PERANCANGAN SISTEM IRIGASI CERDAS PADA TANAMAN HIAS BERBASIS *INTERNET OF THINGS*



Disusun Oleh:

N a m a : Dzikri Muhammad Jumadil

NIM : 21523057

PROGRAM STUDI INFORMATIKA – PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PERANCANGAN SISTEM IRIGASI CERDAS PADA TANAMAN HIAS BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

N a m a	: Dzikri Muhammad Jumadil
NIM	: 21523057

Yogyakarta, 23 Juli 2025

Pembimbing,



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

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PERANCANGAN SISTEM IRIGASI CERDAS PADA TANAMAN HIAS BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

TUGAS AKHIR

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

Yogyakarta, 1 Agustus 2025

Tim Penguji

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

Anggota 1

Dr. Ahmad Luthfi, S.Kom., M.Kom. _____

Anggota 2

Moh. Idris, S.Kom., M.Kom. _____

Mengetahui,

Ketua Program Studi Informatika – Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

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

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dzikri Muhammad Jumadil

NIM : 21523057

Tugas akhir dengan judul:

PERANCANGAN SISTEM IRIGASI CERDAS PADA TANAMAN HIAS BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

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

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

Yogyakarta, 23 Juli 2025



(Dzikri Muhammad Jumadil)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Dengan penuh rasa hormat dan cinta, penulis mempersembahkan karya ini kepada Ayahanda tercinta Alfiandri, Pintu surgaku Ibunda Yossian Yacob, dan ketiga Kakak saya Fadhil Muhammad Ramadhan, Dzaky Muhammad Dzulhijj, dan Almira Nur Amalia yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang yang tak ternilai, kepada keluarga besar yang turut memberi semangat dalam setiap Langkah, serta kepada diri sendiri atas perjuangan, kesabaran, dan dedikasi dalam menyelesaikan proses ini. Ucapan terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada dosen pembimbing, Bapak Kurniawan Dwi Irianto, S.T., M.Sc., atas segala arahan, bimbingan, dan dukungannya selama proses penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih juga kepada seluruh dosen dan staf Program Studi Informatika Universitas Islam Indonesia atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan, serta kepada teman-teman seperjuangan yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan ini. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan menjadi langkah awal menuju masa depan yang lebih baik.

HALAMAN MOTO

“Ilmu tanpa amal adalah sia-sia, amal tanpa ilmu adalah kesesatan.”
- Imam Ghazali

Maybe not today, maybe not tomorrow, and maybe not the next month, but only one things is true, I will be champion one day, I promise. – Brandon Moreno.

لَا يُكَلِّفُ ٱللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."
QS. Al-Baqarah: 286

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya yang tiada henti, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "PERANCANGAN SISTEM IRIGASI CERDAS PADA TANAMAN HIAS BERBASIS *INTERNET OF THINGS*". Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Informatika.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, saya menyadari bahwa tanpa dukungan, bimbingan, arahan yang diberikan dari berbagai pihak, tugas akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih dengan penuh rasa hormat, kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan kekuatan dan kemudahan dalam setiap langkah saya.
2. Kedua orang tua Ayah (Alfiandri), Bunda (Yossian Yacob) Kakak (Fadhil Muhammad Ramadhan, Dzaky Muhammad Dzulhijj dan, Almira Nur Amalia). saya yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat secara tulus.
3. Bapak Kurniawan Dwi Irianto, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, kesabaran, dan arahan yang sangat berarti selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Raden Teduh Dirgahayu, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Informatika Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Informatika.
6. Seluruh dosen dan staf Program Studi Informatika yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman seperjuangan dan seluruh pihak yang telah memberikan semangat, bantuan, serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Saya menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saya sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang.

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya. Semoga Allah SWT senantiasa meridhai setiap usaha kita. Aamiin.

Wassalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 23 Juli 2025



(Dzikri Muhammad Jumadil)

SARI

Penelitian ini merancang dan membangun sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau kelembapan tanah secara langsung dan mengaktifkan pompa air secara otomatis ketika nilai kelembapan berada di bawah ambang batas. Latar belakang dari pengembangan sistem ini adalah rendahnya efisiensi metode penyiraman manual, yang sering menyebabkan tanaman kekurangan atau kelebihan air. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32, *Capasitive soil moisture* sensor, sensor suhu dan kelembapan DHT22, serta pompa air mini sebagai aktuator. Data dari sensor dikirim ke platform Firebase dan ditampilkan secara *real-time* melalui antarmuka *website*. Proses perancangan mengikuti pendekatan *Human Centered Design* (HCD), dengan melibatkan pengguna dalam tahap identifikasi kebutuhan dan evaluasi akhir. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja dengan baik dan mampu menjaga kelembapan tanah secara stabil, terutama untuk tanaman hias tropis *indoor* seperti *Aglaonema*, *Calathea*, dan *Monstera*. Beberapa keterbatasan sistem di antaranya adalah ketergantungan terhadap koneksi Wi-Fi dan sumber daya listrik yang stabil.

Kata kunci: *Internet of Things*, Kelembapan tanah, ESP32, Firebase, Sistem penyiraman otomatis, Desain berbasis pengguna.

GLOSARIUM

Mikrokontroler	Unit pemroses kecil yang berfungsi mengatur dan mengendalikan sistem otomatisasi dengan menerima data dari sensor serta memberikan instruksi ke perangkat lain.
ESP32	Mikrokontroler dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth yang digunakan sebagai pusat kendali sistem dan media komunikasi data ke server.
Capacitive Soil Moisture Sensor	Sensor kelembapan tanah yang mampu mengukur kadar air tanpa mengalami korosi seperti sensor konvensional.
DHT22	Sensor digital yang mengukur suhu dan kelembapan udara dengan tingkat akurasi yang tinggi.
Pompa Air Mini	Perangkat penyiram otomatis yang diaktifkan berdasarkan nilai kelembapan tanah untuk menjaga kebutuhan air tanaman.
Relay	Komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar otomatis, digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik ke pompa.
Firebase	Layanan cloud dari Google yang berfungsi menyimpan, memantau, dan menampilkan data sensor secara daring dan waktu nyata.
Wi-Fi	Teknologi jaringan nirkabel yang menghubungkan sistem dengan internet untuk keperluan pengiriman data ke server.
Real-time	Proses pemantauan dan respons sistem yang terjadi secara langsung tanpa jeda waktu signifikan.
LCD 16x2 I2C	Modul tampilan data dengan dua baris dan 16 kolom karakter yang digunakan untuk menampilkan informasi sistem.
Arduino IDE	Perangkat lunak yang digunakan untuk menulis dan mengunggah program ke mikrokontroler.
Antarmuka Web	Tampilan berbasis web yang menyajikan data sensor serta kontrol sistem kepada pengguna secara online.
IoT (*Internet of Things*)	Konsep integrasi perangkat fisik dengan internet, memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh.
Human Centered Design (HCD)	Pendekatan desain yang menekankan pada kebutuhan dan pengalaman pengguna dalam pengembangan sistem.

Analog-to-Digital Converter (ADC)	Fitur yang mengubah sinyal analog dari sensor menjadi data digital agar bisa dibaca mikrokontroler.
Threshold (Ambang Batas)	Nilai acuan kelembapan tanah yang menjadi penentu kapan pompa aktif atau nonaktif.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
HALAMAN MOTO vi
KATA PENGANTAR vii
SARI ix
GLOSARIUM x
DAFTAR ISI xii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR GAMBAR xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Metodologi Penelitian 4
1.7 Sistematika Penelitian 5
BAB II LANDASAN TEORI 7
2.1 Internet of Things (IoT) 7
2.2 Irigasi Otomatis 7
2.3 Human-Centered Design (HCD) 8
2.4 Kelembapan Tanah 10
2.5 Suhu 10
2.6 Esp32 10
2.7 Capacitive Soil Moisture 11
2.8 Digital Humidity and Temperature 22 12
2.9 Relay 2-Channel 13
2.10 Pompa Air 13

2.11 LCD Display 16x2 dengan Modal 12C 14
2.12 Step Down Converter 15
2.13 *Printed Circuit Board* (PCB) 15
2.14 *Website Application* (Aplikasi Berbasis Web) 16
2.15 Firebase *Realtime Database* 16
2.16 Kajian Literatur 17
BAB III METODE PENELITIAN 23
3.1 Inspiration 23
3.1.1 Pengumpulan Data dan Informasi 24
3.1.2 Analisis Kebutuhan Sistem 27
3.2 *Ideation* (Merancang Solusi) 28
3.2.1 Gambaran Umum Sistem 28
3.2.2 Kebutuhan Perangkat Keras 29
3.2.3 Alat dan Bahan Pendukung 29
3.2.4 Perancangan *Flowchart* 30
3.2.5 Perancangan Rangkaian Alat 32
3.2.6 Algoritma Kerja Sistem 34
3.2.7 Perancangan *Website* 35
3.3 Implementation 35
3.3.1 Pembuatan *Website* 36
3.3.2 Pembuatan Alat 36
3.3.3 Pengujian 37
3.3.4 Evaluasi 39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 40
4.1 Implementasi Perangkat Keras (*Hardware*) 40
4.1.1 Konfigurasi Sensor 40
4.1.2 Konfigurasi Pompa 41
4.1.3 Konfigurasi LCD 42
4.1.4 Konfigurasi Ambang Batas 42
4.2 Sintaks Program 44
4.3 Implementasi *Website* Monitoring dan Kontrol 53
4.4 Spesifikasi Tanaman Uji dan Tanaman yang Direkomendasikan 67
4.5 Pengujian 68
4.5.1 Pengujian Fungsionalitas Komponen 68

4.5.2 Pengujian Penyiraman Otomatis 68
4.5.3 Pengujian pada Aplikasi Web dan LCD 69
4.5.4 Uji Coba oleh Pengguna dan Hasil Wawancara 70
4.6 Evaluasi 76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 77
5.1 Kesimpulan 77
5.2 Saran 77
DAFTAR PUSTAKA 79

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Literatur 17
Tabel 3. 1 Daftar Pertanyaan Wawancara Awal 24
Tabel 3. 2 hasil wawancara 25
Tabel 3. 3 Komponen Alat 30
Tabel 3. 4 Indikator Pengujian Komponen 37
Tabel 3. 5 Indikator Pengujian Penyiraman Otomatis 37
Tabel 3. 6 Hasil Pengujian Sinkronisasi Data 38
Tabel 3. 7 Daftar Pertanyaan Responden Setelah Pengujian Alat 38
Tabel 3. 8 Hasil Kalibrasi Manual 43
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Fungsionalitas Komponen 68
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis 69
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sinkronisasi Data 70
Tabel 4. 4 Hasil Umpan Balik Sebelum & Sesudah Penggunaan Alat 71
Tabel 4. 5 Hasil Umpan Balik Responden Baru 73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Metode *Human Centerd Design* 9
Gambar 2. 2 Esp32 10
Gambar 2. 3 *Capacitive Soil* 11
Gambar 2. 4 *Digital Humidity and Temperature* 22 (DHT 22) 12
Gambar 2. 5 *Relay* 2-Channel 13
Gambar 2. 6 Pompa Air 13
Gambar 2. 7 LCD (*Liquid Crystal Display*) 14
Gambar 2. 8 *Step-down converter* 15
Gambar 2. 9 *Printed Circuit Board* (PCB) 15
Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian 23
Gambar 3. 2 kegiatan wawancara 25
Gambar 3. 3 Gambaran Umum Sistem 28
Gambar 3. 4 *Flowchart* 31
Gambar 3. 5 rangkaian alat 32
Gambar 4. 1 Tampilan Rangkaian Alat Hasil Implementasi 40
Gambar 4. 2 Konfigurasi Gabungan Sensor Kelembapan Tanah dan DHT22 41
Gambar 4. 3 Konfigurasi Pompa dan Modul *Relay* 41
Gambar 4. 4 Konfigurasi LCD 16x2 I2C 42
Gambar 4. 5 Sintaks Inisialisasi Library, Koneksi Firebase, dan Definisi Pin 45
Gambar 4. 6 Inisialisasi DHT dan LCD serta konfigurasi firebase 45
Gambar 4. 7 Deklarasi Variabel Global dan Status Sistem pada Fungsi `loop()` 46
Gambar 4. 8 Proses Inisialisasi Sistem pada Fungsi setup() 48
Gambar 4. 9 Sintaks Perulangan Utama pada Fungsi `loop()` 50
Gambar 4. 10 Fungsi `tampilLCD()` 51
Gambar 4. 11 Diagram Alur Fungsi `kontrolPompaOtomatis()` 52
Gambar 4. 12 Tampilan Antarmuka *Website* Pemantauan 53
Gambar 4. 13 Index.Html 56
Gambar 4. 14 grafik.html 60
Gambar 4. 15 JavaScript 64
Gambar 4. 16 CSS 66
Gambar 4. 17 Pengujian Sinkronisasi Data pada *Website* dan LCD 70

Gambar 4. 18 Kegiatan Pengujian Alat 71

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara tropis dikenal memiliki kekayaan keanekaragaman hayati yang luar biasa, baik dari segi flora maupun fauna. Berada di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki iklim yang mendukung pertumbuhan berbagai jenis tanaman, termasuk tanaman hias yang menjadi salah satu sumber daya alam unggulan. Tanaman hias dapat didefinisikan sebagai segala jenis tanaman yang memiliki nilai estetika pada berbagai bagiannya, seperti bunga, batang, tajuk, cabang, daun, akar, atau bahkan aroma yang memberikan kesan keindahan atau seni. Selain fungsi artistiknya, keberadaan tanaman hias juga memberikan manfaat yang dapat dirasakan oleh manusia, baik secara individu maupun dalam konteks sosial (Warisman et al., 2023)

Teknologi merupakan aspek yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia di era modern. Hampir seluruh aktivitas manusia kini melibatkan penggunaan teknologi yang telah mengalami perkembangan sangat pesat. Dengan adanya kemajuan teknologi yang canggih tersebut, manusia masa kini dapat menyelesaikan berbagai pekerjaan dengan lebih mudah dan efisien (Faisal Tamimi & Siti Munawaroh, 2024). Perkembangan teknologi seiring dengan kemajuan zaman merupakan hal yang tidak dapat dihindari dalam kehidupan manusia, karena keduanya berjalan beriringan dengan perkembangan ilmu pengetahuan. Dalam dunia pendidikan, teknologi memiliki peran yang signifikan terhadap penyebaran ilmu pengetahuan. Melalui pembelajaran dan implementasi dengan adanya dukungan teknologi, manusia mampu menerapkan pengetahuan tersebut dalam kehidupan nyata (Habsy et al., 2024).

Internet of Things (IoT) adalah salah satu kemajuan teknologi terpenting yang mengubah cara perangkat elektronik menjadi terhubung dan terkelola. IoT menghubungkan perangkat fisik dan objek sehari-hari yang dilengkapi dengan sensor, komponen elektronik, serta konektivitas internet. memungkinkan pertukaran data yang cepat dan efisien, dan memberi kita kemampuan untuk mengontrol dan memantau perangkat elektronik dari jarak jauh yang membuatnya lebih mudah bagi kita untuk mengatur kehidupan sehari-hari (Hutabarat, 2024). Salah satu tantangan terbesar dalam kemajuan teknologi yaitu minimnya pembaharuan teknologi dalam pemanfaatan irigasi otomatis. Menurut (Anugrah et al., 2021a), Irigasi otomatis merupakan suatu usaha mengalirkan air secara otomatis dengan membuat sebuah

sistem pengaliran atau saluran yang memanfaatkan kemajuan teknologi berbasis IoT secara teratur untuk mengalirkan air.

Di dalam kehidupan sehari-hari, banyak faktor yang mempengaruhi kesuksesan dalam merawat tanaman salah satunya ialah memberikan asupan air yang cukup untuk tanaman. Walaupun hal ini merupakan perkerjaan yang sederhana tapi ini juga kegiatan yang membutuhkan tenaga dan waktu yang besar serta konsistensi volume air dalam penyiraman tanaman memerlukan volume yang konsisten untuk mengindari terjadinya penyiraman berlebihan atau kurangnya penyiraman pada tanaman (Anugrah et al., 2021a). Ketidakseimbangan dalam penyediaan air, baik kekurangan maupun kelebihan, dapat mengganggu metabolisme tanaman yang pada akhirnya memengaruhi kesehatan dan pertumbuhannya (Andika et al., 2022). Beberapa tanaman hias bahkan dikenal sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, terutama pada kelembapan tanah yang harus dijaga secara konsisten. Oleh karena itu, dibutuhkan cara yang lebih efektif dan efisien melalui pemanfaatan irigasi otomatis berbasis IoT yang mampu memantau kondisi tanah secara *real-time*.

Dalam penelitian ini digunakan *Capacitive Soil Moisture Sensor* yang berfungsi untuk mengukur tingkat kelembapan media tanam secara *real-time*, sehingga sistem dapat melakukan penyiraman otomatis sesuai kebutuhan tanaman. Teknologi ini menawarkan solusi yang efisien dalam menjaga kesehatan tanaman tanpa intervensi manual yang konstan. Dengan menerapkan sistem irigasi pintar berbasis IoT, penyiraman dapat dilakukan secara otomatis berdasarkan data dari sensor kelembapan tanah, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan air dan menjaga kualitas pertumbuhan tanaman (Al Bayani et al., 2024).

Untuk meningkatkan efisiensi dalam merawat tanaman hias, dikembangkan prototipe sistem penyiraman otomatis berbasis IoT yang memanfaatkan *Capacitive Soil Moisture Sensor* untuk memantau kondisi media tanam secara *real-time* . Ketika kelembaban tanah terdeteksi di bawah ambang batas tertentu, sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air untuk menyiram tanaman. Sebaliknya, jika kelembaban masih mencukupi, sistem hanya mengirimkan informasi kondisi tanah ke *database* yang terhubung dengan antarmuka pengguna berbasis web tanpa melakukan penyiraman. Dengan ini, dilakukannya perancangan *user experience website* monitoring dengan menggunakan pendekatan *Human Centered Design* (HCD) versi IDEO. Pendekatan ini merupakan salah satu pengembangan untuk membuat *design* solusi yang berdampak bagi pengguna (Hakim et al., 2022).

Website ini akan terhubung dengan sistem yang menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor kelembaban tanah dan modul komunikasi nirkabel, serta bergantung pada

koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan data ke server *database* . Dengan demikian, pengguna hanya dapat memantau kondisi tanah dan mengakses informasi sistem melalui web saat perangkat memiliki akses ke jaringan internet. Data kelembapan tanah dikirim dan disimpan secara otomatis ke dalam *database* , dan dapat diakses untuk memantau kondisi secara *real-time*. Dengan demikian, pendekatan ini diharapkan dapat menjadi lebih praktis dan efisien, terutama bagi mereka yang memiliki keterbatasan waktu atau sering bepergian.

Meskipun teknologi IoT semakin berkembang, penerapannya pada sistem irigasi otomatis di Indonesia masih terbatas, khususnya untuk tanaman hias yang membutuhkan perawatan intensif. Sebagian besar masyarakat masih melakukan penyiraman secara manual, yang berisiko menyebabkan ketidakseimbangan kebutuhan air dan kurang efisien dari segi waktu maupun tenaga. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menghadirkan sistem irigasi cerdas yang tidak hanya membantu menjaga kualitas dan keberlangsungan tanaman hias, tetapi juga mendukung efisiensi penggunaan air, mempermudah perawatan bagi pengguna yang memiliki keterbatasan waktu, serta berkontribusi dalam inovasi teknologi hortikultura di era digital.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bagaimana merancang dan membangun sistem penyiraman otomatis berbasis IoT yang mampu memantau kelembapan tanah secara *real-time* untuk tanaman hias?
b. Sejauh mana penerapan pendekatan *Human Centered Design* (HCD) dapat meningkatkan kenyamanan dan kemudahan pengguna

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Penelitian difokuskan pada perawatan tanaman hias tropis indoor yang membutuhkan kelembapan tanah stabil, seperti Janda Bolong (*Monstera deliciosa*), Sri Rejeki (*Aglaonema*), dan Meranti Sepat (*Calathea*).
b. Sistem hanya menggunakan Sensor Capacitive Soil Moisture untuk mendeteksi kelembapan tanah, sedangkan sensor DHT22 digunakan hanya untuk memantau suhu dan kelembapan udara tanpa memengaruhi penyiraman otomatis.
c. Uji coba sistem hanya dilakukan dalam skala kecil menggunakan tanaman hias

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Untuk merancang dan membangun sistem penyiraman otomatis berbasis IoT yang dapat memantau kelembapan tanah secara *real-time* pada tanaman hias guna meningkatkan efisiensi perawatan dan penggunaan air.
b. Untuk menerapkan pendekatan *Human Centered Design* (HCD) dalam pengembangan antarmuka web monitoring, sehingga dapat meningkatkan kenyamanan, kemudahan, dan pengalaman pengguna dalam mengakses informasi kondisi tanaman.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Manfaat penelitian bagi masyarakat
    1. Memberikan solusi praktis dalam perawatan tanaman hias melalui sistem penyiraman otomatis yang efisien, khususnya bagi individu dengan kesibukan tinggi atau yang sering bepergian.
    2. Menyediakan akses informasi yang mudah melalui antarmuka web, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi tanaman dari jarak jauh menggunakan perangkat digital.
b. Manfaat penelitian bagi peneliti
    1. Memberikan pengalaman langsung dalam pengembangan sistem berbasis mikrokontroler (ESP32), sensor, dan integrasi dengan platform *cloud* seperti *Firebase.*
    2. Memberikan kontribusi ilmiah dan teknis yang dapat dijadikan referensi atau dasar pengembangan lebih lanjut dalam penelitian serupa pada bidang otomasi, pertanian cerdas (*smart farming*), dan desain sistem monitoring.

1.6 Metodologi Penelitian

Berikut ini merupakan tahapan dalam penelitian:

a. Identifikasi Masalah

    Tahap awal yang dilakukan peneliti ialah melakukan identfikasi masalah untuk mengetahui kebutuhan sistem yang dibuat.
b. Gambaran Sistem

Tahap kedua yang dilakukan peneliti ialah menjelaskan mengenai alat dan sistem yang dirancang dan bagaimana cara kerjanya.

c. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap ketiga yang dilakukan peneliti ialah menjelaskan apa saja yang diperlukan untuk merancang sistem ini.

d. Perancangan Alat dan Sistem

Tahap keempat yang dilakukan peneliti ialah merancang alat seperti mikrokontroler, *relay*, sensor lalu digabungkan dengan rancangan program yang sudah dibuat.

e. Pengujian Sistem

Tahap kelima yang dilakukan peneliti ialah melakukan pengujian alat dan sistem yang telah dirancang.

f. Evaluasi

Tahap keenam yang dilakukan peneliti ialah melakukan evaluasi terhadap rancangan yang telah dibuat serta mengetahui apa saja kekurangan pada sistem.

1.7 Sistematika Penelitian

Penelitian ini disusun menjadi lima bab yang mencakup berbagai aspek penelitian:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Berisi penjelasan mengenai teori-teori yang mendasari penelitian ini, termasuk konsep (IoT), irigasi otomatis, dan sensor kelembapan tanah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, termasuk desain sistem, alat dan bahan yang digunakan, serta langkah-langkah eksperimen.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dari pengembangan dan uji coba sistem irigasi pintar yang telah dirancang serta pembahasan mengenai implikasi hasil tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Menyimpulkan hasil penelitian dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut serta penerapan sistem di skala yang lebih besar.

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui internet, memungkinkan mereka untuk berkomunikasi dan bertukar data secara *real-time*. Dalam konteks penyiraman tanaman, IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan seperti kelembapan tanah, suhu, dan intensitas cahaya secara efisien (Walid et al., 2022) Dengan integrasi sensor dan aktuator, sistem penyiraman otomatis dapat diimplementasikan untuk memastikan tanaman menerima jumlah air yang tepat sesuai kebutuhannya. Misalnya, sensor kelembapan tanah dapat mendeteksi tingkat kekeringan dan mengirim data ke mikrokontroler yang terhubung ke internet. Berdasarkan data tersebut, sistem dapat mengaktifkan pompa air secara otomatis dan pengguna bisa melakukan monitoring melalui *website*.

Pendekatan ini meningkatkan efisiensi penggunaan air dan memastikan kesehatan tanaman terjaga. Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT menggunakan mikrokontroler seperti Esp32 yang terintegrasi dengan sensor kelembapan tanah dan *website* untuk memantau kondisi tanaman secara *real-time* (Bajiel Rifaat et al., 2024). Implementasi IoT dalam penyiraman tanaman tidak hanya mempermudah perawatan, tetapi juga mengoptimalkan penggunaan sumber daya air dan meningkatkan produktivitas tanaman.

2.2 Irigasi Otomatis

Irigasi otomatis adalah sistem penyiraman yang menggunakan teknologi untuk mengatur distribusi air ke tanaman secara otomatis tanpa perlu intervensi manual. Sistem ini dirancang untuk memberikan air dalam jumlah yang tepat dan pada waktu yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Teknologi yang digunakan pada irigasi otomatis mencakup sensor kelembapan tanah, *timer*, aktuator, dan mikrokontroler yang terintegrasi dalam jaringan IoT. Sensor kelembapan tanah, misalnya, berfungsi mendeteksi tingkat kelembapan tanah dan mengirimkan data ke sistem kontrol. Berdasarkan data tersebut, sistem akan mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air untuk menyiram tanaman (Anugrah et al., 2021a)

Irigasi otomatis yang dikembangkan diarahkan untuk memenuhi kebutuhan spesifik tanaman hias. Tanaman hias memerlukan perhatian khusus dalam hal penyiraman karena kelebihan atau kekurangan air dapat memengaruhi keindahan dan kesehatannya (Setya Diningrat et al., 2024). Sistem irigasi otomatis dirancang untuk memastikan penyiraman yang konsisten, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan tanaman hias. Selain itu, sistem ini juga menawarkan kemudahan bagi pemilik tanaman, terutama bagi mereka yang memiliki keterbatasan waktu untuk menyiram secara manual (Hasibuan, 2023).

Keunggulan irigasi otomatis dibandingkan metode manual meliputi efisiensi waktu dan air, kemudahan pengoperasian, dan kemampuan untuk mengintegrasikan data lingkungan, seperti kondisi cuaca dan kelembapan tanah, dalam proses penyiraman. Dengan dukungan teknologi IoT, sistem ini juga memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui *website*, sehingga memberikan fleksibilitas lebih bagi pengguna. Dalam jangka panjang, irigasi otomatis tidak hanya mendukung perawatan tanaman hias secara optimal, tetapi juga membantu mengurangi konsumsi air secara signifikan (Hasibuan, 2023).

Beberapa penelitian telah mengkaji efektivitas sistem irigasi otomatis berbasis IoT. Misalnya, penelitian oleh (Nadizf et al., 2021) mengembangkan sistem penyiraman otomatis untuk tanaman hias menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang terhubung dengan aplikasi *mobile*, memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol penyiraman dari jarak jauh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat sesuai kebutuhannya.

Selain itu, penelitian oleh (Purnama Putra & Munandar, 2022) menerapkan metode prototipe dalam sistem penyiraman otomatis berbasis IoT untuk tanaman hias, yang dapat menentukan jadwal penyiraman berdasarkan kondisi lingkungan dan kebutuhan spesifik tanaman. Implementasi sistem ini terbukti efektif dalam mengoptimalkan penggunaan air dan menjaga kesehatan tanaman hias. Dengan demikian, integrasi teknologi IoT dalam sistem irigasi otomatis menawarkan solusi yang efektif dan efisien untuk perawatan tanaman hias, mengatasi keterbatasan metode manual, dan memastikan tanaman mendapatkan perawatan yang optimal sesuai kebutuhannya.

2.3 Human-Centered Design (HCD)

Human-Centered Design (HCD) adalah pendekatan desain yang berfokus pada kebutuhan, preferensi, dan keterbatasan melibatkan pengguna agar dapat meningkatkan

efektivitas, efisiensi, dan meningkatkan kepuasan pengguna (Novi et al., 2021). Dalam pengembangan sistem irigasi pintar berbasis IoT, HCD memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna, mudah digunakan, dan efektif dalam meningkatkan produktivitas pengguna.

Dalam penelitian ini, HCD yang digunakan adalah *Human Centered Design* versi IDEO, sebagaimana diperkenalkan dalam *Field Guide to Human-Centered Design* oleh IDEO.org (2015). Model HCD IDEO terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu:

1. *Inspiration* (Inspirasi)

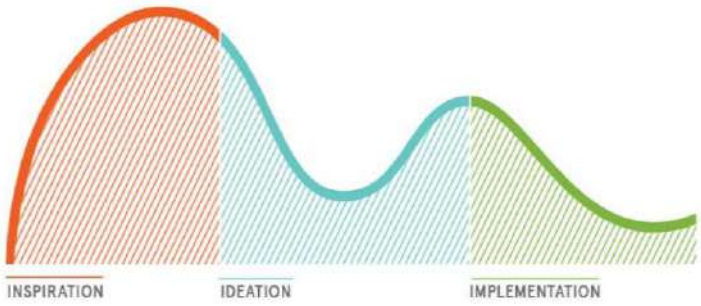
   Tahapan ini bertujuan untuk memahami secara mendalam permasalahan yang dihadapi oleh pengguna, termasuk apa yang mereka butuhkan dan berbagai kendala yang menghambat mereka. Melalui proses observasi dan wawancara, peneliti dapat memperoleh wawasan yang berguna dalam memberikan solusi yang tepat sasaran.

2. *Ideation* (Ideasi)

   Pada fase ini, kreativitas menjadi unsur utama. Peneliti dituntut untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan solusi tanpa terikat oleh batasan atau hambatan yang ada. Proses pencarian solusi dilakukan secara fleksibel dan eksploratif, dengan tujuan menghasilkan ide-ide inovatif yang dapat menjawab permasalahan yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya.

3. *Implementation* (Implementasi)

   Ini merupakan tahap realisasi dari solusi yang telah dirancang. Akan mendapatkan validasi dari pengguna untuk tahap akhir serta desain yang tepat guna menghasilkan produk pengguna di dunia nyata. Dengan pembaruan yang telah diterapkan, pengembang tetap mengamati masukan yang diberikan sebagai umpan balik untuk mendapatkan solusi dari masalah pengguna (Setiadi & Setiaji, n.d.).



Gambar 2. 1 Metode *Human Centerd Design*

Sumber: Setiadi & Setiaji (2020)

2.4 Kelembapan Tanah

Tanah merupakan media tumbuh bagi tanaman, karena tanah menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Sinar matahari yang mengenai tanah menyebabkan terjadinya evapotranspirasi, peningkatan suhu tanah dan mengurangi kelembaban tanah yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Kelembaban tanah yang baik membuat tanah menjadi memiliki ruang pori yang cukup sehingga sirkulasi udara di dalam tanah dapat berjalan dengan baik Kelembaban tanah optimum sangat penting untuk meningkatkan produksi tanaman dan produktivitas air (Thoriq et al., 2022)

2.5 Suhu

Suhu adalah ukuran tingkat panas atau dinginnya suatu benda yang dinyatakan melalui skala tertentu. Pengukuran suhu biasanya dilakukan dengan alat yang disebut termometer, dan satuan yang umum digunakan adalah derajat Celsius (°C) (Hidayat, 2021).

Peningkatan suhu tanah dapat menyebabkan penurunan kelembaban tanah secara signifikan. Kondisi ini berdampak negatif terhadap ketersediaan air di dalam tanah, yang sangat dibutuhkan oleh tanaman untuk proses fotosintesis dan pertumbuhan. Ketika suhu tanah terlalu tinggi dan kelembaban menurun, akar tanaman kesulitan menyerap air dan nutrisi secara optimal. Akibatnya, pertumbuhan tanaman menjadi terhambat, daun bisa mengalami layu, dan produktivitas tanaman pun menurun. Oleh karena itu, menjaga suhu dan kelembaban tanah tetap stabil merupakan faktor penting dalam budidaya tanaman yang sehat dan berkelanjutan (Thoriq et al., 2022b)

2.6 Esp32



Gambar 2. 2 Esp32

Sumber:(Gunawan & Adi Putra, 2025)

ESP32 adalah penerus dari ESP8266 yang menawarkan berbagai peningkatan di berbagai aspek. Selain mendukung konektivitas WiFi, ESP32 juga dilengkapi dengan *Bluetooth Low Energy*, menjadikannya lebih fleksibel dalam berbagai aplikasi. Meskipun CPU ESP32 menggunakan Xtensa LX6 dengan arsitektur 32-bit, seperti pada ESP8266, ESP32 memiliki keunggulan berupa inti ganda (*dual-core*). Selain itu, ESP32 dilengkapi dengan ROM sebesar 128KB, SRAM 416KB, dan *Flash Memory* 64MB untuk penyimpanan program dan data (Prafanto et al., 2021a)

Memiliki fungsi sebagai mikrokontroler utama yang terhubung ke jaringan internet melalui Wi-Fi. ESP32 digunakan untuk mengontrol sensor kelembapan tanah dan pompa air berdasarkan data kelembapan yang diterima. Selain koneksi Wi-Fi, ESP32 juga memiliki performa yang lebih baik dan mendukung lebih banyak pin *input/output* (I/O), sehingga digunakan untuk proyek *Internet of Things* (IoT) yang memerlukan konsistensi tinggi dalam komunikasi data dan kecepatan pemrosesan data (Prafanto et al., 2021b).

2.7 Capacitive Soil Moisture



Gambar 2. 3 *Capacitive Soil*
Sumber: (Hardiwiguna & Nugraha, 2024)

Sensor kelembaban tanah kapasitif bekerja berdasarkan prinsip kapasitansi, yaitu kemampuan dua elektroda pada sensor untuk menyimpan muatan listrik. Kapasitansi ini dipengaruhi oleh permitivitas dielektrik medium di antara elektroda, yang dalam hal ini adalah tanah. Karena air memiliki permitivitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan udara maupun partikel tanah, maka semakin tinggi kadar air di dalam tanah, semakin besar pula nilai kapasitansinya. Dengan demikian, perubahan kadar air tanah dapat terdeteksi melalui perubahan kapasitansi yang kemudian dikonversi menjadi sinyal tegangan. Hal ini membuat sensor kapasitif mampu memberikan pembacaan kelembaban tanah yang lebih stabil dibandingkan sensor resistif (Hardiwiguna & Nugraha, 2024)

Berfungsi untuk mengukur kelembapan tanah menggunakan prinsip kapasitansi, di mana kapasitansi sensor berubah berdasarkan kadar air di tanah. Ketika tanah lebih basah, kapasitansi meningkat, dan ketika tanah lebih kering, kapasitansi menurun. Tidak seperti sensor resistif, sensor kapasitif tidak memiliki elektroda terbuka yang langsung bersentuhan dengan tanah, sehingga lebih tahan terhadap korosi dan lebih awet untuk penggunaan jangka panjang. Sensor ini ideal untuk sistem irigasi otomatis berbasis IoT karena memberikan data kelembapan tanah yang akurat dan stabil, memungkinkan pengguna untuk menjaga kondisi tanah agar tetap sesuai dengan kebutuhan tanaman secara otomatis.

2.8 Digital Humidity and Temperature 22



Gambar 2. 4 *Digital Humidity and Temperature* 22 (DHT 22)
Sumber: (Mustianto et al., 2023)

Sensor suhu dan kelembapan udara atau *Digital Humidity and Temperature* 22 (DHT22) berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan relatif di udara. Sensor ini terdiri dari elemen sensor kelembapan kapasitif dan termistor untuk mengukur suhu. Berbeda dengan sensor kelembapan tanah, DHT22 mengambil data dari lingkungan udara di sekitarnya. Sensor ini menghasilkan sinyal digital yang sudah terkalibrasi, sehingga data suhu dan kelembapan dapat dibaca langsung oleh mikrokontroler tanpa memerlukan konversi analog ke digital. Keunggulan sensor ini adalah akurasinya yang lebih tinggi dibandingkan dengan versi DHT11, menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk pengukuran lingkungan yang memerlukan data yang lebih presisi. Sensor ini juga dikenal dengan ketersediaan dan harganya yang terjangkau (A. Hidayat & Dharma Yudha, 2025).

2.9 Relay 2-Channel



Gambar 2. 5 *Relay* 2-Channel
Sumber: (Kusumawati & Inggi, 2022)

Relay merupakan sebuah sakelar elektronik yang mengontrol pompa air berdasarkan sinyal dari ESP32. *Relay* memungkinkan ESP32 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air secara otomatis. *Relay* Terhubung ke ESP32 dan pompa air untuk mengendalikan aliran daya ke pompa (Rahmatina et al., 2023).

2.10 Pompa Air

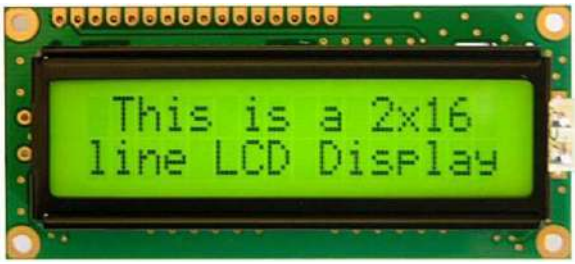


Gambar 2. 6 Pompa Air
Sumber: (Ariansyah & Sariman, 2021)

Pompa air merupakan jenis pompa yang menggunakan motor dc dan tegangan searah sebagai sumber tenaganya. Dengan memberikan beda tegangan pada kedua terminal tersebut, motor akan berputar satu arah, dan bila polaritas dari tegangan tersebut dibalik maka arah putaran motor akan terbalik juga. Polaritas dari tegangan yang diberikan pada dua terminal menentukan putaran motor, sedangkan besar dari beda tegangan pada kedua terminal menentukan kecepatan. Gaya elektromagnetik akan muncul pada motor DC saat terdapat arus yang mengalir pada penghantar medan magnet. Medan magnet itu ditimbulkan oleh megnet permanen (Syahlan, 2022).

Pompa air merupakan komponen aktuator yang berfungsi untuk mengalirkan air ke tanaman secara otomatis ketika kelembapan tanah terdeteksi berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Dalam sistem penyiraman otomatis, pompa ini diaktifkan berdasarkan sinyal dari mikrokontroler (seperti ESP32) melalui perantara *relay*. Pompa akan menyala dan menyiram tanaman hanya saat diperlukan, sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien. Untuk operasionalnya, pompa mendapatkan sumber daya dari baterai eksternal atau adaptor, dan bekerja secara otomatis tanpa perlu intervensi manual, menjadikannya bagian penting dalam sistem pertanian berbasis teknologi.

2.11 LCD Display 16x2 dengan Modal 12C



Gambar 2. 7 LCD (*Liquid Crystal Display*)
Sumber: (Mustianto et al., 2023)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah jenis tampilan elektronik yang memanfaatkan teknologi CMOS logic. Berbeda dengan layar yang menghasilkan cahaya, LCD memantulkan cahaya dari sekitarnya atau mentransmisikan cahaya dari belakang. LCD digunakan untuk menampilkan data berupa karakter, angka, atau grafik. LCD 16x2 bekerja dengan lapisan kristal cair yang diletakkan di antara dua lempeng kaca yang dilengkapi elektroda logam transparan. Ketika tegangan diterapkan pada elektroda, molekul kristal cair akan menyusun diri sehingga cahaya yang mengenainya diserap, membentuk tampilan yang diinginkan (Mindasari & Meilantika, 2022). Berfungsi untuk menampilkan data kelembapan tanah secara langsung, sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanah tanpa perlu membuka *website.*

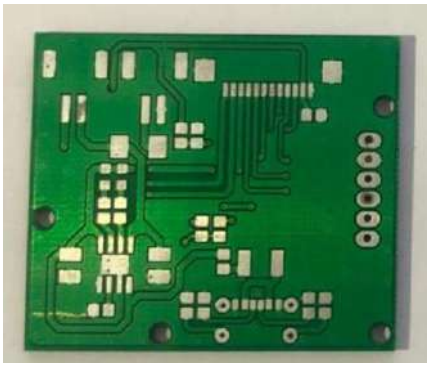
2.12 Step Down Converter



Gambar 2. 8 *Step-down converter*
Sumber: (Kusumawati & Inggi, 2022)

Step-down converter berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sumber daya listrik (*power supply*) agar sesuai dengan kebutuhan input pada modul volt ampere meter. Dengan kata lain, modul ini berperan sebagai penyesuai tegangan sehingga tegangan yang masuk ke alat ukur tidak melebihi batas toleransi yang dapat diterima oleh modul tersebut, sehingga perangkat dapat bekerja dengan aman dan akurat (Kamil et al., 2024).

2.13 *Printed Circuit Board* (PCB)



Gambar 2. 9 *Printed Circuit Board* (PCB)
Sumber: (Octowinandi et al., 2024)

Printed Circuit Board (PCB) memiliki peran krusial dalam dunia elektronik, berfungsi sebagai fondasi atau media utama untuk menopang serta menghubungkan berbagai komponen lainnya. Secara definisi, PCB adalah serangkaian jalur konduktif yang terbuat dari material

seperti tembaga, yang diukir pada sebuah papan sirkuit. Jalur-jalur ini berperan sebagai penghubung elektrik antar komponen elektronik, memungkinkan sirkuit berfungsi sebagaimana mestinya (Pangestu et al., 2025).

2.14 *Website Application* (Aplikasi Berbasis Web)

Aplikasi berbasis web adalah antarmuka pengguna (*user interface*) yang dirancang untuk memberikan kemudahan dalam melakukan monitoring dan pengendalian sistem irigasi otomatis dari jarak jauh. Aplikasi Berbasis Web ini diakses melalui *browser* pada perangkat seperti laptop, tablet, maupun ponsel pintar tanpa perlu melakukan instalasi aplikasi tambahan (Iqbal Prabu Juliantoro, 2024).

Dalam pengembangan aplikasi web ini digunakan beberapa teknologi utama, yaitu:

1. HTML (*HyperText Markup Language*) sebagai bahasa *markup* yang digunakan untuk membangun struktur dasar halaman web, seperti teks, tombol, dan elemen-elemen tampilan lainnya.
2. CSS (*Cascading Style Sheets*) untuk mengatur tata letak dan tampilan visual halaman web agar lebih menarik, terstruktur, dan responsif di berbagai ukuran layar.
3. JavaScript, yaitu bahasa pemrograman yang digunakan untuk membuat halaman web menjadi interaktif. JavaScript mengatur bagaimana data dari Firebase ditampilkan ke pengguna dan bagaimana pengguna dapat mengirim perintah ke sistem, seperti mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air.

Aplikasi berbasis web ini dirancang agar dapat menampilkan data kelembapan tanah secara *Real-time*, memberikan status pompa air (menyala atau mati), serta menyediakan kontrol manual penyiraman jika dibutuhkan. Pengguna cukup membuka halaman web melalui *browser* untuk memantau kondisi tanaman dan mengontrol sistem, menjadikan proses lebih efisien dan fleksibel.

2.15 Firebase *Realtime Database*

Firebase *Realtime Database* adalah layanan basis data berbasis cloud yang disediakan oleh Google, yang memungkinkan penyimpanan dan sinkronisasi data secara *Real-time* antara perangkat dan server (Fahrezi et al., 2024). Dalam sistem irigasi otomatis ini, Firebase berfungsi sebagai penghubung antara perangkat mikrokontroler (ESP32) dan antarmuka web. Firebase digunakan untuk beberapa fungsi utama, antara lain:

1. Menyimpan data dari sensor kelembapan tanah yang dikirim oleh mikrokontroler ESP32.

2. Menyimpan status pompa air (*ON*/*OFF*).
3. Mengizinkan aplikasi web untuk membaca dan memperbarui data secara *Real-time* tanpa harus melakukan *refresh* halaman secara manual.
4. Menyediakan komunikasi dua arah secara langsung (*Real-time*) antara sistem fisik dan pengguna.

Dengan menggunakan Firebase, sistem ini dapat bekerja secara dinamis. Ketika sensor mendeteksi kelembapan tanah di bawah ambang batas, data tersebut langsung dikirim ke Firebase. Aplikasi berbasis web yang terhubung ke Firebase akan segera memperbarui tampilan dan, jika diinginkan, pengguna dapat langsung mengirim perintah penyiraman kembali melalui Firebase. Firebase juga mempermudah pengelolaan data karena memiliki fitur otentikasi, histori data, dan keamanan yang dapat diatur sesuai kebutuhan sistem.

2.16 Kajian Literatur

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

No	Nama/tahun	Judul	Metode	Hasil
1	(Edi Anugrah, Muhammad Hasbi, Musfirah dan Putri Lukman, 2021)	Penerapan sistem monitoring dan kendali pintar untuk tanaman terung berbasis *Internet of Things* dengan metode penyiraman irigasi tetes.	Metode yang digunakan oleh penulis adalah metode prototyping, dengan melakukan analisis kebutuhan alat, perancangan sistem monitoring dan kendali pintar untuk tanaman terung, serta membangun prototipe mekanik dan prototipe aplikasi Android yang diuji secara langsung menggunakan data primer dari sensor-sensor yang digunakan.	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring dan kendali pintar untuk tanaman terung berbasis IoT dengan metode penyiraman irigasi tetes berhasil dibuat dan diuji. Sistem dapat mendeteksi kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban udara menggunakan sensor Soil Moisture FC-28 dan DHT11, serta mengirimkan data tersebut ke LCD, aplikasi Blynk, dan Thingspeak *Database* . Pompa air akan aktif secara otomatis jika kelembaban tanah di bawah 50% dan mati saat kelembaban tanah mencapai 60% atau lebih, serta dapat memantau data secara *Real-time* melalui aplikasi. Selain itu, sistem ini mendukung

				monitoring pertumbuhan tanaman terung di berbagai ketinggian dan tidak dipengaruhi oleh kelembaban udara sekitar.
2	(Fathurrohman, Tio Prasetiya, lin, dan Mulyawam, 2024)	Sistem monitoring penyiraman otomatis berbasis *IoT* menggunakan *soil moisture* pada tanaman melon.	Metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Penelitian ini fokus pada pengembangan dan pembuatan alat penyiraman otomatis untuk tanaman melon menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)*. Alat ini memanfaatkan beberapa sensor (kelembaban tanah, pH air, suhu, dan kelembaban udara) yang terhubung ke NodeMCU ESP8266, Arduino, serta aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring berbasis *smartphone*. Selain itu, penelitian ini menggunakan pendekatan *waterfall* dalam tahapan implementasinya, yang terdiri dari: analisis hasil, desain (*hardware* dan *software*), perakitan sistem, pengujian, dan evaluasi kinerja sistem.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis untuk tanaman melon dapat memantau dan mengatur kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, dan pH air secara otomatis dan *Real-time* . Sistem ini secara otomatis menghidupkan pompa saat kondisi tanah kering (nilai ADC > 900) dan mematikannya ketika kelembaban tanah sudah mencapai batas normal (nilai ADC < 800). Data monitoring dapat dilihat melalui LCD dan aplikasi Blynk pada *smartphone*. Selama pengujian 5 hari, sistem ini mampu mendeteksi perubahan kelembaban tanah dan pH air dengan baik, serta meningkatkan efisiensi penyiraman tanaman melon.

3	(April Firman Daru, Whisnumurti Adhiwibowo, dan Alauddin Maulana Hirzan, 2021)	Model pemantauan kelembapan dan irigasi sawah otomatis berbasiskan *Internet of Things*.	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen**.** Peneliti merancang dan membangun model pemantau kelembaban dan irigasi otomatis menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)*. Perangkat yang digunakan antara lain NodeMCU ESP8266, sensor kelembaban tanah (*Soil Moisture* FC-28), *relay*, pompa air mini, dan LCD. Model ini diprogram melalui Arduino IDE untuk membaca kelembaban tanah dan mengaktifkan/mematikan pompa air secara otomatis. Data monitoring dikirim ke aplikasi Blynk untuk pemantauan *Real-time* . Pengujian dilakukan dengan simulasi selama 24 jam penuh, di mana sensor mengambil data setiap menit.	Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil memantau dan mengatur kelembaban tanah sawah secara otomatis. Selama 24 jam, sistem berhasil mempertahankan kelembaban tanah pada kisaran rata-rata 66,8%. Pompa air aktif penuh dua kali untuk kondisi tanah kering, aktif rendah sebanyak 961 kali untuk menjaga kelembaban, dan mati 476 kali ketika tanah sudah cukup lembab atau basah. Data Moisture (%) dan Relative Humidity memiliki korelasi yang sangat tinggi (r=1), menunjukkan akurasi dan keandalan sistem. Hasil ini membuktikan bahwa model dapat membantu petani dalam mengurangi beban kerja manual pengairan sawah dan meningkatkan efisiensi pengelolaan air.
4	(Geraldi Rhamadhany dan Noni Juliasari. 2023)	Rancangan bangun prototipe sistem monitoring pemupukan dan penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things*.	Penelitian ini menggunakan metode prototipe. Penulis melakukan studi literatur dan lapangan, serta pengumpulan data melalui wawancara, observasi, dan tinjauan pustaka. Kemudian, dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe sistem otomatis berbasis *IoT* menggunakan NodeMCU ESP32, sensor kelembaban tanah, sensor suhu dan kelembaban (DHT22), serta sensor pH tanah. Alat ini diuji di lingkungan nyata dan datanya dikirim ke web server untuk monitoring *Real-time* .	Hasil menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik dan sesuai dengan perencanaan. Sensor kelembaban tanah secara otomatis mengaktifkan pompa air saat kelembaban tanah <70% dan mematikan pompa saat kelembaban sudah optimal. Sistem pemupukan otomatis menyala saat sensor pH mendeteksi nilai pH tanah pada batas tertentu. Semua data sensor dapat dimonitor secara *Real-time* melalui *website*. Pengujian alat

				membuktikan bahwa semua sensor (kelembaban, suhu, pH) dan pompa berfungsi dengan baik, mendukung keberhasilan penyiraman dan pemupukan otomatis.
5	(Ananda, Arsianti, Mulyadi, Faddllhulah, Pradana, Harto, dan Rudy, 2021)	Sistem irigasi otomatis pada tanaman hias berbasis *Internet of Things*	Penelitian ini menggunakan pendekatan prototipe untuk membangun sistem irigasi otomatis pada tanaman hias *Monstrea adansonii*. Sistem ini dilengkapi dengan NodeMCU ESP8266, sensor kelembaban tanah (*soil moisture* sensor), sensor suhu dan kelembaban (DHT22), serta pompa air. Data kelembaban dan suhu lingkungan dikirimkan ke smartphone melalui aplikasi Blynk. Ketika sensor membaca kelembaban tanah di bawah nilai setpoint 57%, *relay* akan aktif untuk menyalakan pompa air secara otomatis. Penelitian ini dilakukan melalui uji coba selama 40 hari dengan dua kelompok: tanaman dengan intervensi sistem otomatis dan tanaman kontrol (disiram manual).	Hasil menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis bekerja dengan baik dan akurat. Sensor kelembaban tanah dan DHT22 memiliki akurasi tinggi dengan error rata-rata hanya 0.003%. Sistem irigasi otomatis aktif pada hari ke-10 ketika kelembaban tanah turun ke 57%. Tanaman yang mendapatkan intervensi sistem otomatis mengalami pertumbuhan tunas dan batang yang lebih baik dibandingkan tanaman kontrol. Secara keseluruhan, sistem ini mampu mengoptimalkan penggunaan air dan memudahkan perawatan tanaman, terutama di daerah dengan pasokan air terbatas, serta memungkinkan pemantauan jarak jauh oleh petani atau penghobi tanaman.

Penelitian yang sedang dijalani memiliki beberapa perbedaan signifikan dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang dirangkum pada Tabel Perbandingan. Penelitian

pertama oleh (Anugerah et al., 2021) menggunakan NodeMCU V3 sebagai pengendali utama dengan sensor *Soil Moisture* FC-28 dan DHT11 untuk monitoring kelembapan tanah, suhu, dan kelembaban udara. Data ditampilkan di LCD dan aplikasi Blynk, dengan sistem irigasi yang aktif saat kelembaban tanah <50% dan mati di ≥60%.

Penelitian kedua oleh (Fathurohman et al., 2024) menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor *Soil Moisture* untuk memantau kelembaban tanah tanaman melon, serta sensor pH air dan DHT11. Sistem ini mampu menghidupkan dan mematikan pompa otomatis berdasarkan nilai kelembaban tanah dan pH air, dengan data monitoring yang terhubung ke Blynk.

Penelitian ketiga oleh (Daru et al., 2021) menerapkan NodeMCU ESP8266 dan sensor Soil Moisture untuk irigasi sawah otomatis, menekankan stabilitas kelembaban tanah. Model ini dilengkapi pompa air mini dan aplikasi Blynk sebagai *interface* pemantauan, berhasil mempertahankan kelembaban 66,8% dengan korelasi data yang sangat tinggi(r=1).

Penelitian keempat oleh (Rhamadhany & Juliasari, 2023)menggunakan NodeMCU ESP32 dengan sensor YL-69, DHT22, dan sensor pH tanah, memadukan sistem penyiraman dan pemupukan otomatis. Pompa air dan pupuk diatur secara otomatis berdasarkan nilai sensor, dengan data *Real-time ditampilkan* di web *interface*.

Penelitian kelima oleh (Ananda et al., 2021) menggunakan NodeMCU ESP8266 dan DHT22, memantau kelembapan dan suhu udara, serta *soil moisture* sensor untuk irigasi otomatis tanaman *Monstera adansonii*. Sistem inimengaktifkan pompa air jika kelembaban tanah <57%, dengan kontrol dan monitoring jarak jauh melalui aplikasi Blynk.

Sementara itu, penelitian yang sedang dijalani memanfaatkan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, dilengkapi sensor *Capacitive Soil Moisture* untuk mendeteksi kelembaban tanah, *relay* 1-channel untuk mengatur pompa air mini, dan LCD 16x2 untuk visualisasi lokal. Sistem ini dirancang untuk mengaktifkan pompa secara otomatis ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang ditentukan. Pengguna dapat memantau penyiraman melalui *website*.

Dari segi akurasi pengukuran, penelitian kelima oleh Fortuna dkk. menekankan akurasi tinggi dengan error 0,003% pada sensor DHT22 dan 0,014% pada sensor *soil moisture*. Penelitian (Daru et al., 2021) juga menunjukkan akurasikorelasi data yang tinggi (r=1). Penelitian ini sendiri memiliki keunggulan dengan penggunaan sensor *Capacitive Soil Moisture* yang lebih tahan korosi dibandingkan sensor resistif, menghasilkan data kelembaban tanah yang lebih akurat dan tahan lama.

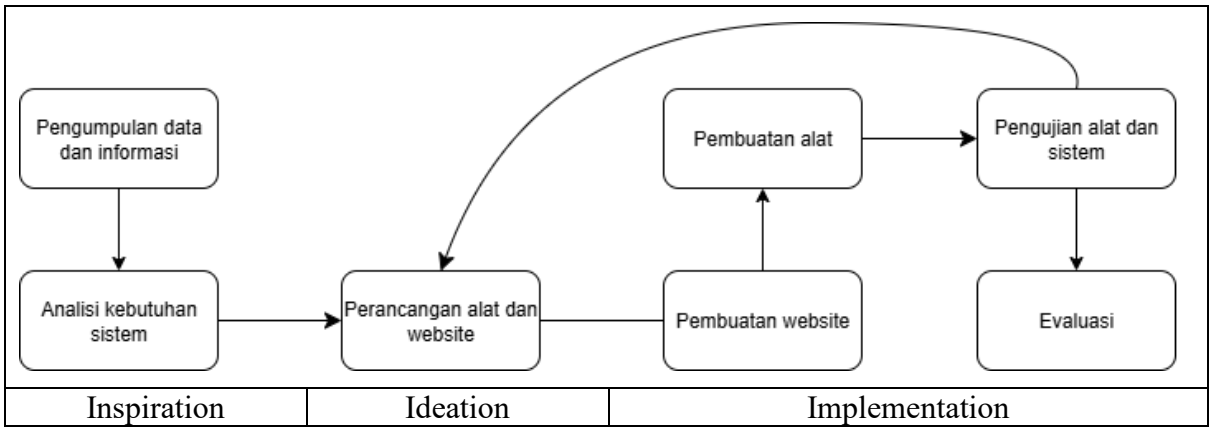
Dalam fitur kontrol dan peringatan, penelitian ini menambahkan LCD *Display* untuk menampilkan data kelembaban secara langsung di lapangan fitur yang tidak ditonjolkan pada penelitian sebelumnya, yang sebagian besar hanya menggunakan Blynk. Hal ini mempermudah pemantauan cepat tanpa harus membuka aplikasi. Sistem ini juga memungkinkan pengendalian jarak jauh (*remote*) melalui WiFi, sesuai tren *Internet of Things (IoT)* yang umum di penelitian-penelitian serupa.

Dari perbandingan dengan penelitian sebelumnya yang serupa, penelitian ini menggunakan gabungan beberapa keunggulan penelitian sebelumnya, yaitu akurasi data kelembaban tanah yang lebih stabil melalui penggunaan sensor *Capacitive Soil Moisture*, integrasi monitoring *Real-time* dan kontrol jarak jauh melalui *website*, serta visualisasi data lokal langsung pada LCD *Display*. Selain itu, sistem ini didukung oleh performa tinggi dari mikrokontroler ESP32 yang memiliki konektivitas Wi-Fi lebih baik dibandingkan NodeMCU yang digunakan di penelitian sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mampu memantau dan mengendalikan penyiraman otomatis, tetapi juga memberikan fleksibilitas lebih bagi pengguna dan meningkatkan keandalan sistem dalam jangka panjang.

BAB III
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode *Human-Centered Design* (HCD) versi IDEO dalam merancang dan mengembangkan sistem irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT). HCD IDEO merupakan pendekatan desain yang berfokus pada kebutuhan, pengalaman, dan keterlibatan pengguna secara langsung dalam menciptakan solusi yang optimal dan sesuai dengan permasalahan yang ada. Menurut (IDEO, 2015), HCD terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu Inspiration, Ideation, dan Implementation, dengan penekanan pada proses iteratif serta keterlibatan aktif pengguna dalam setiap tahapannya.

Dalam penelitian mengenai irigasi otomatis untuk tanaman hias berbasis IoT, seluruh tahapan HCD IDEO diterapkan untuk memahami kebutuhan pengguna, merancang solusi yang sesuai, hingga mewujudkan sistem yang dapat diuji dan dievaluasi. Adapun tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian

3.1 Inspiration

Tahap Inspiration pada *Human-Centered Design* bertujuan untuk memahami konteks permasalahan dan menggali kebutuhan pengguna sebelum merancang solusi. Pada tahap ini peneliti mengumpulkan informasi dan data dari berbagai sumber, baik melalui studi literatur maupun melalui kegiatan lapangan seperti observasi dan wawancara. Informasi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menganalisis kebutuhan serta merumuskan pemahaman awal mengenai permasalahan dalam perawatan tanaman hias yang akan dijawab melalui pengembangan sistem irigasi cerdas berbasis IoT.

3.1.1 Pengumpulan Data dan Informasi

Pengumpulan data dan informasi pada tahap *inspiration* dilakukan dengan melakukan observasi secara langsung di lapangan melibatkan pengguna yang berkaitan dengan perawatan tanaman hias. Metode yang digunakan adalah observasi dan wawancara. Observasi dilakukan untuk melihat secara nyata bagaimana aktivitas penyiraman tanaman hias berlangsung serta kendala yang dialami. Sedangkan wawancara dilakukan kepada pemilik atau perawat tanaman hias untuk memperoleh informasi lebih mendalam mengenai kebiasaan penyiraman, permasalahan yang sering muncul, serta harapan mereka terhadap adanya sistem irigasi cerdas berbasis IoT.

Berdasarkan hasil peninjauan dari beberapa jurnal yang membahas penerapan teknologi IoT dalam bidang pertanian, terutama dalam pengelolaan kelembapan tanah, irigasi otomatis menunjukkan berbagai keunggulan dalam menjaga kondisi tanaman secara optimal. Penelitian (Suripto Pasinggi et al., 2021) mendukung bahwa penggunaan teknologi ini dapat memberikan hasil yang efisien dalam perawatan tanaman. Menurut penelitian (Iman et al., 2025) pemeliharaan rutin dan teratur menjadi sangat penting dalam konteks tanaman hias, khususnya bagi jenis tanaman yang membutuhkan kelembapan tanah yang stabil. Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa banyak pemilik tanaman hias masih mengandalkan metode manual untuk penyiraman, seperti menggunakan selang atau memperkirakan kelembapan tanah hanya dengan meraba. Metode ini kurang akurat dan sering kali menyebabkan masalah seperti penyiraman berlebihan (*overwatering*) atau kurangnya penyiraman (*underwatering*)

Wawancara dilakukan dengan tujuan untuk mengumpulkan lebih banyak data sehingga mempermudah untuk mendapatkan lebih banyak informasi yang mendukung kebutuhan penelitian Untuk mengumpulkan data yang lebih komprehensif, wawancara dilakukan dengan berbagai narasumber yang memiliki pengalaman langsung dalam merawat tanaman hias. Responden yang diwawancarai meliputi: pemilik/petani toko tanaman hias, ibu rumah tangga, mahasiswa, dan pekerja yang memiliki tanaman hias. Hasil wawancara ini memberikan informasi yang beragam dan relevan untuk mendukung kebutuhan penelitian. Berikut pertanyaan yang digunakan dalam wawancara awal:

Tabel 3. 1 Daftar Pertanyaan Wawancara Awal

No	**Daftar Pertanyaan Wawancara Awal**
1	Nama lengkap, Usia, Pekerjaan/Pendidikan saat ini?
2	Apakah anda memiliki atau sedang merawat tanaman hias?
3	Apakah Anda pemilik, pengelola, atau penjual toko tanaman hias?
4	Jika iya, apa nama dan alamat toko anda.

5	Berapa jumlah tanaman hias yang anda rawat?
6	Seberapa sering Anda melakukan penyiraman tanaman secara manual?
7	Bagaimana Anda biasanya menentukan kapan tanaman harus disiram?
8	Apakah anda pernah mengalami kesulitan dalam menjaga kelembapan tanah tanaman hias?
9	Jika ya, apa kendala utama yang Anda alami?
10	Apakah anda pernah menggunakan alat penyiraman otomatis sebelumnya?
11	Jika pernah, apa kelebihan dan kekurangan alat tersebut menurut anda?
12	Seberapa penting menurut anda menggunakan teknologi untuk membantu menyiram tanaman secara otomatis?
13	Fitur apa yang Anda harapkan dari sistem irigasi otomatis berbasis IoT?
14	Apakah anda bersedia menggunakan sistem irigasi otomatis



Gambar 3. 2 kegiatan wawancara

Tabel 3. 2 hasil wawancara

No.	Responden	Alamat	Hasil Wawancara
1.	Katarina Dini (Pemilik toko Tanaman hias Ttanduran)	Toko Tanaman Hias TTanduran JL. Karanglo, Ngemplak, Donoharjo, Kec. Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55581	Pemilik toko melakukan penyiraman tanaman secara manual menggunakan selang air selama sekitar satu jam, dan mengukur kelembapan tanah hanya dengan menekan menggunakan tangan. Praktik ini sering menyebabkan *overwatering* karena penyiraman berdasarkan perkiraan tanpa alat pengukur akurat. Jika pemilik bepergian, tanaman bisa kekurangan air dan layu atau bahkan mati. Hingga kini belum pernah menggunakan sistem irigasi berbasis sensor yang terhubung ke *smartphone*. Namun pemilik meyakini bahwa teknologi seperti ini khususnya untuk tanaman bernilai tinggi seperti Monstera "Janda Bolong" akan

			sangat membantu dalam mencegah *overwatering* dan menjaga kelembapan tanah serta pencahayaan optimal.
2.	Yuli Ratna Ningsih(Petani toko taman bunga praptojoyo)	Toko taman bunga praptojoyo, Kaliurang St Jl. Degolan No.Km 15, RW.2, Degolan, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman Regency, Special Region of Yogyakarta 55584	Ibu Yuli Ratna Ningsih, seorang karyawan di toko Taman Bunga Praptojoyo yang berbasis di Jalan Kaliurang KM 15.3 Degolan, bertanggung jawab merawat lebih dari 50 tanaman hias. Saat ini, penyiraman dilakukan secara manual dua hingga tiga kali seminggu, di mana beliau memeriksa kelembapan tanah secara manual untuk menentukan waktu penyiraman. Tantangan utama yang dihadapi adalah kesulitan menjaga kelembapan tanah yang tepat; sering terjadi penyiraman berlebihan hingga membuat media tanam berhamburan dan kotor. Meskipun belum pernah menggunakan alat irigasi otomatis, Ibu Yuli sangat menganggap penting penggunaan teknologi semacam itu. Ia berharap sistem otomatis dapat memeriksa kelembapan tanah secara rutin dan menentukan jumlah air yang tepat, sehingga ia tidak perlu lagi melakukan pengecekan manual.
3.	Sri (Ibu rumah tangga dan petani)	Jl. Dusun Turen, Sardonoharjo, Kec. Ngaglik, Kabupaten Sleman.	Bu Sri yang sehari-harinya berkerja di sawah dan sebagai ibu rumah tangga, merawat sekitar 20 tanaman hias. Penyiraman dilakukan cukup sering hingga lima kali seminggu dengan penentuan waktu berdasarkan kondisi tanaman atau saat beliau tidak sibuk. Namun, hal ini sering menyebabkan *overwatering*, yang kerap membuat beberapa tanaman mati. Beliau belum pernah menggunakan sistem irigasi otomatis, namun menilai teknologinya sebagai cukup penting dan akan sangat membantu. Ibu Sri mengharapkan fitur dalam sistem irigasi otomatis yang dapat memantau kelembapan tanah, sehingga ia bisa mengetahui kapan harus menyiram. Beliau juga menyatakan kesediaannya untuk mencoba alat tersebut jika tersedia.

4.	Marsha Zahrah Fatharani (Mahasiswa)	Jodipati, Maguwo, Sleman.	Mahasiswa akhir yang sedang menyelesaikan skripsi, merawat sekitar 14 tanaman hias. Karena kesibukan, ia hanya menyiram tanaman secara manual sekitar sekali seminggu tanpa patokan pasti melakukan penyiraman hanya "jika ingat". Hal ini menyebabkan kesulitan menjaga kelembapan tanah yang tepat, karena ia tidak punya alat untuk mengukur apakah air yang diberikan terlalu banyak atau sedikit. Meskipun belum pernah menggunakan sistem irigasi otomatis, Marsha menilai teknologi semacam itu sangat penting. Ia berharap adanya fitur penyiraman otomatis yang dapat bekerja saat ia sibuk, serta monitoring kelembapan tanah agar ia bisa memantau kondisi tanaman secara *real time*.
5.	Muhammad Fahmi Ramadhan (Pekerja)	Jl. Dusun Turen, Sardonoharjo, Kec. Ngaglik, Kabupaten Sleman.	Mas Fahmi, seorang arsitek berusia 26 tahun, merawat sekitar lima pot tanaman hias di rumahnya. Penyiraman dilakukan secara manual setiap sore berdasarkan pengamatan visual terhadap kondisi tanah. Mas Fahmi mengaku sering menghadapi masalah tanaman mati mendadak karena penyiraman yang tidak teratur. Meskipun belum pernah menggunakan sistem irigasi otomatis, ia menilai teknologi tersebut penting dan bermanfaat, khususnya bagi orang dengan aktivitas padat. Mas Fahmi mengharapkan fitur pemantauan kelembapan tanah dan penyiraman otomatis dalam sistem tersebut yang akan sangat membantu Mas Fahmi dalam melakukan penyiraman, serta bersedia untuk mencoba alat jika telah tersedia.

3.1.2 Analisis Kebutuhan Sistem

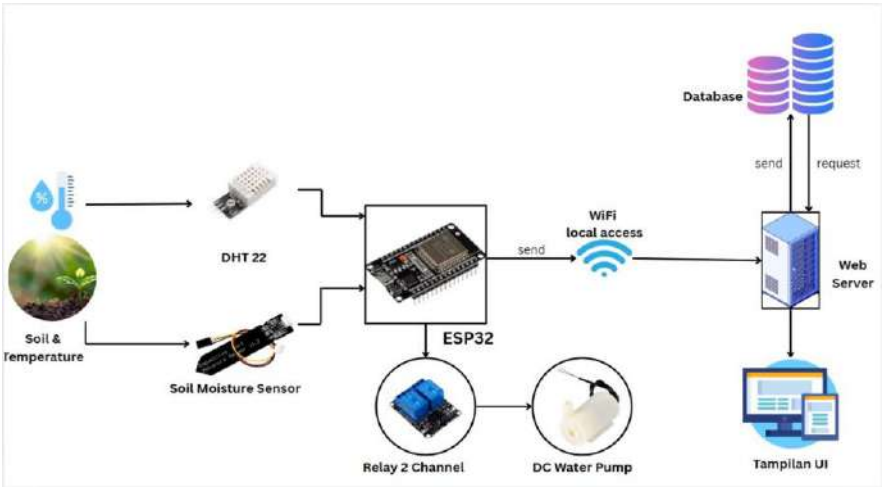
Perawatan tanaman hias, terutama untuk menjaga kelembapan tanah yang stabil, menjadi tantangan bagi banyak penjual tanaman hias dan para penggemar tanaman di perkotaan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Trias et al., 2022), metode penyiraman manual sering kali menyebabkan penyiraman yang berlebihan atau kurang air, yang pada akhirnya dapat merusak kesehatan tanaman.

Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem irigasi otomatis berbasis IoT yang mampu memantau dan mengatur penyiraman berdasarkan kondisi tanah secara *real-time* . Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan membantu pemilik tanaman hias dalam merawat tanaman mereka agar tetap sehat dan terjaga dengan baik

3.2 *Ideation* (Merancang Solusi)

Tahap Ideation merupakan proses perancangan sistem berdasarkan hasil temuan pada tahap Inspiration. Setelah memahami kebutuhan pengguna, dilakukan identifikasi spesifikasi sistem yang sesuai. Proses ini mencakup pemilihan sensor dan aktuator yang tepat, desain sistem irigasi otomatis berbasis IoT. Partisipasi pengguna dalam tahap ini sangat penting untuk memastikan sistem yang dikembangkan dapat memenuhi ekspektasi serta kebutuhan nyata mereka.

3.2.1 Gambaran Umum Sistem



Gambar 3. 3 Gambaran Umum Sistem

Sistem irigasi otomatis ini dirancang untuk melakukan pemantauan dan penyiraman tanaman secara otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT). Komponen utama yang digunakan meliputi sensor kelembaban tanah (*soil moisture* sensor), sensor suhu dan kelembapan udara (DHT22), mikrokontroler ESP32, modul *relay*, pompa air DC, *Database* , dan *website* sebagai antarmuka pengguna.

Sensor kelembaban tanah berfungsi untuk mendeteksi kadar air dalam tanah, sedangkan sensor DHT 22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitar tanaman. Kedua sensor ini mengirimkan data ke ESP32, yang merupakan pusat kendali sistem. ESP32 kemudian memproses data dan menentukan apakah penyiraman perlu dilakukan. Jika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas, maka ESP32 akan mengaktifkan pompa air melalui modul *relay* 2 *channel*, dan pompa akan menyiram tanaman secara otomatis.

Data hasil pembacaan sensor dikirimkan oleh ESP32 ke Firebase *Realtime Database* melalui koneksi Wi-Fi. Dari Firebase, data tersebut kemudian diambil oleh web server dan

ditampilkan pada *user interface* (UI) berupa *website* yang dapat diakses melalui *browser* perangkat pengguna (laptop, *smartphone*, dll). *Website* ini dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript dan memungkinkan pengguna untuk Melihat data kelembapan dan suhu secara *Real-time* , Memantau status pompa air, Mengatur ambang batas penyiraman, Mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air secara manual.

Seluruh sistem bekerja secara terintegrasi, di mana komunikasi antar komponen dilakukan secara lokal melalui jaringan Wi-Fi, dan data tersinkronisasi dengan web melalui Firebase, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem kapan pun selama terhubung ke internet.

3.2.2 Kebutuhan Perangkat Keras

Sistem irigasi pintar otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman hias memerlukan *hardware* atau perangkat keras sebagai berikut:

1. ESP32
2. Sensor *Capacitive Soil Moisture*
3. DHT 22
4. LCD *Display* 16x2 dengan Modul I2C
5. *Relay* 2-*channel*
6. Pompa DC
7. Kabel Jumper
8. Kabel Mikro USB
9. *Printed Circuit Board* (PCB)
10. *Power supply*
11. *step-down converter*

3.2.3 Alat dan Bahan Pendukung

Sistem irigasi pintar otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) ini juga memerlukan alat dan bahan pendukung sebagai berikut:

1. Laptop

   Untuk mendesain prototipe dan memprogram mikrokontroler.
2. *Smartphone*

   Sebagai antarmuka pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui *website.*
3. Software Arduino IDE

Untuk menulis dan mengunggah program ke ESP32.

4. Firebase (*Realtime Database*)

   Digunakan sebagai *backend* untuk menyimpan data sensor secara *Real-time* dan mengatur logika kendali penyiraman otomatis.

5. Obeng

   Untuk merakit komponen dan memperkuat sambungan mekanik.

6. Gunting Kabel

   Untuk memotong kabel jumper atau kabel konektor sesuai kebutuhan.

7. Solder

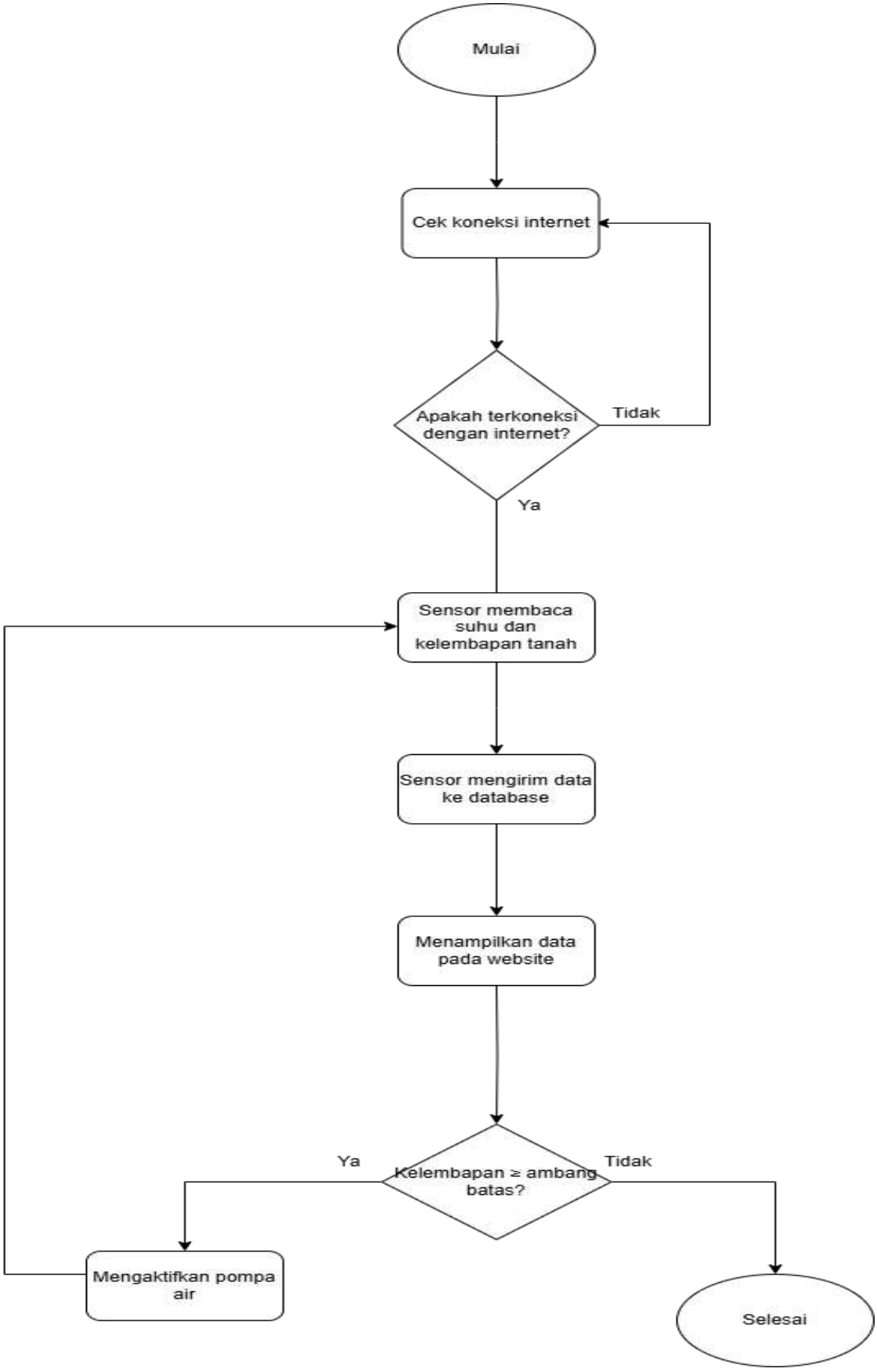
   Untuk menyambungkan kabel dan komponen secara permanen.

Tabel 3. 3 Komponen Alat

Nama Komponen	Fungsi	Spesifikasi Utama
ESP32	Mikrokontroler utama	Wi-Fi, *Bluetooth*, *dual-core*, 240 MHz
Sensor *Capacitive Soil Moisture*	Mengukur kelembaban tanah	*Output* analog, tahan korosi
Relay 2-*channel*	Saklar elektronik untuk pompa	5V, aktif *low*
Pompa Air Mini	Menyiram tanaman otomatis	12V DC
LCD 16x2 + Modul I2C	Menampilkan data kelembaban & status pompa	2 baris × 16 karakter, I2C *interface*
Power supply	Sumber daya stabil	Output 12V/5A
DHT 22	Mengukur suhu	Akurasi Pengukuran Suhu: ±0.5°C.

3.2.4 Perancangan *Flowchart*

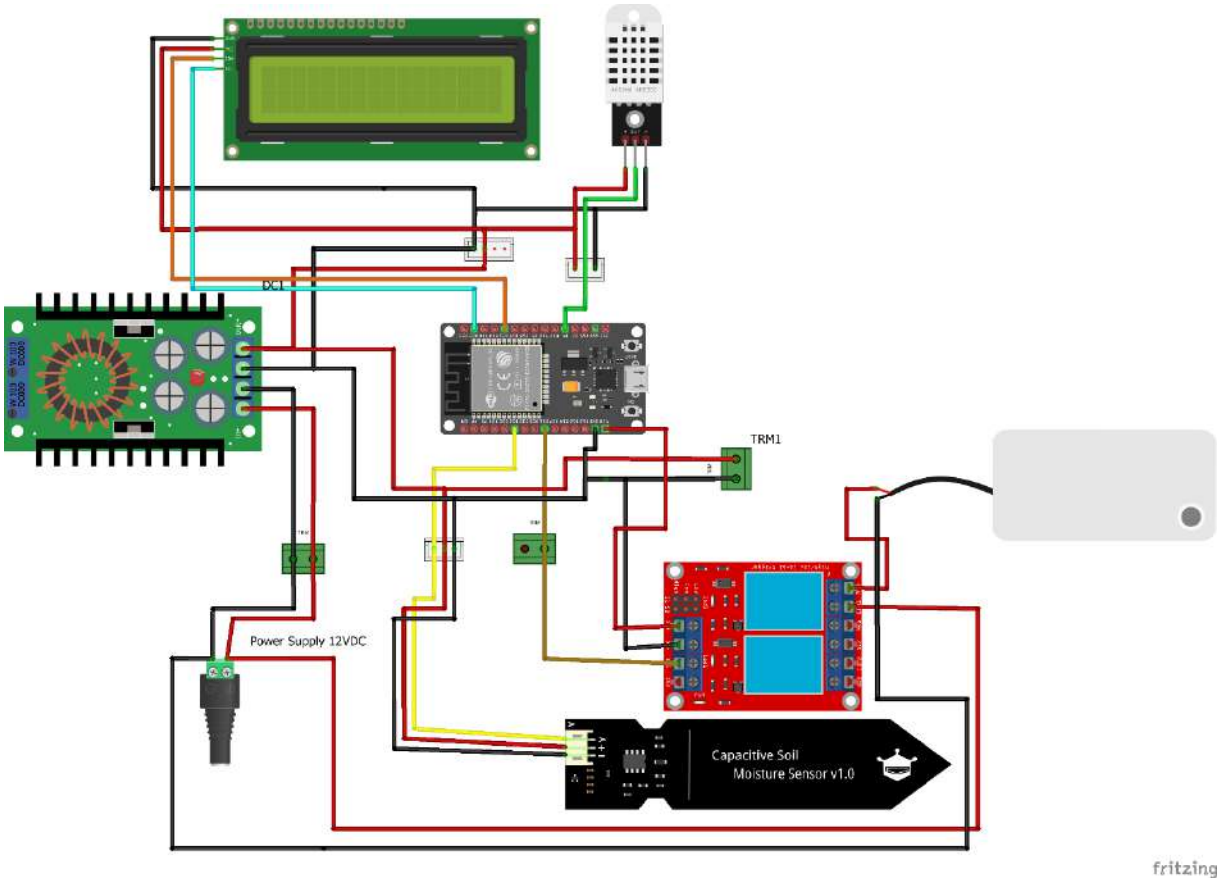
Alur kerja sistem dimulai dengan proses inisialisasi pada mikrokontroler ESP32 dan upaya untuk terhubung ke jaringan internet. Jika koneksi berhasil, sensor akan membaca kelembaban tanah dan suhu dan data akan diproses oleh ESP32 akan ditampilkan secara langsung di LCD serta dikirim ke *website* monitoring. Sistem secara otomatis akan mengecek apakah nilai kelembaban tanah berada di bawah ambang batas ideal. Apabila kelembapan terlalu rendah, *relay* akan mengaktifkan pompa air untuk menyiram tanaman. Sebaliknya, jika kelembapan sudah ideal, pompa akan dimatikan. Proses pembacaan dan kontrol ini akan terus berulang secara otomatis untuk menjaga kelembaban tanah tetap optimal.



Gambar 3. 4 *Flowchart*

3.2.5 Perancangan Rangkaian Alat

Perancangan rangkaian alat Sensor kelembapan tanah dan suhu, untuk Mengukur kelembapan tanah berbasis IoT bertujuan untuk memudahkan peneliti pada tahap pembuatan alat.



Gambar 3. 5 rangkaian alat

1. Sumber Daya

Sumber daya utama pada alat ini menggunakan rangkaian *power supply* yang terhubung ke modul *step-down converter* atau regulator tegangan. Modul ini berfungsi untuk menurunkan atau menstabilkan tegangan dari baterai agar sesuai dengan kebutuhan komponen lainnya.

a. Kutub positif (merah) dari rangkaian baterai dihubungkan ke input positif pada modul *step-down converter*.
b. Kutub negatif (hitam) dari rangkaian baterai dihubungkan ke input negatif pada modul *step-down converter*.
c. Output positif (merah) dari modul *step-down converter* dihubungkan ke pin Vin pada ESP32.

d. Output negatif (hitam) dari modul *step-down converter* dihubungkan ke pin GND pada ESP32.

2. Mikrokontroler (ESP32)

ESP32 berfungsi sebagai otak dari sistem ini. Komponen ini akan memproses data dari sensor, mengontrol *relay*, dan menampilkan informasi pada LCD.

3. Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif

Sensor ini digunakan untuk mengukur kelembapan tanah. Sambungan dari sensor ke ESP32 adalah sebagai berikut:

a. Pin VCC pada sensor dihubungkan ke pin 3V3 (3.3V) pada ESP32.
b. Pin GND pada sensor dihubungkan ke pin GND pada ESP32.
c. Pin OUT atau AOUT (*Analog Output*) pada sensor dihubungkan ke pin A0 pada ESP32. Rangkaian ini berfungsi untuk mengukur nilai kelembapan tanah secara analog.

4. Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT22)

Meskipun tidak Anda sebutkan, gambar prototipe menunjukkan adanya sensor suhu dan kelembapan DHT22 yang terhubung ke ESP32. Sambungannya adalah:

a. Pin VCC pada sensor dihubungkan ke pin 3V3 pada ESP32.
b. Pin GND pada sensor dihubungkan ke pin GND pada ESP32.
c. Pin Data pada sensor dihubungkan ke pin GPIO pin D4 pada ESP32. Rangkaian ini digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara.

5. Modul *Relay* 2-Channel

Modul *relay* berfungsi sebagai sakelar elektronik yang akan mengaktifkan pompa air untuk penyiraman otomatis.

a. Pin VCC pada modul *relay* dihubungkan ke pin 3V3 pada ESP32.
b. Pin GND pada modul *relay* dihubungkan ke pin GND pada ESP32.
c. Pin IN1 atau IN2 pada modul *relay* dihubungkan ke pin GPIO pin D1 pada ESP32. Sambungan ini berfungsi untuk mengontrol *relay* dari ESP32.

6. LCD 16x2 I2C

LCD ini berfungsi untuk menampilkan nilai kelembapan tanah, suhu, dan informasi lainnya secara *Real-time* . Modul I2C pada LCD memudahkan sambungan hanya dengan dua kabel data.

a. Pin GND pada LCD dihubungkan ke pin GND pada ESP32.
b. Pin VCC pada LCD dihubungkan ke pin 3V3 pada ESP32.
c. Pin SCL pada LCD dihubungkan ke pin D1 (GPIO5) pada ESP32.
d. Pin SDA pada LCD dihubungkan ke pin D2 (GPIO4) pada ESP32.

7. Pompa Air (atau Komponen Aktuator Lainnya)

a. Untuk mengaktifkan pompa air, diperlukan sambungan melalui modul *relay*.
b. Kabel positif (merah) dari pompa dihubungkan ke terminal NO (*Normally Open*) pada *relay*.
c. Kabel negatif (hitam) dari pompa dihubungkan langsung ke kutub negatif dari sumber daya.
d. Terminal COM **(**Common**)** pada *relay* dihubungkan ke *output* positif dari modul *step-down converter*.

Rangkaian ini memungkinkan ESP32 untuk mengaktifkan *relay*, sehingga menutup sirkuit dan menyalakan pompa saat kelembapan tanah mencapai batas minimum yang telah ditentukan.

3.2.6 Algoritma Kerja Sistem

Algoritma umum kerja sistem adalah sebagai berikut:

a. Sistem dimulai: ESP32 terhubung ke internet dan menginisialisasi semua komponen.
b. Baca Data: Sensor membaca kelembaban tanah.
c. Tampilkan & Kirim Data: Data kelembaban ditampilkan di LCD dan dikirim ke *Database* kemdian di tampilkan ke *website*.
d. Logika Kontrol:
   Jika kelembaban > ambang batas, pompa air aktif.
   Jika kelembaban < ambang batas, pompa air mati.
e. Perulangan: Proses membaca dan mengontrol berulang terus-menerus.

3.2.7 Perancangan *Website*

Tahap perancangan website dilakukan untuk membangun antarmuka monitoring yang user-friendly dan responsif agar pengguna dapat memantau kondisi tanaman secara real-time. Website ini dikembangkan menggunakan HTML untuk struktur halaman, CSS untuk desain tampilan agar lebih menarik dan mudah dipahami, serta JavaScript untuk mengelola interaksi dinamis. Firebase Realtime Database digunakan sebagai backend untuk mengirim data dari ESP32 ke website. Integrasi dengan Firebase dilakukan menggunakan Firebase SDK agar data seperti kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara dapat diperbarui secara otomatis tanpa perlu memuat ulang halaman. Selain menampilkan informasi monitoring, website ini juga dilengkapi dengan fitur kontrol manual untuk pompa air yang terhubung langsung ke sistem melalui Firebase, sehingga pengguna dapat menyalakan atau mematikan pompa dari jarak jauh dengan cepat dan aman.

3.3 Implementation

Tahap implementasi merupakan realisasi dari rancangan sistem irigasi otomatis yang telah dikonsepkan. Proses ini diawali dengan perakitan prototipe fisik, yang meliputi pemasangan sensor kelembaban tanah *Capacitive Soil Moisture*, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama, dan pompa air sebagai aktuator. Selanjutnya, dilakukan pemrograman pada mikrokontroler untuk mengolah data sensor dan mengeksekusi logika penyiraman secara otomatis berdasarkan ambang batas kelembaban yang ditentukan. Seluruh data hasil pembacaan sensor dan status pompa diintegrasikan dengan Firebase *Realtime Database* sebagai media penyimpanan dan sinkronisasi data. Untuk antarmuka pengguna, dikembangkan sebuah *website* monitoring menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript agar data dapat diakses secara *Real-time* .

Setelah prototipe terbangun, dilakukan pengujian sistem secara fungsional untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai fungsinya dalam lingkungan nyata. Pengujian ini memvalidasi akurasi sensor, responsivitas pompa, serta kelancaran komunikasi antara perangkat keras dengan *Database* dan *website*. Sejalan dengan metode *Human-Centered Design* (HCD), tahap ini diakhiri dengan sesi evaluasi yang melibatkan pengguna akhir. Pengguna diminta untuk berinteraksi langsung dengan sistem dan membandingkannya dengan metode penyiraman manual. Umpan balik yang diperoleh dari evaluasi ini menjadi landasan utama untuk melakukan penyempurnaan dan iterasi pada prototipe agar lebih efektif, efisien, dan benar-benar menjawab kebutuhan pengguna.

Tahap implementasi perangkat keras merupakan perakitan fisik dari rancangan sistem yang telah dibuat. Pada tahap ini, dilakukan proses perakitan seluruh komponen utama yang meliputi unit sensor, mikrokontroler, dan aktuator. Proses ini bertujuan untuk membuat sebuah prototipe fungsional yang siap untuk diuji.

3.3.1 Pembuatan *Website*

Pada tahap pembuatan website, digunakan teknologi HTML sebagai kerangka dasar halaman, CSS untuk mempercantik tampilan, dan JavaScript untuk memberikan interaksi dinamis. Website ini terhubung dengan Firebase Realtime Database yang berfungsi menyimpan data dari sensor yang dikirim oleh ESP32. Integrasi dilakukan menggunakan Firebase SDK agar pembaruan data, seperti nilai kelembapan tanah, dapat muncul secara real-time tanpa refresh halaman. Website juga dilengkapi fitur kontrol manual pompa air yang mengirim perintah ke Firebase, lalu diteruskan ke perangkat IoT. Semua elemen ini dikembangkan agar pengguna dapat memantau kondisi tanaman sekaligus mengendalikan pompa dari jarak jauh secara praktis.

3.3.2 Pembuatan Alat

Tahap pembuatan alat diawali dengan penyusunan rangkaian elektronik yang terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor kelembapanCapacitive Soil Moisture, sensor DHT22, LCD I2C, modul relay, dan pompa air. Seluruh komponen disusun dan disolder pada PCB agar rangkaian lebih rapi dan kuat,. ESP32 digunakan sebagai pengendali utama yang terhubung dengan sensor untuk membaca data kelembapan dan mengontrol relay yang mengaktifkan pompa air. Sensor kelembapan ditempatkan pada media tanam untuk mendeteksi kadar air, sementara DHT22 digunakan untuk pemantauan suhu dan kelembapan Udara saja tidak mempengaruhi penyiraman otomatis. LCD I2C dipasang untuk menampilkan informasi kelembapan secara lokal, sedangkan data juga dikirim ke Firebase Realtime Database untuk monitoring melalui website. Pembuatan alat dilengkapi dengan sambungan power supply agar perangkat dapat bekerja stabil,. Setelah semua komponen terpasang dengan benar, dilakukan pengujian awal untuk memastikan sistem bekerja sesuai logika yang diprogram, termasuk aktivasi pompa otomatis saat kelembapan tanah berada di bawah ambang batas.

3.3.3 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem irigasi cerdas berbasis IoT yang telah dikembangkan dapat berfungsi sesuai dengan rancangan. Proses pengujian mencakup verifikasi terhadap kinerja perangkat keras, perangkat lunak, serta integrasi keduanya agar mampu mendukung kebutuhan pengguna dalam perawatan tanaman hias. Pada tahap ini dilakukan serangkaian pengujian, mulai dari pengujian alat dan sistem secara keseluruhan, pengujian fungsi tiap komponen, pengujian mekanisme penyiraman otomatis, pengujian aplikasi web dan tampilan LCD, hingga pengujian yang melibatkan koresponden sebagai pengguna akhir. Hasil dari pengujian ini digunakan sebagai dasar evaluasi dan penyempurnaan sistem agar lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan nyata di lapangan.

A. Pengujian Fungsionalitas Komponen

Tabel 3. 4 Indikator Pengujian Komponen

No	**Indikator Pengujian**	**Hasil**
1.	Alat dapat dinyalakan tanpa adanya kendala	
2.	Sensor *Capacitive Soil Moisture* mampu mendeteksi kelembapan tanah	
3.	Sensor DHT22 mampu mendeteksi suhu dan kelembapan udara	
4.	Pompa air dapat hidup dan mati secara otomatis berdasarkan data yang diterima dari sensor	
5.	LCD mampu menampilkan data dari sensor dengan jelas	
6.	Pompa air dapat di control secara manual dari *website* monitoring	

B. Pengujian Penyiraman Otomatis

Pengujian ini bertujuan untuk menguji bahwa penyiraman otomatis bekerja dengan baik sesuai kebutuhan kelembapan tanah tanaman. Dalam sistem ini, pompa akan menyala secara otomatis ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan untuk tanaman, dan akan mati kembali setelah kelembapan tanah melewati ambang batas kelembapan tanah yang sudah ditentukan. Untuk mendukung validitas pengujian sistem, digunakan tiga jenis tanaman hias tropis indoor yang umum ditemukan dan memiliki kebutuhan kelembapan tanah yang serupa, yaitu:

Tabel 3. 5 Indikator Pengujian Penyiraman Otomatis

Pilihan Tanaman	**Nilai Kelembapan Tanah Awal**	**Nilai Kelembapan Akhir**
Janda Bolong (*Monstera deliciosa*)		

Meranti Sepat (*Calathea*)		
Sri Rejeki (*Aglaonema*)		

C. Pengujian pada Aplikasi Web dan LCD

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan data yang ditampilkan pada aplikasi web sinkron dengan data yang ditampilkan pada LCD dan sesuai dengan kondisi nyata. Pengujian ini memerlukan koneksi internet yang aktif.

Tabel 3. 6 Hasil Pengujian Sinkronisasi Data

No	Parameter	Status	Keterangan
1	Tampilan data kelembapan tanah		
2	Tampilan data suhu udara		
3	Tampilan status pompa (*ON*/*OFF*)		

D. Pengujian Alat Koresponden

Pengujian ini dilakukan dengan melibatkan pihak ketiga sebagai responden untuk melihat tanggapan mereka tentang alat yang sudah dibuat untuk memperoleh data subjektif berupa pendapat, pengalaman penggunaan, serta saran pengembangan lebih lanjut terhadap sistem irigasi otomatis yang telah dirancang. Dalam proses ini, terdapat dua kelompok pengguna yang dilibatkan. Kelompok pertama merupakan pengguna yang diwawancarai sebelum alat dibuat dan setelah selesai kemudian dilakukan uji coba penggunaan alat. kelompok kedua hanya diwawancarai satu kali, yaitu setelah mencoba langsung alat yang telah selesai dibuat. Responden ini memberikan tanggapan berdasarkan impresi awal, kemudahan penggunaan, dan fungsionalitas sistem secara keseluruhan. Melalui pendekatan ini, diperoleh gambaran yang lebih lengkap mengenai respon pengguna baik sebelum maupun sesudah penggunaan alat, yang berguna sebagai dasar evaluasi dan pengembangan sistem ke depannya.

Tabel 3. 7 Daftar Pertanyaan Responden Setelah Pengujian Alat

No	Daftar Pertanyaan Responden Setelah Pengujian Alat
Pertanyaan Pengguna yang Telah Diwawancarai Sebelumnya	
1	Digunakan setelah pengguna mencoba alat yang Anda buat.
2	Apakah alat ini mudah digunakan tanpa perlu panduan atau bantuan teknis?
3	Apakah sistem menyiram tanaman secara otomatis dan dapat membaca kelembapan tanah?
4	Apakah Anda merasa sistem ini dapat membantu mengurangi beban penyiraman manual?
5	Bagaimana menurut Anda tampilan *website* alat ini? Apakah sudah nyaman dilihat dan mudah dipahami?
6	Apakah fitur yang ada sudah sesuai dengan harapan Anda sebelumnya?
7	Apakah ada bagian dari alat/sistem yang menurut Anda kurang optimal?
8	Apakah Anda memiliki saran untuk alat ini?

9	Apakah Anda bersedia menggunakan alat ini untuk jangka panjang?
10	Apakah Anda merasa puas secara keseluruhan terhadap alat ini?
Pertanyaan Pengguna yang Pertama kali setelah pengujian	
1	Apakah Anda sebelum menggunakan alat yang saya buat pernah menggunakan alat penyiram tanaman otomatis sebelumnya?
2	Apa kesan pertama Anda setelah melihat dan mencoba alat ini?
3	Apakah alat ini mudah digunakan dan dimengerti?
4	Apakah alat ini bisa menyiram tanaman secara otomatis dan membaca kelembapan tanah dengan baik?
5	Menurut Anda, apakah alat ini praktis untuk digunakan?
6	Bagaimana menurut Anda tampilan *website* alat ini? Apakah sudah nyaman dilihat dan mudah dipahami?
7	Menurut Anda, apakah alat ini cocok untuk anda?
8	Secara umum, apakah alat ini sudah berfungsi dengan baik?
9	Jika alat ini dijual, apakah Anda tertarik untuk menggunakannya di rumah, kantor, atau toko?
10	Apa saja kekurangan alat ini menurut Anda?
11	Apakah Anda punya saran untuk alat ini bisa lebih baik?
12	Apakah Anda merasa puas secara keseluruhan terhadap alat ini?

3.3.4 Evaluasi

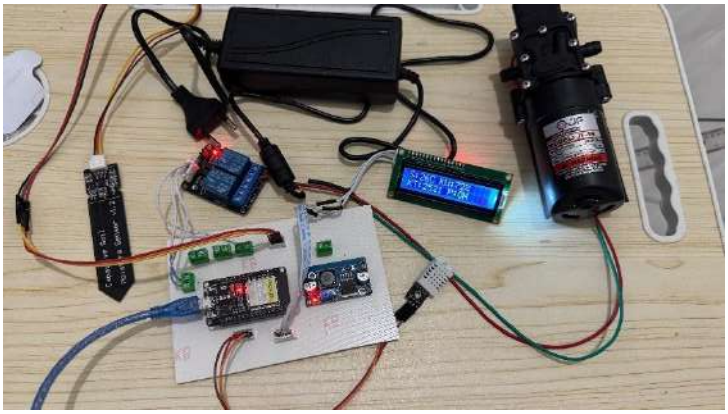
Langkah terakhir adalah evaluasi kinerja sistem irigasi pintar. Selama beberapa waktu, data kelembapan tanah yang terkumpul dianalisis untuk menilai efektivitas sistem dalam menjaga kelembapan tanah. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap keandalan sistem, efisiensi penggunaan air, dan kemudahan penggunaannya melalui website berbasis Firebase. Dari evaluasi ini, dapat ditentukan apakah sistem sudah memenuhi kebutuhan penyiraman otomatis yang diinginkan dan apakah ada perbaikan yang perlu dilakukan.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, akan dibahas hasil dari pengembangan sistem irigasi otomatis untuk tanaman hias berbasis web. Pembahasan dimulai dengan penjelasan mengenai implementasi perangkat keras (*hardware*), dilanjutkan dengan pembahasan tentang implementasi perangkat lunak (*software*), dan diakhiri dengan pengujian alat dari "Irigasi cerdas untuk Tanaman Hias Berbasis Web". Selain itu, bagian ini juga akan mengulas kelebihan dan kekurangan dari sistem yang telah dikembangkan.

4.1 Implementasi Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada penelitian ini, peneliti membangun sistem irigasi dan pemantauan lingkungan tanaman berbasis IoT dengan merakit serta mengkonfigurasikan komponen-komponen hardware yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Setiap komponen, mulai dari ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor *Capacitive Soil Moisture* untuk kelembapan tanah, sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan udara, pompa air mini, modul *relay*, hingga LCD 16x2, memiliki peran penting dalam fungsionalitas sistem secara keseluruhan. Implementasi perangkat keras ditujukan untuk menghasilkan data yang akurat serta memastikan penyiraman otomatis berjalan sesuai kebutuhan tanaman.



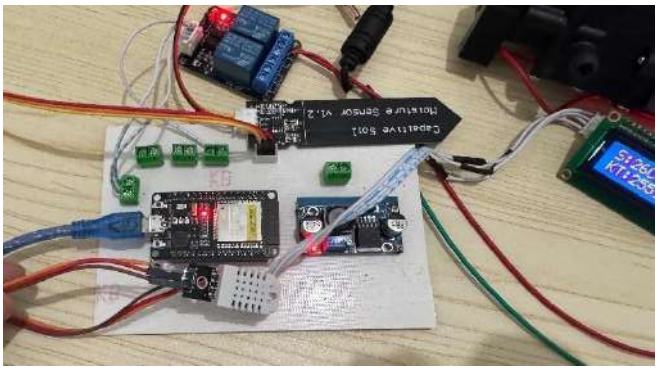
Gambar 4. 1 Tampilan Rangkaian Alat Hasil Implementasi

4.1.1 Konfigurasi Sensor

Sensor kelembapan tanah (*Capacitive Soil Moisture*): Sensor ini berfungsi untuk mengukur kadar air dalam tanah dengan prinsip kapasitansi, yang lebih tahan korosi

dibandingkan sensor resistif. Pin VCC dan GND sensor dihubungkan ke catu daya 3.3V dan GND pada ESP32, sedangkan pin *output* analog (AOUT) dihubungkan ke salah satu pin ADC (misalnya, GPIO 34) pada ESP32 untuk pembacaan data kelembapan.

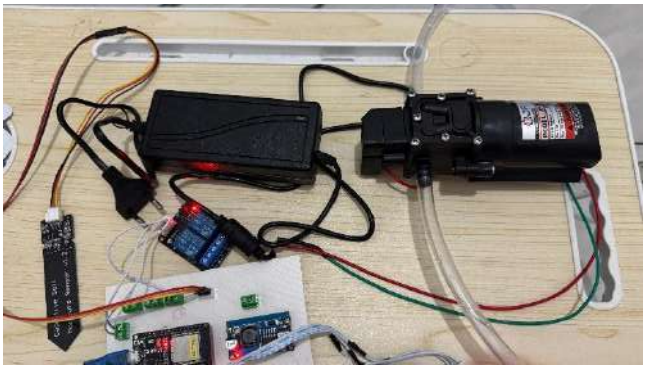
Sensor Suhu dan Kelembapan Udara (DHT22): Sensor DHT22 diimplementasikan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman. Pin VCC dan GND dihubungkan ke 3.3V dan GND pada ESP32, sementara pin Data dihubungkan ke pin digital (misalnya, GPIO 4) untuk mengirimkan data digital yang sudah terkalibrasi.



Gambar 4. 2 Konfigurasi Gabungan Sensor Kelembapan Tanah dan DHT22

4.1.2 Konfigurasi Pompa

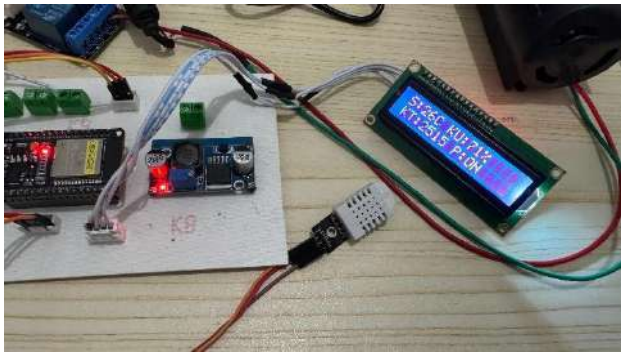
Pompa air mini berfungsi sebagai aktuator yang mengalirkan air ke tanaman. Pompa ini dikontrol oleh ESP32 melalui modul *relay*. Pin VCC dan GND *relay* dihubungkan ke sumber daya, dan pin *IN* dihubungkan ke pin digital ESP32 (misalnya, GPIO 1). Pompa air dihubungkan ke terminal *Normally Open* (NO) dan *Common* (COM) pada *relay*, sehingga ESP32 dapat mengaktifkan dan menonaktifkan pompa sesuai kebutuhan.



Gambar 4. 3 Konfigurasi Pompa dan Modul *Relay*

4.1.3 Konfigurasi LCD

LCD 16x2 dengan modul I2C berfungsi untuk menampilkan data sensor dan status sistem secara lokal. Penggunaan modul I2C menyederhanakan koneksi, di mana pin VCC dan GND dihubungkan ke 3.3V dan GND, sementara pin SDA dan SCL dihubungkan ke pin SDA (GPIO 21) dan SCL (GPIO 22) pada ESP32.



Gambar 4. 4 Konfigurasi LCD 16x2 I2C

4.1.4 Konfigurasi Ambang Batas

Konfigurasi ambang batas dilakukan untuk menentukan nilai referensi kelembapan tanah yang akan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengontrol pompa air secara otomatis. Proses ini penting agar sistem dapat mengenali kondisi tanah apakah dalam keadaan kering, lembap, atau basah berdasarkan pembacaan sensor kelembapan tanah (*Capacitive Soil Moisture Sensor*). Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi berbeda, yaitu tanah benar-benar kering, tanah lembap, dan tanah basah (jenuh air). Setiap pengujian menghasilkan nilai ADC yang berbeda, di mana nilai tertinggi menunjukkan tanah paling kering, dan nilai terendah menunjukkan tanah paling basah. Hasil kalibrasi ini kemudian digunakan untuk menentukan batas bawah dan batas atas kelembapan dalam bentuk persentase menggunakan fungsi map() pada mikrokontroler, sehingga kontrol pompa dapat dilakukan secara presisi sesuai kebutuhan tanaman.

d. Kering



Sensor kelembapan tanah diuji pada media yang benar-benar kering tanpa adanya pemberian air. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai pembacaan sensor saat kondisi tanah mencapai tingkat kekeringan maksimal, yang nantinya dijadikan acuan nilai kalibrasi bagian atas.

e. Lembap



Gambar tersebut menunjukkan pengujian pada kondisi tanah lembap, yaitu saat tanah sudah disiram air tetapi tidak sampai jenuh. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tengah kelembapan yang mewakili kondisi ideal bagi sebagian besar tanaman hias.

f. Basah



Pengujian dilakukan ketika tanah dalam kondisi basah atau jenuh air setelah dilakukan penyiraman secara penuh. Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai terendah pembacaan sensor, yang akan digunakan sebagai acuan kalibrasi untuk kondisi basah.

Hasil pembacaan

Tabel 3. 8 Hasil Kalibrasi Manual

Kondisi Tanah	**Nilai Sensor**
Kering	2559
Lembab	2034
Basah	1474

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel, nilai pembacaan sensor kelembapan tanah bervariasi sesuai dengan kondisi tanah. Saat tanah dalam kondisi kering, sensor mencatat nilai 2559, yang menjadi batas atas (kering). Pada kondisi lembap, nilai sensor menurun menjadi 2034, yang menunjukkan kelembapan berada di rentang sedang. Sedangkan

pada kondisi basah atau jenuh air, nilai pembacaan mencapai 1474, yang menjadi batas bawah (basah).

Hasil ini menunjukkan bahwa semakin basah tanah, semakin rendah nilai yang terbaca oleh sensor. Data ini kemudian digunakan untuk proses kalibrasi dalam fungsi map() pada mikrokontroler, di mana nilai 2559 dipetakan ke 0% (sangat kering) dan 1474 ke 100% (sangat basah), sementara nilai di antaranya dikonversi secara proporsional. Dengan pengukuran ini, sistem dapat menentukan kondisi kelembapan tanah secara lebih akurat dan mengaktifkan atau mematikan pompa otomatis sesuai rentang yang telah ditentukan yaitu 40–60%. Rentang ini dipilih karena berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Herianto dkk., (2023) menunjukkan bahwa kelembapan tanah ideal untuk pertumbuhan tanaman berada pada kisaran 40–60%, sedangkan <40% dikategorikan kering dan >60% dikategorikan terlalu basah.

Dengan demikian, ketika hasil kalibrasi menunjukkan bahwa nilai sensor 2559 setara dengan kondisi kering (0%) dan 1474 setara dengan kondisi basah (100%), maka kisaran 40–60% berada pada nilai sensor sekitar 2125 hingga 1908. Nilai inilah yang dijadikan acuan ambang batas sistem dalam mengatur pompa agar kelembapan tanah tetap berada pada kondisi ideal.

4.2 Sintaks Program

Peneliti menggunakan Arduino IDE untuk mengembangkan perangkat lunak pada mikrokontroler ESP32. Sintaks adalah serangkaian kode yang berisi perintah agar sistem dapat berfungsi dengan benar sesuai alur kerja yang dirancang.

```
#include <WiFi.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include "addons/RTDBHelper.h"
#include "addons/TokenHelper.h"

// WiFi dan Firebase
#define WIFI_SSID "WIFI"
#define WIFI_PASSWORD "Pass"
#define API_KEY "AIzaSyDOGTFroe2nSY-Lx2CetaFOalAoWM6YvcY"
#define DATABASE_URL "https://irigasi-otomatis-ad5dd-default-rtdb.asia-southeast1.firebaseDatabase.app/"
```

```
#define RELAY_PIN 26
#define SOIL_PIN 32
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22
```

Gambar 4. 5 Sintaks Inisialisasi Library, Koneksi Firebase, dan Definisi Pin

Pada bagian awal program, sejumlah library dan konstanta didefinisikan untuk mempersiapkan konektivitas WiFi dan integrasi dengan layanan Firebase. Library `#include <WiFi.h>` dimuat untuk mengelola koneksi mikrokontroler ESP32 ke jaringan internet. Untuk komunikasi dengan cloud, disertakan `#include <Firebase_ESP_Client.h>` sebagai *library* utama, yang didukung oleh addon `#include "addons/RTDBHelper.h"` dan `#include "addons/TokenHelper.h"` untuk menyederhanakan proses interaksi dengan *Realtime Database* dan manajemen otentikasi. Selain itu, `#include <DHT.h>` digunakan untuk memfasilitasi pembacaan data dari sensor suhu dan kelembaban.

Konfigurasi sistem didefinisikan melalui makro `#define.` `WIFI_SSID` dan `WIFI_PASSWORD` digunakan untuk menyimpan kredensial jaringan WiFi. Kredensial untuk layanan cloud diatur melalui `API_KEY` dan *`DATABASE`* `_URL`, yang masing-masing merupakan kunci API dan alamat unik dari proyek Firebase yang digunakan. Selanjutnya, pin perangkat keras dipetakan ke mikrokontroler: *`RELAY`*`_PIN 26` untuk modul *relay*, `SOIL_PIN 32` untuk sensor kelembaban tanah, dan DHTPIN 4 untuk sensor DHT. Terakhir, `#define DHTTYPE DHT22` secara spesifik menyatakan bahwa tipe sensor yang digunakan adalah DHT22. Dengan pengaturan ini, program telah siap untuk terhubung ke internet, membaca data dari semua sensor, dan mengirimkannya ke Firebase untuk monitoring dan kontrol otomatis.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

FirebaseData fbdo;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;
```

Gambar 4. 6 Inisialisasi DHT dan LCD serta konfigurasi firebase

Pada bagian ini, program menginisialisasi beberapa objek penting yang diperlukan dalam sistem irigasi otomatis berbasis IoT. Objek lcd dibuat dari kelas `LiquidCrystal_I2C` dengan parameter 0x27, 16, dan 2, yang menandakan alamat I2C dari modul LCD serta jumlah kolom

dan baris layar, yaitu 16 kolom dan 2 baris. Modul ini digunakan untuk menampilkan data suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan status pompa secara langsung di perangkat keras.

Selanjutnya, objek dht dideklarasikan dari kelas `DHT`, dengan parameter `DHTPIN` dan `DHTTYPE`. Objek ini mewakili sensor DHT11, yang berfungsi untuk membaca data suhu dan kelembapan udara di lingkungan sekitar. Data yang diambil dari sensor ini kemudian digunakan dalam pengambilan keputusan sistem penyiraman otomatis.

Selain itu, objek fbdo dari kelas FirebaseData digunakan untuk menangani proses komunikasi data dengan Firebase *Realtime Database* . Objek ini menyimpan status dan hasil pengiriman atau pembacaan data dari Firebase. Dua objek lainnya, yaitu `auth` dari kelas `FirebaseAuth` dan config dari kelas `FirebaseConfig`, digunakan untuk mengatur metode autentikasi dan konfigurasi dasar koneksi Firebase, seperti API Key dan alamat *database* . Seluruh inisialisasi ini memungkinkan mikrokontroler untuk berinteraksi secara *real-time* dengan sistem cloud Firebase dan perangkat keras lokal seperti sensor dan LCD.

```
bool signupOK = false;
bool modeManual = false;
String statusPompa = "OFF";

int soilADC = 0;
int soilPersen = 0;
float suhu = 0.0, hum = 0.0;

// hasil kalibrasi manual sensor
const int nilaiKering = 2559;
const int nilaiBasah  = 1474;
```

Gambar 4. 7 Deklarasi Variabel Global dan Status Sistem pada Fungsi `loop()`

Pada bagian ini, beberapa variabel global dideklarasikan untuk menyimpan status sistem, data hasil pembacaan sensor, serta parameter kalibrasi sensor. Variabel signupOK bertipe boolean digunakan untuk menandai apakah proses autentikasi ke Firebase berhasil atau tidak. Jika bernilai true, maka perangkat telah berhasil terhubung ke Firebase menggunakan metode anonymous sign-in. Selanjutnya, modeManual juga bertipe boolean dan berfungsi untuk menentukan apakah sistem dijalankan dalam mode manual atau otomatis, sehingga pengguna dapat mengontrol pompa secara langsung melalui dashboard ketika mode manual aktif.

Variabel statusPompa bertipe String digunakan untuk menyimpan status pompa air, yaitu "ON" atau "OFF", yang kemudian ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke Firebase untuk

monitoring secara real-time. Dua variabel integer, yaitu soilADC dan soilPersen, digunakan untuk menyimpan nilai pembacaan mentah dari sensor kelembapan tanah (ADC) dan nilai kelembapan yang telah dikonversi menjadi persentase menggunakan fungsi map(). Sementara itu, dua variabel bertipe float, yaitu suhu dan hum, digunakan untuk menyimpan hasil pembacaan suhu udara dan kelembapan udara dari sensor DHT22.

Selain itu, terdapat dua konstanta nilaiKering dan nilaiBasah yang masing-masing menyimpan nilai hasil kalibrasi manual sensor kelembapan tanah, di mana nilaiKering = 2559 diperoleh dari pembacaan ketika tanah benar-benar kering, sedangkan nilaiBasah = 1474 diperoleh dari pembacaan ketika tanah sangat basah (jenuh air). Nilai ini digunakan sebagai acuan dalam proses konversi data ADC ke persentase kelembapan tanah agar pengendalian pompa lebih akurat sesuai kondisi media tanam. Variabel-variabel ini diperbarui secara berkala di dalam fungsi `loop()`

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);  // Pompa OFF

  // WiFi
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("Menghubungkan WiFi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
  }
  Serial.println("\n☑ WiFi Terhubung: " + WiFi.localIP().toString());

  // Firebase
  config.api_key = API_KEY;
  config.Database _url = DATABASE _URL;

  if (Firebase.signUp(&config, &auth, "", "")) {
    Serial.println("☑ Firebase Anonymous SignUp Berhasil");
    signupOK = true;
  } else {
    Serial.printf("✗ SignUp Gagal: %s\n",
config.signer.signupError.message.c_str());
  }
```

```
  config.token_status_callback = tokenStatusCallback;
  Firebase.begin(&config, &auth);
  Firebase.reconnectWiFi(true);

  // Sensor & LCD
  dht.begin();
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Smart Watering");
  delay(2000);
}
```

Gambar 4. 8 Proses Inisialisasi Sistem pada Fungsi setup()

Pada bagian `void setup()`, sistem melakukan inisialisasi awal sebelum masuk ke proses utama dalam fungsi `loop()`. Langkah pertama dimulai dengan `Serial.begin(115200)`, yang digunakan untuk memulai komunikasi serial antara mikrokontroler dan komputer pada kecepatan baudrate 115200. Hal ini berguna untuk menampilkan *log* atau *debugging* melalui Serial Monitor.

Selanjutnya, `pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT)` berfungsi untuk menetapkan pin *relay* sebagai *output*, sedangkan `digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH)` mengatur kondisi awal *relay* dalam keadaan *OFF*, karena dalam sistem ini *relay* dikendalikan menggunakan logika aktif rendah (*active LOW*). Artinya, ketika pin diberi logika *LOW*, pompa akan menyala, dan jika *HIGH*, pompa akan mati.

Kemudian, sistem melakukan inisialisasi koneksi WiFi menggunakan `WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD)`. Selama koneksi belum berhasil `(WL_CONNECTED)`, program akan mencetak titik (".") sebagai indikator status. Setelah berhasil terhubung, alamat IP lokal yang diperoleh akan ditampilkan melalui Serial Monitor sebagai konfirmasi.

Setelah koneksi WiFi berhasil, sistem mengatur konfigurasi Firebase, yaitu dengan memasukkan `API_KEY` dan `DATABASE _URL`. Proses autentikasi dilakukan menggunakan metode *Anonymous Sign-Up* dengan `Firebase.signUp()`. Jika berhasil, variabel `signupOK` akan diatur menjadi *true*, menandakan bahwa sistem siap mengirim dan menerima data ke/dari Firebase. Jika gagal, pesan kesalahan ditampilkan melalui `Serial.printf()`.

Berikutnya, sistem memulai Firebase dengan `Firebase.begin(&config, &auth)` dan mengaktifkan fitur *reconnect*WiFi agar sistem dapat menyambung ulang secara otomatis jika koneksi terputus.

Bagian akhir dari fungsi `setup()` adalah inisialisasi sensor dan tampilan LCD. Sensor DHT22 diaktifkan menggunakan `dht.begin()`, kemudian LCD diaktifkan dengan `lcd.begin()` dan `lcd.backlight()` untuk menyalakan lampu latar. Tulisan "*Smart Watering*" ditampilkan di baris pertama LCD selama 2 detik sebagai tampilan pembuka sebelum masuk ke proses monitoring utama.

```
void loop() {
  suhu = dht.readTemperature();
  hum = dht.readHumidity();
  soilADC = analogRead(SOIL_PIN);

  // konversi ADC ke persen kelembaban tanah
  soilPersen = map(soilADC, nilaiKering, nilaiBasah, 0, 100);
  soilPersen = constrain(soilPersen, 0, 100);

  Serial.print("Soil ADC: "); Serial.print(soilADC);
  Serial.print(" | Soil %: "); Serial.print(soilPersen);
  Serial.print(" | Suhu: "); Serial.print(suhu);
  Serial.print(" | Kelembaban: "); Serial.print(hum);
  Serial.print(" | Pompa: "); Serial.println(statusPompa);

  if (Firebase.ready() && signupOK) {
    Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/sensor/soilADC", soilADC);
    Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, "/sensor/soilPersen", soilPersen);
    Firebase.RTDB.setFloat(&fbdo, "/sensor/suhu", suhu);
    Firebase.RTDB.setFloat(&fbdo, "/sensor/kelembaban", hum);
    Firebase.RTDB.setString(&fbdo, "/sensor/statusPompa", statusPompa);

    if (Firebase.RTDB.getBool(&fbdo, "/kontrol/manual"))
      modeManual = fbdo.boolData();

    if (modeManual) {
      if (Firebase.RTDB.getString(&fbdo, "/kontrol/pompa")) {
        String perintah = fbdo.stringData();
        if (perintah == "ON") aktifkanPompa();
        else matikanPompa();
```

```
      }
    } else {
      kontrolPompaOtomatis();
    }

    tampilLCD();
  }

  delay(3000);
}
```

Gambar 4. 9 Sintaks Perulangan Utama pada Fungsi `loop()`

Pada bagian ini, fungsi loop() berperan sebagai inti dari sistem monitoring dan kontrol pada proyek Smart Watering, di mana proses ini berjalan secara berulang setelah inisialisasi selesai. Tahap pertama dalam fungsi ini adalah membaca data sensor. Pembacaan suhu dan kelembapan udara dilakukan melalui DHT22 menggunakan perintah dht.readTemperature() dan dht.readHumidity(), yang disimpan dalam variabel suhu dan hum. Selanjutnya, pembacaan kelembapan tanah dilakukan dengan analogRead(SOIL_PIN) dan hasilnya disimpan pada variabel soilADC (nilai mentah ADC).

Nilai soilADC kemudian dikonversi menjadi persentase kelembapan tanah (soilPersen) menggunakan fungsi map(), dengan parameter batas kalibrasi manual yang telah ditentukan: nilaiKering = 2559 dan nilaiBasah = 1474. Konversi ini menghasilkan nilai antara 0–100% untuk memudahkan pengambilan keputusan logika kontrol. Fungsi constrain() diterapkan untuk memastikan nilai kelembapan tetap dalam rentang 0%–100%. Setelah konversi, data hasil pembacaan sensor ditampilkan ke Serial Monitor melalui serangkaian perintah Serial.print() agar proses debugging dan verifikasi berjalan dengan mudah.

Langkah berikutnya, sistem memeriksa apakah koneksi Firebase siap (Firebase.ready()) dan autentikasi berhasil (signupOK = true). Jika terpenuhi, data terbaru dikirim ke Firebase Realtime Database, meliputi nilai mentah sensor (soilADC), nilai kelembapan dalam persen (soilPersen), suhu udara (suhu), kelembapan udara (hum), serta status pompa (statusPompa). Setelah itu, sistem membaca status mode kontrol dari path /kontrol/manual. Jika mode manual aktif (true), pengguna dapat mengontrol pompa secara langsung melalui dashboard Firebase dengan perintah "ON" atau "OFF". Sebaliknya, jika mode manual tidak aktif, fungsi kontrolPompaOtomatis() dijalankan untuk menentukan kapan pompa harus menyala atau mati berdasarkan persentase kelembapan tanah.

Terakhir, fungsi tampilLCD() dipanggil untuk memperbarui informasi pada layar LCD, seperti suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan status pompa. Tidak terdapat delay() di akhir kode karena proses pembacaan dan pengiriman data diatur agar berjalan secara periodik setiap kali loop berulang, dengan jeda yang dikelola secara internal.

```
void tampilLCD() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("S:"); lcd.print(suhu, 0); lcd.print("C ");
  lcd.print("KU:"); lcd.print(hum, 0); lcd.print("%");

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("KT:"); lcd.print(soilPersen);
  lcd.print(" ");
  lcd.print(statusPompa == "ON" ? "P:ON " : "P:OFF");
}
```

Gambar 4. 10 Fungsi `tampilLCD()`

Fungsi tampilLCD() digunakan untuk menampilkan data sensor dan status pompa secara Real-time pada layar LCD 16x2. Fungsi ini diawali dengan lcd.clear() untuk membersihkan tampilan sebelumnya sehingga data baru tidak menimpa data lama, memastikan informasi tetap rapi dan terbaca dengan jelas. Selanjutnya, kursor diposisikan pada baris pertama menggunakan lcd.setCursor(0, 0). Pada baris ini, ditampilkan informasi suhu dengan label S:, diikuti nilai suhu (dalam °C) tanpa angka desimal, kemudian label KU: untuk kelembapan udara beserta nilai persentasenya.

Setelah itu, kursor diarahkan ke baris kedua melalui lcd.setCursor(0, 1). Di baris ini, ditampilkan data kelembapan tanah yang sudah dikonversi ke bentuk persentase dan diawali dengan label KT:. Di sebelah kanan, ditampilkan status pompa dalam bentuk singkat: P:ON apabila pompa aktif dan P:OFF jika pompa dalam kondisi mati. Penentuan status ini menggunakan operator ternary (statusPompa == "ON" ? "P:ON " : "P:OFF") untuk mempersingkat kode dan memastikan hasil tampil sesuai kondisi pompa.

Penggunaan label singkat seperti S, KU, KT, dan P dimaksudkan untuk menghemat ruang pada LCD sehingga semua informasi penting dapat dimuat dalam dua baris. Fungsi ini sangat penting karena memberikan feedback langsung kepada pengguna, terutama ketika perangkat dioperasikan di lapangan tanpa akses ke dashboard web. Dengan demikian, pengguna dapat memantau suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan status pompa secara cepat melalui perangkat keras.

```
void kontrolPompaOtomatis() {
  const int batasBawah = 40;
  const int batasAtas  = 60;

  if (soilPersen < batasBawah) {
    aktifkanPompa();
  } else if (soilPersen > batasAtas) {
    matikanPompa();
  }
}

// --- Aktuator Pompa ---
void aktifkanPompa() {
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
  statusPompa = "ON";
}

void matikanPompa() {
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
  statusPompa = "OFF";
```

Gambar 4. 11 Diagram Alur Fungsi `kontrolPompaOtomatis()`

Pada bagian ini, fungsi kontrolPompaOtomatis() digunakan untuk mengontrol pompa air secara otomatis berdasarkan nilai kelembapan tanah yang telah dikonversi ke bentuk persentase (%). Fungsi ini hanya dijalankan ketika sistem berada dalam mode otomatis, sehingga pengambilan keputusan dilakukan sepenuhnya oleh mikrokontroler tanpa intervensi pengguna.

Di dalam fungsi ini, ditetapkan dua batas ambang ideal kelembapan tanah, yaitu:

batasBawah = 40%, yang merepresentasikan kondisi tanah mulai kering.

batasAtas = 60%, yang menunjukkan kondisi tanah cukup basah.

Nilai kelembapan tanah diperoleh dari hasil konversi ADC menggunakan fungsi map(). Jika nilai soilPersen lebih kecil dari batas bawah (40%), sistem menganggap tanah terlalu kering, sehingga fungsi aktifkanPompa() dipanggil untuk menyalakan pompa. Sebaliknya, jika nilai soilPersen melebihi batas atas (60%), sistem menilai tanah sudah cukup basah, sehingga fungsi matikanPompa() dijalankan untuk mematikan pompa. Dengan logika ini, penyiraman dilakukan secara efisien, hanya ketika diperlukan.

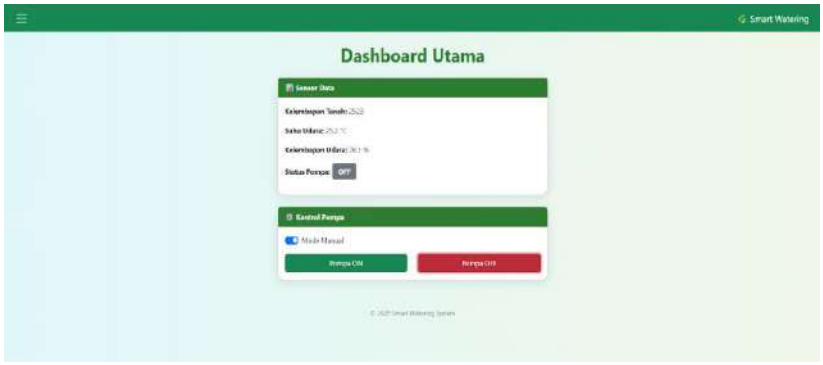
Fungsi aktifkanPompa() dan matikanPompa() merupakan pengendali aktuator pompa yang terhubung melalui modul relay. Pada fungsi aktifkanPompa(), sistem mengirim sinyal

HIGH ke pin relay menggunakan digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH), yang menandakan pompa dihidupkan. Selain itu, variabel statusPompa diatur menjadi "ON" untuk memberikan informasi status pompa ke LCD maupun Firebase. Sebaliknya, fungsi matikanPompa() mengatur pin relay ke kondisi LOW (digitalWrite(RELAY_PIN, LOW)), yang berarti pompa dimatikan, dan status diperbarui menjadi "OFF".

Dengan mekanisme ini, sistem dapat menjaga kelembapan tanah pada rentang ideal (40%–60%) sesuai referensi umum untuk tanaman hias, sehingga membantu efisiensi penggunaan air dan menjaga kesehatan tanaman.

4.3 Implementasi *Website* Monitoring dan Kontrol

Dalam penelitian ini, peneliti memanfaatkan aplikasi berbasis web yang terintegrasi dengan Firebase *Realtime Database* sebagai antarmuka pemantauan dan kontrol. Aplikasi web ini dipilih karena dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti laptop dan *smartphone* tanpa perlu instalasi. Pengguna dapat memantau data kelembapan tanah dan suhu secara *Real-time* serta mengontrol sistem dari jarak jauh. Untuk menghubungkan perangkat keras ke platform ini, dilakukan pemrograman pada ESP32 menggunakan Arduino IDE. Kode program mengatur agar data sensor dikirim ke Firebase, yang kemudian akan ditampilkan pada antarmuka web.



Gambar 4. 12 Tampilan Antarmuka *Website* Pemantauan

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8" />
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0"/>
  <title>🏠 Home - Smart Watering</title>
```

```
  <link
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.3.0/dist/css/bootstrap.min
.css" rel="stylesheet"/>
  <link rel="stylesheet" href="style.css">
</head>
<body>

<nav class="navbar navbar-dark bg-success mb-4">
  <div class="container-fluid">
    <button class="navbar-toggler" type="button" data-bs-
toggle="offcanvas" data-bs-target="#offcanvasSidebar" aria-
controls="offcanvasSidebar">
      <span class="navbar-toggler-icon"></span>
    </button>
    <a class="navbar-brand" href="index.html">🌿 Smart Watering</a>
  </div>
</nav>

<div class="offcanvas offcanvas-start bg-success text-white" tabindex="-
1" id="offcanvasSidebar" aria-labelledby="offcanvasSidebarLabel">
  <div class="offcanvas-header">
    <h5 class="offcanvas-title" id="offcanvasSidebarLabel">Menu</h5>
    <button type="button" class="btn-close btn-close-white" data-bs-
dismiss="offcanvas" aria-label="Close"></button>
  </div>
  <div class="offcanvas-body">
    <ul class="navbar-nav">
      <li class="nav-item">
        <a class="nav-link active" href="index.html">🏠 Home (Sensor &
Kontrol)</a>
      </li>
      <li class="nav-item">
        <a class="nav-link" href="grafik.html">📊 Grafik</a>
      </li>
    </ul>
  </div>
</div>

<div class="container">
```

```
  <h1 class="text-center mt-4 mb-4">Dashboard Utama</h1>
  <div class="row justify-content-center">
    <div class="col-md-8 col-lg-6">
      <!-- Sensor Data -->
      <div class="card mb-4">
        <div class="card-header">📊 Sensor Data</div>
        <div class="card-body">
          <p><strong>Kelembapan Tanah:</strong> <span
id="soil">0</span></p>
          <p><strong>Suhu Udara:</strong> <span id="temp">0</span> °C</p>
          <p><strong>Kelembapan Udara:</strong> <span id="hum">0</span>
%</p>
          <p><strong>Status Pompa:</strong>
            <span id="statusPompa" class="badge text-bg-
secondary">OFF</span>
          </p>
        </div>
      </div>

      <!-- Kontrol Pompa -->
      <div class="card mb-4">
        <div class="card-header">⚙ Kontrol Pompa</div>
        <div class="card-body">
          <div class="form-check form-switch mb-3">
            <input class="form-check-input" type="checkbox"
id="modeManualSwitch" />
            <label class="form-check-label" for="modeManualSwitch">Mode
Manual</label>
          </div>
          <div id="manualControl" style="display: none;" class="d-flex
justify-content-between">
            <button class="btn btn-success"
onclick="setPompa('ON')">Pompa ON</button>
            <button class="btn btn-danger"
onclick="setPompa('OFF')">Pompa OFF</button>
          </div>
        </div>
      </div>
    </div>
```

```
  </div>
</div>

<footer class="mt-4">
  &copy; 2025 Smart Watering System
</footer>

<script
src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.3.0/dist/js/bootstrap.bundl
e.min.js"></script>
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/9.6.1/firebase-app-
compat.js"></script>
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/9.6.1/firebase-Database -
compat.js"></script>
<script src="script.js"></script>
</body>
</html>
```

Gambar 4. 13 Index.Html

File index.html merupakan halaman utama dari sistem *Smart Watering* yang dirancang untuk menampilkan data sensor secara *Real-time* dan menyediakan fitur kontrol pompa manual. Struktur halaman ini diawali dengan deklarasi `<!DOCTYPE html>` yang menunjukkan bahwa dokumen menggunakan standar HTML5. Pada bagian `<head>`, terdapat beberapa elemen penting, di antaranya pengaturan karakter UTF-8 dan viewport agar tampilan halaman dapat menyesuaikan secara responsif pada perangkat mobile. Judul halaman ditentukan dengan elemen `<title>` yang menampilkan "🏠 Home - *Smart Watering*" di tab browser. Selanjutnya, file ini mengimpor pustaka CSS dari Bootstrap versi 5.3 melalui CDN, yang digunakan untuk mendukung tampilan dan komponen antarmuka yang modern dan responsif. File style.css juga disertakan untuk menambahkan atau menyesuaikan gaya visual yang lebih spesifik sesuai kebutuhan desain.

Memasuki bagian `<body>`, halaman ini dibuka dengan elemen navbar berwarna hijau (kelas bg-success) yang memuat tombol toggle untuk membuka *sidebar menu* (komponen offcanvas) dan judul " 🌿 *Smart Watering*" yang berfungsi sebagai tautan ke halaman utama. Sidebar yang muncul dari sisi kiri layar berisi menu navigasi dengan dua tautan utama, yaitu

"*Home*" dan "Grafik". Navigasi ini dirancang agar pengguna dapat berpindah dengan mudah antara halaman data sensor dan halaman grafik visualisasi data.

Bagian konten utama ditempatkan di dalam elemen `<div class="container">` dengan judul "Dashboard Utama" yang diratakan ke tengah. Seluruh konten dibagi ke dalam satu kolom menggunakan grid Bootstrap, dan dibungkus dalam dua buah kartu (*card*) Bootstrap yang ditata secara vertikal. Kartu pertama berisi data sensor yang menampilkan nilai kelembapan tanah, suhu udara, kelembapan udara, dan status pompa. Setiap nilai ditampilkan dalam elemen `<span>` dengan id khusus agar dapat diperbarui secara otomatis menggunakan JavaScript yang terhubung dengan Firebase.

Kartu kedua berfungsi sebagai kontrol pompa manual. Di dalamnya terdapat sebuah saklar berbentuk switch yang memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan mode manual. Ketika mode manual aktif, dua buah tombol akan muncul secara dinamis untuk menyalakan dan mematikan pompa secara langsung melalui fungsi `setPompa('ON')` dan `setPompa('OFF')`. Fungsi-fungsi ini diatur dalam file script.js yang juga memuat logika pengambilan data dari Firebase secara *Real-time* dan memperbarui tampilan HTML berdasarkan pembacaan sensor.

Sebagai penutup halaman, terdapat elemen `<footer>` yang menampilkan teks hak cipta tahun 2025 dan nama sistem. Kemudian, sebelum tag `</body>` ditutup, beberapa skrip penting dimuat, yaitu Bootstrap JS Bundle, Firebase App, Firebase *Database* (versi compat), serta file JavaScript eksternal script.js. Dengan struktur ini, halaman index.html berperan sebagai antarmuka utama untuk memantau dan mengontrol sistem penyiraman otomatis berbasis web secara langsung dan efisien.

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8" />
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0"/>
  <title>📊 Grafik - Smart Watering</title>
  <link
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.3.0/dist/css/bootstrap.min
.css" rel="stylesheet"/>
  <link rel="stylesheet" href="style.css">
</head>
<body>
```

```
<nav class="navbar navbar-dark bg-success mb-4">
  <div class="container-fluid">
    <button class="navbar-toggler" type="button" data-bs-
toggle="offcanvas" data-bs-target="#offcanvasSidebar" aria-
controls="offcanvasSidebar">
      <span class="navbar-toggler-icon"></span>
    </button>
    <a class="navbar-brand" href="index.html">🌿 Smart Watering</a>
  </div>
</nav>

<div class="offcanvas offcanvas-start bg-success text-white" tabindex="-
1" id="offcanvasSidebar" aria-labelledby="offcanvasSidebarLabel">
  <div class="offcanvas-header">
    <h5 class="offcanvas-title" id="offcanvasSidebarLabel">Menu</h5>
    <button type="button" class="btn-close btn-close-white" data-bs-
dismiss="offcanvas" aria-label="Close"></button>
  </div>
  <div class="offcanvas-body">
    <ul class="navbar-nav">
      <li class="nav-item">
        <a class="nav-link" href="index.html">🏠 Home (Sensor &
Kontrol)</a>
      </li>
      <li class="nav-item">
        <a class="nav-link active" href="grafik.html">📊 Grafik</a>
      </li>
    </ul>
  </div>
</div>

<div class="container">
  <h1 class="text-center mt-4 mb-4">Halaman Grafik</h1>
  <div class="row justify-content-center">
    <div class="col-md-8 col-lg-6">
      <!-- Grafik Kelembapan Tanah -->
      <div class="card mb-4">
        <div class="card-header">🌱 Grafik Kelembapan Tanah</div>
        <div class="card-body">
```

```
          <canvas id="soilChart" class="graph-container"></canvas>
        </div>
      </div>

      <!-- Grafik Suhu -->
      <div class="card mb-4">
        <div class="card-header">📎 Grafik Suhu</div>
        <div class="card-body">
          <canvas id="tempChart" class="graph-container"></canvas>
        </div>
      </div>

      <!-- Grafik Kelembapan Udara -->
      <div class="card mb-4">
        <div class="card-header">🦋 Grafik Kelembaban Udara</div>
        <div class="card-body">
          <canvas id="humChart" class="graph-container"></canvas>
        </div>
      </div>
    </div>
  </div>
</div>

<footer class="mt-4">
  &copy; 2025 Smart Watering System
</footer>

<script
src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.3.0/dist/js/bootstrap.bundl
e.min.js"></script>
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/9.6.1/firebase-app-
compat.js"></script>
<script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/9.6.1/firebase-Database -
compat.js"></script>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
<script src="script.js"></script>
</body>
</html>
```

Gambar 4. 14 grafik.html

File grafik.html merupakan halaman kedua dari sistem *Smart Watering* yang berfungsi untuk menampilkan grafik data sensor dalam bentuk visual yang mudah dibaca dan dipahami. Struktur file ini dimulai dengan deklarasi `<!DOCTYPE html>` yang menunjukkan bahwa dokumen menggunakan standar HTML5, dan atribut `lang="en"` pada elemen `<html>` menandakan bahwa bahasa utama dokumen ini adalah Bahasa Inggris. Bagian `<head>` berisi beberapa elemen penting, di antaranya pengaturan karakter `UTF-8` dan `viewport` yang memungkinkan halaman tampil secara responsif di berbagai perangkat, termasuk smartphone dan tablet. Judul halaman diatur menggunakan elemen `<title>` yang menampilkan teks "📊 Grafik - *Smart Watering*" di tab browser. Halaman ini juga memuat pustaka CSS Bootstrap versi 5.3 dari CDN yang digunakan untuk mendukung tata letak dan komponen tampilan, serta file style.css lokal yang digunakan untuk menjaga konsistensi gaya visual dengan halaman utama.

Bagian utama dari halaman ini terletak di dalam elemen `<body>`. Pertama-tama, terdapat elemen `<nav>` berupa navbar Bootstrap dengan latar belakang berwarna hijau (bg-*success*) yang dilengkapi tombol toggler dan nama sistem "🌿 *Smart Watering*" yang sekaligus menjadi tautan kembali ke halaman index.html. Navbar ini juga mendukung *sidebar* (komponen offcanvas Bootstrap) yang berisi menu navigasi. Di dalam sidebar tersebut terdapat dua menu: satu untuk kembali ke halaman utama (index.html) dan satu lagi yang aktif untuk halaman grafik (grafik.html).

Selanjutnya, isi halaman dibungkus dalam elemen `<div class="container">` yang berfungsi sebagai wadah utama. Judul halaman "Halaman Grafik" ditampilkan di tengah menggunakan kelas text-center. Isi konten dikelompokkan dalam kolom responsif (col-md-8 col-lg-6) yang diletakkan di tengah halaman. Di dalam kolom ini terdapat tiga buah komponen kartu (card), yang masing-masing berfungsi untuk menampilkan grafik data sensor.

Kartu pertama berjudul "🌱 Grafik Kelembapan Tanah" dan memuat sebuah elemen `<canvas> dengan id="soilChart"` yang akan digunakan oleh pustaka Chart.js untuk menggambar grafik kelembapan tanah berdasarkan data historis dari Firebase. Kartu kedua berjudul "🌡️ Grafik Suhu" yang juga berisi elemen `<canvas>` dengan `id="tempChart"`, dan digunakan untuk menggambar grafik suhu udara. Kartu ketiga berjudul "💧 Grafik Kelembaban Udara" dengan elemen `<canvas id="humChart">` yang akan menampilkan

grafik kelembapan udara. Ketiga grafik ini disusun secara vertikal ke bawah, masing-masing berada dalam satu kartu tersendiri, dengan jarak antar grafik yang cukup agar tampilan tidak terlihat padat atau sempit.

Pada bagian bawah halaman terdapat elemen `<footer>` yang memuat informasi hak cipta dengan teks "© 2025 *Smart Watering System*". Sebelum menutup tag `<body>`, beberapa pustaka JavaScript dimuat untuk mendukung fungsi interaktif halaman, antara lain pustaka Bootstrap JS, Firebase App, Firebase *Database* , pustaka Chart.js untuk menggambar grafik, serta file script.js lokal. File script.js inilah yang bertanggung jawab untuk mengambil data historis dari Firebase dan menampilkannya ke dalam grafik melalui Chart.js.

Secara keseluruhan, halaman grafik.html berfungsi sebagai pusat visualisasi data pada sistem *Smart Watering*. Dengan layout yang bersih, terstruktur, dan responsif, pengguna dapat melihat perkembangan data kelembapan dan suhu dari waktu ke waktu dalam bentuk grafik yang informatif dan mudah dipahami.

```
const firebaseConfig = {
  apiKey: "AIzaSyDOGTFroe2nSY-Lx2CetaFOalAoWM6YvcY",
  Database URL: "https://irigasi-otomatis-ad5dd-default-rtdb.asia-
southeast1.firebaseDatabase .app/"
};

firebase.initializeApp(firebaseConfig);
const db = firebase.Database ();

const soilSpan = document.getElementById("soil");
const tempSpan = document.getElementById("temp");
const humSpan = document.getElementById("hum");
const statusPompaSpan = document.getElementById("statusPompa");
const modeManualSwitch = document.getElementById("modeManualSwitch");
const manualControl = document.getElementById("manualControl");

// Chart setup
const soilCtx = document.getElementById("soilChart").getContext("2d");
const tempCtx = document.getElementById("tempChart").getContext("2d");
const humCtx = document.getElementById("humChart").getContext("2d");

const soilChart = new Chart(soilCtx, {
  type: "line",
  data: {
```

```
    labels: [],
    datasets: [{
      label: "Soil Moisture",
      data: [],
      fill: false,
      borderColor: "rgb(75, 192, 192)",
      tension: 0.1,
    }]
  }
});

const tempChart = new Chart(tempCtx, {
  type: "line",
  data: {
    labels: [],
    datasets: [{
      label: "Temperature (°C)",
      data: [],
      fill: false,
      borderColor: "rgb(255, 99, 132)",
      tension: 0.1,
    }]
  }
});

const humChart = new Chart(humCtx, {
  type: "line",
  data: {
    labels: [],
    datasets: [{
      label: "Humidity (%)",
      data: [],
      fill: false,
      borderColor: "rgb(54, 162, 235)",
      tension: 0.1,
    }]
  }
});

// Update UI from Firebase
```

```
db.ref("/sensor").on("value", (snapshot) => {
  const data = snapshot.val();
  if (data) {
    soilSpan.textContent = data.soil || 0;
    tempSpan.textContent = data.suhu || 0;
    humSpan.textContent = data.kelembaban || 0;
    statusPompaSpan.textContent = data.statusPompa || "OFF";
    statusPompaSpan.className = `badge text-bg-${data.statusPompa ===
"ON" ? "success" : "secondary"}`;

    updateChart(soilChart, data.soil || 0);
    updateChart(tempChart, data.suhu || 0);
    updateChart(humChart, data.kelembaban || 0);
  }
});

// Mode Manual
db.ref("/kontrol/manual").on("value", (snapshot) => {
  const val = snapshot.val();
  modeManualSwitch.checked = val;
  manualControl.style.display = val ? "block" : "none";
});

modeManualSwitch.addEventListener("change", () => {
  db.ref("/kontrol/manual").set(modeManualSwitch.checked);
});

function setPompa(state) {
  db.ref("/kontrol/pompa").set(state);
}

// Chart updater
function updateChart(chart, value) {
  const now = new Date().toLocaleTimeString();
  if (chart.data.labels.length > 10) {
    chart.data.labels.shift();
    chart.data.datasets[0].data.shift();
  }
  chart.data.labels.push(now);
  chart.data.datasets[0].data.push(value);
```

```
  chart.update();
}
```

Gambar 4. 15 JavaScript

File script.js merupakan bagian utama dari logika dinamis pada antarmuka web *Smart Watering* yang menghubungkan Firebase *Realtime Database* dengan elemen HTML untuk menampilkan data sensor secara *Real-time* dan memungkinkan interaksi pengguna. Pada bagian awal, kode mendefinisikan konfigurasi Firebase melalui objek `firebaseConfig` yang berisi apiKey dan *Database* URL dari proyek Firebase yang digunakan.

Konfigurasi ini kemudian di inisialisasi dengan menggunakan perintah melalui `firebase.initializeApp(firebaseConfig)` agar aplikasi web dapat terhubung ke layanan Firebase. Setelah koneksi berhasil, referensi ke *Database* disimpan ke dalam variabel db melalui `firebase.Database ()`, yang selanjutnya digunakan untuk membaca dan menulis data.

Setelah koneksi *Database* disiapkan, beberapa elemen HTML diambil menggunakan `getElementById()` seperti `soilSpan, tempSpan, humSpan`, dan `statusPompaSpan`, yang bertugas menampilkan nilai kelembapan tanah, suhu udara, kelembapan udara, dan status pompa ke dalam halaman. Elemen `modeManualSwitch` dan `manualControl` digunakan untuk mengatur mode kontrol pompa (otomatis atau manual), di mana pengguna dapat mengaktifkan atau menonaktifkan pompa secara langsung dari web.

Selanjutnya, kode membuat tiga buah grafik menggunakan Chart.js dengan tipe *line chart*. Masing-masing grafik disiapkan untuk menampilkan data kelembapan tanah `(soilChart)`, suhu udara `(tempChart)`, dan kelembapan udara `(humChart)`. Setiap grafik memiliki label dan warna yang berbeda untuk memudahkan identifikasi visual. Grafik ini akan diperbarui secara dinamis sesuai data sensor terbaru.

Proses pembaruan data dilakukan menggunakan `listener.on("value")` dari Firebase yang memantau node /sensor. Ketika terjadi perubahan data di node tersebut, data baru dibaca dan ditampilkan ke elemen HTML yang sesuai. Misalnya, data.soil akan diisikan ke elemen soilSpan, dan seterusnya. Status pompa juga diperiksa dan ditampilkan dengan badge yang berubah warna: hijau `(text-bg-success)` jika pompa aktif (*ON*), dan abu-abu `(text-bg-secondary)` jika tidak aktif (*OFF*). Pada saat bersamaan, grafik akan diperbarui menggunakan fungsi `updateChart()` yang menambahkan data terbaru ke grafik sambil menjaga agar jumlah titik data tidak lebih dari 10, sehingga grafik tetap ringan dan informatif.

Untuk kontrol manual, node /kontrol/manual di Firebase dipantau. Jika pengguna mengaktifkan switch mode manual, maka tombol kontrol pompa akan ditampilkan. Perubahan nilai switch ini juga disimpan kembali ke Firebase menggunakan `db.ref("/kontrol/manual").set()`. Ketika pengguna menekan tombol Pompa ON atau OFF, fungsi `setPompa(state)` akan dipanggil untuk mengirimkan perintah ON atau OFF ke node /kontrol/pompa di Firebase, yang akan dibaca oleh sistem mikrokontroler dan diterjemahkan menjadi aksi fisik menghidupkan atau mematikan pompa air.

Secara keseluruhan, script.js berperan sebagai penghubung *Real-time* antara *Database* Firebase, elemen HTML, dan komponen interaktif seperti grafik dan tombol, sehingga memungkinkan halaman web ini tidak hanya menampilkan data sensor secara langsung tetapi juga memberikan kendali aktif terhadap sistem irigasi yang berjalan di mikrokontroler.

```
body {
  background: linear-gradient(to right, #e0f7fa, #f1f8e9);
  font-family: 'Segoe UI', sans-serif;
}

h1 {
  font-weight: bold;
  color: #2e7d32;
}

.card {
  border-radius: 1rem;
  box-shadow: 0 4px 20px rgba(0, 0, 0, 0.1);
  margin-bottom: 25px;
}

.card-header {
  font-weight: bold;
  background-color: #2e7d32 !important;
  color: white;
  border-top-left-radius: 1rem;
  border-top-right-radius: 1rem;
}

.graph-container {
  height: 250px;
```

```
}

.badge {
  font-size: 1rem;
  padding: 0.6em 0.9em;
}

#manualControl button {
  width: 48%;
}

footer {
  text-align: center;
  font-size: 0.9rem;
  padding: 10px;
  color: #777;
}
```

Gambar 4. 16 CSS

File CSS pada sistem ini berfungsi untuk memperindah tampilan antarmuka pengguna. Desain menggunakan pendekatan estetika yang bersih dan alami untuk mendukung kesan ramah lingkungan dan kemudahan pemantauan. Elemen *body* diberi latar belakang gradien warna biru muda ke hijau muda untuk menggambarkan kesegaran alam. *Font* yang digunakan adalah 'Segoe UI' untuk kesan modern dan nyaman dibaca.

Judul halaman `(h1)` diformat dengan warna hijau gelap dan huruf tebal untuk menegaskan identitas aplikasi. Komponen `.card` yang digunakan sebagai wadah informasi sensor dan grafik diberikan sudut membulat dan bayangan halus agar tampak mengambang dan rapi secara visual.

Bagian `.card-header` diberi latar hijau dan teks putih sebagai penanda kategori setiap card. Area grafik `(.graph-container)` disesuaikan tingginya untuk menjaga proporsi dan keterbacaan grafik. Label status pompa `(.badge)` disesuaikan ukuran dan padding-nya agar terlihat konsisten. Tombol kendali pompa pada mode manual dibagi rata (48%) agar seimbang dalam satu baris. Terakhir, bagian `footer` diformat dengan teks kecil dan warna abu lembut untuk memberikan penutup halaman yang informatif namun tidak mencolok.

4.4 Spesifikasi Tanaman Uji dan Tanaman yang Direkomendasikan

Sistem irigasi otomatis yang dibuat pada penelitian ini menggunakan sensor kelembapan tanah untuk menentukan kapan pompa air harus diaktifkan. Oleh karena itu, tidak semua jenis tanaman cocok menggunakan sistem ini, terutama tanaman yang memerlukan media tanam kering atau memiliki toleransi kelembapan yang rendah. Sistem ini paling sesuai diterapkan pada tanaman yang memiliki kebutuhan kelembapan tanah yang stabil dan tidak terlalu ekstrem, khususnya untuk tanaman hias dalam pot atau media tanam kecil hingga sedang. Beberapa contoh tanaman yang cocok menggunakan sistem ini antara lain:

a. Janda Bolong (*Monstera deliciosa*)

Janda Bolong (*Monstera deliciosa*) merupakan tanaman hias tropis yang membutuhkan kondisi tanah yang sedikit lembap secara konsisten. Tanaman ini bersifat sensitif terhadap kekeringan maupun kelebihan air; penyiraman berlebih dapat menyebabkan pembusukan akar, sementara tanah yang terlalu kering bisa membuat daun menguning. Selain itu, Monstera sebaiknya tidak terkena paparan sinar matahari secara langsung, karena hal tersebut dapat mempercepat penguapan air dalam tanah dan mengganggu kelembapan media tanam. Suhu lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan Monstera berada pada kisaran 18 hingga 27 derajat Celsius(Lie & Setyaningsih, 2024).

b. Meranti Sepat *(Calathea)*

Meranti Sepat (*Calathea*), merupakan tanaman hias tropis yang dikenal dengan pola daun yang indah dan memerlukan kondisi lingkungan yang lembap secara konsisten. Penyiraman ideal dilakukan pada pagi dan sore hari, saat suhu lingkungan lebih stabil dan penguapan tidak terlalu tinggi, sehingga air dapat diserap lebih efektif oleh akar. Tanaman ini sangat sensitif terhadap kekeringan, tanah yang kering dapat menyebabkan daun menggulung, menguning, bahkan rontok. Oleh karena itu, Meranti Sepat (*Calathea*)membutuhkan media tanam yang selalu lembap namun tetap memiliki drainase baik untuk mencegah akar tergenang (Hamdani et al., 2025).

c. Sri Rejeki (*Aglaonema*)

Sri Rejeki (*Aglaonema*) merupakan salah satu tanaman hias tropis yang sangat populer di Indonesia karena keindahan daunnya serta kemampuannya tumbuh baik di dalam ruangan. Tanaman ini memiliki kebutuhan kelembapan tanah yang cukup tinggi, namun tetap memerlukan media tanam dengan drainase yang baik. Penyiraman menjadi faktor utama dalam keberhasilan budidaya Aglaonema. Berdasarkan pengamatan, akar tanaman ini sangat mudah mengalami pembusukan apabila penyiraman dilakukan terlalu

sering atau dengan volume air berlebihan yang menyebabkan genangan dalam pot. Sebaliknya, jika tanaman kekurangan air, daunnya akan menunjukkan gejala layu dan mengering(Tombeng, 2022).

Namun demikian, tanaman kaktus dan jenis sukulen lainnya tidak disarankan menggunakan sistem ini, karena mereka memerlukan media tanam yang cenderung kering dan hanya perlu disiram sesekali. Penggunaan sistem otomatis pada tanaman jenis ini berisiko menyebabkan pembusukan akar akibat kelebihan air.

Dengan mempertimbangkan karakteristik kelembapan media tanam dan kebutuhan air tanaman, sistem ini lebih ideal untuk tanaman hias tropis *indoor* atau *semi-indoor* yang membutuhkan perhatian rutin terhadap kadar air tanah, tetapi pengguna tidak selalu memiliki waktu atau konsistensi untuk menyiram secara manual.

4.5 Pengujian

Pada bagian ini, dilakukan serangkaian pengujian untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi sesuai dengan rancangan dan tujuan penelitian.

4.5.1 Pengujian Fungsionalitas Komponen

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan setiap komponen perangkat keras berfungsi secara individual dan kolektif.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Fungsionalitas Komponen

No	**Indikator Pengujian**	**Hasil**
1.	Alat dapat dinyalakan tanpa adanya kendala	Berhasil
2.	Sensor *Capacitive Soil Moisture* mampu mendeteksi kelembapan tanah	Berhasil
3.	Sensor DHT22 mampu mendeteksi suhu dan kelembapan udara	Berhasil
4.	Pompa air dapat hidup dan mati secara otomatis berdasarkan data yang diterima dari sensor	Berhasil
5.	LCD mampu menampilkan data dari sensor dengan jelas	Berhasil
6.	Pompa air dapat di control secara manual dari *website* monitoring	Berhasil

4.5.2 Pengujian Penyiraman Otomatis

Pengujian ini bertujuan untuk menguji bahwa penyiraman otomatis bekerja dengan baik sesuai kebutuhan kelembapan tanah tanaman. Dalam sistem ini, pompa akan menyala secara otomatis ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan untuk

tanaman, dan akan mati kembali setelah kelembapan tanah melewati ambang batas kelembapan tanah yang sudah ditentukan. Untuk mendukung validitas pengujian sistem, digunakan tiga jenis tanaman hias tropis *indoor* yang umum ditemukan dan memiliki kebutuhan kelembapan tanah yang serupa, yaitu:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis

Pilihan Tanaman	**Nilai Kelembapan Tanah Awal**	**Nilai Kelembapan Akhir**
Janda Bolong (*Monstera deliciosa*)	2466	1991
Meranti Sepat (*Calathea*)	2480	1920
Sri Rejeki (*Aglaonema*)	2553	2006

Ambang batas kelembapan tanah yang digunakan dalam sistem ini ditetapkan berdasarkan hasil kalibrasi manual sensor, yaitu pada rentang 1908–2125 yang merepresentasikan kondisi kelembapan optimal 40–60% untuk tanaman hias tropis indoor. Dengan acuan ambang batas ini, pompa air dapat menyala dan mati secara otomatis sesuai kebutuhan kelembapan media tanam.

Ketiga tanaman di atas digunakan untuk mengevaluasi efektivitas sensor kelembapan tanah dalam mengaktifkan dan menonaktifkan pompa secara otomatis. Sistem ini berhasil mempertahankan kelembapan tanah. Dengan mempertimbangkan hasil uji tersebut, sistem ini dapat diterapkan juga pada tanaman hias tropis *indoor* lainnya yang memiliki kebutuhan kelembapan serupa. Namun, sistem ini tidak direkomendasikan untuk jenis tanaman seperti kaktus, sukulen, atau tanaman xerofit lainnya yang membutuhkan tanah kering dan penyiraman sangat jarang.

4.5.3 Pengujian pada Aplikasi Web dan LCD

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan data yang ditampilkan pada aplikasi web sinkron dengan data yang ditampilkan pada LCD dan sesuai dengan kondisi nyata. Pengujian ini memerlukan koneksi internet yang aktif.



Gambar 4. 17 Pengujian Sinkronisasi Data pada *Website* dan LCD

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sinkronisasi Data

No	Parameter	Status	Keterangan
1	Tampilan data kelembapan tanah	Berfungsi	Data kelembapan tanah ditampilkan secara *Real-time* dan berubah sesuai sensor.
2	Tampilan data suhu udara	Berfungsi	Nilai suhu udara tampil dinamis, mengikuti pembacaan sensor dari Firebase.
3	Tampilan status pompa (*ON*/*OFF*)	Berfungsi	Status pompa otomatis atau manual ditampilkan dengan indikator (*ON*/*OFF*).

4.5.4 Uji Coba oleh Pengguna dan Hasil Wawancara

Pengujian sistem dilakukan dengan melibatkan sepuluh responden yang terbagi ke dalam dua kelompok. Kelompok pertama terdiri dari lima responden yang sebelumnya telah diwawancarai pada tahap awal pengumpulan data untuk menggali kebutuhan dan permasalahan terkait penyiraman tanaman secara manual. Kelompok kedua terdiri dari lima responden baru yang belum pernah diwawancarai sebelumnya, namun langsung memberikan tanggapan setelah mencoba dan menguji alat irigasi otomatis yang telah dikembangkan. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh umpan balik yang lebih beragam, baik dari pengguna yang sudah terlibat sejak awal proses perancangan maupun dari perspektif pengguna baru yang langsung berinteraksi dengan produk akhir.



Gambar 4. 18 Kegiatan Pengujian Alat

Tabel 4. 4 Hasil Umpan Balik Sebelum & Sesudah Penggunaan Alat

No.	Reponden	Tanggapan Sebelum Alat dibuat	Tanggapan Setelah Alat Digunakan
1.	Katrina Dini (Pemilik toko Tanaman hias Ttanduran)	Melakukan penyiraman manual tanpa alat ukur, berisiko *overwatering*. Tanaman bisa kekeringan saat ditinggal. Belum pernah memakai sistem otomatis, namun percaya teknologi irigasi berbasis sensor akan sangat bermanfaat, terutama untuk tanaman bernilai tinggi seperti *Monstera*.	Katrina Dini, sebagai responden, menyatakan bahwa alat penyiraman otomatis mudah digunakan dan sangat membantu. Ia menyukai fitur akses jarak jauh melalui *smartphone* atau laptop, serta kemampuan alat membaca kelembapan tanah dan menyiram otomatis sesuai kebutuhan. Tampilan *website* juga dinilai informatif dan mudah dipahami. Fitur-fitur sistem telah sesuai dengan harapannya, dan ia merasa puas serta bersedia menggunakan alat ini untuk jangka panjang. Ia menyarankan pengembangan alat dalam skala lebih besar agar dapat menyiram lebih banyak tanaman.
2.	Yuli Ratna Ningsih(Petani toko Taman Bunga Praptojoyo, Jl Kaliurang. Degolan No.Km 15, RW.2, Degolan, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman Regency, Special Region of Yogyakarta 55584)	Merawat lebih dari 50 tanaman hias dengan penyiraman manual 2–3 kali seminggu. Sering mengalami *overwatering* dan media tanam menjadi kotor. Belum pernah menggunakan sistem otomatis, namun berharap adanya alat yang dapat memantau kelembapan tanah dan menentukan jumlah air secara otomatis tanpa harus dicek manual.	Ibu Yuli, yang mencoba alat irigasi otomatis di Taman Bunga Praptojoyo, menyatakan bahwa alat ini cukup mudah digunakan dan mampu membaca sensor kelembapan serta suhu tanah secara otomatis. Data yang ditampilkan di *website* monitoring dinilai jelas dan informatif. Ia merasa sistem ini membantu mengurangi beban penyiraman manual, karena penyiraman berhenti secara otomatis saat kelembapan sudah tercapai, berbeda dengan penggunaan selang yang cenderung berlebihan. Fitur-fitur alat telah sesuai dengan harapannya, terutama dalam hal akurasi

			penyiraman dan tampilan monitoring yang rapi. Ibu Yuli mengaku puas dengan alat tersebut dan bersedia menggunakannya secara jangka panjang. Namun, ia menyarankan agar alat dapat dikembangkan dalam skala yang lebih besar atau mampu menyiram beberapa tanaman sekaligus agar lebih efisien.
3.	Marsha Zahrah Fatharani (Mahasiswa)	Merawat sekitar 14 tanaman, tetapi hanya menyiram sekali seminggu jika ingat. Tidak memiliki alat ukur, sehingga tidak tahu apakah penyiraman terlalu banyak atau kurang. Belum pernah menggunakan sistem otomatis, namun menilai teknologi ini penting untuk membantu penyiraman saat sibuk dan memantau kelembapan secara *Real-time* .	Sasa menyatakan sangat puas dengan alat irigasi otomatis yang telah dicoba. Alat ini mudah digunakan, mampu menyiram otomatis dan membaca kelembapan tanah dengan baik. Ia merasa alat ini mengurangi beban penyiraman manual dan tampilannya informatif serta mudah dipahami. Fitur yang tersedia sudah sesuai harapan, tidak ditemukan kekurangan, dan Sasa bersedia menggunakannya dalam jangka panjang. Tidak ada saran tambahan karena alat dinilai sudah baik.
4.	Sri (Ibu rumah tangga dan petani)	Merawat 20 tanaman hias dan menyiram hingga lima kali seminggu berdasarkan waktu luang, namun sering terjadi *overwatering* hingga tanaman mati. Belum pernah menggunakan sistem otomatis, namun menilai teknologi ini penting untuk membantu pemantauan kelembapan tanah dan menentukan waktu penyiraman yang tepat. Bersedia mencoba jika alat tersedia.	Setelah mencoba alat irigasi otomatis, Ibu Sri menyatakan bahwa alat ini mudah digunakan dan mampu menyiram tanaman secara otomatis sesuai kebutuhan. Ia merasa alat ini sangat membantu mengurangi beban penyiraman manual. Tampilan *website* dinilai informatif dan mudah dipahami, terutama untuk melihat data kelembapan dan suhu. Semua fitur yang tersedia sudah sesuai dengan harapannya sejak awal, dan ia tidak menemukan kekurangan pada alat tersebut. Ibu Sri merasa puas secara keseluruhan dan bersedia menggunakan alat ini dalam jangka panjang.
5.	Muhammad Fahmi Ramadhan (Pekerja)	Mas Fahmi, seorang arsitek berusia 26 tahun, merawat sekitar 5 pot tanaman hias di rumahnya. Penyiraman dilakukan secara manual setiap sore berdasarkan pengamatan visual terhadap kondisi tanah. Mas Fahmi mengaku sering menghadapi masalah tanaman mati mendadak karena penyiraman yang tidak teratur. Meskipun belum pernah menggunakan sistem irigasi otomatis, ia menilai teknologi tersebut penting dan bermanfaat, khususnya bagi orang dengan aktivitas padat.	Fahmi menyatakan sangat puas dengan alat irigasi otomatis yang dicoba. Ini merupakan pengalaman pertamanya menggunakan alat semacam itu, dan menurutnya alat ini praktis, mudah digunakan, serta mampu menyiram otomatis dan membaca kelembapan tanah. Ia merasa sangat terbantu, terutama karena kesibukannya sering membuatnya lupa menyiram. Tampilan *website* dinilai simpel dan informatif, serta cocok untuk orang yang memiliki kesibukan seperti mas Fahmi. Ia berminat menggunakan alat ini jika dijual, meskipun menyarankan bentuknya bisa diperhalus.

		Mas Fahmi mengharapkan fitur pemantauan kelembapan tanah dan penyiraman otomatis dalam sistem tersebut yang akan sangat membantu Mas Fahmi dalam melakukan penyiraman, serta bersedia untuk mencoba alat jika telah tersedia.	

Tabel 4. 5 Hasil Umpan Balik Responden Baru

No.	Responden	Tanggapan Setelah Alat Digunakan
1.	Ibu Vivi (Ibu rumah tangga dan bekerja)	Ibu Vivi memberikan respons positif terhadap alat irigasi otomatis yang dicobanya. Ia merasa alat ini mudah digunakan, berfungsi baik, dan sangat membantu dalam kesibukan, terutama karena bisa dikontrol jarak jauh. Tampilan *website* dinilai simpel dan informatif. Ia bersedia menggunakannya di rumah jika harganya terjangkau. Kekurangan utama adalah ketergantungan pada sinyal, dan ia menyarankan penambahan simbol visual serta peningkatan stabilitas sistem. Menurutnya, alat ini cocok untuk petani milenial karena praktis dan modern. Secara keseluruhan, ia puas dan melihat potensi besar dari alat ini.
2.	Ibu Niar (Petani tanaman hias toko Jl. Kaliurang No.Km. 15, Ngemplak, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman Regency, Special Region of Yogyakarta 55582)	Ibu Niar, penjaga tanaman di toko tanaman hias Citra Garden yang berlokasi di Jalan Kaliurang KM 15, baru pertama kali mencoba alat irigasi otomatis. Setelah mencobanya, ia merasa alat ini sangat memudahkan proses penyiraman dan mudah digunakan, cukup dengan mengaktifkan tombol *on*/*off*. Sistem alat dinilai praktis dan efisien karena dapat menyiram secara otomatis sesuai kondisi tanah, serta tetap berfungsi saat ia sedang melakukan aktivitas lain, sehingga mengurangi kebutuhan tenaga. Tampilan *website* monitoring juga dinilai sangat informatif dengan penyajian data suhu, kelembapan, dan status pompa (manual atau otomatis). Ia menilai alat ini cocok digunakan oleh orang dengan aktivitas padat karena tidak perlu lagi mengurus penyiraman secara langsung. Ibu Niar merasa puas dengan alat tersebut dan bersedia menggunakannya untuk jangka panjang. Sebagai saran, ia mengusulkan penambahan fitur timer agar penyiraman dapat dijadwalkan sesuai kebutuhan tanaman.
3.	Bapak Lukman Hakim (Pemilik toko tanaman hias Indah Nursari JL Kaliurang, Km. 16, Umbul Martani, Ngemplak, Legolan, Umbulmartani, Kec. Sleman, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584)	Bapak Lukman Hakim, pemilik toko tanaman hias Indah Nursari di Jalan Kaliurang KM 16, baru pertama kali mencoba alat penyiraman otomatis. Ia memberikan kesan awal bahwa alat ini cukup bagus dan membantu, serta mudah digunakan. Saat diuji, sistem penyiraman otomatis dapat berhenti dengan sendirinya ketika tanah sudah lembap, yang menurutnya membuat proses penyiraman terasa lebih praktis dan efisien.

		Tampilan *website* monitoring dinilai jelas dan mudah dipahami, dengan informasi suhu dan kelembapan yang tersaji rapi. Namun, Bapak Lukman mengungkapkan bahwa untuk kebunnya yang luas, alat ini kurang cocok karena skalanya terlalu kecil. Menurutnya, alat ini akan lebih bermanfaat untuk tanaman mahal, tanaman yang butuh perhatian khusus, atau penggunaan rumahan dengan jumlah tanaman sedikit. Secara keseluruhan, ia puas dengan kinerja alat, namun belum tertarik menggunakannya dalam jangka panjang kecuali jika alat tersebut dikembangkan dengan kapasitas lebih besar.
4.	Nadya Sheva (Mahasiswa)	Nadya, seorang mahasiswi yang merawat beberapa tanaman hias, memberikan kesan sangat positif terhadap alat irigasi otomatis. Ia merasa alat ini mudah digunakan, berfungsi baik, dan sangat membantu menjaga tanaman tetap terurus meskipun ia sibuk kuliah. Tampilan *website* dinilai jelas dan menarik, dan alat ini cocok untuk orang yang sibuk atau pelupa. Nadya tertarik menggunakan alat ini di kos jika sudah tersedia di pasaran. Ia tidak menemukan kekurangan, namun menyarankan pengembangan versi aplikasi atau koneksi *Bluetooth*. Secara keseluruhan, ia sangat puas dengan alat tersebut.
5.	Ibu Astrini (Ibu rumah tangga)	Ibu Astrini, seorang ibu rumah tangga yang merawat sekitar 20 pot tanaman hias, menyampaikan bahwa alat irigasi otomatis ini sangat membantu dalam merawat tanamannya. Meskipun belum pernah menggunakan alat sejenis sebelumnya, ia merasa penggunaan alat ini sangat mudah dipahami. Sistem dinilai praktis karena mampu menyiram tanaman secara otomatis saat tanah kering, dan berhenti secara otomatis saat tanah sudah lembap. Tampilan *website* monitoring di ponsel juga dianggap jelas dan informatif, terutama dalam menampilkan data kelembapan dan suhu tanah. Ibu Astrini merasa sangat terbantu saat sedang sibuk, dan menilai alat ini sudah sesuai harapan. Ia menyatakan tertarik untuk membeli jika alat ini tersedia di pasaran, serta mengaku puas secara keseluruhan tanpa memiliki saran perbaikan.

Hasil dari uji coba pengguna, baik yang diwawancarai sebelum dan sesudah penggunaan maupun yang hanya mencoba sistem setelah jadi, menunjukkan beberapa poin penting:

a. Sistem mudah digunakan dan dipahami oleh pengguna awam, termasuk yang tidak memiliki latar belakang teknis.
b. Fungsi penyiraman otomatis berjalan baik dan mampu merespons kondisi kelembapan tanah secara akurat.
c. Sistem cocok digunakan untuk tanaman hias tropis *indoor* seperti Janda Bolong (*Monstera deliciosa*), Meranti Sepat *(Calathea)*, Sri Rejeki (*Aglaonema*), dan tanaman berdaun lembap lainnya.

d. *Website* monitoring dianggap informatif dan responsif.
e. Beberapa pengguna menyarankan pengembangan lebih lanjut pada tampilan visual, fitur timer, dan perluasan skala penggunaan.

Berdasarkan hasil ini, sistem irigasi otomatis berbasis web yang dikembangkan menunjukkan tingkat penerimaan yang baik dari pengguna akhir. Sistem dinilai efektif dalam memenuhi kebutuhan penyiraman tanaman hias secara praktis dan efisien, terutama untuk tanaman yang membutuhkan kelembapan tanah stabil.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem irigasi otomatis berbasis IoT yang dikembangkan mampu bekerja sesuai rancangan, yaitu melakukan penyiraman ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang batas, serta berhenti secara otomatis setelah kelembapan tercapai. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor capacitive soil moisture dapat membaca kondisi media tanam secara akurat. Nilai kelembapan tanah pada tiga jenis tanaman uji (Monstera, Calathea, dan Aglaonema) berhasil dipertahankan pada kisaran kebutuhan ideal, sehingga tanaman tidak mengalami overwatering maupun kekeringan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian (Anugrah et al., 2021b) dan (Daru et al., 2021) yang juga menunjukkan keberhasilan sistem irigasi otomatis berbasis IoT dalam menjaga kelembapan tanah tanaman secara real-time. Bedanya, penelitian terdahulu menggunakan sensor resistif FC-28 yang rawan korosi, sementara penelitian ini menggunakan sensor kapasitif yang lebih tahan lama, sehingga memberi kontribusi berupa peningkatan keandalan sistem.

Selain itu, hasil penelitian ini mendukung temuan (Fathurrohman et al., 2021) yang menyatakan bahwa sistem berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi penyiraman dengan memanfaatkan data real-time. Namun, berbeda dengan penelitian tersebut yang menggunakan NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Blynk, penelitian ini menggunakan ESP32 dengan integrasi ke Firebase Realtime Database dan antarmuka berbasis web, sehingga pengguna dapat mengakses sistem tanpa perlu menginstal aplikasi tambahan. Hal ini menjadi nilai tambah dari penelitian ini karena lebih fleksibel bagi pengguna awam.

Dari sisi penerimaan pengguna, hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem dinilai praktis, mudah digunakan, dan sesuai harapan pengguna tanaman hias. Hal ini konsisten dengan penelitian oleh (Rhamadhany & Juliasari, 2023) yang menemukan bahwa adopsi IoT pada bidang pertanian/pertamanan diterima dengan baik karena memberikan kemudahan monitoring dan kontrol.

Namun, penelitian ini juga menemukan keterbatasan: sistem masih bergantung pada koneksi internet, dan kapasitas penyiraman hanya terbatas pada beberapa pot tanaman. Hal ini sedikit berbeda dengan penelitian terdahulu pada skala pertanian (misalnya sawah atau kebun), yang menargetkan area lebih luas. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini adalah pada penerapan IoT untuk skala rumah tangga (*indoor* tanaman hias), yang relatif belum banyak dibahas pada penelitian sebelumnya.

4.6 Evaluasi

Berdasarkan serangkaian hasil implementasi dan pengujian, sistem irigasi otomatis berbasis web yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang baik dan memberikan hasil yang memuaskan. Sistem ini mampu menjalankan fungsi utamanya, yaitu memantau kondisi lingkungan tanaman dan melakukan penyiraman secara otomatis.

Kelebihan utama dari alat ini adalah kemampuannya untuk menyediakan pemantauan yang fleksibel. Pengguna tidak hanya mendapatkan data kelembapan tanah, tetapi juga data suhu dan kelembapan udara. Akses melalui antarmuka web memungkinkan pemantauan dan kontrol dari mana saja, memberikan kemudahan bagi pengguna dengan mobilitas tinggi. Penggunaan sensor *Capacitive Soil Moisture* juga menjadi keunggulan karena lebih tahan terhadap korosi dan memiliki durabilitas jangka panjang yang lebih baik.

Namun, alat ini juga memiliki beberapa kekurangan. Pertama, keandalannya sangat bergantung pada koneksi internet (Wi-Fi). Jika koneksi terputus, fungsi pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui web tidak akan berjalan, meskipun sistem penyiraman otomatis lokal tetap dapat berfungsi. Kedua, jangkauan sensor kelembapan tanah yang digunakan memiliki panjang terbatas, sehingga kurang optimal untuk digunakan pada pot atau media tanam yang sangat besar dan dalam. Untuk analisis pertumbuhan tanaman yang lebih baik, sistem ini masih belum dilengkapi parameter lain seperti sensor pH tanah atau intensitas cahaya.

Secara keseluruhan, alat ini merupakan solusi yang efektif untuk otomasi perawatan tanaman hias secara *real-time* . Meskipun terdapat beberapa kekurangan, hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini mampu memberikan data yang akurat, meningkatkan efisiensi air, dan memberikan kemudahan signifikan bagi pengguna.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem irigasi pintar untuk tanaman hias berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dirancang dan dikembangkan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor kelembaban tanah kapasitif (*Capacitive Soil Moisture*), sensor suhu dan kelembaban udara DHT22, modul *relay*, dan Pompa Air untuk memantau kelembaban tanah dan suhu/kelembaban udara secara akurat serta melakukan penyiraman otomatis.

Pada tahap pengujian, didapatkan bahwa sistem ini dapat mengukur kelembaban tanah dengan akurat, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tanaman dari jarak jauh melalui antarmuka web berbasis Firebase. Selain berfungsi untuk memantau kelembaban dan suhu/kelembaban udara, sistem ini juga dapat melakukan penyiraman secara otomatis sesuai ambang batas yang ditetapkan, sehingga pengguna tidak perlu lagi melakukan penyiraman secara manual. *Website* monitoring dinilai mudah dipahami, informatif, dan cukup responsif. Dengan demikian, sistem ini dinilai efektif dalam membantu merawat tanaman hias secara praktis dan otomatis. Dengan adanya sistem ini, diharapkan dapat membantu pengguna dalam pengelolaan tanaman hias agar lebih efisien dan mempermudah pengambilan keputusan terkait perawatan

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan melalui berbagai tahapan, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan untuk penelitian berikutnya, antara lain:

a. Perluasan jangkauan sensor

   Pada penelitian ini, sensor kelembaban tanah kapasitif yang digunakan memiliki panjang terbatas, sehingga lebih efisien pada tanaman yang terdapat pada pot ukuran standar. Untuk pengembangan selanjutnya, diharapkan dapat menggunakan sensor dengan desain yang lebih panjang atau menambahkan lebih banyak titik sensor agar pengukuran kelembaban tanah dapat lebih luas jangkauannya, sehingga sistem dapat diterapkan pada pot yang sangat besar atau bahkan lahan yang lebih luas.

b. Peningkatan keandalan koneksi internet

Pada penelitian ini, sistem sangat membutuhkan koneksi internet (Wi-Fi) untuk menjalankan fitur pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui web. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat dikembangkan alat yang tetap berfungsi optimal dan dapat menyimpan data sementara meskipun tanpa koneksi internet yang stabil, untuk memastikan kontinuitas operasional dan pengiriman data saat koneksi kembali tersedia.

c. Pemantauan dan pengukuran aspek pendukung lain

Penelitian selanjutnya diharapkan untuk menambahkan fitur pengukuran parameter lain seperti pH tanah dan intensitas cahaya matahari dengan menambahkan sensor yang diperlukan. Dengan begitu, sistem akan memberikan data lingkungan yang lebih komprehensif, yang dapat lebih meningkatkan keberhasilan pertumbuhan tanaman dan juga dapat meningkatkan kualitas tanaman secara keseluruhan.

d. Penambahan fitur *timer* penyiraman

Diperlukan fitur pengaturan waktu penyiraman berdasarkan jam tertentu agar penyiraman tidak hanya bergantung pada nilai kelembaban, tetapi juga dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman yang tidak perlu terlalu basah.

DAFTAR PUSTAKA

Al Bayani, M., Achirul Nanda, M., Budiarto, R., Padjadjaran, U., Raya Bandung Sumedang, J. K., Jatinangor, K., Sumedang, K., & Barat, J. (2024). *Penerapan Irigasi Otomatis dan Sistem Monitoring Lahan Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Budidaya Tanaman Jeruk Purut Application of Automatic Irrigation and Internet of Things (IoT) Based Field Monitoring System for Kaffir Lime Plants Cultivation*. https://journal.polbangtanyoma.ac.id/pros2024yoma

Ananda, F., Wahyuni Arsianti, R., Fadllhullah, A., Pradana, A., & Harto, D. (2021). SISTEM IRIGASI OTOMATIS PADA TANAMAN HIAS BERBASIS INTERNET OF THING. In *JURNAL OTOMASI* (Vol. 1, Issue 2). http://ojs.polmed.ac.id/index.php/JOM

Andika, J., Permana, E., & Attamimi, S. (2022). Perancangan Sistem Otomatisasi dan Monitoring Perangkat Perawatan Tanaman Hias Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Elektro*, *13*(2), 100. https://doi.org/10.22441/jte.2022.v13i2.007

Anugerah, R., Lubis, S., Lubis, A. J., & Lubis, I. (2021). *Sistem Irigasi Otomatis Dengan Menggunakan Arduino Uno dan Teknologi IoT (Internet of Things)*. *2*, 172–180.

Anugrah, E., Hasbi, M., & Lukman, M. P. (2021a). Penerapan Sistem Monitoring dan Kendali Pintar Untuk Tanaman Terung Berbasis Internet of Things Dengan Metode Penyiraman Irigasi Tetes. *Resistor*, *4*, 204–212. https://s.id/jurnalresistor

Anugrah, E., Hasbi, M., & Lukman, M. P. (2021b). *PENERAPAN SISTEM MONITORING DAN KENDALI PINTAR UNTUK TANAMAN TERUNG BERBASIS INTERNET OF THINGS DENGAN METODE PENYIRAMAN IRIGASI TETES*. *4*, 204–212. https://s.id/jurnalresistor

Ariansyah, M. D., & Sariman, S. (2021). Analisa Performa Pompa Air DC 12V 42 Watt terhadap Variasi Kedalaman Pipa Menggunakan Baterai dengan Sumber Energi dari Matahari. *Jurnal Syntax Admiration*, *2*(6), 1083–1102. https://doi.org/10.46799/jsa.v2i6.251

Bajiel Rifaat, A., Sephiani, F., & Studi Teknik Elektro, P. (2024). *Pengembangan Sistem Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Sensor Suhu, Kelembapan Udara dan Kelembapan Tanah*. *16*(2).

Daru, A. F., Adhiwibowo, W., & Hirzan, A. M. (2021). Model Pemantau Kelembaban dan Irigasi Sawah Otomatis Berbasiskan Internet of Things. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, *10*(2), 119–127. https://doi.org/10.34010/komputika.v10i2.4515

Fahrezi, H., Putera, A., & Siahaan, U. (2024). RANCANG BANGUN APLIKASI TRY OUT CPNS ONLINE BERBASIS ANDROID ANDROID-BASED ONLINE CPNS TRY OUT APPLICATION DESIGN. *Jurnal Widya*, *5*(1), 145–158. https://jurnal.amikwidyaloka.ac.id/index.php/awl

Faisal Tamimi, & Siti Munawaroh. (2024). Teknologi Sebagai Kegiatan Manusia Dalam Era Modern Kehidupan Masyarakat. *Saturnus : Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi*, *2*(3), 66–74. https://doi.org/10.61132/saturnus.v2i3.157

Fathurohman, Prasetiya, T., Lin, & Mulyawan. (2024). SISTEM MONITORING PENYIRAMAN OTOMATIS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN SOIL MOISTURE PADA TANAMAN MELON. In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 8, Issue 1).

Fathurrohman, M., Eryantono, A. E., & Rumbara, R. D. (2021). Optimalisasi Sistem Monitoring Temperatur Logam Cair pada Proses Pengecoran menggunakan Pyrometer Berbasis Internet of Things (IoT). *TEKNIK*, *42*(1), 299–308. https://doi.org/10.14710/teknik.v42i3.36351

Gunawan, B., & Adi Putra, A. (2025). *PERANCANGAN SISTEM PENERANGAN OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLLER ESP32 DAN SENSOR LDR DI DESA BOLO KECAMATAN UJUNGPANGKAH KABUPATEN GRESIK*.

Habsy, B. A., Putri, A., Yusiana, E., Nadya, N., & Satria, A. F. (2024). *Pemanfaatan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dalam Pendidikan*. *dan p-ISSN*, 301–314. https://doi.org/10.61132/bima.v2i4.1391

Hakim, K. I., Anshary, F. M. Al, & Adi, T. N. (2022). *Perancangan Pengalaman Pengguna Platform Setanam Sebagai Penghubung Layanan Sewa Menyewa Tanaman Hias Menggunakan User Centered Design*.

Hamdani, S. S., Rahmadi, A., & Subagja, R. (2025). Budidaya Tanaman Hias Calathea White Fusion Menggunakan Teknik Perbanyakan Vegetatif Split di Art Garden, Cigugur Girang, Kabupaten Bandung Barat Cultivation of Calathea White Fusion Ornamental Plants Using Split Vegetative Propagation Technique at Art Garden, Cigugur Girang, West Bandung Regency. *Gunung Djati Conference Series*, *49*.

Hardiwiguna, A., & Nugraha, A. R. (2024a). PENENTUAN KELEMBABAN TANAH MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC DENGAN CAPACITIVE SOIL

MOISTURE SENSOR DAN ARDUINO UNO R3. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *12*(3), 2830–7062. https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.4280

Hardiwiguna, A., & Nugraha, A. R. (2024b). PENENTUAN KELEMBABAN TANAH MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC DENGAN CAPACITIVE SOIL MOISTURE SENSOR DAN ARDUINO UNO R3. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *12*(3), 2830–7062. https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.4280

Hasibuan, M. R. R. (2023). *Hasibuan 2023*. 1.

Hidayat, A., & Dharma Yudha, I. (2025). Prototipe Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembapan Berbasis Arduino: Implementasi projek dalam pembelajaran digital Prototype of an Arduino-Based Temperature and Humidity Monitoring System: Project implementation in digital learning. *Progressive Education Journal*, *1*(1), 10–22. https://doi.org/10.xxxxx/proEdu

Hidayat, D. (2021). *MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT)*. www.Blynk.cc

Hutabarat, L. B. (2024). Pemanfaatan Internet Of Things (IOT) Oleh Pemustaka Dalam Pencarian Informasi Di Dinas Kearsipan dan Perpustakaan Provinsi Sumatera Barat. *BRIDGE : Jurnal Publikasi Sistem Informasi Dan Telekomunikasi*, *2*.

IDEO. (2015). *HCD Ideo*.

Iman, A. M., Maulana, Y. Z., & Wibisono, G. (2025). MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS PADA TANAMAN HIAS KELUARGA ARACEAE MENGGUNAKAN SISTEM TERTANAM. *Jurnal SINTA: Sistem Informasi Dan Teknologi Komputasi*, *1*(4), 182–190. https://doi.org/10.61124/sinta.v1i4.32

Iqbal Prabu Juliantoro. (2024). Perancangan Aplikasi Project Management Berbasis Web di PT. Aurora Arta Indonesia. *Saturnus : Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi*, *2*(4), 342–353. https://doi.org/10.61132/saturnus.v2i4.384

Kamil, I., Bening Kusumaningtyas, A., Afriadi, A., Nugraha, D., & Wijaya, M. (2024). Desain dan Implementasi Adjustable Charger Control Sepeda Listrik. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro* (Vol. 10).

Kusumawati, N., & Inggi, R. (2022). Prototype Sistem Pengendali Lampu Rumah Berbasis Mikrokontroler Menggunakan SMS. *SIMKOM*, *6*(2), 95–103. https://doi.org/10.51717/simkom.v6i2.87

Lie, A. F., & Setyaningsih, E. (2024). OTOMATISASI SISTEM PENYIRAMAN DAN MONITORING SUHU PADA TANAMAN MONSTERA DELICIOSA. *Teknik Dan Kedokteran*, *02*(01), 43–50. https://doi.org/10.24912/jsstk.v2i1.32050

Mindasari, S., & Meilantika, D. (2022). *Penjelasan LCD*. *5*, 7–13.

Mustianto, F. H., Asni Tafrikhatin, & Ajeng Tiara Wulandari. (2023). Rancang Bangun Pengatur Suhu Kandang Ayam Otomatis Menggunakan Sensor DHT22 Berbasis Wemos D1 R32 Dengan Keluaran Berupa LCD dan Notifikasi Telegram. *JASATEC : Journal of Students of Automotive, Electronic and Computer*, *2*(1), 9–19. https://doi.org/10.37339/jasatec.v2i1.1237

Nadizf, Z., Iskandar, A., & Darrusalam, U. (2021). *N*. *8*, 2119–2130.

Novi, T. B., Supianto, A. A., & Fanani, L. (2021). *Perancangan User Experience Aplikasi Edukasi Pertanian menggunakan Human-Centered Design* (Vol. 5, Issue 6). http://j-ptiik.ub.ac.id

Octowinandi, V., Risandriya, S. K., Asaad, N. S., Airlangga Diputra, M. N., Ria, R., Pratama, A. S., & Wivianus, N. (2024). *Pengukuran Kemampuan Manufaktur PCB Empat Layer di TFME*. *8*, 17–23.

Pangestu, W. F., Suhendra, S., & Khofiyah, N. A. (2025). ANALISIS PENURUNAN DEFECT PADA KOMPONEN PRINT CIRCUIT BOARD (PCB) MENGGUNAKAN METODE PDCA DAN APLIKASI KAIZEN DI PT DEI. *Journal Industrial Engineering and Management (JUST-ME)*, *6*(01), 10–18. https://doi.org/10.47398/justme.v6i01.96

Prafanto, A., Budiman, E., Widagdo, P. P., Mahendra Putra, G., Wardhana, R., & Mulawarman, U. (2021a). PENDETEKSI KEHADIRAN MENGGUNAKAN ESP32 UNTUK SISTEM PENGUNCI PINTU OTOMATIS. *Jurnal Teknologi Terapan)* |, *7*(1).

Prafanto, A., Budiman, E., Widagdo, P. P., Mahendra Putra, G., Wardhana, R., & Mulawarman, U. (2021b). PENDETEKSI KEHADIRAN MENGGUNAKAN ESP32 UNTUK SISTEM PENGUNCI PINTU OTOMATIS. *Jurnal Teknologi Terapan)* |, *7*(1).

Purnama Putra, G., & Munandar, H. (2022). SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN HIAS BERBASIS INTERNET OF THINGS VIA WEBSITE PADA KAMPUNG PONDOK LAKAH. In *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI) Jakarta-Indonesia*.

Rahmatina, R., Aripin, M. N., Ikbal, M., Deolika, A., Komputer, J. T., Kalimantan, I., Rta, J., Km, M., & Raya, P. (2023). Implementasi Transistor BD139 dan Rangkaian Relay pada Mesin Air. *JIFOTECH (JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY*, *3*(1).

Rhamadhany, G., & Juliasari, N. (2023). Rancang Bangun Prototipe Sistem Monitoring Pemupukan Dan Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Internet of Things. *Jurnal TICOM: Technology of Information and Communication*, *11*(2).

Setiadi, A. R., & Setiaji, H. (n.d.). Perancangan UI/UX menggunakan pendekatan HCD (Human-Centered design) pada website Thriftdoor. *2020*.

Setya Diningrat, D., Muin Sibuea, A., Sari Harahap, N., Maulana, B., & Nirmala Sari, A. (2024).) 60 Diky Setya Diningrat et al. In *JPM Pinang Masak* (Vol. 5, Issue 1).

Suripto Pasinggi, E., Pongsapan, P., Aryo, G., & Pongdatu, N. (2021). Sistem Irigasi Otomatis-Paper Survey. *21 INFINITY*, *X No. Y*. https://doi.org/10.34148/infinity.v9i1.xxx

Syahlan, M. (2022). *IMPLEMENTASI MODUL INTERNET OF THINGS (IoT) PADA MESIN POMPA AIR BERBASIS WEB*.

Thoriq, A., Hasta Pratopo, L., Mulya Sampurno, R., Hisyam Shafiyullah, S., & Artikel, I. (2022a). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things*. 268–280. https://doi.org/10.19028/jtep.10.3.268-280

Thoriq, A., Hasta Pratopo, L., Mulya Sampurno, R., Hisyam Shafiyullah, S., & Artikel, I. (2022b). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things*. 268–280. https://doi.org/10.19028/jtep.10.3.268-280

Tombeng, M. T. (2022). Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Aglonema Prototype Design of Aglaonema Plants E-Watering. *Cogito Smart Journal* |, *8*(2).

Trias, D., Sistem, P., Otomatis…, P., Trias Utomo, D., Baihaqi, A., Asysyauqi, H., Azizissani, R., Haidar, A., Ash'shobir, A., Wijaya, H. S., Studi, P., Informatika, T., & Jember, P. N. (2022). Perancangan Sistem Penyiraman Otomatis Pada Greenhouse Guna Meningkatkan Kualitas Bibit Tanaman Anggur (Vitis vinivera) Di Daerah Sidoarjo. *JEECOM*, *4*(1).

Walid, M., Hoiriyah, & Fikri, A. (2022). PENGEMBANGAN SISTEM IRIGASI PERTANIAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT). In *Jurnal MNEMONIC* (Vol. 5, Issue 1).

Warisman, A. N. P., Dewi, A. W. F., Zuhriyah, F., Risnawati, L., Darillia, R. N., Kurniawati, S., & Dewi, L. R. (2023). Potensi Bunga Hias di Kendal Sebagai Media Healing Flower. *ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin*, *1*(7), 746–750. https://doi.org/10.55681/armada.v1i7.709