

**SISTEM IRIGASI PINTAR BERBASIS IOT SEBAGAI SOLUSI
EFISIENSI PENGGUNAAN AIR PADA BUDIDAYA
SELADA HIDROPONIK**

LAPORAN AKHIR



oleh

Waris Nurdiansyah

NIM E32231193

**PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2026**

**SISTEM IRIGASI PINTAR BERBASIS IOT SEBAGAI SOLUSI
EFISIENSI PENGGUNAAN AIR PADA BUDIDAYA
SELADA HIDROPONIK**

LAPORAN AKHIR



sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md)
di Program Studi Teknik Komputer
Jurusan Teknologi Informasi

oleh

Waris Nurdiansyah

NIM E32231193

**PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2026**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI

SISTEM IRIGASI PINTAR BERBASIS IOT SEBAGAI SOLUSI
EFISIENSI PENGGUNAAN AIR PADA BUDIDAYA
SELADA HIDROPONIK

Waris Nurdiansyah (E32231193)

Telah Diuji pada Tanggal 17 Juni 2026
dan Dinyatakan Memenuhi Syarat

Ketua Penguji,



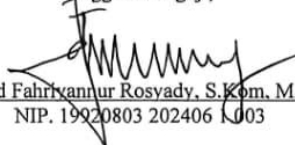
Denny Wijanarko, ST, MT.
NIP. 19780908 200501 1 001

Sekretaris Penguji,



Agus Hariyanto, ST, M.Kom.
NIP. 19780817 200312 1 005

Anggota Penguji,



Ahmad Fahrivannur Rosyady, S.Kom, M.MT.
NIP. 19920803 202406 1 003

Dosen Pembimbing,



Agus Hariyanto, ST, M.Kom.
NIP. 19780817 200312 1 005

Mengesahkan
Jurusan Teknologi Informasi



Indira Yunit Riskiawan, S.Kom, M.Cs.
NIP. 19830203 200604 1 003

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Waris Nurdiansyah

NIM : E32231193

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Akhir yang berjudul "**Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT sebagai Solusi Efisiensi Penggunaan Air pada Budidaya Selada Hidroponik**" Merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing dan belum pernah diajukan ke dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi manapun.

Semua informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal dari kutipan karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka pada bagian akhir Tugas Akhir ini.

Jember, 17 Juni 2026



Waris Nurdiansyah
NIM E32231193



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

Yang bertandatangan dibawah ini, saya:

Nama : Waris Nurdiansyah
NIM : E32231193
Program Studi : Teknik Komputer
Jurusan : Teknologi Informasi

Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas Karya Ilmiah **berupa Laporan Akhir saya yang berjudul :**

**SISTEM IRIGASI PINTAR BERBASIS IOT SEBAGAI SOLUSI
EFISIENSI PENGGUNAAN AIR PADA BUDIDAYA
SELADA HIDROPONIK**

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember berhak menyimpan, mengalih media atau format, mengelola dalam bentuk Pangkalan Data (*Database*), mendistribusikan karya dan menampilkannya atau mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta. Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Politeknik Negeri Jember, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jember
Pada Tanggal : 17 Juni 2026

Yang menyatakan,



Nama : Waris Nurdiansyah
NIM : E32231193

MOTTO

“Ujian yang kamu hadapi hari ini adalah bagian dari jawaban atas doa-doa yang kamu panjatkan untuk meraih kesuksesan.” — Waris Nurdiansyah

“Kini serahkan semua ujungnya pada takdir. Jika beruntung, maka kisah ini tak akan berakhir.” — Bernadya Ribka Jayakusuma (*Kita Buat Menyenangkan*)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur hanya milik Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang atas izin dan ridho-Nya karya ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri tauladan terbaik sepanjang masa. Dengan penuh rasa hormat, cinta, dan syukur, karya ini saya persembahkan kepada semua pihak yang telah memberikan doa, dukungan, semangat, serta motivasi selama proses penyusunan tugas akhir ini. Tanpa kehadiran dan bantuan mereka, perjalanan dalam menyelesaikan karya ini tentu tidak akan mudah. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.

1. Orang Tua Tercinta, yang tidak pernah berhenti mendoakan, tidak pernah lelah mendukung, dan tidak pernah meminta balasan atas semua yang telah diberikan. Setiap tetes keringat dan doa kalian adalah kekuatan terbesar yang menggerakkan langkah saya hingga sampai di titik ini. Karya ini adalah salah satu cara kecil saya untuk membalas kasih sayang yang begitu besar.
2. Bapak Agus Hariyanto, S.T., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah membimbing, mengarahkan, dan mempercayai saya dari awal hingga akhir perjalanan ini. Setiap arahan dan nasihat yang Bapak berikan bukan hanya membentuk karya ini, tetapi juga membentuk cara saya berpikir dan berkembang menjadi pribadi yang lebih baik.
3. Teman-teman, yang telah bersama melewati setiap proses dari perancangan, pembuatan alat, hingga pengujian sistem. Terima kasih atas kerja keras, kepercayaan, dan kebersamaan yang tidak akan pernah saya lupakan. Perjuangan kita bersama adalah bagian terbaik dari perjalanan ini.
4. Almamater Tercinta, Politeknik Negeri Jember, yang telah menjadi tempat saya belajar, bertumbuh, dan menemukan versi terbaik dari diri saya. Semoga karya ini dapat menjadi salah satu kontribusi kecil yang membanggakan.

Akhir kata, saya menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak terlepas dari doa, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat, baik sebagai tambahan ilmu pengetahuan maupun sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya di bidang teknologi Internet of Things (IoT), khususnya dalam pengembangan sistem irigasi pintar untuk budidaya hidroponik.

RINGKASAN

Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT sebagai Solusi Efisiensi Penggunaan Air pada Budidaya Selada Hidroponik, Waris Nurdiansyah, NIM E32231193, Tahun 2026, Teknik Komputer, Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember, Agus Hariyanto, ST., M.Kom. (Pembimbing).

Budidaya selada secara hidroponik membutuhkan pengelolaan air yang tepat agar pertumbuhan tanaman tetap optimal. Permasalahan yang sering terjadi adalah penyiraman yang kurang terkontrol, sehingga berpotensi menyebabkan pemborosan air maupun kondisi media tanam (rockwool) yang tidak stabil. Proses pemantauan kelembapan media tanam (rockwool) yang masih dilakukan secara manual dinilai kurang efisien karena tidak memberikan kendali dan informasi secara langsung kepada pengguna.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dirancang dan dibangun sistem irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air pada budidaya selada hidroponik. Sistem ini menggunakan sensor *capacitive soil moisture* untuk mendeteksi kelembapan media tanam (rockwool), serta mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data. Data hasil pembacaan sensor diproses dan dimanfaatkan untuk mengontrol pompa air secara otomatis berdasarkan batas kelembapan yang telah ditentukan, yaitu pada rentang ideal 50%–56%. Pengembangan sistem dilakukan melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai dengan rancangan.

Selain itu, sistem mampu mengirimkan data kelembapan secara real-time ke platform IoT sehingga kondisi tanaman dapat dipantau dari jarak jauh melalui aplikasi berbasis mobile. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu membaca nilai kelembapan media tanam, mengendalikan pompa air secara otomatis sesuai batas yang telah ditentukan, serta menampilkan data monitoring pada aplikasi mobile secara real-time. Sistem yang dikembangkan juga mampu membantu pengguna dalam memantau kondisi media tanam tanpa harus melakukan pengecekan secara langsung di lokasi budidaya. Dengan proses monitoring dan pengendalian yang dilakukan secara otomatis, penggunaan air menjadi lebih efektif sekaligus mendukung penerapan teknologi digital pada budidaya selada hidroponik. Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses penyiraman menjadi lebih terkontrol, penggunaan air lebih efisien, serta pertumbuhan tanaman selada hidroponik dapat terjaga secara optimal. Sistem yang dikembangkan juga diharapkan dapat menjadi solusi praktis dan inovatif dalam penerapan teknologi IoT di bidang pertanian modern.

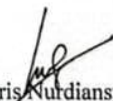
PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya dengan judul "Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT sebagai Solusi Efisiensi Penggunaan Air pada Budidaya Selada Hidroponik." Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Komputer, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan dukungan selama proses penelitian serta penyusunan laporan ini, khususnya kepada:

1. Bapak Saiful Anwar, S.TP., M.P., selaku Direktur Politeknik Negeri Jember.
2. Bapak Ir. Hendra Yufit Riskiawan, S.Kom., M.Cs., selaku Ketua Jurusan Teknologi Informasi.
3. Bapak I Gede Wiryawan, S.Kom., M.Kom., selaku Koordinator Program Studi Teknik Komputer.
4. Bapak Ahmad Fahriyannur Rosyady, S.Kom., M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Komputer.
5. Bapak Agus Hariyanto, S.T., M.Kom., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penelitian hingga penyusunan laporan tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan serta semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya, khususnya dalam pengembangan sistem irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT).

Jember, 17 Juni 2026


Waris Nurdiansyah

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN MAHASISWA	iv
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR KODE PROGRAM	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
 BAB 1. PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.4.1 Bagi Penulis	2
1.4.2 Bagi Pengguna	3
1.4.3 Bagi Politeknik Negeri Jember	3
1.5 Batasan Masalah	3
 BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1 Selada Hidroponik	4
2.2 Irigasi	5
2.3 ESP32	6

2.4 Sensor Capacitive Soil Moisture	8
2.5 Relay	10
2.6 State of the Art	12
BAB 3. METODE KEGIATAN	13
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	13
3.1.1 Waktu Penelitian	13
3.1.2 Tempat Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.2.1 Alat	13
3.2.2 Bahan	15
3.3 Metodologi Penelitian	15
3.3.1 Analisis Kebutuhan	16
3.3.2 Perancangan Sistem dan Alat	18
3.3.3 Implementasi Sistem dan Alat	21
3.3.4 Pengujian dan Evaluasi Sistem serta Alat	21
3.4 Jadwal Pelaksanaan	23
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Analisis Kebutuhan	25
4.2 Perancangan Sistem dan Alat	25
4.2.1 Perancangan Sistem	25
4.2.2 Perancangan Alat	27
4.3 Implementasi Sistem dan Alat	30
4.3.1 Implementasi Sistem	30
4.3.2 Implementasi Alat	44
4.4 Pengujian dan Evaluasi Sistem serta Alat	45
4.4.1 Pengujian Sensor Capacitive Soil Moisture	45
4.4.2 Pengujian Sistem Otomatis	46
4.4.3 Evaluasi Pengujian	48
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	49

5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Selada Hidroponik.....	4
2.2 ESP32.....	6
2.3 Sensor Capacitive Soil Moisture.....	8
2.4 Relay Module 1 Channel.....	10
3.1 Alur Metodologi Penelitian.....	15
3.2 Skematik.....	19
4.1 Flowchart	26
4.2 Rancangan Alat	28
4.3 Implementasi Kode Program Aplikasi Mobile pada Visual Studio Code	31
4.4 Implementasi Firebase Realtime Database	32
4.5 Halaman Login Aplikasi	38
4.6 Halaman Registrasi Aplikasi	39
4.7 Halaman Dashboard Aplikasi.....	40
4.8 Halaman Statistik	41
4.9 Halaman Riwayat Penyiraman.....	42
4.10 Halaman Pengaturan	43
4.11 Implementasi Alat Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 State of the Art	12
3.1 Perangkat Keras	13
3.2 Perangkat Lunak.....	14
3.3 Bahan	15
3.4 Jadwal Pelaksanaan.....	24
4.1 Sambungan Komponen	28
4.2 Konfigurasi Parameter Sistem.....	29
4.3 Pengujian Sensor Capacitive Soil Moisture.....	46
4.4 Pengujian Sistem Otomatis Selama 7 Hari	46
4.5 Total Durasi Operasi Pompa pada Mode Otomatis Selama 7 Hari	47

DAFTAR KODE PROGRAM

	Halaman
4.1 Konfigurasi WiFi dan Firebase	33
4.2 Konfigurasi Pin dan Kalibrasi Sensor	34
4.3 Pembacaan Sensor Kelembapan Media Tanam (Rockwool)	34
4.4 Kontrol Otomatis Pompa.....	35
4.5 Pembacaan Perintah Manual dari Firebase	35
4.6 Pengiriman Data ke Firebase	36
4.7 Penyimpanan Riwayat Penyiraman.....	36

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Kode Program Arduino IDE	52

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian modern saat ini dituntut untuk menjawab tantangan kebutuhan pangan yang semakin meningkat seiring pertumbuhan populasi dunia, sementara ketersediaan sumber daya alam seperti air semakin terbatas (FAO, 2022). Salah satu bentuk pertanian yang berkembang pesat adalah budidaya hidroponik, yaitu teknik bercocok tanam tanpa menggunakan media tanam (rockwool) dengan media nutrisi air yang kaya unsur hara (Resh, 2022). Budidaya selada hidroponik menjadi salah satu model produksi sayuran yang banyak diterapkan karena memiliki pertumbuhan yang relatif cepat, efisiensi penggunaan ruang, serta menghasilkan kualitas produk yang tinggi (Panjaitan, 2024).

Meskipun hidroponik memiliki berbagai keuntungan, masih terdapat tantangan besar dalam pengelolaan kebutuhan air dan nutrisi. Sistem irigasi tradisional yang masih dilakukan secara manual sering kali menyebabkan pemborosan air, ketidaktepatan dalam pemberian nutrisi, serta ketidakstabilan kondisi tanaman (Millati et al., 2025). Pemberian air secara terus-menerus tanpa monitoring yang akurat berpotensi meningkatkan penggunaan air secara berlebihan dan berdampak pada biaya operasional serta keberlanjutan lingkungan (FAO, 2022).

Dalam konteks era *smart agriculture* dan perkembangan teknologi Internet of Things (IoT), solusi berbasis teknologi cerdas mulai banyak diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. IoT memungkinkan integrasi antara sensor dan aktuator dalam sebuah jaringan cerdas, sehingga data kondisi lingkungan seperti kelembapan media tanam (rockwool) dan suhu dapat dipantau secara *real-time* melalui aplikasi berbasis mobile (Atzori et al., 2021; Banerjee & Kim, 2022). Dengan kemampuan pemantauan secara langsung, sistem irigasi dapat bekerja secara otomatis dan lebih optimal sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Permasalahan penggunaan air yang tidak efisien pada budidaya selada hidroponik dapat diatasi melalui penerapan sistem irigasi pintar berbasis IoT. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembapan untuk mengatur pemberian air secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh Sensor Capacitive Soil Moisture (DFRobot, 2022; Monterrubio-Salazar et al., 2021).

Dengan merancang dan menerapkan sistem irigasi pintar tersebut, diharapkan dapat dicapai efisiensi penggunaan air yang signifikan, peningkatan kualitas hasil panen, penurunan biaya operasional, serta memberikan kemudahan bagi petani dalam mengelola budidaya selada hidroponik secara modern dan

berkelanjutan (Transforming Hydroponics with IoT for Sustainable Water Management, 2024; Millati et al., 2025).

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem irigasi pintar berbasis IoT yang dapat mengatur penyiraman tanaman selada hidroponik secara otomatis dan efisien?
2. Bagaimana memanfaatkan sensor untuk memantau kondisi kelembapan media tanam (rockwool) secara real-time sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman?
3. Bagaimana mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh melalui aplikasi mobile serta mengevaluasi kinerja sistem agar dapat bekerja secara stabil dan akurat?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem irigasi pintar berbasis IoT yang mampu mengontrol penyiraman tanaman selada hidroponik secara otomatis.
2. Mengimplementasikan sensor kelembapan untuk memantau kondisi media tanam (rockwool) secara real-time sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien.
3. Mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian melalui aplikasi mobile serta menganalisis kinerja sistem dalam mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain sebagai berikut:

1.4.1 Bagi Penulis

- a. Menambah wawasan dan pengetahuan penulis dalam penerapan teknologi Internet of Things (IoT) pada bidang pertanian modern, khususnya sistem irigasi hidroponik.
- b. Mengembangkan kemampuan penulis dalam merancang, membangun, dan mengintegrasikan sistem perangkat keras dan perangkat lunak berbasis IoT.

- c. Melatih kemampuan analisis dan pemecahan masalah terhadap permasalahan nyata terkait efisiensi penggunaan air dalam budidaya tanaman.

1.4.2 Bagi Pengguna

- a. Memberikan solusi praktis dan inovatif dalam mengelola sistem irigasi budidaya selada hidroponik secara otomatis dan efisien.
- b. Membantu pengguna dalam menghemat penggunaan air dan biaya operasional melalui sistem irigasi yang terkontrol.
- c. Memudahkan pengguna dalam memantau dan mengendalikan kondisi irigasi tanaman secara real-time dan jarak jauh melalui perangkat digital.

1.4.3 Bagi Politeknik Negeri Jember

- a. Menjadi kontribusi ilmiah dan referensi akademik bagi civitas akademika Politeknik Negeri Jember, khususnya pada bidang teknologi IoT dan pertanian cerdas (*smart agriculture*).
- b. Menjadi bahan pembelajaran dan pengembangan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan sistem irigasi pintar dan teknologi pertanian berbasis IoT.
- c. Meningkatkan reputasi institusi sebagai perguruan tinggi vokasi yang berperan aktif dalam pengembangan teknologi tepat guna dan berkelanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup pembahasan agar penelitian lebih terarah, maka batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem irigasi pintar berbasis IoT yang dirancang hanya difokuskan pada pengaturan dan monitoring penggunaan air pada budidaya selada hidroponik.
2. Pengendalian irigasi didasarkan hanya pada parameter kelembapan media tanam (rockwool), dengan aktuator pompa air otomatis serta monitoring melalui aplikasi berbasis mobile.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Selada Hidroponik

Selada merupakan sayuran daun yang banyak dibudidayakan secara hidroponik karena masa panennya cepat dan kebutuhan nutrisinya mudah dikontrol. Dalam sistem hidroponik, tanaman tidak menggunakan tanah, melainkan larutan nutrisi, salah satunya dengan metode Nutrient Film Technique (NFT). Metode ini mengalirkan lapisan tipis nutrisi ke akar sehingga tanaman memperoleh air, unsur hara, dan oksigen secara optimal.

Media tanam (rockwool) berperan penting dalam menjaga kelembapan akar. Kelembapan media menjadi parameter utama karena berpengaruh langsung terhadap penyerapan nutrisi. Media yang terlalu kering dapat menghambat pertumbuhan, sedangkan media yang terlalu basah dapat mengurangi suplai oksigen ke akar.

Penelitian menunjukkan bahwa kelembapan media tanam (rockwool) yang ideal untuk pertumbuhan selada berada pada rentang 50% – 56%, di mana kondisi media cukup lembap dan stabil untuk mendukung perkembangan tanaman (Derafi et al., 2024). Oleh karena itu, pengendalian kelembapan menjadi aspek penting dalam budidaya selada hidroponik, terutama pada sistem irigasi otomatis berbasis IoT.



Gambar 2.1 Selada Hidroponik
(Sumber: jagadtani.com)

2.2 Irigasi

Irigasi adalah suatu proses atau sistem penyediaan air ke tanaman secara terencana dan terkendali untuk memenuhi kebutuhan air yang diperlukan tanaman dalam seluruh fase pertumbuhannya. Irigasi memiliki fungsi penting dalam mempertahankan keseimbangan kelembapan lingkungan tumbuh tanaman sehingga dapat mengoptimalkan pertumbuhan, meningkatkan produktivitas, dan mencegah stres air yang dapat menurunkan kualitas hasil panen (FAO, 2022; Siregar et al., 2021). Dalam budidaya selada hidroponik, irigasi menjadi komponen yang sangat krusial karena tanaman tidak mendapatkan air dari media tanam (rockwool), melainkan dari sirkulasi larutan nutrisi yang harus tersedia secara terus-menerus pada media tanam (rockwool). Oleh karena itu, pengaturan jumlah, waktu, dan intensitas pemberian air harus dilakukan secara tepat agar tanaman mampu menyerap unsur hara dan air dengan efektif tanpa pemborosan sumber daya air (Millati et al., 2025; Rahman & Nugroho, 2023).

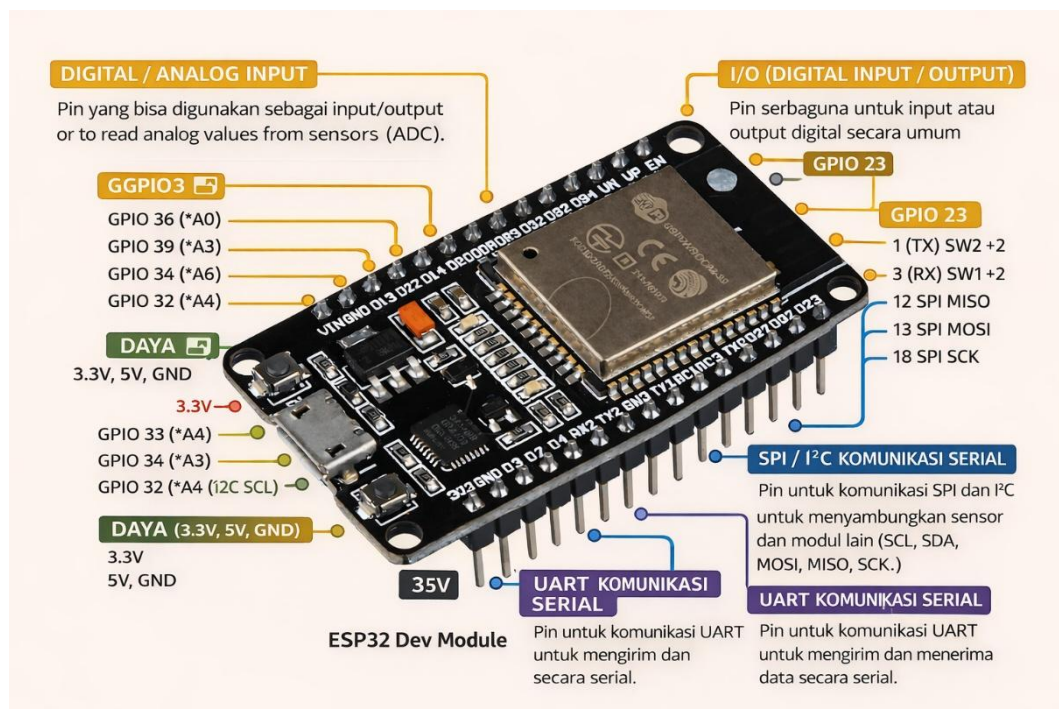
Seiring perkembangan teknologi *smart agriculture*, sistem irigasi manual yang masih bergantung pada intervensi manusia mulai digantikan oleh sistem irigasi otomatis dan cerdas. Irigasi otomatis bekerja dengan memanfaatkan sensor sebagai *feedback* kondisi media tanam (rockwool), sehingga proses penyiraman hanya terjadi ketika parameter yang telah ditentukan terpenuhi (Al-Farisi et al., 2024; Siregar et al., 2021). Lebih lanjut, irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan pengendalian dan pemantauan sistem secara *real-time* melalui jaringan sehingga respon sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan terjadi secara cepat dan efisien (Rahmawati et al., 2023; Utilization of the Internet of Things in Monitoring Hydroponic Lettuce Cultivation, 2025).

Dalam penelitian ini, irigasi didefinisikan sebagai sistem irigasi pintar berbasis IoT yang dirancang untuk budidaya selada hidroponik, yaitu sistem yang menggunakan data kelembapan media tanam (rockwool) untuk mengatur kerja pompa air secara otomatis dengan memanfaatkan sensor capacitive soil moisture, mikrokontroler ESP32, dan modul relay. Tujuannya adalah untuk menjaga kelembapan media tanam (rockwool) tetap optimal di rentang nilai yang sesuai pertumbuhan selada, sekaligus mengoptimalkan efisiensi penggunaan air dan meminimalkan pemborosan (Al-Farisi et al., 2024; Millati et al., 2025). Selain mampu melakukan penyiraman secara otomatis, sistem ini juga memungkinkan proses monitoring kelembapan media tanam dilakukan secara realtime melalui aplikasi mobile. Dengan demikian, pengguna dapat mengetahui kondisi media tanam kapan saja tanpa harus melakukan pengecekan secara langsung, sehingga proses budidaya menjadi lebih praktis dan efisien.

2.3 ESP32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang berperan sebagai pusat pengendali utama pada sistem irigasi pintar berbasis IoT. Mikrokontroler ini bertugas menerima data dari sensor kelembapan, memproses data tersebut sesuai dengan program yang telah dibuat, kemudian memberikan perintah kepada perangkat keluaran seperti modul relay dan pompa air. Salah satu keunggulan ESP32 adalah telah dilengkapi dengan modul WiFi dan Bluetooth internal, sehingga memungkinkan sistem terhubung ke internet tanpa memerlukan perangkat tambahan. Dengan kemampuan tersebut, ESP32 sangat cocok digunakan dalam sistem Internet of Things (IoT) karena mendukung proses monitoring dan kontrol secara real-time, baik secara otomatis maupun melalui aplikasi atau mobile (Espressif Systems, 2023; Banerjee & Kim, 2022).

Prinsip kerja ESP32 adalah menerima data dari Sensor Capacitive Soil Moisture, kemudian mengolah data tersebut berdasarkan program yang telah dibuat. Jika kondisi yang terbaca menunjukkan bahwa tanaman membutuhkan air, ESP32 akan memberikan perintah untuk mengaktifkan pompa air melalui modul relay. Selain itu, ESP32 juga mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke platform IoT sehingga kondisi kelembapan media tanam (rockwool) dapat dipantau secara real-time melalui aplikasi berbasis mobile atau dashboard monitoring (Monterrubio-Salazar et al., 2021; Ray, 2021; Millati et al., 2025).



Gambar 2.2 ESP32
(Sumber: ozami.co.id)

ESP32 Dev Module digunakan sebagai pusat pengendali utama dalam sistem irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT) pada budidaya selada hidroponik. Pada sistem ini, pin daya ESP32 yang terdiri dari 3.3V, 5V, dan GND berfungsi untuk menyuplai tegangan ke seluruh komponen. Tegangan 3.3V digunakan untuk mencatu sensor Capacitive Soil Moisture, sedangkan 5V dimanfaatkan untuk modul relay dan pompa air melalui rangkaian pengendali terpisah. Pin GND berfungsi sebagai ground bersama agar seluruh rangkaian memiliki referensi tegangan yang sama sehingga sistem dapat bekerja secara stabil dan aman (Espressif Systems, 2023).

Untuk proses monitoring kondisi kelembapan media tanam (rockwool) selada hidroponik, ESP32 memanfaatkan pin analog (ADC) seperti GPIO 32, GPIO 33, GPIO 34, GPIO 36, atau GPIO 39. Pin-pin ini digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor Capacitive Soil Moisture yang ditancapkan pada media tanam (rockwool). Nilai analog tersebut kemudian dikonversi oleh ESP32 menjadi data digital berupa persentase kelembapan, yang selanjutnya dijadikan parameter utama dalam pengambilan keputusan sistem irigasi otomatis (DFRobot, 2022; Espressif Systems, 2023).

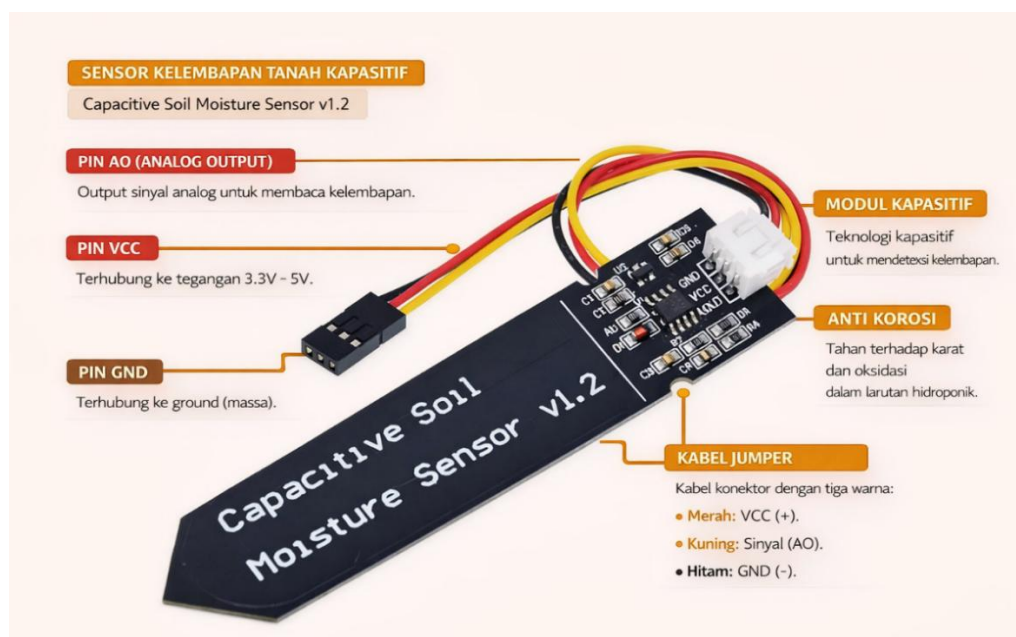
Selanjutnya, pin GPIO digital, misalnya GPIO 23, digunakan sebagai pin keluaran (output) untuk mengendalikan modul relay. Ketika nilai kelembapan media tanam (rockwool) berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, ESP32 mengirimkan sinyal logika HIGH ke modul relay sehingga pompa air dapat menyala. Sebaliknya, ketika kelembapan telah mencapai batas optimal, ESP32 mengirimkan sinyal LOW untuk mematikan relay dan menghentikan pompa air. Penggunaan relay ini memungkinkan ESP32 yang bekerja pada tegangan rendah dapat mengendalikan perangkat berdaya lebih besar secara aman (Pratama et al., 2022; Rahmawati et al., 2023).

Selain fungsi kontrol, ESP32 juga mendukung komunikasi serial (UART) untuk pemrograman dan debugging, serta antarmuka komunikasi SPI dan I²C yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan sistem lebih lanjut. Dengan dukungan modul WiFi internal, ESP32 mampu mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke platform IoT secara real-time, sehingga kondisi kelembapan media tanam (rockwool) dapat dipantau melalui aplikasi berbasis mobile. Kemampuan ini menjadikan ESP32 sangat sesuai untuk diterapkan pada sistem pertanian cerdas dan berkelanjutan (Espressif Systems, 2023; Millati et al., 2025).

2.4 Sensor Capacitive Soil Moisture

Sensor capacitive soil moisture merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat kelembapan media tanam (rockwool) pada sistem hidroponik. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan nilai kapasitansi yang dipengaruhi oleh kandungan air di dalam media tanam (rockwool), di mana semakin tinggi kadar air maka nilai kelembapan yang terbaca juga semakin besar (DFRobot, 2022; Millati et al., 2025). Dibandingkan sensor kelembapan tipe konduktif, sensor kapasitif memiliki keunggulan berupa ketahanan terhadap korosi karena tidak menggunakan elektroda terbuka, sehingga lebih stabil dan cocok untuk penggunaan jangka panjang pada lingkungan hidroponik yang lembap (Panjaitan, 2024; Monterrubio-Salazar et al., 2021). Data dari sensor ini digunakan sebagai parameter utama dalam sistem irigasi otomatis untuk mengendalikan kerja pompa air.

Prinsip kerja sensor dimulai ketika sensor ditancapkan ke media tanam (rockwool) untuk membaca tingkat kelembapan. Sistem dirancang dengan dua kondisi, yaitu saat kelembapan kurang dari 50% dan saat kelembapan mencapai 56%. Jika nilai kelembapan berada di bawah 50%, data dikirim ke ESP32 untuk memerintahkan modul relay mengaktifkan pompa air. Sebaliknya, ketika kelembapan telah mencapai atau melebihi 56%, pompa akan dimatikan secara otomatis. Mekanisme ini bertujuan menjaga kelembapan media tanam (rockwool) tetap optimal sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan air pada budidaya selada hidroponik (Ray, 2021; Design and Build an IoT System for Monitoring and Automation of Irrigation in Agriculture, 2025).



Gambar 2.3 Sensor Capacitive Soil Moisture
(Sumber: rytechindo.com)

Sensor Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2 digunakan dalam penelitian ini sebagai perangkat utama untuk mengukur tingkat kelembapan media tanam (rockwool) pada budidaya selada hidroponik. Sensor ini bekerja dengan prinsip kapasitif, yaitu mendeteksi perubahan nilai kapasitansi yang dipengaruhi oleh kandungan air dalam media tanam (rockwool). Berbeda dengan sensor kelembapan tipe resistif, sensor kapasitif tidak memiliki elektroda terbuka sehingga lebih tahan terhadap korosi dan oksidasi, menjadikannya lebih stabil dan awet untuk penggunaan jangka panjang pada lingkungan hidroponik yang lembap dan mengandung nutrisi (DFRobot, 2022; Millati et al., 2025).

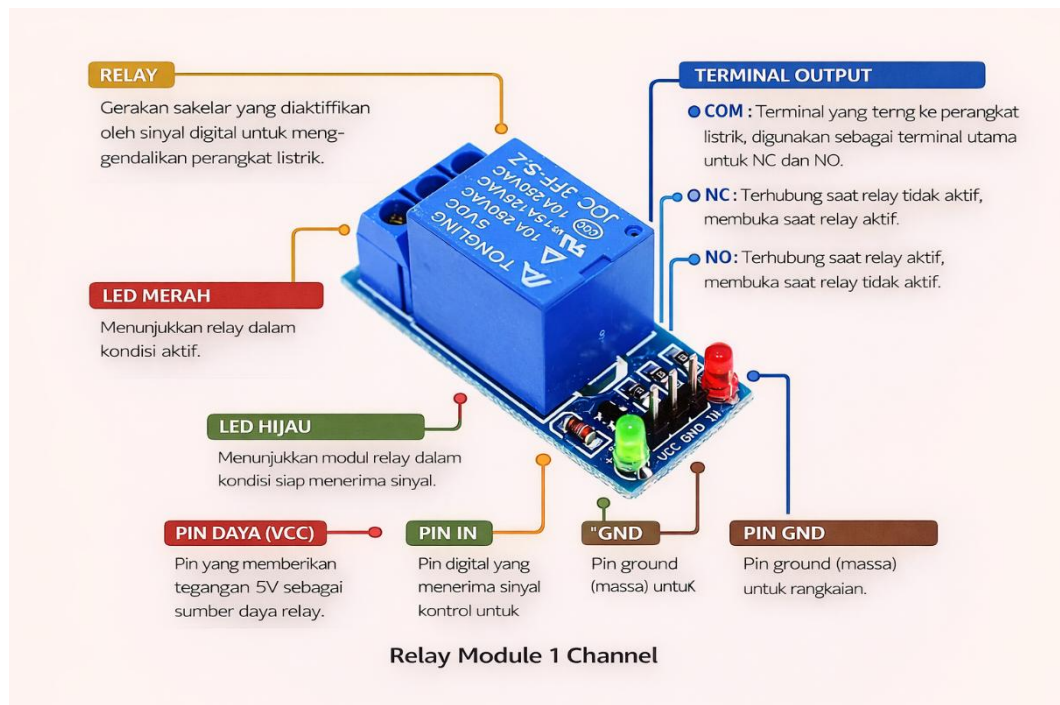
Pada sensor ini terdapat tiga pin utama, yaitu VCC, GND, dan AO (Analog Output). Pin VCC berfungsi sebagai catu daya sensor dan dihubungkan ke sumber tegangan 3,3V dari ESP32, sesuai dengan spesifikasi sensor dan untuk menjaga kestabilan pembacaan data. Pin GND dihubungkan ke ground sistem sebagai referensi tegangan bersama agar sinyal yang dihasilkan sensor dapat terbaca dengan akurat oleh mikrokontroler. Sementara itu, pin AO menghasilkan sinyal analog yang merepresentasikan tingkat kelembapan media tanam (rockwool), di mana nilai tegangan akan berubah seiring dengan meningkat atau menurunnya kandungan air pada media tanam (rockwool) (DFRobot, 2022).

Data analog dari pin AO selanjutnya dibaca oleh pin ADC pada ESP32 dan dikonversi menjadi nilai persentase kelembapan melalui proses pemrograman. Nilai ini digunakan sebagai parameter utama dalam sistem irigasi otomatis. Apabila kelembapan media tanam (rockwool) berada di bawah batas minimum yang telah ditentukan, ESP32 akan memerintahkan modul relay untuk mengaktifkan pompa air. Sebaliknya, ketika kelembapan telah mencapai batas optimal, pompa akan dimatikan secara otomatis. Proses pembacaan nilai kelembapan dilakukan secara berkala sehingga perubahan kondisi media tanam dapat dipantau secara realtime. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim ke Firebase Realtime Database sehingga dapat ditampilkan pada aplikasi mobile sebagai media monitoring. Dengan demikian, pengguna dapat mengetahui kondisi kelembapan media tanam tanpa harus melakukan pengecekan secara langsung. Selain itu, penggunaan sensor Capacitive Soil Moisture mampu membantu sistem dalam mengambil keputusan penyiraman secara otomatis berdasarkan kondisi kelembapan yang terdeteksi. Dengan mekanisme ini, sensor Capacitive Soil Moisture berperan penting dalam menjaga kestabilan kondisi media tanam (rockwool) serta meningkatkan efisiensi penggunaan air pada budidaya selada hidroponik berbasis IoT (Rahmawati et al., 2023; *Utilization of the Internet of Things in Monitoring Hydroponic Lettuce Cultivation*, 2025).

2.5 Relay

Modul relay merupakan komponen penghubung antara mikrokontroler ESP32 dan perangkat listrik berdaya lebih besar, seperti pompa air. Relay bekerja sebagai saklar elektronik yang dapat dikendalikan menggunakan sinyal digital dari ESP32. Ketika ESP32 memberikan sinyal aktif (HIGH), relay akan menutup rangkaian sehingga pompa air dapat menyala. Sebaliknya, ketika sinyal dinonaktifkan (LOW), relay akan membuka rangkaian dan pompa air berhenti bekerja. Penggunaan modul relay memungkinkan sistem irigasi bekerja dengan aman karena relay berfungsi sebagai pemisah antara rangkaian kontrol bertegangan rendah dan rangkaian beban bertegangan lebih tinggi, sehingga risiko kerusakan pada mikrokontroler dapat diminimalkan (Ray, 2021; Banerjee & Kim, 2022).

Prinsip kerja modul relay adalah menerima sinyal perintah dari ESP32, kemudian menghubungkan atau memutuskan aliran listrik menuju pompa air sesuai kondisi kelembapan media tanam (rockwool). Dengan adanya relay, ESP32 tidak langsung terhubung ke beban listrik bertegangan tinggi, sehingga sistem menjadi lebih aman, stabil, dan andal untuk digunakan dalam aplikasi irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) (Monterrubio-Salazar et al., 2021; Design and Build an IoT System for Monitoring and Automation of Irrigation in Agriculture, 2025).



Gambar 2.4 Relay Module 1 Channel
(Sumber: ecadio.com)

Modul relay 1 channel merupakan komponen aktuator yang berfungsi sebagai penghubung antara sistem kontrol bertegangan rendah berbasis mikrokontroler ESP32 dengan perangkat listrik bertegangan lebih tinggi, seperti pompa air pada sistem irigasi hidroponik. Pada modul relay terdapat beberapa pin utama, yaitu VCC, GND, dan IN. Pin VCC digunakan sebagai sumber daya relay yang umumnya diberi tegangan 5V, sedangkan pin GND berfungsi sebagai ground atau massa rangkaian. Pin IN merupakan pin input digital yang menerima sinyal kontrol dari ESP32. Ketika ESP32 mengirimkan sinyal logika HIGH atau LOW sesuai program, relay akan aktif atau nonaktif sehingga memungkinkan pengendalian pompa air secara otomatis dan aman (Ray, 2021; Implementasi Sistem Irigasi Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Optimalisasi Penggunaan Air pada Pertanian, 2025).

Pada bagian output, modul relay memiliki tiga terminal utama yaitu COM (Common), NO (Normally Open), dan NC (Normally Closed). Terminal COM berfungsi sebagai jalur utama yang dihubungkan ke sumber listrik pompa air. Terminal NO akan terhubung dengan COM saat relay dalam kondisi aktif, sehingga pompa air menyala, sedangkan terminal NC akan terhubung dengan COM saat relay dalam kondisi tidak aktif. Dalam sistem irigasi pintar yang dirancang, konfigurasi yang digunakan adalah COM dan NO agar pompa air hanya menyala ketika relay diaktifkan oleh ESP32 berdasarkan data kelembapan dari sensor capacitive soil moisture. Konfigurasi ini dipilih untuk meningkatkan aspek keselamatan sistem dan efisiensi penggunaan energi (Millati et al., 2025; Design and Build an IoT System for Monitoring and Automation of Irrigation in Agriculture, 2025).

Selain itu, modul relay dilengkapi dengan LED indikator, yaitu LED hijau dan LED merah. LED hijau menunjukkan bahwa modul relay dalam kondisi siap menerima sinyal dari mikrokontroler, sedangkan LED merah menandakan relay sedang aktif atau sedang mengalirkan listrik ke pompa air. Keberadaan LED indikator ini memudahkan proses pengujian dan pemantauan kondisi sistem secara visual selama proses implementasi dan pengujian alat. Selain itu, relay juga berfungsi sebagai penghubung sekaligus pemisah antara rangkaian kontrol ESP32 dengan pompa air, sehingga ESP32 tetap aman dari beban listrik yang lebih besar. Dengan adanya indikator tersebut, pengguna juga dapat mengetahui status kerja relay secara langsung tanpa perlu melakukan pengecekan menggunakan alat ukur tambahan. Dengan penggunaan modul relay, sistem irigasi berbasis IoT dapat bekerja secara otomatis, aman, dan andal tanpa risiko kerusakan pada ESP32 akibat beban listrik yang besar (Panjaitan, 2024; Ray, 2021).

2.6 State of the Art

State of the Art merupakan bagian yang menjelaskan perbandingan antara penelitian atau proyek sebelumnya dengan sistem yang dikembangkan dalam Tugas Akhir ini. Perbandingan dilakukan untuk melihat perbedaan dan persamaan dari segi metode, teknologi yang digunakan, serta tujuan atau hasil yang dicapai. Melalui State of the Art, dapat diketahui posisi dan keunggulan penelitian yang dilakukan, sekaligus menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki unsur pembaruan dibandingkan penelitian terdahulu. Tabel State of the Art disajikan untuk memudahkan pembaca dalam memahami perbedaan dan persamaan setiap penelitian secara ringkas dan terstruktur.

Tabel 2.1 State of the Art

No.	Judul	Penulis (Tahun)	Perbedaan	Persamaan
1.	Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT pada Tanaman Hidroponik	Andi Pratama dkk. (2022)	Penelitian ini hanya fokus pada pengendalian irigasi otomatis tanpa monitoring melalui aplikasi secara real-time	Sama-sama menggunakan teknologi IoT untuk mengatur irigasi tanaman hidroponik
2.	Monitoring dan Kontrol Irigasi Hidroponik Menggunakan Sensor Kelembapan Berbasis Internet of Things	Siti Rahmawati dkk. (2023)	Sistem lebih menekankan pada monitoring kondisi lingkungan, belum difokuskan pada efisiensi penggunaan air	Sama-sama memanfaatkan sensor dan mikrokontroler berbasis IoT pada sistem hidroponik
3.	Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT sebagai Solusi Efisiensi Penggunaan Air pada Budidaya Selada Hidroponik	Waris Nurdiansyah (2026)	Penelitian ini menggabungkan irigasi otomatis, monitoring real-time, dan fokus utama pada efisiensi penggunaan air khusus tanaman selada hidroponik	Sama-sama menerapkan teknologi IoT, sensor, dan sistem irigasi otomatis pada budidaya hidroponik

BAB 3. METODE KEGIATAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam) bulan, dimulai dari bulan Januari 2026 hingga Juni 2026. Rentang waktu tersebut mencakup seluruh tahapan penelitian, mulai dari Perancangan Sistem, Implementasi Sistem, Pengujian dan Evaluasi Sistem, dan Pembuatan Laporan.

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Prasian, Jatian, Kecamatan Pakusari, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih karena sesuai untuk penerapan budidaya selada hidroponik dan mendukung proses pengujian sistem irigasi pintar berbasis IoT secara langsung di lingkungan nyata.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Dalam penelitian ini digunakan beberapa perangkat pendukung yang dibagi menjadi dua kelompok, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Rincian dari masing-masing perangkat tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

a. Perangkat Keras

Tabel 3.1 Perangkat Keras

No.	Nama	Spesifikasi	Jumlah
1.	ESP32	Mikrokontroler ESP32 Dev Module, dual-core 32-bit, kecepatan hingga 240 MHz, dilengkapi WiFi 802.11 b/g/n dan Bluetooth terintegrasi, tegangan kerja 3,3 V	1 Unit
2.	Sensor Capacitive Soil Moisture	Sensor kelembapan media tanam (rockwool) tipe kapasitif, tegangan kerja 3,3–5 V, output analog, tahan korosi, cocok digunakan pada media tanam (rockwool) hidroponik	1 Unit
3.	Modul Relay 1 Channel	Modul relay 1 channel, tegangan kontrol 5 V, mampu mengendalikan beban AC hingga 250 V 10 A, digunakan sebagai saklar otomatis untuk mengontrol pompa air	1 Unit

No.	Nama	Spesifikasi	Jumlah
4.	Pompa Air SOARFLY Submersible 100W/6000L	Pompa air celup (submersible) AC 220 V, daya 100 Watt, kapasitas aliran hingga 6000 liter/jam, digunakan untuk mengalirkan air ke instalasi hidroponik	1 Unit
5.	Adaptor 5V 2A	Adaptor DC 5 V dengan arus keluaran 2 A, digunakan sebagai sumber daya untuk ESP32, sensor, dan modul relay	1 Unit
6.	Jack Konektor DC Female	Konektor DC Female ukuran 5,5 mm × 2,1 mm, digunakan sebagai penghubung adaptor ke rangkaian kontrol	1 Unit
7.	Stop Kontak	Stop kontak listrik AC 220 V, digunakan sebagai sumber distribusi daya untuk adaptor dan pompa air	2 Unit
8.	Terminal GPIO Expansion Board for ESP32	Breakout Board 30 Pin untuk ESP32, berfungsi mempermudah koneksi pin input/output serta distribusi tegangan pada rangkaian	1 Unit

b. Perangkat Lunak

Tabel 3.2 Perangkat Lunak

No.	Nama Perangkat	Fungsi
1.	Sistem Operasi Windows 11	Sistem operasi untuk menjalankan seluruh software pengembangan dan pengujian sistem IoT.
2.	Visual Studio Code	Digunakan untuk membuat dan mengedit aplikasi mobile sistem monitoring irigasi.
3.	Arduino IDE	Digunakan untuk memprogram dan mengunggah kode ke ESP32 agar dapat membaca sensor dan mengontrol pompa.
4.	Firebase	Database realtime untuk menyimpan dan menampilkan data kelembapan serta status pompa pada aplikasi mobile.

3.2.2 Bahan

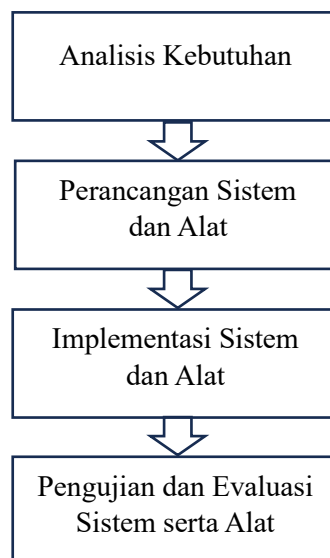
Bahan pendukung yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.3 Bahan

No.	Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1.	Paralon	Pipa PVC (paralon) panjang 81 cm, digunakan sebagai saluran distribusi air pada sistem hidroponik	1 Unit
2.	Box Panel	Box Project KX7 multifungsi berbahan PVC (plastik) dengan dimensi 21,5 cm × 14,5 cm × 8,5 cm, digunakan sebagai pelindung rangkaian elektronik dan komponen kontrol sistem	1 Unit
3.	Kabel Jumper Male to Male	Panjang ±20 cm, digunakan untuk menghubungkan pin ESP32 dengan modul dan komponen lainnya	1 Unit
4.	Kabel Jumper Male to Female	Panjang ±20 cm, digunakan untuk menghubungkan sensor ke pin ESP32 dan modul lainnya	1 Set

3.3 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, evaluasi, dan pembuatan laporan sistem irigasi pintar berbasis IoT agar bekerja otomatis dan efisien.



Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian
(Sumber: Dokumen Pribadi)

3.3.1 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan merupakan tahap awal dalam perancangan sistem yang bertujuan untuk mengidentifikasi seluruh kebutuhan yang diperlukan agar sistem dapat bekerja sesuai tujuan penelitian. Tahap ini mencakup penentuan kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, kebutuhan fungsional, serta kebutuhan non-fungsional. Melalui analisis kebutuhan, perancangan sistem dapat dilakukan secara terarah, sistematis, dan meminimalkan kesalahan pada tahap implementasi.

a. Analisis Kebutuhan Perangkat Keras (Hardware)

Analisis kebutuhan perangkat keras dilakukan untuk menentukan komponen fisik yang dibutuhkan dalam pembangunan sistem irigasi pintar berbasis IoT. Sistem ini memerlukan mikrokontroler sebagai pusat kendali, yaitu ESP32, yang berfungsi untuk memproses data dari sensor serta mengontrol perangkat output. Sensor Capacitive Soil Moisture digunakan untuk membaca tingkat kelembapan media tanam (rockwool), karena sensor ini lebih tahan terhadap korosi dibanding sensor resistif. Modul relay dibutuhkan sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan pompa air, sedangkan pompa air berfungsi sebagai aktuator yang melakukan proses penyiraman. Selain itu, adaptor atau sumber daya listrik diperlukan untuk menyuplai tegangan ke seluruh rangkaian. Pemilihan perangkat keras dilakukan dengan mempertimbangkan kompatibilitas, efisiensi daya, kestabilan kerja, serta kemudahan integrasi antar komponen.

b. Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak (Software)

Analisis kebutuhan perangkat lunak dilakukan untuk menentukan sistem dan aplikasi yang digunakan dalam pengembangan serta pengoperasian alat. Sistem ini membutuhkan Arduino IDE sebagai media pemrograman ESP32, yang digunakan untuk menulis, mengunggah, dan menguji program. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C/C++ berbasis Arduino. Selain itu, Serial Monitor digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor selama proses pengujian. Jika sistem IoT dilengkapi monitoring jarak jauh, maka dibutuhkan platform tambahan seperti aplikasi mobile untuk menampilkan data kelembapan secara real-time. Perangkat lunak harus mampu mendukung komunikasi data, stabilitas sistem, serta kemudahan dalam proses debugging.

c. Analisis Kebutuhan Fungsional Sistem

Analisis kebutuhan fungsional dilakukan untuk menentukan fungsi utama yang harus dimiliki oleh sistem. Sistem irigasi pintar ini harus mampu membaca nilai kelembapan media tanam (rockwool) secara otomatis menggunakan sensor, kemudian memproses data tersebut melalui ESP32. Sistem harus dapat mengaktifkan pompa air ketika nilai kelembapan berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, misalnya 50%, dan mematikan pompa saat kelembapan

mencapai batas atas, misalnya 56%. Selain itu, sistem harus mampu bekerja secara otomatis tanpa intervensi pengguna. Jika fitur IoT diterapkan, sistem juga harus mampu mengirimkan data sensor ke aplikasi monitoring. Fungsi-fungsi ini dirancang untuk memastikan sistem bekerja sesuai tujuan penelitian, yaitu efisiensi penggunaan air dan otomatisasi penyiraman.

d. Analisis Kebutuhan Non-Fungsional Sistem

Analisis kebutuhan non-fungsional dilakukan untuk menentukan karakteristik kualitas yang harus dimiliki oleh sistem irigasi pintar berbasis IoT agar dapat bekerja secara optimal. Selain menjalankan fungsi utama berupa monitoring kelembapan media tanam (rockwool) dan pengendalian penyiraman otomatis, sistem juga harus memenuhi aspek keandalan, kinerja, keamanan, efisiensi, dan kemudahan penggunaan.

Sistem harus memiliki tingkat keandalan yang baik sehingga dapat beroperasi secara stabil dalam melakukan pembacaan data sensor dan pengendalian pompa air. Selain itu, sistem harus mampu merespons perubahan kelembapan media tanam (rockwool) dengan cepat, yaitu mengaktifkan pompa ketika kelembapan berada di bawah batas yang ditentukan dan mematikannya ketika kelembapan telah mencapai nilai yang diinginkan. Keakuratan pembacaan sensor juga sangat penting karena menjadi dasar dalam pengambilan keputusan penyiraman secara otomatis.

Dari segi efisiensi, sistem dirancang untuk menghemat penggunaan air dan energi listrik karena pompa hanya bekerja saat diperlukan. Kemudahan penggunaan juga menjadi perhatian penting, di mana pengguna dapat memantau kondisi kelembapan media tanam (rockwool) dan status pompa melalui aplikasi mobile secara real-time. Selain itu, sistem harus aman digunakan dengan memperhatikan pemasangan komponen listrik seperti relay dan pompa air untuk menghindari risiko kerusakan maupun korsleting.

Sistem juga diharapkan mudah dalam proses pemeliharaan dan pengembangan sehingga apabila terjadi kerusakan atau penambahan fitur baru, proses perbaikan dan pengembangan dapat dilakukan dengan lebih mudah. Dengan memenuhi kebutuhan non-fungsional tersebut, sistem diharapkan mampu memberikan performa yang stabil, efisien, aman, dan dapat digunakan secara optimal dalam mendukung proses budidaya tanaman.

3.3.2 Perancangan Sistem dan Alat

a. Perancangan Sistem

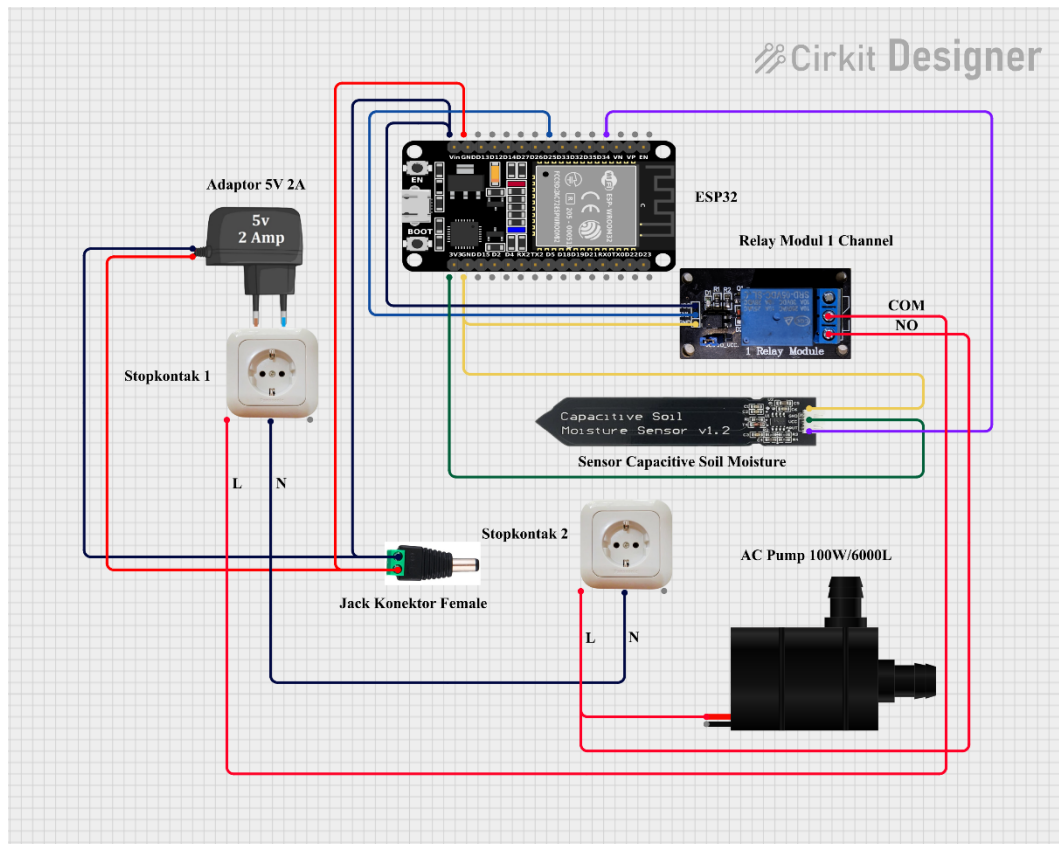
Perancangan sistem menjelaskan alur kerja sistem irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang digunakan untuk mengontrol penyiraman media tanam rockwool secara otomatis berdasarkan tingkat kelembapannya. Alur kerja sistem dapat dilihat pada flowchart perancangan sistem. Proses dimulai ketika sistem dinyalakan. ESP32 melakukan inisialisasi seluruh komponen yang digunakan, meliputi konfigurasi pin input dan output, sensor capacitive soil moisture, modul relay, koneksi WiFi, serta komunikasi dengan Firebase. Setelah proses inisialisasi selesai, sistem akan masuk ke dalam proses utama dan bekerja secara terus-menerus.

Pada setiap siklus, ESP32 membaca nilai kelembapan media tanam rockwool melalui sensor capacitive soil moisture. Data yang diperoleh masih berupa nilai analog (ADC), sehingga perlu dikonversi menjadi persentase kelembapan (%) agar lebih mudah dipahami dan digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan. Selanjutnya, sistem membandingkan nilai kelembapan dengan batas yang telah ditentukan. Apabila kelembapan media tanam berada di bawah 50%, maka ESP32 akan mengaktifkan modul relay sehingga pompa air menyala dan melakukan penyiraman. Selama pompa bekerja, sensor tetap melakukan pembacaan kelembapan secara berkala untuk mengetahui perubahan kondisi media tanam.

Jika kelembapan belum mencapai 56%, pompa akan tetap menyala agar proses penyiraman terus berlangsung. Sebaliknya, apabila kelembapan telah mencapai atau melebihi 56%, ESP32 akan mematikan relay sehingga pompa berhenti secara otomatis. Penggunaan dua batas kelembapan tersebut bertujuan agar pompa tidak terlalu sering menyala dan mati, sehingga sistem bekerja lebih stabil. Setelah proses penyiraman selesai, ESP32 mengirimkan data kelembapan dan status pompa ke Firebase melalui jaringan WiFi. Data tersebut kemudian disimpan dan ditampilkan pada aplikasi mobile sehingga pengguna dapat memantau kondisi media tanam serta status pompa secara *real-time*.

Setelah seluruh proses selesai, sistem akan kembali melakukan pembacaan sensor dan mengulangi proses yang sama secara berkelanjutan selama perangkat masih menyala. Dengan alur kerja tersebut, sistem mampu melakukan penyiraman secara otomatis sesuai kondisi kelembapan media tanam, sekaligus memberikan kemudahan bagi pengguna untuk melakukan pemantauan melalui aplikasi mobile. Selain itu, penerapan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air karena penyiraman hanya dilakukan saat media tanam benar-benar membutuhkan. Sistem juga dirancang agar dapat bekerja secara mandiri tanpa memerlukan pengawasan secara terus-menerus dari pengguna.

b. Perancangan Alat



Gambar 3.2 Skematik
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Keterangan:

1. Adaptor 5V 2A

Adaptor 5V 2A berfungsi sebagai sumber daya utama untuk ESP32 dan sensor Capacitive Soil Moisture. Adaptor mengubah tegangan AC dari listrik PLN menjadi tegangan DC 5V sehingga aman digunakan oleh komponen elektronik pada sistem.

2. Stopkontak 1

Stopkontak 1 digunakan sebagai sumber listrik AC untuk adaptor 5V 2A. Listrik dari stopkontak ini kemudian diubah oleh adaptor menjadi tegangan 5V DC yang digunakan untuk menyuplai daya ke ESP32 dan sensor.

3. Jack Konektor Female

Jack konektor female berfungsi sebagai penghubung keluaran adaptor 5V dengan ESP32. Komponen ini memudahkan proses pemasangan dan pelepasan catu daya tanpa harus menyambungkan kabel secara langsung ke papan ESP32.

4. ESP32 Dev Module

ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem. Mikrokontroler ini membaca data kelembapan dari sensor Capacitive Soil Moisture, memproses data tersebut, kemudian mengendalikan relay untuk mengaktifkan atau mematikan pompa air. Selain itu, ESP32 menggunakan koneksi WiFi untuk mengirimkan data ke Firebase sehingga dapat dipantau melalui aplikasi mobile secara *real-time*.

5. Sensor Capacitive Soil Moisture

Sensor Capacitive Soil Moisture berfungsi untuk mengukur tingkat kelembapan media tanam rockwool. Nilai kelembapan yang diperoleh dikirim ke ESP32 sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses penyiraman otomatis.

6. Relay Module 1 Channel

Relay Module 1 Channel berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh ESP32. Relay menghubungkan atau memutus aliran listrik AC menuju pompa sesuai dengan kondisi kelembapan media tanam yang telah ditentukan.

7. Stopkontak 2

Stopkontak 2 digunakan sebagai sumber listrik AC untuk pompa air. Aliran listrik menuju pompa akan melewati relay terlebih dahulu sehingga pompa hanya menerima daya ketika relay diaktifkan oleh ESP32.

8. Pompa AC SOARFLY 100W/6000L

Pompa AC SOARFLY 100W/6000L berfungsi mengalirkan air dari penampungan menuju media tanam hidroponik. Pompa akan menyala secara otomatis ketika kelembapan rockwool berada di bawah 50% dan akan berhenti ketika kelembapan telah mencapai lebih dari 56%.

Alur Kerja Rangkaian:

Pada rangkaian ini, adaptor 5V 2A memperoleh sumber listrik dari Stopkontak 1 dan mengubah tegangan AC menjadi 5V DC untuk menyuplai daya ke ESP32 dan sensor Capacitive Soil Moisture. Sensor kemudian membaca kelembapan media tanam rockwool dan mengirimkan data ke ESP32. ESP32 memproses data kelembapan tersebut. Apabila nilai kelembapan berada di bawah 50%, ESP32 mengirimkan sinyal ke Relay Module 1 Channel sehingga relay menghubungkan aliran listrik AC dari Stopkontak 2 ke pompa. Akibatnya, pompa menyala dan mulai mengalirkan air ke media tanam.

Selama proses penyiraman berlangsung, sensor terus memantau kelembapan rockwool. Ketika kelembapan telah mencapai lebih dari 56%, ESP32 memerintahkan relay untuk memutus aliran listrik ke pompa sehingga pompa berhenti secara otomatis. Selanjutnya, ESP32 mengirimkan data kelembapan dan

status pompa ke Firebase melalui jaringan WiFi agar kondisi sistem dapat dipantau secara *real-time* melalui aplikasi mobile.

3.3.3 Implementasi Sistem dan Alat

Tahap implementasi sistem dan alat merupakan proses penerapan rancangan yang telah dibuat ke dalam bentuk perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang dapat berfungsi secara nyata. Pada tahap ini dilakukan realisasi sistem irigasi pintar berbasis IoT dengan merakit seluruh komponen utama, yaitu ESP32 sebagai pusat kendali, sensor capacitive soil moisture sebagai pendeteksi kelembapan media tanam (rockwool), modul relay 1 channel sebagai pengendali pompa, pompa SOARFLY Submersible 100W/6000L sebagai perangkat penyiraman, serta adaptor 5V 2A sebagai sumber daya rangkaian kontrol. Selain itu, sistem juga menggunakan Terminal GPIO Expansion Board untuk mempermudah koneksi antar komponen, box panel sebagai pelindung rangkaian elektronik, serta paralon sebagai saluran distribusi air dari kolam menuju area tanaman.

Selain implementasi perangkat keras, dilakukan pula implementasi perangkat lunak menggunakan Arduino IDE. Program yang dibuat berfungsi untuk membaca nilai kelembapan dari sensor, mengonversinya ke dalam bentuk persentase, serta menjalankan logika kontrol penyiraman otomatis. Sistem dirancang untuk menyalakan pompa ketika kelembapan media tanam (rockwool) berada di bawah 50% dan mematikan pompa ketika kelembapan mencapai atau melebihi 56%. ESP32 juga dikonfigurasi untuk terhubung ke jaringan WiFi dan mengirimkan data kelembapan serta status pompa ke Firebase secara real-time sehingga dapat dipantau melalui aplikasi mobile.

Pada tahap implementasi ini dilakukan pengujian awal untuk memastikan seluruh komponen dapat bekerja dengan baik. Pengujian meliputi pembacaan sensor kelembapan, fungsi relay sebagai saklar elektronik, konektivitas ESP32 dengan Firebase, serta kinerja pompa dalam menyalurkan air melalui paralon. Setelah seluruh komponen berfungsi dengan baik, sistem diuji secara terintegrasi untuk memastikan proses penyiraman otomatis berjalan sesuai dengan batas kelembapan yang telah ditentukan.

3.3.4 Pengujian dan Evaluasi Sistem serta Alat

Tahap pengujian dan evaluasi sistem serta alat dilakukan untuk mengetahui kinerja dan keandalan sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang. Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras maupun perangkat lunak dapat berfungsi sesuai dengan perancangannya serta mampu bekerja secara terintegrasi. Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian setiap komponen, kemudian dilanjutkan

dengan pengujian sistem secara keseluruhan. Selain itu, komunikasi data antara ESP32, Firebase, dan aplikasi mobile juga diuji untuk memastikan proses monitoring dapat berjalan secara *real-time*. Hasil dari setiap pengujian kemudian dianalisis sebagai dasar dalam mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan.

a. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan mengoperasikan sistem irigasi pintar pada media tanam rockwool selama tujuh hari. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan perancangan. Tahap awal pengujian dilakukan pada sensor *Capacitive Soil Moisture* untuk memastikan sensor mampu membaca tingkat kelembapan media tanam (rockwool) dengan baik. Sensor diuji pada beberapa kondisi kelembapan, yaitu kering, lembap, dan basah. Nilai yang diperoleh kemudian ditampilkan pada *Serial Monitor* dan dikonversi menjadi persentase kelembapan sebagai acuan dalam proses penyiraman.

Selanjutnya dilakukan pengujian pada Relay Module 1 Channel untuk memastikan relay dapat merespons perintah yang diberikan oleh ESP32. Relay akan aktif ketika nilai kelembapan berada di bawah 50% sehingga pompa menyala, kemudian relay akan kembali nonaktif ketika kelembapan telah mencapai lebih dari 56% sehingga pompa berhenti secara otomatis. Pengujian berikutnya dilakukan pada pompa SOARFLY Submersible 100W/6000L. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan pompa mampu mengalirkan air dari penampungan menuju media tanam melalui saluran distribusi dengan lancar dan stabil selama proses penyiraman berlangsung.

Setelah seluruh komponen bekerja dengan baik, dilakukan pengujian sistem secara terintegrasi. Sistem dijalankan sesuai kondisi sebenarnya untuk mengetahui apakah proses pembacaan sensor, pengendalian relay, pengoperasian pompa, serta pengiriman data ke Firebase dapat berjalan dengan baik. Data kelembapan dan status pompa kemudian ditampilkan pada aplikasi mobile sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara *real-time*.

b. Evaluasi Kinerja Sistem dan Alat

Evaluasi kinerja sistem dilakukan berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada setiap komponen dan sistem secara keseluruhan. Evaluasi meliputi kemampuan sensor dalam membaca kelembapan media tanam, respons ESP32 dalam memproses data, kinerja relay dalam mengendalikan pompa, serta kemampuan pompa dalam melakukan penyiraman secara otomatis sesuai batas kelembapan yang telah ditentukan.

Selain itu, evaluasi juga dilakukan terhadap komunikasi data melalui jaringan WiFi. Sistem dinilai berhasil apabila data kelembapan dan status pompa dapat dikirim ke Firebase dan ditampilkan pada aplikasi mobile secara *real-time* tanpa mengalami kendala yang berarti.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sistem irigasi pintar berbasis IoT mampu bekerja sesuai dengan perancangan. Sensor dapat membaca kelembapan media tanam (rockwool) dengan baik, relay mampu mengendalikan pompa secara responsif, dan pompa dapat melakukan penyiraman secara otomatis sesuai batas kelembapan yang telah ditentukan. Seluruh data monitoring juga berhasil ditampilkan pada aplikasi mobile melalui Firebase, sehingga sistem dapat membantu pengguna dalam memantau kondisi media tanam dan meningkatkan efisiensi proses penyiraman.

3.4 Jadwal Pelaksanaan

Penelitian mengenai Sistem Irigasi Pintar Berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai Solusi Efisiensi Penggunaan Air pada Budidaya Selada Hidroponik dilaksanakan selama enam bulan, yaitu mulai Januari hingga Juni 2026. Seluruh kegiatan penelitian dilakukan secara bertahap, mulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem dan alat, implementasi sistem, pengujian dan evaluasi, hingga penyusunan laporan tugas akhir. Setiap tahapan disusun secara berurutan agar proses pengembangan sistem dapat berjalan dengan baik serta menghasilkan sistem yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan yang ada serta menentukan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi, penentuan spesifikasi komponen seperti ESP32, sensor *Capacitive Soil Moisture*, relay, pompa air, Firebase Realtime Database, serta aplikasi mobile berbasis Flutter yang akan digunakan dalam sistem.

Tahap perancangan difokuskan pada penyusunan desain sistem, meliputi pembuatan diagram blok, flowchart, perancangan rangkaian elektronik, serta perancangan antarmuka aplikasi mobile. Selain itu, pada tahap ini juga ditentukan alur kerja sistem penyiraman otomatis berdasarkan nilai kelembapan media tanam (rockwool).

Tahap implementasi meliputi proses perakitan perangkat keras, pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE, integrasi dengan Firebase Realtime Database, serta pengembangan aplikasi mobile berbasis Flutter. Seluruh komponen kemudian dihubungkan sehingga membentuk satu sistem irigasi pintar yang dapat melakukan monitoring dan penyiraman secara otomatis.

Setelah implementasi selesai, dilakukan tahap pengujian dan evaluasi sistem. Pengujian dilakukan pada setiap komponen maupun sistem secara keseluruhan untuk memastikan sensor, relay, pompa, komunikasi data, dan aplikasi mobile dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Hasil pengujian kemudian dianalisis sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja sistem serta mengetahui tingkat keberhasilan implementasi.

Tahap terakhir adalah penyusunan laporan tugas akhir yang memuat seluruh proses penelitian, mulai dari latar belakang, perancangan sistem, implementasi, hasil pengujian, pembahasan, hingga kesimpulan dan saran. Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan sehingga setiap tahapan dapat terdokumentasi dengan baik. Dengan pelaksanaan yang terstruktur, diharapkan sistem irigasi pintar berbasis IoT yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian dan memberikan solusi yang lebih efisien dalam proses penyiraman pada budidaya selada hidroponik.

Tabel 3.4 Jadwal Pelaksanaan

No.	Kegiatan	Bulan Ke					
		1	2	3	4	5	6
1.	Analisis Kebutuhan	■					
2.	Perancangan Sistem dan Alat	■	■				
3.	Implementasi Sistem dan Alat		■	■	■		
4.	Pengujian dan Evaluasi Sistem serta Alat			■	■	■	■

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan yang telah dilakukan pada BAB III, sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil memenuhi kebutuhan yang telah ditentukan. Sistem dirancang untuk melakukan monitoring kelembapan media tanam (rockwool) serta mengendalikan proses penyiraman secara otomatis berdasarkan nilai kelembapan yang terbaca oleh sensor.

Perangkat keras yang digunakan terdiri dari ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor *Capacitive Soil Moisture*, relay 1 channel, pompa SOARFLY Submersible 100W/6000L, adaptor 5V 2A, serta beberapa komponen pendukung lainnya. Seluruh perangkat tersebut dapat terhubung dengan baik sehingga membentuk satu sistem yang mampu menjalankan fungsi monitoring dan penyiraman secara otomatis.

Selain perangkat keras, sistem juga didukung oleh perangkat lunak berupa Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, Firebase Realtime Database sebagai media penyimpanan data, serta aplikasi mobile berbasis Flutter sebagai antarmuka pengguna. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh kebutuhan perangkat keras maupun perangkat lunak telah terpenuhi sehingga sistem dapat diimplementasikan sesuai dengan tujuan penelitian.

4.2 Perancangan Sistem dan Alat

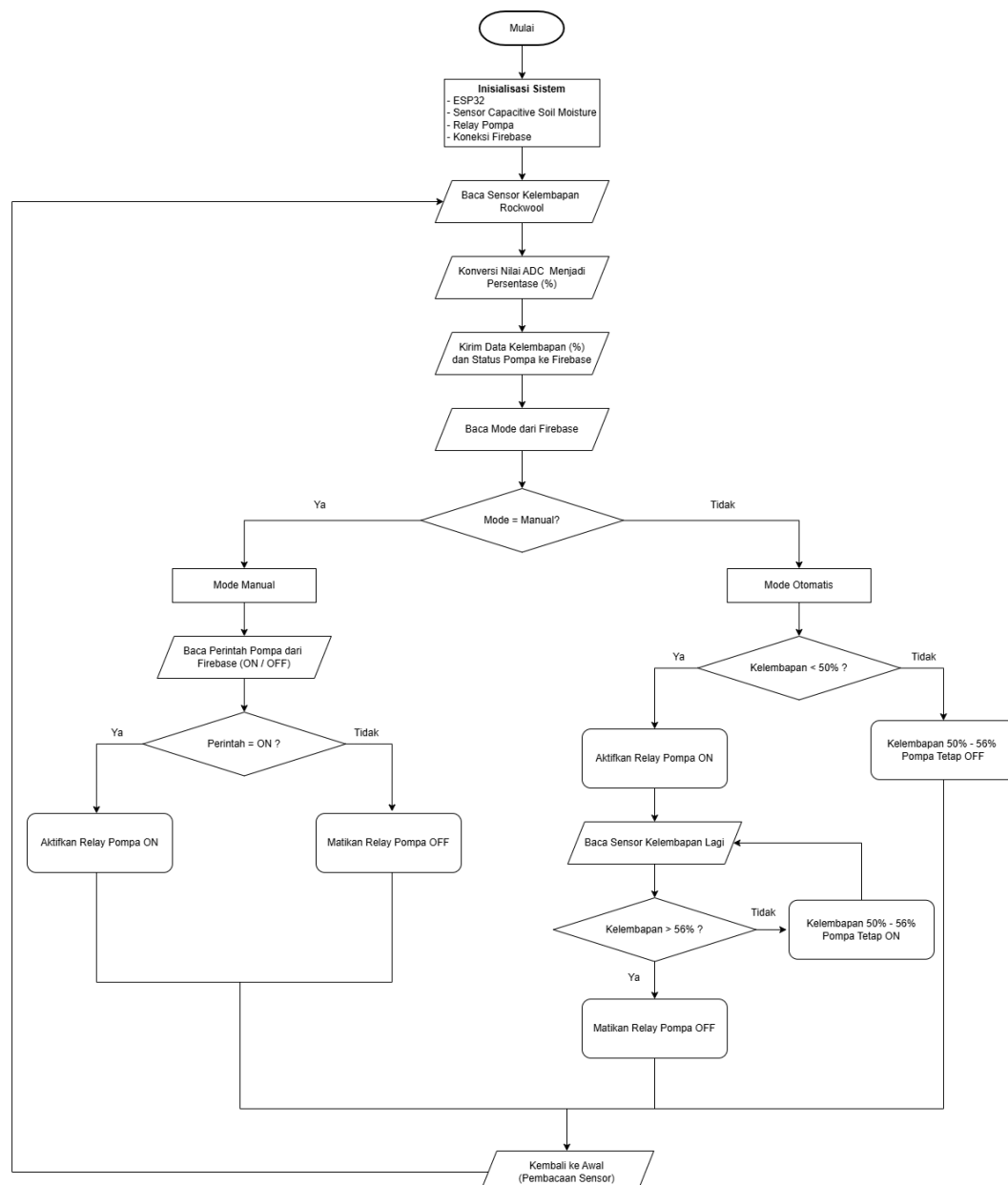
4.2.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan berdasarkan alur kerja yang telah dirancang pada BAB III. Proses dimulai ketika sistem dinyalakan, kemudian ESP32 melakukan inisialisasi seluruh komponen yang digunakan, meliputi sensor *Capacitive Soil Moisture*, relay, koneksi WiFi, serta komunikasi dengan Firebase Realtime Database. Setelah proses inisialisasi selesai, ESP32 membaca nilai kelembapan media tanam (rockwool) melalui sensor *Capacitive Soil Moisture*. Data yang diperoleh masih berupa nilai analog (ADC), kemudian dikonversi menjadi persentase kelembapan agar lebih mudah diproses oleh sistem.

Nilai kelembapan yang telah diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan batas kelembapan yang telah ditentukan. Apabila kelembapan berada di bawah 50%, ESP32 akan mengaktifkan relay sehingga pompa air menyala dan mulai melakukan penyiraman. Selama pompa bekerja, sensor tetap membaca kondisi kelembapan media tanam secara berkala. Apabila kelembapan belum mencapai 56%, pompa akan tetap menyala hingga kelembapan mencapai nilai yang diinginkan. Setelah kelembapan mencapai atau melebihi 56%, ESP32 akan mematikan relay sehingga pompa berhenti secara otomatis. Penggunaan batas

bawah dan batas atas tersebut bertujuan untuk menjaga kestabilan kelembapan media tanam serta mengurangi frekuensi pompa menyala dan mati secara berulang.

Setelah proses penyiraman selesai, data kelembapan dan status pompa dikirimkan ke Firebase melalui jaringan WiFi. Data tersebut kemudian ditampilkan pada aplikasi mobile sehingga pengguna dapat memantau kondisi media tanam dan status pompa secara *real-time*. Seluruh proses tersebut akan terus berulang selama sistem masih aktif.



Gambar 4.1 Flowchart
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.2.2 Perancangan Alat

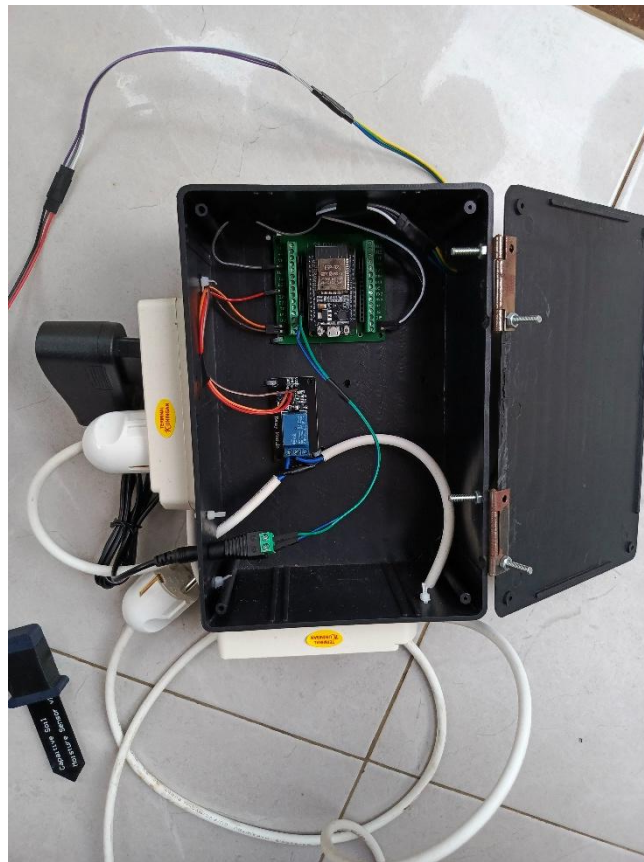
Perancangan alat dilakukan dengan merakit seluruh komponen perangkat keras sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada BAB III. Komponen utama yang digunakan meliputi ESP32 sebagai pusat kendali, sensor Capacitive Soil Moisture sebagai pendeteksi kelembapan media tanam (rockwool), relay 1 channel sebagai saklar elektronik, serta pompa SOARFLY Submersible 100W/6000L sebagai aktuator penyiraman.

Selain komponen utama, sistem juga menggunakan adaptor 5V 2A sebagai sumber daya rangkaian kontrol, kabel jumper *male to male* dan *male to female* sebagai penghubung antar komponen, *jack konektor female* sebagai konektor catu daya, dua buah stopkontak sebagai sumber distribusi listrik, serta 30 Pin Terminal GPIO Expansion Board for ESP32 untuk mempermudah proses pemasangan kabel pada setiap pin ESP32.

Pada tahap perakitan, setiap komponen dipasang sesuai dengan skematik rangkaian yang telah dirancang sebelumnya. Penyambungan kabel dilakukan dengan memperhatikan kesesuaian jalur daya, jalur komunikasi, serta pin input dan output pada ESP32 agar tidak terjadi kesalahan koneksi yang dapat memengaruhi kinerja sistem. Selain itu, penempatan komponen juga disusun agar mudah dalam proses pemeliharaan, pengujian, maupun perbaikan apabila terjadi kendala pada sistem. Seluruh komponen dirakit berdasarkan skematik rangkaian yang telah dirancang sehingga setiap perangkat dapat saling terhubung dengan baik.

Setelah proses perakitan selesai, dilakukan implementasi perangkat lunak menggunakan Arduino IDE untuk memprogram ESP32 agar mampu membaca data sensor, mengendalikan relay, mengirimkan data ke Firebase, serta menampilkan informasi pada aplikasi mobile secara *real-time*. Tahap selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap setiap sambungan rangkaian untuk memastikan tidak terdapat kabel yang longgar maupun kesalahan pemasangan komponen. Pengujian awal juga dilakukan dengan memberikan catu daya pada sistem untuk memastikan ESP32, sensor, relay, dan pompa dapat beroperasi sesuai dengan fungsi masing-masing sebelum digunakan pada tahap pengujian sistem secara keseluruhan.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing. Sensor mampu membaca kelembapan media tanam, relay dapat mengendalikan pompa dengan baik, dan ESP32 berhasil mengintegrasikan seluruh proses monitoring maupun penyiraman otomatis. Data hasil pembacaan sensor juga dapat dikirimkan ke Firebase dan ditampilkan pada aplikasi mobile sehingga pengguna dapat memantau kondisi media tanam secara *real-time*. Dengan demikian, sistem yang telah dirancang siap digunakan pada tahap implementasi dan pengujian untuk mengetahui tingkat keberhasilan serta kinerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 4.2 Rancangan Alat
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Tabel 4.1 Sambungan Komponen

No	Komponen	Pin Komponen	Sambungan ke ESP32 / Sumber Daya
1.	Sensor Capacitive Soil Moisture	VCC	3.3V ESP32
		GND	GND ESP32
		AO	GPIO 34 ESP32
2.	Relay Module 1 Channel	VCC	5V ESP32 (VIN)
		GND	GND ESP32
		IN	GPIO 25 ESP32
3.	ESP32 Dev Module	VIN	Output Adaptor 5V (+) melalui Jack DC Female
		GND	Output Adaptor 5V (-)
4.	Adaptor 5V 2A	Input AC	Stopkontak 1 (L dan N)
		Output DC (+)	Jack DC Female → VIN ESP32
		Output DC (-)	Jack DC Female → GND ESP32

No	Komponen	Pin Komponen	Sambungan ke ESP32 / Sumber Daya
5.	Jack Konektor Female	Positif (+) Negatif (-)	VIN ESP32 GND ESP32
6.	Pompa AC SOARFLY 100W/6000L	Kabel Fasa (L)	NO Relay
		Kabel Netral (N)	Stopkontak 2 (N)
7.	Relay Module 1 Channel	COM NO	Stopkontak 2 (L) Kabel Fasa Pompa
8.	Stopkontak 2	L (Fasa) N (Netral)	COM Relay Langsung ke Pompa

Tabel 4.2 Konfigurasi Parameter Sistem

Parameter	Nilai	Keterangan
Soil Dry	3200	Nilai ADC media tanam (rockwool) kering
Soil Wet	1200	Nilai ADC media tanam (rockwool) basah
Minimum Moisture	50%	Batas pompa mulai menyala
Maximum Moisture	56%	Target kelembapan penyiraman
Pump OFF	$\geq 57\%$	Pompa berhenti otomatis setelah kelembapan mencapai batas
Interval Pembacaan Sensor	3000 ms	Waktu pembacaan sensor setiap 3 detik

Keterangan Sambungan Relay:

Karena pompa yang digunakan merupakan pompa AC 220V, maka relay hanya memutus dan menghubungkan kabel fasa (L), sedangkan kabel netral (N) langsung terhubung ke pompa.

Alur sambungannya adalah sebagai berikut.

Stopkontak 2 (L) → COM Relay → NO Relay → Kabel Fasa Pompa

Sedangkan kabel netral disambungkan langsung:

Stopkontak 2 (N) → Kabel Netral Pompa

Konfigurasi tersebut membuat pompa hanya memperoleh aliran listrik ketika relay menerima perintah dari ESP32, sehingga proses penyiraman dapat dikendalikan secara otomatis berdasarkan nilai kelembapan media tanam.

4.3 Implementasi Sistem dan Alat

4.3.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan menghubungkan seluruh perangkat keras dan perangkat lunak sehingga dapat bekerja sebagai satu kesatuan. Sistem terdiri dari ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor Capacitive Soil Moisture, relay 1 channel, pompa SOARFLY Submersible 100W/6000L, Firebase Realtime Database, serta aplikasi mobile berbasis Flutter. Setelah seluruh komponen terintegrasi, sistem mampu membaca kelembapan media tanam (rockwool), mengendalikan pompa secara otomatis, dan mengirimkan data ke aplikasi mobile secara *real-time*.

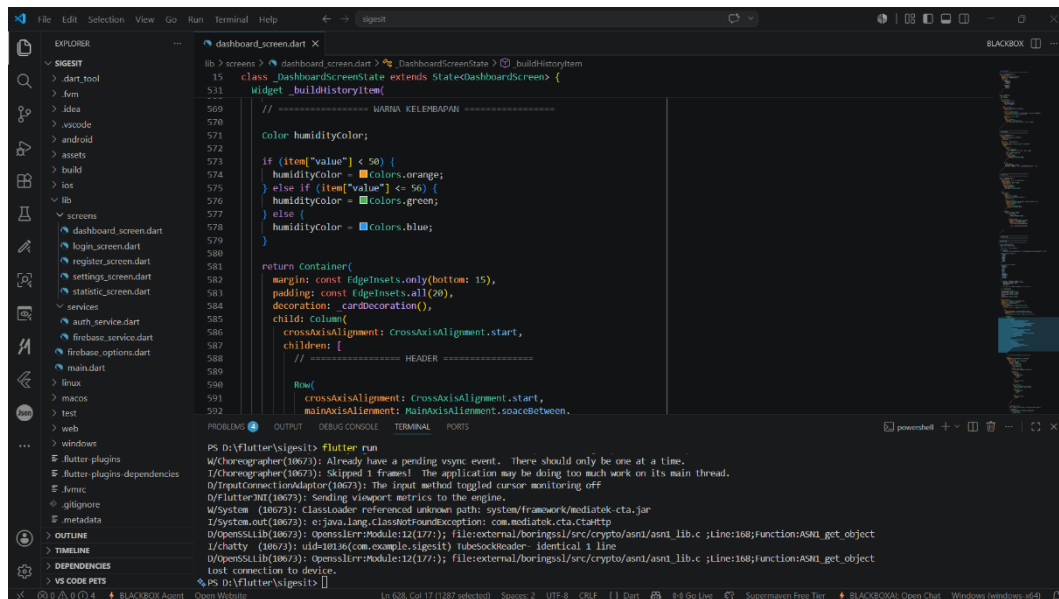
Sensor Capacitive Soil Moisture membaca nilai kelembapan media tanam dalam bentuk data analog (ADC). Data tersebut kemudian diproses oleh ESP32 dan dikonversi menjadi persentase kelembapan berdasarkan hasil kalibrasi. Selanjutnya, nilai kelembapan dan status pompa dikirim ke Firebase sehingga dapat ditampilkan pada aplikasi mobile secara *real-time*.

Aplikasi mobile berbasis Flutter berfungsi sebagai media monitoring sistem. Pengguna dapat melihat nilai kelembapan media tanam, status pompa, memilih mode operasi, serta mengendalikan pompa secara manual melalui aplikasi. Seluruh data diperbarui secara otomatis melalui Firebase sehingga kondisi sistem dapat dipantau dari jarak jauh.

Pada implementasi ini diterapkan metode hysteresis control dengan batas kelembapan 50% sebagai batas pompa menyala dan 56% sebagai batas pompa berhenti. Pompa hanya akan kembali aktif apabila kelembapan turun di bawah 50%, sehingga pompa tidak sering menyala dan mati akibat perubahan kelembapan yang kecil. Metode ini membantu menjaga kestabilan kelembapan media tanam sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan air dan memperpanjang umur pompa.

Berdasarkan hasil implementasi, seluruh komponen sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing. Sistem berhasil melakukan monitoring kelembapan media tanam, mengendalikan proses penyiraman secara otomatis, serta menampilkan informasi kondisi sistem pada aplikasi mobile secara *real-time*. Dengan demikian, implementasi sistem telah sesuai dengan perancangan yang dibuat pada BAB III dan siap untuk dilakukan pengujian pada tahap berikutnya.

a. Implementasi Kode Program Aplikasi Mobile pada Visual Studio Code



Gambar 4.3 Implementasi Kode Program Aplikasi Mobile pada Visual Studio Code
(Sumber: Dokumen Pribadi)

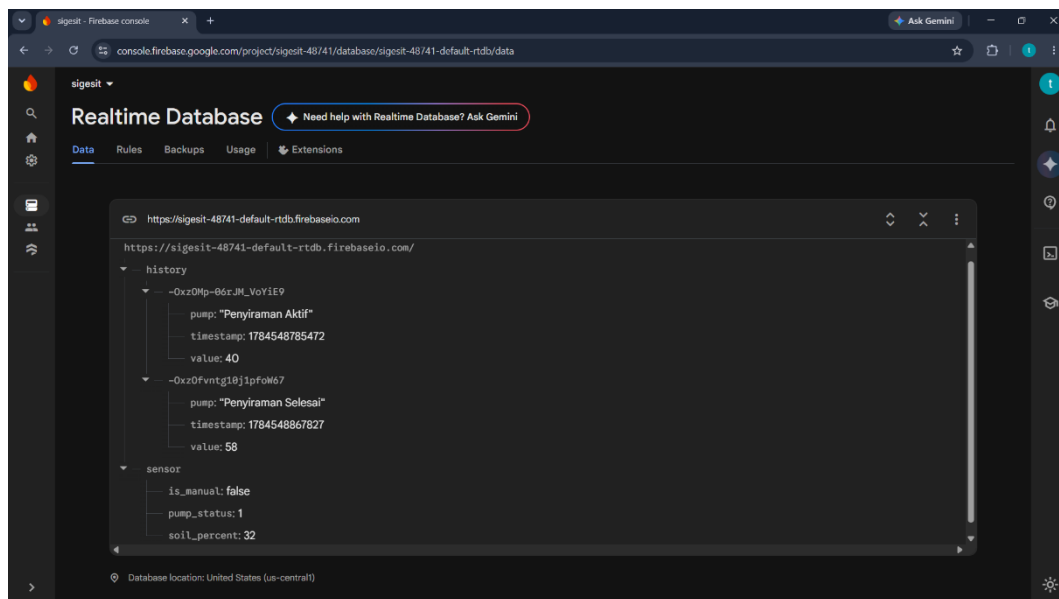
Gambar 4.3 menunjukkan proses implementasi perangkat lunak menggunakan Visual Studio Code (VS Code) sebagai media pengembangan aplikasi mobile berbasis Flutter. Pada tahap ini dilakukan pembuatan program yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna (*user interface*) untuk sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengembangan aplikasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Dart dengan memanfaatkan framework Flutter serta Firebase Realtime Database sebagai media pertukaran data antara aplikasi dan perangkat ESP32. Pada gambar terlihat file `dashboard_screen.dart` yang merupakan halaman utama (*dashboard*) aplikasi. File tersebut berisi kode program untuk menampilkan informasi kelembapan media tanam (rockwool), status pompa, riwayat penyiraman, serta pengaturan mode operasi sistem. Selain itu, halaman ini juga menangani proses pembacaan data dari Firebase sehingga informasi yang ditampilkan pada aplikasi selalu diperbarui secara real-time.

Pada bagian kode program terlihat proses penentuan warna indikator kelembapan berdasarkan nilai yang diterima dari sensor Capacitive Soil Moisture. Apabila nilai kelembapan berada di bawah 50%, indikator ditampilkan dengan warna oranye sebagai tanda bahwa media tanam mulai kering. Jika kelembapan berada pada rentang 50% hingga 56%, indikator berubah menjadi hijau yang menunjukkan kondisi kelembapan berada pada rentang ideal. Sementara itu, apabila nilai kelembapan melebihi 56%, indikator akan ditampilkan dengan warna biru sebagai tanda bahwa media tanam memiliki kelembapan yang tinggi. Di sisi kiri tampilan terlihat struktur proyek Flutter yang terdiri atas folder `lib`, `screens`, `services`, `assets`, serta folder pendukung lainnya. Folder `screens` berisi halaman-

halaman aplikasi seperti *dashboard*, *login*, *register*, *settings*, dan *statistic*, sedangkan folder *services* berisi program yang menangani komunikasi dengan Firebase.

Pada bagian bawah tampilan terdapat Terminal Visual Studio Code yang digunakan untuk menjalankan perintah Flutter, seperti proses kompilasi aplikasi menggunakan perintah `flutter run`. Terminal juga menampilkan proses debugging dan log dari aplikasi selama proses pengembangan sehingga memudahkan pengembang dalam menemukan serta memperbaiki kesalahan pada program. Secara keseluruhan, implementasi perangkat lunak pada Visual Studio Code berhasil mengintegrasikan antarmuka aplikasi dengan Firebase Realtime Database sehingga aplikasi mampu menampilkan data kelembapan media tanam dan status pompa secara real-time. Implementasi ini menjadi bagian penting dalam mendukung proses monitoring sistem irigasi pintar yang telah dirancang.

b. Implementasi Firebase Realtime Database



Gambar 4.4 Implementasi Firebase Realtime Database
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.4 menunjukkan tampilan Firebase Realtime Database yang digunakan sebagai media penyimpanan data pada sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT). Firebase berfungsi sebagai penghubung antara perangkat ESP32 dan aplikasi mobile sehingga data dapat dikirim, disimpan, dan ditampilkan secara real-time. Pada gambar terlihat dua node utama, yaitu *history* dan *sensor*. Node *history* digunakan untuk menyimpan riwayat aktivitas penyiraman yang dilakukan oleh sistem. Setiap data yang tersimpan memiliki informasi berupa status penyiraman (*pump*), waktu penyiraman (*timestamp*), serta nilai kelembapan media tanam (*value*). Data riwayat ini dimanfaatkan untuk menampilkan histori

penyiraman pada aplikasi mobile sehingga pengguna dapat mengetahui aktivitas penyiraman yang telah berlangsung.

Sementara itu, node sensor digunakan untuk menyimpan data terbaru dari sistem. Data yang tersimpan meliputi `soil_percent`, yaitu persentase kelembapan media tanam (rockwool), `pump_status` yang menunjukkan kondisi pompa dalam keadaan menyala atau mati, serta `is_manual` yang menunjukkan mode operasi sistem, apakah menggunakan mode otomatis atau mode manual. Nilai-nilai tersebut akan terus diperbarui oleh ESP32 setiap kali sistem melakukan pembacaan sensor atau terjadi perubahan status pompa. Pada implementasi ini, ESP32 mengirimkan data ke Firebase melalui jaringan WiFi sehingga setiap perubahan kondisi media tanam dapat langsung tersimpan pada database. Aplikasi mobile kemudian mengambil data tersebut dari Firebase dan menampilkannya kepada pengguna secara real-time.

Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi kelembapan media tanam, status pompa, serta riwayat penyiraman kapan saja tanpa harus berada di lokasi sistem. Implementasi Firebase Realtime Database menunjukkan bahwa proses komunikasi data antara ESP32 dan aplikasi mobile telah berjalan dengan baik. Seluruh data monitoring dan penyiraman berhasil disimpan serta diperbarui secara otomatis sehingga mendukung fungsi monitoring dan pengendalian sistem irigasi pintar berbasis IoT.

c. Implementasi Program Arduino

Implementasi program Arduino dilakukan menggunakan Arduino IDE sebagai perangkat lunak untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32. Program yang dibuat berfungsi untuk membaca nilai kelembapan media tanam (rockwool) dari sensor Capacitive Soil Moisture, mengendalikan pompa air melalui modul relay, mengirimkan data ke Firebase Realtime Database, serta menerima perintah dari aplikasi mobile. Dengan program tersebut, ESP32 mampu menjalankan proses monitoring dan penyiraman secara otomatis maupun manual sesuai dengan logika sistem yang telah dirancang.

4.3.1.1 Konfigurasi WiFi dan Firebase

Agar ESP32 dapat terhubung ke jaringan internet dan Firebase Realtime Database, diperlukan konfigurasi jaringan WiFi serta informasi database yang digunakan oleh sistem.

Kode Program 4.1 Konfigurasi WiFi dan Firebase

```
1) #define WIFI_SSID      "Sengamponga majer"
2) #define WIFI_PASSWORD "123456789B"
3)
4) #define DATABASE_URL
5) "https://sigesit-48741-default-rtdb.firebaseio.com"
6)
```

```

7) #define DATABASE_SECRET
8) "eaUKMEaqkEdhqUfPoMjdkxLkX0ay7R3W7luQIDrQ"

```

Kode Program 4.1 digunakan untuk mendefinisikan nama jaringan WiFi, kata sandi WiFi, alamat Firebase Realtime Database, serta token autentikasi yang digunakan oleh ESP32 agar dapat terhubung ke database. Setelah konfigurasi berhasil, ESP32 dapat mengirim maupun menerima data secara real-time melalui jaringan internet.

4.3.1.2 Konfigurasi Sensor dan Relay

Sensor kelembapan media tanam (rockwool) dan relay pompa air dihubungkan ke pin tertentu pada ESP32. Selain itu, dilakukan kalibrasi sensor untuk memperoleh hasil pembacaan kelembapan yang lebih akurat.

Kode Program 4.2 Konfigurasi Pin dan Kalibrasi Sensor

```

1) const int SENSOR_PIN = 34;
2) const int RELAY_PIN = 25;
3)
4) const int SOIL_DRY = 3200;
5) const int SOIL_WET = 1200;

```

Kode Program 4.2 digunakan untuk menentukan pin input sensor dan pin output relay pada ESP32. Nilai SOIL_DRY dan SOIL_WET merupakan hasil kalibrasi yang digunakan sebagai acuan dalam mengubah nilai analog (ADC) menjadi persentase kelembapan media tanam (rockwool).

4.3.1.3 Pembacaan Data Sensor Kelembapan Media Tanam (Rockwool)

ESP32 secara berkala membaca nilai analog dari sensor Capacitive Soil Moisture untuk mengetahui tingkat kelembapan media tanam (rockwool).

Kode Program 4.3 Pembacaan Sensor Kelembapan Media Tanam (Rockwool)

```

1) int nilaiADC = analogRead(SENSOR_PIN);
2)
3) int soilPercent = map(
4)     nilaiADC,
5)     SOIL_DRY,
6)     SOIL_WET,
7)     0,
8)     100
9) );
10)
11) soilPercent = constrain(soilPercent, 0, 100);

```

Kode Program 4.3 digunakan untuk membaca nilai ADC dari sensor kemudian mengubahnya menjadi persentase kelembapan dalam rentang 0%–100%. Data yang telah dikonversi selanjutnya digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pada proses penyiraman otomatis.

4.3.1.4 Implementasi Kontrol Otomatis Pompa Air

Sistem dirancang agar mampu melakukan penyiraman secara otomatis berdasarkan tingkat kelembapan media tanam (rockwool) yang dibaca oleh sensor.

Kode Program 4.4 Kontrol Otomatis Pompa

```

1) if (!isManual) {
2)
3)   if (soilPercent < 50) {
4)     digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
5)     pumpStatus = 1;
6)
7)   } else if (soilPercent > 56) {
8)     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
9)     pumpStatus = 0;
10)  }
11) }

```

Kode Program 4.4 menunjukkan proses pengambilan keputusan pada mode otomatis. Pompa akan menyala ketika kelembapan media tanam berada di bawah 50%, sedangkan pompa akan berhenti ketika kelembapan telah mencapai lebih dari 56%. Penggunaan dua batas kelembapan tersebut menerapkan metode hysteresis control, sehingga pompa tidak mudah menyala dan mati akibat perubahan kelembapan yang kecil.

Selain logika program, posisi pemasangan sensor juga memengaruhi hasil pembacaan. Oleh karena itu, sensor ditempatkan pada bagian tengah media tanam (rockwool) agar nilai kelembapan yang diperoleh lebih mewakili kondisi keseluruhan media tanam. Penempatan ini membuat proses penyiraman menjadi lebih stabil dan akurat.

4.3.1.5 Implementasi Kontrol Manual Melalui Firebase

Selain bekerja secara otomatis, sistem juga menyediakan mode manual yang dapat dikendalikan melalui aplikasi mobile.

Kode Program 4.5 Pembacaan Perintah Manual dari Firebase

```

1) if (Firebase.RTDB.getBool(
2)   &fbdo,
3)   "/sensor/is_manual")) {
4)
5)   isManual = fbdo.to<bool>();
6) }
7)
8) if (isManual) {
9)
10) if (Firebase.RTDB.getInt(
11)   &fbdo,
12)   "/sensor/pump_status")) {
13)
14)   pumpStatus = fbdo.to<int>();

```

```

15)
16)   digitalWrite(
17)       RELAY_PIN,
18)       (pumpStatus == 1)
19)       ? LOW : HIGH
20)   ;
21) }
22) }

```

Kode Program 4.5 digunakan untuk membaca status mode operasi dan status pompa dari Firebase Realtime Database. Ketika mode manual aktif, pengguna dapat menyalakan atau mematikan pompa secara langsung melalui aplikasi mobile tanpa bergantung pada nilai kelembapan media tanam.

4.3.1.6 Implementasi Pengiriman Data ke Firebase

Data hasil pembacaan sensor dan status pompa dikirimkan ke Firebase agar dapat dipantau melalui aplikasi mobile secara real-time.

Kode Program 4.6 Pengiriman Data ke Firebase

```

1) FirebaseJson json;
2)
3) json.set("soil_percent",
4)       soilPercent);
5)
6) json.set("pump_status",
7)       pumpStatus);
8)
9) json.set("is_manual",
10)      isManual);
11)
12) Firebase.RTDB.updateNode(
13)     &fbdo,
14)     "/sensor",
15)     &json);

```

Kode Program 4.6 berfungsi untuk memperbarui data kelembapan media tanam (rockwool), status pompa, dan mode operasi pada Firebase Realtime Database. Data tersebut kemudian ditampilkan pada aplikasi mobile sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung.

4.3.1.7 Implementasi Penyimpanan Riwayat Penyiraman

Sistem juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan riwayat penyiraman yang dilakukan secara otomatis.

Kode Program 4.7 Penyimpanan Riwayat Penyiraman

```

1) history.set(
2)   "timestamp/.sv",
3)   "timestamp");
4)
5) history.set(

```

```

6)    "value",
7)    soilPercent);
8)
9)    history.set(
10)   "pump",
11)   "Penyiraman Aktif");
12)
13)   Firebase.RTDB.pushJSON(
14)       &fbdo,
15)       "/history",
16)       &history);

```

Kode Program 4.7 digunakan untuk menyimpan data riwayat penyiraman ke Firebase Realtime Database. Informasi yang disimpan meliputi waktu penyiraman (*timestamp*), nilai kelembapan media tanam (rockwool), serta status penyiraman. Data tersebut kemudian ditampilkan pada menu riwayat di aplikasi mobile sehingga pengguna dapat melihat rekam jejak aktivitas penyiraman yang telah dilakukan oleh sistem.

d. Implementasi Aplikasi Mobile

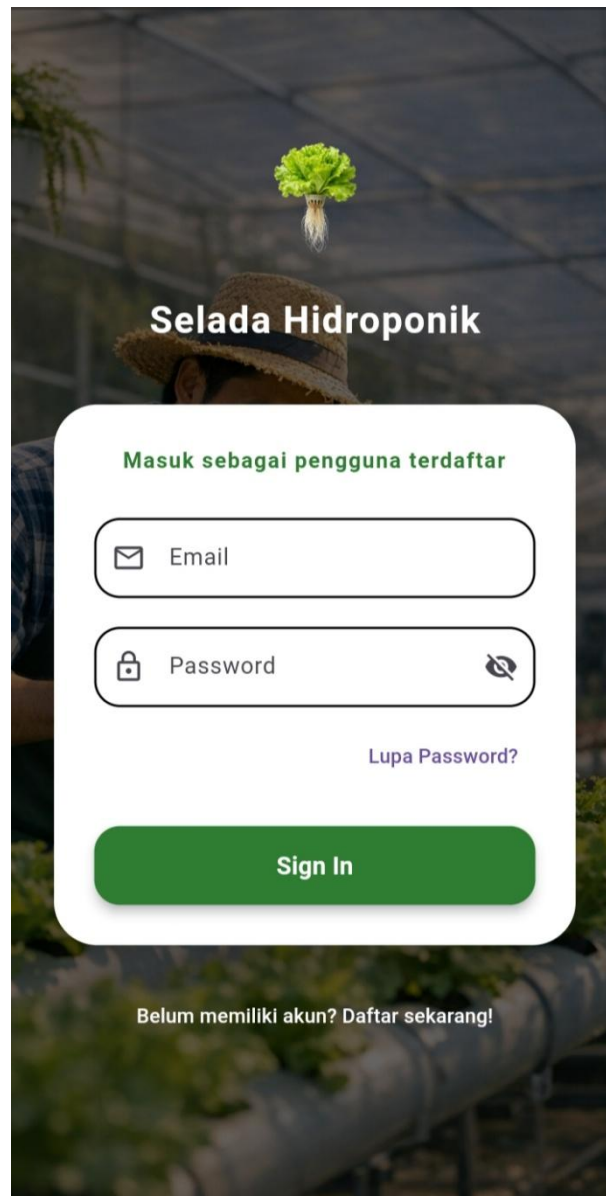
Implementasi aplikasi mobile dilakukan menggunakan Flutter sebagai *framework* pengembangan aplikasi dan Firebase Realtime Database sebagai media penyimpanan serta pertukaran data dengan ESP32. Aplikasi ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memantau kondisi media tanam (rockwool) serta mengendalikan sistem irigasi pintar secara real-time melalui perangkat *smartphone*.

Aplikasi mobile menampilkan informasi mengenai persentase kelembapan media tanam (rockwool), status pompa, mode operasi sistem, grafik kelembapan, serta riwayat penyiraman yang tersimpan pada Firebase. Selain itu, aplikasi juga menyediakan fitur untuk mengubah mode operasi dari otomatis ke manual maupun sebaliknya, serta mengendalikan pompa secara langsung ketika sistem berada pada mode manual.

Implementasi aplikasi dilakukan dengan menghubungkan antarmuka (*user interface*) yang dibuat menggunakan Flutter dengan Firebase Realtime Database. Setiap perubahan data yang dikirim oleh ESP32 akan tersimpan pada Firebase dan secara otomatis diperbarui pada aplikasi. Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi sistem dari mana saja selama perangkat *smartphone* dan ESP32 sama-sama terhubung ke jaringan internet.

Pada tahap implementasi, setiap halaman aplikasi diuji untuk memastikan seluruh fungsi dapat berjalan dengan baik. Halaman yang diimplementasikan meliputi halaman login, registrasi, dashboard, statistik, riwayat penyiraman, dan pengaturan. Seluruh halaman berhasil menampilkan informasi sesuai dengan data yang diterima dari Firebase sehingga aplikasi dapat digunakan sebagai media monitoring dan pengendalian sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT).

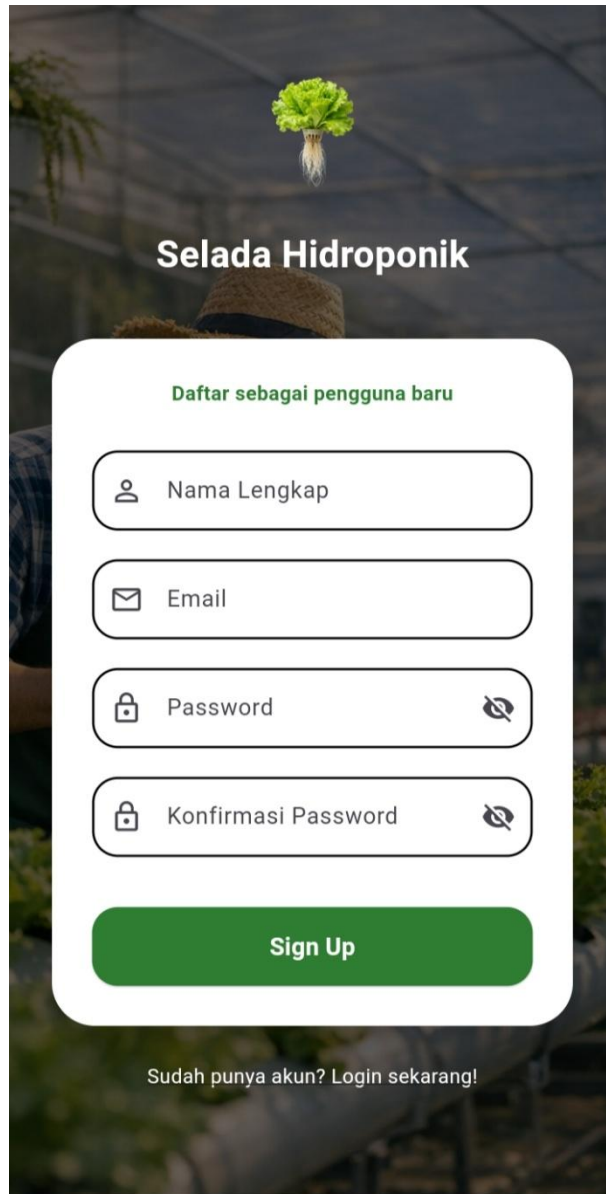
1) Halaman Login



Gambar 4.5 Halaman Login Aplikasi
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.5 menunjukkan halaman login yang digunakan sebagai proses autentikasi pengguna sebelum mengakses aplikasi. Pengguna diminta memasukkan alamat email dan kata sandi yang telah terdaftar pada Firebase Authentication. Apabila data yang dimasukkan benar, pengguna akan diarahkan ke halaman utama aplikasi. Halaman ini bertujuan untuk menjaga keamanan sistem sehingga hanya pengguna yang memiliki akun yang dapat mengakses fitur monitoring dan pengendalian.

2) Halaman Registrasi



Selada Hidroponik

Daftar sebagai pengguna baru

Nama Lengkap

Email

Password

Konfirmasi Password

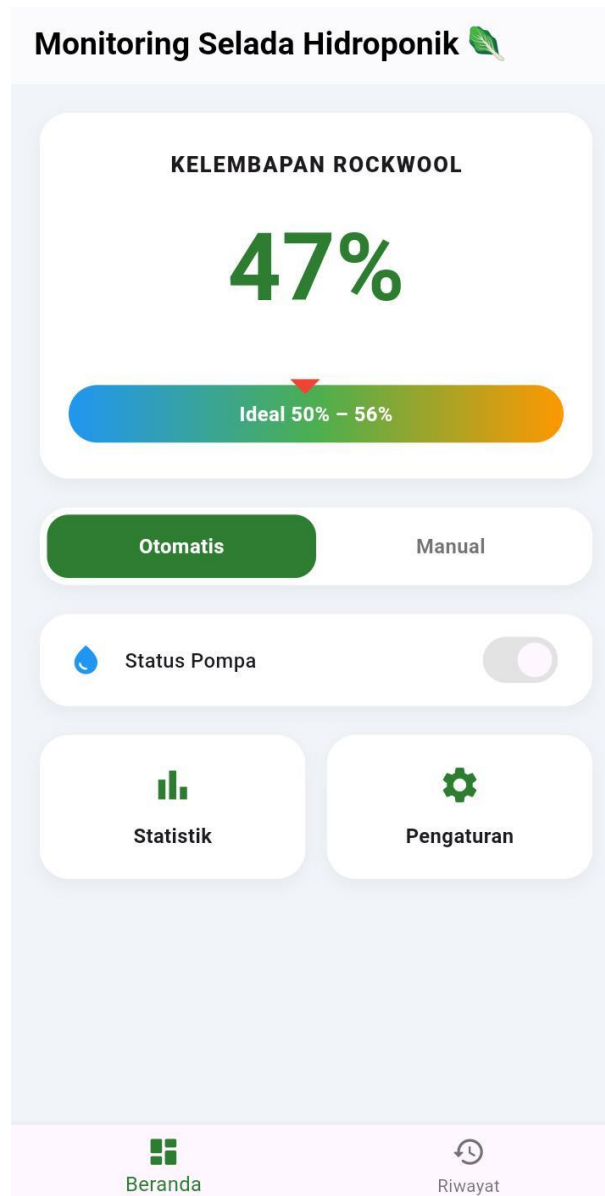
Sign Up

Sudah punya akun? Login sekarang!

Gambar 4.6 Halaman Registrasi Aplikasi
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.6 menunjukkan halaman registrasi yang digunakan untuk membuat akun baru. Pengguna diminta mengisi nama, alamat email, dan kata sandi. Setelah proses registrasi berhasil, data akun akan disimpan pada Firebase Authentication sehingga pengguna dapat melakukan login menggunakan akun yang telah dibuat.

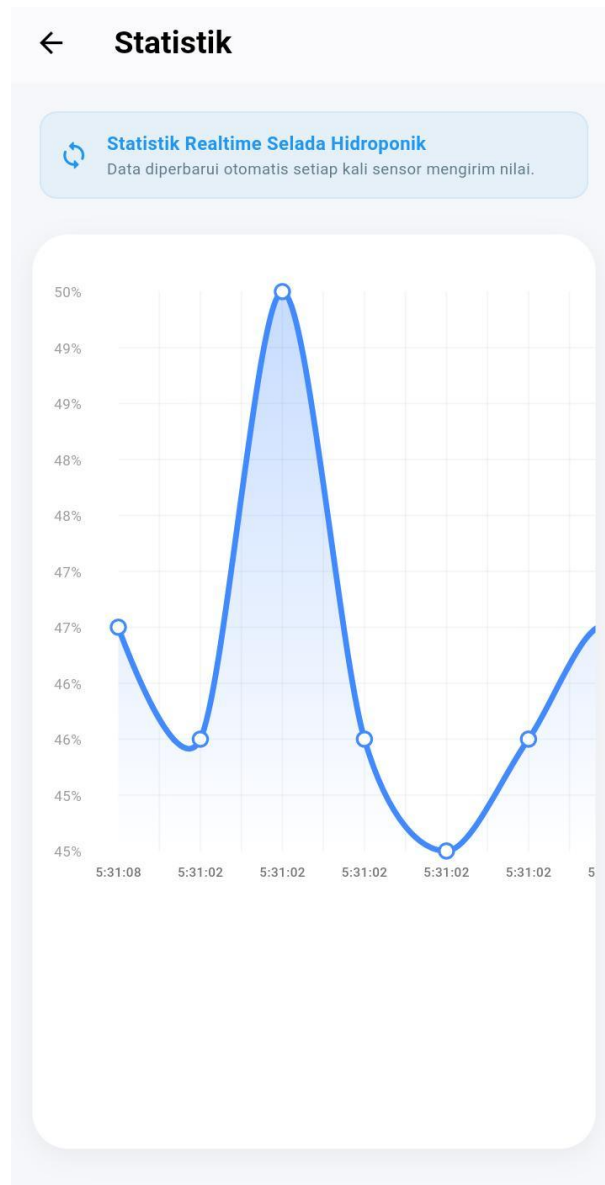
3) Halaman Dashboard



Gambar 4.7 Halaman Dashboard Aplikasi
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.7 menunjukkan halaman dashboard yang merupakan halaman utama aplikasi. Pada halaman ini ditampilkan informasi persentase kelembapan media tanam (rockwool), status pompa, serta mode operasi sistem. Dashboard juga menyediakan tombol untuk mengubah mode otomatis dan manual serta mengendalikan pompa ketika mode manual aktif. Seluruh informasi diperbarui secara *real-time* berdasarkan data yang dikirimkan oleh ESP32 melalui Firebase.

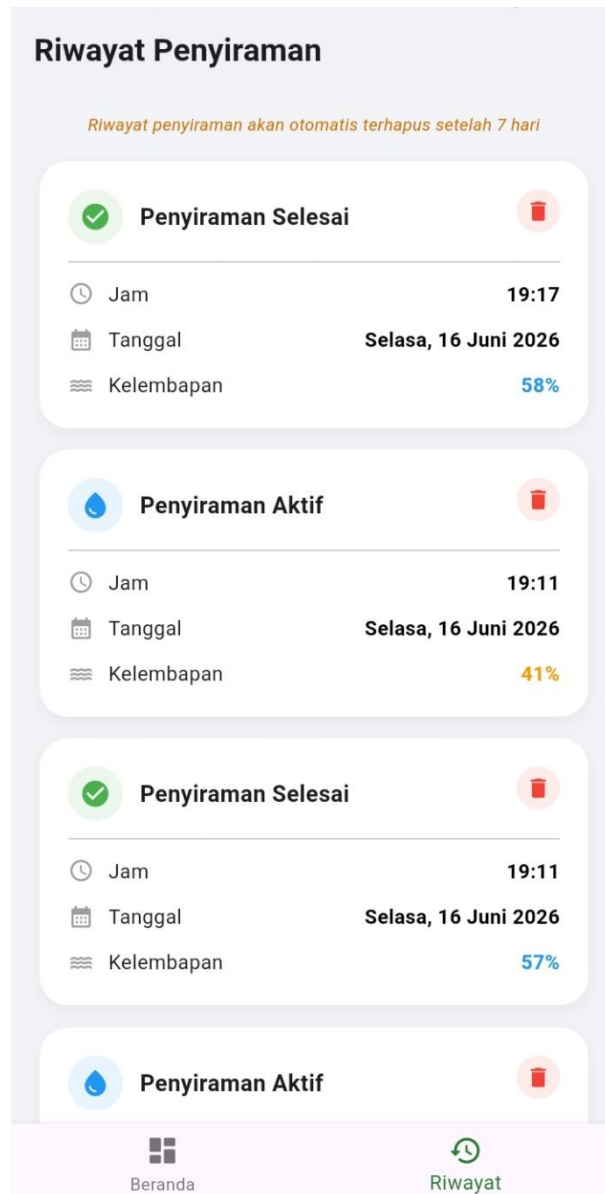
4) Halaman Statistik



Gambar 4.8 Halaman Statistik
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.8 menunjukkan halaman statistik yang menampilkan grafik perubahan nilai kelembapan media tanam (rockwool). Grafik diperoleh dari data yang tersimpan pada Firebase sehingga pengguna dapat memantau perubahan kelembapan selama sistem beroperasi.

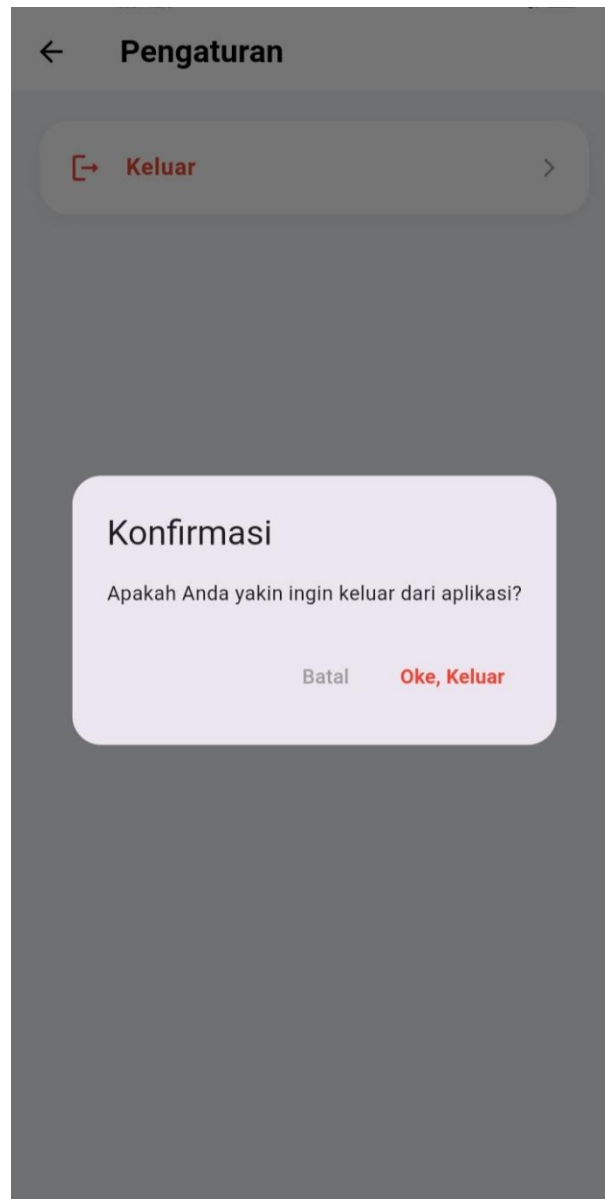
5) Halaman Riwayat Penyiraman



Gambar 4.9 Halaman Riwayat Penyiraman
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.9 menunjukkan halaman riwayat penyiraman yang berisi informasi mengenai aktivitas penyiraman yang telah dilakukan oleh sistem. Data yang ditampilkan meliputi waktu penyiraman, nilai kelembapan media tanam, dan status penyiraman. Informasi tersebut diperoleh dari node history pada Firebase Realtime Database.

6) Halaman Pengaturan



Gambar 4.10 Halaman Pengaturan
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.10 menunjukkan halaman pengaturan yang digunakan untuk mengelola akun pengguna dan melakukan proses keluar (*logout*) dari aplikasi. Halaman ini juga menyediakan beberapa pengaturan dasar yang berkaitan dengan penggunaan aplikasi.

4.3.2 Implementasi Alat



Gambar 4.11 Implementasi Alat Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Gambar 4.11 menunjukkan hasil implementasi alat sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) yang diterapkan pada budidaya selada hidroponik menggunakan media tanam rockwool. Sistem dipasang pada instalasi hidroponik berbahan pipa PVC, dengan sumber air yang berasal dari bak penampungan di bagian bawah instalasi. Air dialirkan menggunakan pompa SOARFLY Submersible 100W/6000L melalui pipa PVC menuju media tanam sehingga proses penyiraman dapat dilakukan secara otomatis maupun manual sesuai dengan mode operasi yang dipilih.

Seluruh komponen elektronik, seperti ESP32, modul relay 1 channel, adaptor 5V 2A, serta rangkaian pendukung lainnya ditempatkan di dalam box panel yang dipasang pada rangka instalasi hidroponik. Penggunaan box panel bertujuan untuk melindungi komponen elektronik dari debu, percikan air, dan pengaruh lingkungan selama sistem beroperasi. Selain itu, stopkontak dipasang di dekat box panel sebagai sumber distribusi daya untuk rangkaian kontrol dan pompa air sehingga proses instalasi menjadi lebih rapi dan mudah dalam perawatan.

Sensor Capacitive Soil Moisture dipasang pada bagian tengah media tanam (rockwool) agar dapat membaca tingkat kelembapan secara lebih akurat. Data kelembapan yang diperoleh sensor dikirim ke ESP32 untuk diproses sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengendalikan pompa air. Apabila nilai kelembapan berada di bawah batas yang telah ditentukan, ESP32 akan mengaktifkan relay sehingga pompa menyala dan mengalirkan air ke media tanam. Sebaliknya, ketika kelembapan telah mencapai batas atas, relay akan memutus aliran listrik ke pompa sehingga proses penyiraman berhenti secara otomatis.

Selama sistem beroperasi, ESP32 juga mengirimkan data kelembapan media tanam, status pompa, dan mode operasi ke Firebase Realtime Database melalui jaringan WiFi. Data tersebut kemudian ditampilkan pada aplikasi mobile sehingga pengguna dapat memantau kondisi media tanam (rockwool), mengetahui status pompa, serta mengendalikan sistem dari jarak jauh secara real-time. Berdasarkan hasil implementasi, seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing dan saling terintegrasi dengan baik, sehingga sistem irigasi pintar mampu menjalankan proses monitoring dan penyiraman otomatis sesuai dengan perancangan yang telah dibuat pada BAB III.

4.4 Pengujian dan Evaluasi Sistem serta Alat

Pengujian dan evaluasi sistem serta alat dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian sensor *Capacitive Soil Moisture* sebagai komponen utama dalam membaca kelembapan media tanam (rockwool), kemudian dilanjutkan dengan pengujian sistem penyiraman otomatis selama tujuh hari. Seluruh hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam melakukan monitoring kelembapan media tanam, mengendalikan pompa air secara otomatis, serta mengirimkan data ke aplikasi mobile melalui Firebase Realtime Database secara *real-time*. Hasil dari pengujian tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan.

4.4.1 Pengujian Sensor Capacitive Soil Moisture

Pengujian sensor Capacitive Soil Moisture dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca tingkat kelembapan media tanam (rockwool). Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa kondisi kelembapan pada media tanam, yaitu kondisi basah, lembap, dan kering. Nilai analog (ADC) yang dibaca sensor kemudian dikonversi menjadi persentase kelembapan menggunakan program yang telah ditanamkan pada ESP32. Hasil pembacaan sensor selanjutnya dibandingkan dengan kondisi sebenarnya untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan data yang akurat dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses penyiraman otomatis.

Tabel 4.3 Pengujian Sensor Capacitive Soil Moisture

No	Kondisi Rockwool	Nilai ADC	Persentase Kelembapan	Keterangan
1	Basah	1200	100%	Media sangat basah
2	Lembap	1720	74%	Media lembap
3	Lembap	2150	53%	Kondisi ideal
4	Agak Kering	2480	40%	Media mulai kering
5	Kering	3200	0%	Media kering

Berdasarkan Tabel 4.3 Pengujian Sensor *Capacitive Soil Moisture*, sensor mampu membaca tingkat kelembapan media tanam (rockwool) dengan baik pada berbagai kondisi. Semakin basah media tanam, nilai ADC yang dihasilkan semakin kecil dan persentase kelembapan semakin tinggi. Sebaliknya, ketika media tanam semakin kering, nilai ADC meningkat dan persentase kelembapan menurun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor bekerja sesuai dengan hasil kalibrasi sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam mengendalikan proses penyiraman otomatis pada sistem.

4.4.2 Pengujian Sistem Otomatis

Tabel 4.4 Pengujian Sistem Otomatis Selama 7 Hari

No	Tanggal	Waktu ON	Kelembapan Awal	Waktu OFF	Kelembapan Akhir	Durasi
1.	20 Mei 2026	07:08	44%	07:17	57%	9 menit
	20 Mei 2026	12:05	47%	12:15	59%	10 menit
	20 Mei 2026	19:26	48%	19:32	60%	6 menit
2.	21 Mei 2026	07:00	45%	07:15	63%	15 menit
	21 Mei 2026	12:04	41%	12:20	59%	16 menit
	21 Mei 2026	19:30	46%	19:38	59%	8 menit
3.	22 Mei 2026	07:05	49%	07:14	59%	9 menit
	22 Mei 2026	12:10	38%	12:23	61%	13 menit
	22 Mei 2026	19:16	44%	19:26	58%	10 menit
4.	23 Mei 2026	07:11	49%	07:18	61%	7 menit
	23 Mei 2026	12:07	42%	12:20	63%	13 menit
	23 Mei 2026	19:34	49%	19:40	58%	6 menit
5.	24 Mei 2026	07:08	47%	07:15	59%	7 menit
	24 Mei 2026	12:07	43%	12:22	60%	15 menit
	24 Mei 2026	19:07	42%	19:15	57%	8 menit
6.	25 Mei 2026	07:10	35%	07:20	58%	10 menit
	25 Mei 2026	12:14	40%	12:28	57%	14 menit
	25 Mei 2026	19:25	45%	19:34	59%	9 menit
7.	26 Mei 2026	07:06	44%	07:14	62%	8 menit
	26 Mei 2026	12:09	42%	12:22	58%	13 menit
	26 Mei 2026	19:24	46%	19:30	57%	6 menit

Tabel 4.5 Total Durasi Operasi Pompa pada Mode Otomatis Selama 7 Hari

No	Tanggal	Total Durasi
1.	20 Mei 2026	$9 + 10 + 6 = 25$ menit
2.	21 Mei 2026	$15 + 16 + 8 = 39$ menit
3.	22 Mei 2026	$9 + 13 + 10 = 32$ menit
4.	23 Mei 2026	$7 + 13 + 6 = 26$ menit
5.	24 Mei 2026	$7 + 15 + 8 = 30$ menit
6.	25 Mei 2026	$10 + 14 + 9 = 33$ menit
7.	26 Mei 2026	$8 + 13 + 6 = 27$ menit
Total		212 menit = 3,53 jam

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Selama pengujian selama tujuh hari, diperoleh total waktu operasi pompa pada mode otomatis sebesar 212 menit atau sekitar 3,53 jam. Lama operasi pompa setiap hari bervariasi, yaitu antara 25 hingga 39 menit, bergantung pada tingkat kelembapan media tanam (rockwool) yang terbaca oleh sensor. Pada mode otomatis, ESP32 mengendalikan pompa berdasarkan nilai kelembapan media tanam. Pompa akan menyala ketika persentase kelembapan berada di bawah 50% dan akan terus bekerja hingga kelembapan mencapai lebih dari 56%. Setelah pompa berhenti, sistem tetap memantau kondisi media tanam secara berkala. Apabila kelembapan kembali turun di bawah 50%, pompa akan menyala kembali secara otomatis sehingga proses penyiraman berlangsung sesuai kebutuhan tanaman.

Perbedaan durasi operasi pompa setiap hari menunjukkan bahwa kebutuhan air pada media tanam tidak selalu sama. Perubahan kondisi lingkungan, seperti suhu dan proses penguapan, memengaruhi kecepatan penurunan kelembapan media tanam sehingga waktu penyiraman yang dibutuhkan juga berbeda. Meskipun demikian, sistem mampu merespons setiap perubahan kelembapan dengan baik sehingga media tanam tetap berada pada rentang kelembapan yang telah ditentukan. Selama pengujian berlangsung, seluruh komponen sistem, yaitu sensor *Capacitive Soil Moisture*, ESP32, relay, pompa air, Firebase Realtime Database, dan aplikasi mobile, bekerja secara terintegrasi. Data kelembapan dan status pompa berhasil dikirim ke Firebase dan ditampilkan pada aplikasi mobile secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan penyiraman secara otomatis sesuai dengan logika pengendalian yang telah dirancang. Dengan demikian, sistem irigasi pintar berbasis IoT dapat menjaga kelembapan media tanam (rockwool) tetap berada pada kondisi yang diinginkan serta membantu proses budidaya selada hidroponik menjadi lebih efektif dan efisien.

4.4.3 Evaluasi Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat pada BAB III. Sensor *Capacitive Soil Moisture* dapat membaca tingkat kelembapan media tanam (rockwool) dengan baik dan menghasilkan data yang digunakan oleh ESP32 sebagai acuan dalam mengendalikan proses penyiraman secara otomatis. Selain itu, data kelembapan, status pompa, dan mode operasi berhasil dikirim ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan pada aplikasi mobile secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dengan mudah.

Hasil pengujian sistem otomatis selama tujuh hari menunjukkan bahwa mekanisme pengendalian pompa telah berjalan sesuai dengan logika yang telah diprogram. Pompa hanya aktif ketika kelembapan media tanam berada di bawah 50% dan akan berhenti setelah kelembapan mencapai lebih dari 56%. Penerapan dua batas kelembapan tersebut mampu menjaga kondisi media tanam tetap berada pada rentang yang diinginkan sekaligus mengurangi frekuensi pompa menyala dan mati secara berulang (*switching*), sehingga sistem bekerja lebih stabil.

Perbedaan durasi penyiraman yang terjadi setiap hari menunjukkan bahwa kebutuhan air pada media tanam tidak selalu sama. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti suhu dan proses penguapan, yang menyebabkan kelembapan media tanam menurun dengan kecepatan yang berbeda. Meskipun demikian, sistem mampu menyesuaikan waktu operasi pompa berdasarkan hasil pembacaan sensor sehingga penyiraman dilakukan sesuai dengan kondisi media tanam pada saat itu.

Selama proses pengujian, seluruh komponen sistem, yaitu sensor *Capacitive Soil Moisture*, ESP32, relay, pompa air, Firebase Realtime Database, dan aplikasi mobile, dapat bekerja secara terintegrasi tanpa mengalami kendala yang berarti. Berdasarkan data pengujian, total waktu operasi pompa selama tujuh hari adalah 212 menit atau sekitar 3,53 jam, yang menunjukkan bahwa pompa hanya bekerja ketika diperlukan dan tidak beroperasi secara terus-menerus. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengoptimalkan waktu operasi pompa sehingga proses penyiraman menjadi lebih efisien.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu mampu melakukan monitoring kelembapan media tanam (rockwool), mengendalikan proses penyiraman secara otomatis berdasarkan batas kelembapan yang telah ditentukan, serta menyajikan informasi kepada pengguna melalui aplikasi mobile secara *real-time*. Dengan demikian, sistem irigasi pintar berbasis IoT yang dikembangkan layak diterapkan pada budidaya selada hidroponik dan dapat membantu pengguna dalam melakukan penyiraman secara lebih efektif, efisien, dan terkontrol.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dirancang dan dibangun untuk mengatur penyiraman tanaman selada hidroponik secara otomatis dan lebih efisien. Sistem memanfaatkan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor kelembapan media tanam (rockwool), serta relay untuk mengendalikan pompa air sesuai dengan nilai kelembapan yang telah ditentukan.

Sensor kelembapan yang digunakan mampu memantau kondisi media tanam secara real-time dan memberikan data yang akurat sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman. Ketika kelembapan berada di bawah batas minimum, pompa akan menyala secara otomatis, kemudian berhenti setelah kelembapan mencapai batas yang telah ditetapkan. Mekanisme ini menjaga kelembapan media tanam tetap berada pada kisaran ideal sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien.

Selain itu, sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh melalui aplikasi mobile berhasil diimplementasikan dengan baik menggunakan Firebase sebagai media komunikasi data. Pengguna dapat memantau nilai kelembapan, status pompa, serta memilih mode otomatis maupun manual secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh komponen sistem dapat bekerja secara stabil, responsif, dan sesuai dengan fungsi yang dirancang sehingga sistem layak diterapkan sebagai solusi irigasi pintar pada budidaya selada hidroponik.

5.2 Saran

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan sensor suhu dan kelembapan udara sehingga kondisi lingkungan tanaman tidak hanya dipantau dari kelembapan media tanam (rockwool), tetapi juga dari kondisi udara di sekitar tanaman. Penambahan sensor tersebut diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih lengkap dalam proses monitoring budidaya selada hidroponik. Selain itu, sistem masih bergantung pada sumber listrik utama sehingga ketika terjadi pemadaman listrik proses monitoring dan penyiraman akan berhenti sementara. Oleh karena itu, pada pengembangan berikutnya disarankan untuk menambahkan Uninterruptible Power Supply (UPS) atau sumber daya cadangan lainnya agar sistem tetap dapat beroperasi meskipun terjadi gangguan pasokan listrik. Pengembangan juga dapat dilakukan pada aplikasi mobile dengan menambahkan fitur notifikasi otomatis ketika kelembapan media tanam berada di bawah batas minimum atau saat pompa mulai bekerja. Selain itu, penyajian data dalam bentuk grafik riwayat kelembapan dan penyiraman dapat ditambahkan sehingga pengguna lebih mudah memantau perubahan kondisi media tanam dalam jangka waktu tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Farisi, M., Nugroho, A., & Santoso, B. (2024). IoT-based automatic irrigation system to reduce water consumption in leafy vegetable cultivation. *International Journal of Agricultural Engineering*.
- Derafi, R., Ullah, A., Maria, P. S., & Faizal, A. (2024). Pemantauan Kelembapan dan Pengendalian Suhu Serta Pemberian Nutrisi Selada di Prototype Greenhouse dengan Nutrient Film Technique Berbasis IoT. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 8(3). DOI: 10.30865/mib.v8i3.7674.
- Design and Build an IoT System for Monitoring and Automation of Irrigation in Agriculture. (2025). *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications (JAIEA)*.
- Design of an Automatic Watering System for Hydroponic Plants Using IoT Based Solar Panels. (2024). *Journal of Sustainable Agricultural Engineering*.
- Design of an IoT-Based Smart Irrigation System Using Soil Moisture Sensors for Water Efficiency. (2024). *Journal of Internet of Things in Agriculture*.
- DFRobot. (2022). Capacitive Soil Moisture Sensor SKU SEN0193 User Guide. DFRobot Official Documentation.
- Espressif Systems. (2023). ESP32 Series Datasheet. Espressif Systems Inc.
- FAO. (2022). Water Use Efficiency in Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Millati, F. A. M., Sari, A. P., & Nadirco, D. G. (2025). Prototype of Hydroponic Lettuce Cultivation: IoT-Based Automatic Irrigation System for Growth Enhancement and Sustainability. *International Journal of Smart Agriculture*, 4(2), 115–128.
- Panjaitan, R. A. (2024). Prototype Sistem Pemberian Nutrisi Otomatis pada Tanaman Hidroponik Selada dengan Wick System Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika Terapan*, 8(1), 55–64.
- Pratama, A., dkk. (2022). Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT pada Tanaman Hidroponik. *Jurnal Teknologi Pertanian*.
- Rahmawati, S., dkk. (2023). Monitoring dan Kontrol Irigasi Hidroponik Menggunakan Sensor Kelembapan Berbasis Internet of Things. *Jurnal Sistem Cerdas*.

- Smart Sprout: Irigasi Cerdas Berbasis AIoT untuk Pertanian Modern dan Ramah Lingkungan. (2024). *bit-Tech: Jurnal Teknologi dan Inovasi*, 7(2), 434–444.
- Transforming Hydroponics with IoT for Sustainable Water Management. (2024). *Indonesian Journal of Law and Economics Review*, 19(4), 213–229.
- Utilization of the Internet of Things in Monitoring Hydroponic Lettuce Cultivation. (2025). *Bumigora Information Technology Journal (BITe)*, 3(1), 98–112.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode Program Arduino IDE

```
1)  #include <WiFi.h>
2)  #include <Firebase_ESP_Client.h>
3)  #include <addons/TokenHelper.h>
4)  #include <addons/RTDBHelper.h>
5)
6)  // ===== KONFIGURASI WIFI =====
7)  #define WIFI_SSID      "Sengamponga majer"
8)  #define WIFI_PASSWORD "123456789B"
9)
10) // ===== KONFIGURASI FIREBASE =====
11) #define DATABASE_URL    "https://sigesit-48741-default-
rtdb.firebaseio.com"
12) #define DATABASE_SECRET
"eaUKMEaqkEdhqUfPoMjdkxLkX0ay7R3W7luQIDrQ"
13)
14) // ===== KONFIGURASI PIN =====
15) const int SENSOR_PIN = 34;
16) const int RELAY_PIN  = 25;
17)
18) // ===== KALIBRASI SENSOR =====
19) const int SOIL_DRY = 3200;
20) const int SOIL_WET = 1200;
21)
22) // ===== FIREBASE OBJECT =====
23) FirebaseData fbdo;
24) FirebaseAuth auth;
25) FirebaseConfig config;
26)
27) // ===== VARIABEL KONTROL =====
28) unsigned long prevMillis = 0;
29) const long INTERVAL = 3000; // Update setiap 3 detik
30)
31) bool isManual = false;
32) int pumpStatus = 0;
33)
34) // Untuk mendeteksi perubahan status pompa
35) bool lastPumpState = false;
36)
37) void setup() {
38)
39)     Serial.begin(115200);
40)     delay(1000);
41)
42)     Serial.println("\n--- SISTEM SIGESIT DIMULAI ---");
43)
44)     pinMode(SENSOR_PIN, INPUT);
45)     pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
46)
47)     // Relay OFF saat awal
48)     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
49)
50)     // ===== KONEKSI WIFI =====
```

```

51)   WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
52)
53)   Serial.print("Menghubungkan ke WiFi: ");
54)   Serial.println(WIFI_SSID);
55)
56)   int timeout = 0;
57)
58)   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && timeout < 20) {
59)
60)       delay(500);
61)       Serial.print(".");
62)       timeout++;
63)   }
64)
65)   if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
66)
67)       Serial.println("\n[OK] WiFi Terhubung!");
68)       Serial.print("IP Address: ");
69)       Serial.println(WiFi.localIP());
70)
71)   } else {
72)
73)       Serial.println("\n[GAGAL] WiFi tidak terhubung!");
74)   }
75)
76)   // ===== FIREBASE =====
77)   config.database_url = DATABASE_URL;
78)   config.signer.tokens.legacy_token = DATABASE_SECRET;
79)
80)   Firebase.reconnectWiFi(true);
81)   Firebase.begin(&config, &auth);
82)
83)   configTime(0, 0, "pool.ntp.org");
84)
85)   Serial.println("[OK] Firebase Siap!");
86) }
87)
88) void loop() {
89)
90)     if (Firebase.ready()) {
91)
92)         // =====
93)         // A. KONTROL RESPONSIVE DARI FIREBASE
94)         // =====
95)
96)         if (Firebase.RTDB.getBool(&fbdo, "/sensor/is_manual")) {
97)
98)             isManual = fbdo.to<bool>();
99)         }
100)
101)         if (isManual) {
102)
103)             if (Firebase.RTDB.getInt(&fbdo, "/sensor/pump_status"))
104)             {
105)

```

```

106)
107)         digitalWrite(
108)             RELAY_PIN,
109)             (pumpStatus == 1) ? LOW : HIGH
110)         );
111)     }
112) }
113)
114) // =====
115) // B. PEMBACAAN SENSOR
116) // =====
117)
118) unsigned long currentMillis = millis();
119)
120) if (currentMillis - prevMillis >= INTERVAL) {
121)
122)     prevMillis = currentMillis;
123)
124)     int nilaiADC = analogRead(SENSOR_PIN);
125)
126)     int soilPercent = map(
127)         nilaiADC,
128)         SOIL_DRY,
129)         SOIL_WET,
130)         0,
131)         100
132)     );
133)
134)     soilPercent = constrain(soilPercent, 0, 100);
135)
136) // =====
137) // C. MODE OTOMATIS POMPA
138) // =====
139)
140) if (!isManual) {
141)
142)     if (soilPercent < 50) {
143)
144)         digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
145)         pumpStatus = 1;
146)
147)     } else if (soilPercent > 56) {
148)
149)         digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
150)         pumpStatus = 0;
151)     }
152) }
153)
154) // =====
155) // D. SERIAL MONITOR
156) // =====
157)
158) Serial.print("Kelembaban: ");
159) Serial.print(soilPercent);
160) Serial.print("% | ");
161)

```

```

162) Serial.print("Pompa: ");
163) Serial.print(pumpStatus == 1 ? "NYALA" : "MATI");
164)
165) Serial.print(" | Mode: ");
166) Serial.println(isManual ? "MANUAL" : "OTOMATIS");
167)
168) // =====
169) // E. UPDATE REALTIME KE FIREBASE
170) // =====
171)
172) FirebaseJson json;
173)
174) json.set("soil_percent", soilPercent);
175) json.set("pump_status", pumpStatus);
176) json.set("is_manual", isManual);
177)
178) if (!Firebase.RTDB.updateNode(&fbdo, "/sensor", &json))
179) {
180)     Serial.print("Gagal Update Firebase: ");
181)     Serial.println(fbdo.errorReason());
182) }
183)
184) // =====
185) // F. RIWAYAT PENYIRAMAN
186) // =====
187)
188) // ===== POMPA MENYALA =====
189) if (pumpStatus == 1 && !lastPumpState) {
190)
191)     FirebaseJson history;
192)
193)     history.set("timestamp/.sv", "timestamp");
194)     history.set("value", soilPercent);
195)     history.set("pump", "Penyiraman Aktif");
196)
197)     if (Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo, "/history",
&history)) {
198)
199)         Serial.println(">>> Penyiraman Aktif");
200)
201)     } else {
202)
203)         Serial.print("Gagal Simpan Riwayat: ");
204)         Serial.println(fbdo.errorReason());
205)     }
206) }
207)
208) // ===== POMPA MATI =====
209) if (pumpStatus == 0 && lastPumpState) {
210)
211)     FirebaseJson history;
212)
213)     history.set("timestamp/.sv", "timestamp");
214)     history.set("value", soilPercent);
215)     history.set("pump", "Penyiraman Selesai");

```

```

216)
217)         if (Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo, "/history",
&history)) {
218)
219)             Serial.println(">>> Penyiraman Selesai");
220)
221)         } else {
222)
223)             Serial.print("Gagal Simpan Riwayat: ");
224)             Serial.println(fbdo.errorReason());
225)         }
226)     }
227)
228)     // Simpan status pompa sebelumnya
229)     lastPumpState = (pumpStatus == 1);
230) }
231)
232) } else {
233)
234)     static unsigned long lastError = 0;
235)
236)     if (millis() - lastError > 5000) {
237)
238)         lastError = millis();
239)         Serial.println("Menunggu Firebase Ready...");
240)     }
241) }
242)
243) // =====
244) // AUTO RECONNECT WIFI
245) // =====
246)
247) if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
248)
249)     WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
250) }
251) }

```