesia*, *1*(2), 69–76.

Nizam, M. N., Haris Yuana, & Zunita Wulansari. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, *6*(2), 767–772. https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713

Octaviano, A. (2023). Penerapan IoT untuk Atap Warung Kopi Melalui Telegram. *Scientia Sacra: Jurnal Sains, Teknologi Dan Masyarakat*, *3*(4), 56–62. http://pijarpemikiran.com/index.php/Scientia

Pratama, H. A., Pradana, A. I., & Indah, R. P. (2021). PENGEMBANGAN SISTEM PENYIRAMAN OTOMATIS TANAMAN BAYAM BERBASIS INTERNET OF THINGS. *Jurnal Informatika Teknologi Dan Sains*, *32*(3), 167–186.

Pressman, R. S. (2014). Software Quality Engineering: A Practitioner's Approach. In *Software Quality Engineering: A Practitioner's Approach* (Vol. 9781118592). https://doi.org/10.1002/9781118830208

Prihartono, E., & Oktafianto, D. P. (2024). Sistem Pengendalian Waktu Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai Rawit Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *Informatics, Electrical and Electronics Engineering (Infotron)*, *4*(1), 7–18. https://doi.org/10.33474/infotron.v4i1.21751

Riyanti, K. P. K., & Prastyo, Y. (2022). ANALISIS PENGGUNAAN SENSOR SUHU DAN KELEMBABAN UNTUK MONITORING LINGKUNGAN GREENHOUSE BERBASIS ARDUINO. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, *16*(2), 200–210.

Samad, P. I., Jayadi, K., Arnanto, G. C., Sabril, A., & Sukma, I. (2025). Sistem Irigasi Otomatis IoT Off-Grid untuk Optimalisasi Budidaya Cabai di Wilayah Pedesaan Tanpa Listrik. *Jurnal Pengabdian*, *3*, 2023–2026.

Santoso, S. P., & Sitohang, J. N. (2024). Perancangan Alat Kendali Penabur Pakan Ikan Otomatis Berbasis Mikrokontroler ESP32 Firebase. *Jurnal Elektro*, *12*(1), 90–103.

Selay, A., Andgha, G. D., Alfarizi, M. A., Bintang, M. I., Falah, M. N., Khaira, M., & Encep, M. (2020). Internet of Things. In *Encyclopedia of Wireless Networks* (Vol. 1, p. 664).

Stiawan, M. I. R., & Supardi, Z. A. I. (2024). Smart Farming - Merancang Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Kelembapan Tanah Dan Waktu Menggunakan Mikrokontroler Esp32. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, *13*(5), 124–132.

Suja'i, A., Samsumar, L. D., & Zaenudin. (2024). Implementasi Alat Pengusir Hama Burung & Tikus pada Tanamaan Padi Berbasis Internet Of Things. *COMPUTER SCIENCE AND INFORMATICS ENGINEERING*, *03*(4), 211–219.

Syahri, A., & Ulansari, R. (2023). Penyiraman Otomatis dengan NodeMcu Berbasis Iot Untuk Tanaman Cabai. *Jurnal Teknologi Informasi*, *9*(1), 38–44. https://doi.org/10.52643/jti.v9i1.3173

Uminingsih, Ichsanudin, M. N., Yusuf, M., & Suraya. (2022). PERPUSTAKAAN DENGAN METODE BLACK BOX TESTING BAGI PEMULA. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Ilmu Komputer*, *1*(2), 1–8. https://www.journal.literasisains.id/index.php/storage/article/view/270/158

Utami, S. C. M., Anantanyu, S., & Suminah, S. (2023). Pengetahuan Lokal Petani dalam Budidaya Tanaman Sayur di Desa Beruk, Kecamatan Jatiyoso, Kabupaten Karanganyar. *AGRITEXTS: Journal of Agricultural Extension*, *46*(2), 97. https://doi.org/10.20961/agritexts.v46i2.65086

Widyatmika, P. A. W., Indrawati, N. P. A. W., Prastya, W. W. A., Darminta, K., Sangka, G. N., & Sapteka, A. A. N. G. (2021). Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan. *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumentasi Vol 13 (1), 2021*, *13*(1), 1–9.