

Smart Irrigation System Berbasis IoT dengan Sensor Soil Moisture dan DHT22 Menggunakan Sumber Daya Terbarukan

Agung Frisky Ardianto^{1*}, Eriska Setyaningtyas Rahmasari², Andriyana Putra Pratama³.

¹Teknik Informatika
Universitas Duta Bangsa Surakarta
^{1*}220103044@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika
Universitas Duta Bangsa Surakarta
²220103056@mhs.udb.ac.id

³Teknik Informatika
Universitas Duta Bangsa Surakarta
³220103048@mhs.udb.ac.id

Abstrak— Permasalahan irigasi konvensional yang kurang efisien dalam penggunaan air dan energi mendorong perlunya inovasi teknologi yang mendukung keberlanjutan pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang hemat energi dan dapat diakses secara jarak jauh. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor soil moisture dan DHT22 untuk memantau kelembapan tanah serta suhu dan kelembapan udara. Energi sistem diperoleh dari panel surya yang mengisi baterai berkapasitas 4500 mAh, memungkinkan alat beroperasi tanpa ketergantungan listrik PLN. Data sensor dikirimkan ke platform monitoring berbasis web secara real-time melalui koneksi Wi-Fi, dan sistem antarmuka website dibangun menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript. Firebase digunakan sebagai basis data, dengan Realtime Database untuk pembacaan langsung dan Firestore untuk penyimpanan riwayat kelembapan tanah serta aktivitas pompa. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu mengatur penyiraman otomatis berdasarkan kelembapan tanah dengan akurasi tinggi serta menyediakan tampilan data yang responsif dan mudah diakses. Dengan keberhasilan ini, sistem memberikan solusi efisien dan berkelanjutan untuk manajemen irigasi pada tanaman hortikultura di wilayah yang memiliki keterbatasan infrastruktur listrik.

Kata kunci— Irigasi Pintar, IoT, Kelembapan Tanah, ESP32, Energi Terbarukan.

Abstract— The inefficiencies of conventional irrigation systems in terms of water and energy usage highlight the need for technological innovations that support agricultural sustainability. This research project aims to design an energy-efficient, Internet of Things (IoT)-based automatic irrigation system that can be accessed remotely. The system uses an ESP32 microcontroller as a control center that is connected to soil moisture and DHT22 sensors. These sensors monitor soil moisture, as well as air temperature and humidity. A solar panel charges 4500 mAh batteries, providing the system with energy and allowing it to operate independently of PLN electricity. Sensor data is sent in real time to a web-based monitoring platform via a Wi-Fi connection. The website interface is built using HTML, CSS, and JavaScript. Firebase was used as the database: Realtime Database was used for live readings, and Firestore was used for storing soil moisture history and pump activity data. Implementation results demonstrate that the system can set up automatic watering based on soil moisture with high accuracy and provide responsive, easily accessible data displays. This success makes the system an efficient, sustainable solution for managing the irrigation of horticultural crops in areas with limited electrical infrastructure.

Keywords— Smart Irrigation, IoT, Soil Moisture, ESP32, Renewable Energy.

I. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor strategis dalam menunjang ketahanan pangan nasional dan global. Namun, sektor ini menghadapi berbagai tantangan seperti perubahan iklim, keterbatasan sumber daya air, serta praktik irigasi konvensional yang masih boros dan tidak efisien [1]. Sistem irigasi tradisional umumnya dilakukan secara manual, yang tidak hanya menyita waktu, tetapi juga rawan terhadap kesalahan manusia dan pemborosan air [2].

Seiring berkembangnya teknologi, khususnya Internet of Things (IoT), berbagai inovasi dalam bidang pertanian telah bermunculan untuk

meningkatkan efisiensi dan produktivitas [3]. IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor untuk pemantauan kondisi lingkungan secara real-time, yang kemudian digunakan untuk mengendalikan sistem secara otomatis [4]. Salah satu komponen penting dalam sistem ini adalah sensor kelembapan tanah (soil moisture) dan sensor suhu serta kelembapan udara seperti DHT22, yang dapat memberikan data akurat terkait kebutuhan air tanaman [5].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis IoT. Pada penelitian [6], digunakan ESP8266 sebagai pusat kontrol dan sistem pemantauan

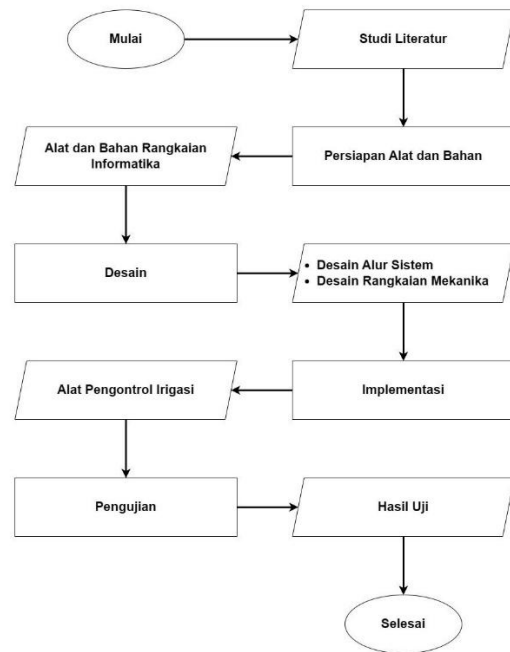
berbasis web, namun masih bergantung pada listrik konvensional. Sementara itu, studi lain [7] menggabungkan sistem irigasi otomatis dengan sumber daya terbarukan seperti panel surya, namun belum mengoptimalkan efisiensi pengisian daya dan belum sepenuhnya mendukung integrasi monitoring jarak jauh.

Tanaman cabai merupakan komoditas hortikultura yang memerlukan manajemen air yang tepat karena kepekaannya terhadap kelembapan tanah dan suhu lingkungan. Kelebihan atau kekurangan air dapat menurunkan produktivitas tanaman secara signifikan [8]. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem irigasi otomatis yang presisi, hemat energi, dan dapat diakses secara remote.

Berdasarkan permasalahan dan gap penelitian sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun sistem irigasi otomatis berbasis IoT dengan menggunakan sensor soil moisture dan DHT22, dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, serta didukung oleh sumber energi terbarukan berupa panel surya dan baterai 4500 mAh. Sistem ini juga dilengkapi dengan modul pengisian daya berbasis USB-C dan fitur monitoring berbasis web agar dapat dioperasikan secara mandiri di lokasi pertanian yang minim infrastruktur listrik.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan terdiri dari beberapa tahapan yaitu, studi literatur, persiapan alat dan bahan, alat dan bahan rangkaian informatika, desain, desain alur sistem dan desain rangkaian mekanika, implementasi, alat pengontrol irigasi, pengujian, dan hasil uji. Diagram alur dari tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, berikut adalah penjabaran dari lima tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini:

A. Studi Literatur

Studi literatur mengidentifikasi bahwa sistem irigasi IoT berbasis sensor soil moisture dan DHT22 mampu meningkatkan efisiensi air hingga 35% [1], [2]. Namun, ketergantungan pada energi konvensional membatasi aplikasinya di daerah terpencil [3]. Integrasi panel surya sebagai solusi masih menghadapi kendala efisiensi pengisian baterai dan kompatibilitas modul [4], [5]. Penelitian terdahulu mengusulkan penggunaan modul USB-C untuk fleksibilitas pengisian [6] dan optimasi ESP32 untuk penghematan daya [7]. Studi literatur dilakukan melalui analisis konsep sistem kontrol irigasi otomatis dan metode penyiraman tanaman yang presisi. Tahap ini dilanjutkan dengan identifikasi kebutuhan alat dan bahan berdasarkan solusi teknis dari penelitian terdahulu.

B. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahapan ini akan dilakukan proses mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam membangun alat pada

penelitian ini. Berikut ini adalah komponen Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini:

1. Laptop
Digunakan sebagai perangkat utama untuk pemrograman mikrokontroler ESP32, monitoring data sensor, serta mengakses platform website IoT. Laptop juga digunakan untuk mengunggah kode program melalui IDE seperti Arduino IDE [9].
2. Solder
Alat ini digunakan untuk menyambung komponen elektronik secara permanen melalui proses penyolderan, misalnya menyambung kabel pada konektor atau komponen yang tidak menggunakan header pin [3].
3. Akuarium
Berfungsi sebagai wadah simulasi lingkungan pertanian berskala kecil. Akuarium akan diisi media tanam dan tanaman cabai untuk menguji sistem irigasi secara terkendali [1], [4].
4. Botol
Botol digunakan sebagai penyimpanan cadangan air atau sebagai bagian dari sistem reservoir dalam simulasi irigasi mini [1], [6].
5. Selang
Selang berfungsi sebagai saluran distribusi air dari pompa menuju area tanaman. Selang memastikan air dialirkan secara tepat ke akar tanaman [1], [6].
6. Tanaman Cabai
Tanaman cabai dipilih karena membutuhkan pengelolaan kelembapan yang presisi dan rentan terhadap kelebihan atau kekurangan air [4], [5].

Selanjutnya, bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. ESP32
Mikrokontroler inti dalam sistem ini. ESP32 memiliki kemampuan WiFi, digunakan untuk mengolah data sensor, mengendalikan relay/pompa, dan mengirim data ke platform IoT secara nirkabel [2], [3], [10].
2. ESP32 Expand Board

Modul tambahan (expansion board) yang mempermudah konektivitas pin ESP32. Biasanya dilengkapi port tambahan atau regulator untuk memperluas kemampuan ESP32 [3].

3. Kabel USB Type C
Kabel USB Type-C digunakan untuk menghubungkan ESP32 ke laptop saat proses pemrograman atau mengisi daya modul charging berbasis Type-C [3].
4. Modul Charging Type C
Modul ini berfungsi sebagai pengatur pengisian daya baterai melalui konektor USB Type-C. Mendukung perlindungan overcharge dan efisiensi pengisian daya [3].
5. Kabel Jumper
Kabel konektor fleksibel untuk menghubungkan komponen elektronik seperti sensor, relay, ESP32, dan modul lainnya tanpa perlu penyolderan permanen [3].
6. Sensor Soil Moisture
Sensor ini digunakan untuk mengukur tingkat kelembapan tanah secara real-time. Data sensor akan menjadi parameter utama dalam menentukan kapan pompa air harus diaktifkan [4], [5].
7. Sensor DHT22
Sensor suhu dan kelembapan udara yang lebih akurat dibanding DHT11. Digunakan untuk memantau kondisi suhu dan kelembapan lingkungan sekitar tanaman sebagai data pendukung keputusan penyiraman [4], [5].
8. Relay
Komponen saklar elektronik yang dikendalikan ESP32 untuk menghubungkan atau memutus arus listrik ke pompa air. Relay memungkinkan ESP32 mengendalikan perangkat bertegangan lebih tinggi [2], [3].
9. Pompa Air Mini
Alat untuk mengalirkan air dari sumber botol ke tanaman melalui selang. Pompa ini dikendalikan secara otomatis melalui relay berdasarkan pembacaan sensor [1], [6].
10. Solar Panel

Panel surya digunakan sebagai sumber energi terbaru untuk mengisi baterai sistem. Panel ini memungkinkan sistem beroperasi mandiri tanpa ketergantungan listrik PLN [1], [7].

11. Baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi dari panel surya, digunakan untuk menyuplai daya ke ESP32, pompa, dan komponen lainnya saat tidak ada sinar matahari [1], [7].

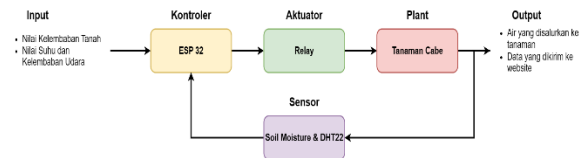
12. Case Baterai

Sebuah wadah (battery holder) dirancang untuk menampung tiga buah baterai yang disusun secara paralel guna meningkatkan keamanan, kerapian instalasi, serta mencegah terjadinya hubungan arus pendek (short circuit). Wadah ini juga berfungsi untuk mempermudah proses koneksi kabel ke terminal baterai secara terstruktur dan andal [3].

C. Design

Pada tahap ini dilakukan proses perancangan terhadap alat yang akan dibangun. Untuk memperoleh hasil yang optimal, diperlukan perancangan yang matang dengan mempertimbangkan sifat dan karakteristik masing-masing komponen yang digunakan, sehingga potensi kerusakan komponen dapat diminimalkan. Tahap perancangan ini meliputi beberapa bagian, yaitu perancangan blok.

Perancangan diagram blok merupakan tahap awal dalam menjabarkan cara kerja sistem secara keseluruhan, mulai dari tahap input, proses, hingga output. Diagram blok berfungsi untuk memberikan gambaran umum mengenai alur kerja sistem tanpa menjelaskan detail rangkaian secara teknis. Dalam diagram ini hanya ditampilkan hubungan antar blok utama dalam bentuk jalur sinyal atau data. Setiap blok mewakili satu bagian fungsi tertentu yang terdiri atas komponen utama serta komponen pendukung yang bekerja secara terintegrasi untuk menjalankan fungsi sistem secara keseluruhan. Pada Gambar 2 ditunjukkan diagram blok dari mikrokontroler pada alat yang akan dibangun.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 2, fungsi dari masing-masing blok dalam sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Input Data dari Sensor

Sensor Soil Moisture membaca tingkat kelembapan tanah, sedangkan DHT22 mengukur suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman. Data ini menjadi input utama sistem.

2. Pemrosesan Oleh Mikrokontroler ESP32

Data yang diperoleh dari sensor dikirim ke ESP32, yang berfungsi sebagai pusat kendali. ESP32 memproses data tersebut untuk menentukan apakah tanaman membutuhkan penyiraman atau tidak.

3. Aktivasi Akuator (Relay)

Jika hasil analisis menunjukkan kelembapan tanah di bawah ambang batas (misalnya <60%), maka ESP32 akan mengaktifkan modul relay untuk menghidupkan pompa air.

4. Irigasi Tanaman Cabai

Pompa akan mengalirkan air ke tanaman cabai sebagai objek utama sistem. Penyiraman akan berlangsung hingga kondisi kelembapan tanah mencapai nilai optimal. Relay digunakan sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh ESP32 untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik ke pompa air.

5. Pengiriman Data ke Website Monitoring

Secara bersamaan, ESP32 mengirimkan data sensor dan status pompa ke website monitoring melalui koneksi Wi-Fi. Website ini dibangun menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript, serta memanfaatkan Firebase sebagai basis data.

6. Output Sistem :

Output sistem ini berupa:

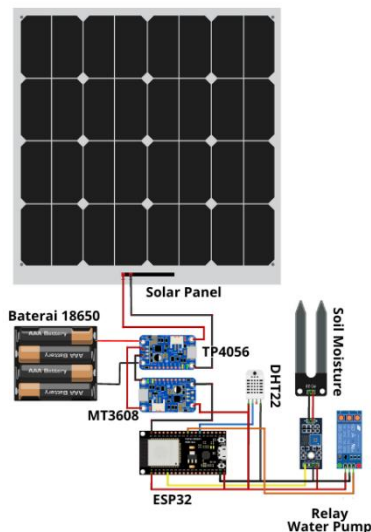
- Air yang disalurkan ke tanaman sesuai kebutuhan.

- b. Data lingkungan dan status penyiraman yang dikirim ke website untuk pemantauan secara real-time.

7. Siklus Ulang Otomatis

Sistem akan terus bekerja secara otomatis dengan siklus pembacaan sensor, analisis data, pengendalian pompa, dan pembaruan data ke website secara berulang.

Perancangan rangkaian mekanika merupakan tahap perancangan keseluruhan sistem alat yang terdiri dari empat elemen penting yang saling terintegrasi, yaitu rangkaian input, rangkaian pengendali, rangkaian output, dan perangkat lunak (software) sebagai sistem pemrograman. Keempat elemen ini bekerja secara terpadu untuk memastikan kinerja sistem berjalan sesuai dengan fungsinya. Rangkaian ini terdiri atas berbagai komponen elektronika yang berperan sebagai input maupun output, yang dibutuhkan oleh mikrokontroler agar dapat beroperasi secara optimal. Berdasarkan perancangan keseluruhan alat yang ditunjukkan pada Gambar 3, dapat dijelaskan fungsi dan hubungan kerja dari setiap bagian sebagai berikut:



Gambar 3. Skematik Rangkaian

Berdasarkan perancangan keseluruhan alat yang ditunjukkan pada Gambar 3, fungsi dan integrasi dari setiap komponen utama dalam sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. ESP32

ESP32 memiliki beberapa pin penting yang digunakan dalam rangkaian ini. Pin VIN (atau 3V3/5V) digunakan untuk menerima suplai tegangan dari modul charger/baterai. Pin GND terhubung ke ground bersama dengan semua komponen lainnya untuk melengkapi sirkuit. Pin digital (seperti D23, D22, D21, dsb.) digunakan sebagai pin input dan output untuk berkomunikasi dengan sensor dan modul lain. Misalnya, pin GPIO tertentu terhubung ke pin data dari sensor DHT22, pin output digital dari sensor soil moisture, dan pin kontrol relay. Pin TX/RX tersedia untuk komunikasi serial, meski dalam rangkaian ini tidak digunakan untuk modul eksternal.

2. Soil Moisture Sensor (YL-69)

Sensor soil moisture FC-28 memiliki empat pin, yaitu VCC, GND, AO (analog output), dan DO (digital output). Pin VCC disambungkan ke pin 3.3V atau 5V ESP32 untuk memberikan tegangan kerja sensor. Pin GND dihubungkan ke ground ESP32. Pin AO menghasilkan sinyal analog proporsional dengan kelembapan tanah, yang dapat dibaca di pin analog ESP32. Sedangkan DO memberikan sinyal digital (HIGH/LOW) tergantung batas kelembapan yang diatur melalui potentiometer pada modul sensor. Pin AO Sensor ini terhubung di pin 34 di ESP32 berfungsi untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah. Output sensor dikirim ke ESP32 dalam bentuk sinyal analog atau digital. Data kelembapan ini menjadi parameter utama dalam keputusan penyiraman otomatis.

3. DHT22

Sensor suhu dan kelembapan DHT22 memiliki empat pin, meskipun biasanya hanya tiga yang digunakan: VCC, DATA, NC (not connected), dan GND. Pin VCC terhubung ke tegangan 3.3V atau 5V dari ESP32, GND terhubung ke ground ESP32, sedangkan pin DATA terhubung ke salah satu pin digital input ESP32 untuk menerima data hasil pembacaan suhu dan

kelembapan. Pin NC tidak digunakan dan dibiarkan terbuka. Pin Data pada sensor ini terhubung di pin 4 di ESP32 berfungsi sebagai sensor suhu dan kelembapan udara. Data dari sensor ini membantu memantau kondisi lingkungan sekitar tanaman, yang dapat menjadi variabel pendukung dalam optimasi irigasi atau sekadar monitoring cuaca lokal.

4. Relay Module

Relay module memiliki tiga pin input (VCC, IN, GND) dan dua terminal saklar output (NO, NC, COM). Pin VCC dihubungkan ke sumber 3.3V atau 5V dari ESP32, GND ke ground ESP32, dan IN ke salah satu pin digital ESP32 yang berfungsi sebagai sinyal kendali untuk mengaktifkan atau mematikan relay. Terminal COM (common) terhubung ke salah satu kabel power pompa, sedangkan NO (normally open) atau NC (normally closed) digunakan tergantung apakah pompa ingin dinyalakan ketika relay aktif atau pasif. Pin IN pada modul relay ini terhubung pada pin 5 di ESP32 berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikontrol ESP32 untuk mengaktifkan atau mematikan pompa air. Relay memungkinkan ESP32 mengendalikan perangkat listrik bertegangan lebih tinggi tanpa membebani pin mikrokontroler.

5. Pompa Air

Terhubung ke relay dan diaktifkan jika sensor mendeteksi tanah dalam kondisi kering. Pompa akan mengalirkan air melalui selang ke media tanam.

6. Solar Panel

Solar panel memiliki dua terminal output: positif (+) dan negatif (-). Terminal positif dihubungkan ke input charging (IN+) pada modul charger, sedangkan terminal negatif ke input ground (IN-) pada modul charger. Solar panel ini menghasilkan tegangan DC yang digunakan untuk mengisi baterai melalui modul charger. Panel surya digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari sinar matahari. Energi ini kemudian dialirkan ke modul charging

untuk mengisi baterai sebagai sumber daya cadangan.

7. Modul Charging TP4056

Modul charger memiliki empat terminal utama. Di sisi input terdapat IN+ dan IN- untuk menerima tegangan dari solar panel (positif dan ground). Di sisi output terdapat OUT+ dan OUT- untuk memberikan daya ke ESP32 dan juga mengisi baterai. Selain itu, terdapat koneksi ke B+ dan B- untuk terhubung langsung ke kutub positif dan negatif baterai. Modul ini berfungsi mengatur pengisian daya baterai dari solar panel agar menghindari overcharging. Modul ini juga mendistribusikan daya ke ESP32 dan komponen lain.

8. Modul MT3608

Modul MT3608 berfungsi sebagai step-up converter yang menaikkan tegangan dari 3 baterai 18650 (disusun paralel dan diisi melalui TP4056) menjadi 5V. Tegangan 5V dari output MT3608 (OUT+) disambungkan ke pin VIN ESP32, sedangkan OUT- ke GND ESP32. Konfigurasi ini memungkinkan ESP32 mendapat suplai daya stabil dari baterai lithium isi ulang.

9. Baterai (AAA 3x atau Li-ion)

Tempat baterai memiliki dua terminal utama: positif (+) dan negatif (-). Terminal positif dihubungkan ke B+ pada modul charger, sedangkan terminal negatif ke B-. Dari modul charger, daya diteruskan ke ESP32 melalui OUT+ dan OUT-. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dari solar panel. Energi tersimpan digunakan untuk menyuplai daya ke ESP32 dan komponen lainnya saat tidak ada sinar matahari atau saat solar panel tidak cukup menghasilkan daya.

D. Implementasi

Desain yang telah dirancang pada tahap sebelumnya kemudian direalisasikan melalui proses perakitan komponen-komponen elektronika ke dalam satu kesatuan rangkaian mekanika. Setelah proses perakitan selesai, dilakukan penerapan logika pengendalian sistem

melalui pemrograman menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Arduino IDE merupakan software yang digunakan untuk menuliskan, mengunggah, dan menyisipkan.

E. Pengujian

Pengujian pada alat ini mencakup dua tahapan, yaitu pengujian setiap blok secara terpisah dan pengujian sistem secara keseluruhan. Pengujian tiap blok dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen, seperti sensor, mikrokontroler, aktuator, serta modul komunikasi, berfungsi dengan baik sesuai rancangan. Tahap ini juga bertujuan untuk mempermudah identifikasi kesalahan apabila terjadi kegagalan sistem, serta memfasilitasi proses analisis dan troubleshooting pada mikrokontroler.

Selain itu, dilakukan pula pengujian integrasi antara perangkat keras dan platform monitoring berbasis web untuk memastikan bahwa data sensor dapat dikirim dan ditampilkan secara real-time dengan akurat. Pengujian ini penting untuk menjamin bahwa program ke dalam mikrokontroler, dalam hal ini ESP32. Kode program ditulis menggunakan bahasa pemrograman C/C++ yang berfungsi untuk memberikan instruksi kerja kepada sistem agar dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Tanpa adanya kode program, perangkat tidak akan dapat berjalan, karena program merupakan inti pengendali dari seluruh sistem.

Selain itu, sistem ini juga didukung dengan fitur pemantauan berbasis web (website monitoring) yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman HTML, CSS, dan JavaScript. Website ini terhubung dengan basis data Firebase, yang digunakan untuk menyimpan dan menampilkan data sensor secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan dan status sistem secara jarak jauh melalui jaringan internet. sistem dapat bekerja secara menyeluruh dan dapat diakses secara remote oleh pengguna melalui jaringan internet.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pengontrol irigasi otomatis pada penelitian ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali

utama. Sistem ini mengandalkan sensor soil moisture untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah serta sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman.

Selain komponen utama, sistem juga dilengkapi dengan beberapa perangkat elektronik pendukung, antara lain modul relay yang berfungsi untuk mengendalikan pompa air secara otomatis, serta panel surya yang digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Energi yang dihasilkan panel surya disimpan ke dalam tiga buah baterai berkapasitas 1500 mAh yang dirangkai secara paralel untuk menyuplai daya ke seluruh sistem.

Data pembacaan sensor dikirimkan secara langsung dan real-time ke platform monitoring berbasis web melalui koneksi Wi-Fi dari ESP32. Antarmuka web ini memungkinkan pengguna memantau kondisi lingkungan tanaman secara jarak jauh. Tampilan alat yang telah dibangun ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Tampak Depan Alat



Gambar 5. Tampak Belakang Alat

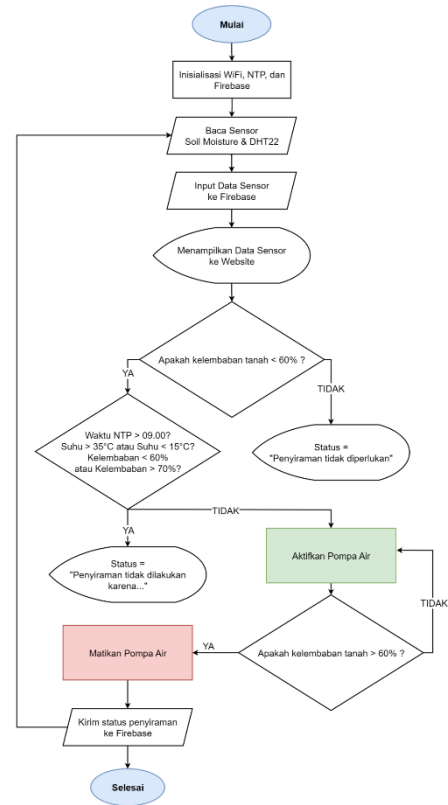
Sistem ini juga dilengkapi dengan website monitoring yang dirancang untuk mendukung pemantauan jarak jauh. Website dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman HTML, CSS, dan JavaScript, serta terintegrasi dengan Firebase

sebagai realtime database yang menyimpan data pembacaan sensor dan riwayat penyiraman [9], [10]. Tampilan antarmuka website ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Antarmuka Website

Untuk menjelaskan proses kerja sistem secara lebih rinci, Gambar 7 berikut menunjukkan flowchart alur kerja sistem irigasi otomatis yang telah dibangun. Flowchart ini menggambarkan tahapan utama mulai dari pembacaan data sensor, proses pengolahan oleh mikrokontroler, hingga pengambilan keputusan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan sistem penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan tanah. Seluruh proses berlangsung secara otomatis dan berulang selama sistem aktif.



Gambar 7. Alur Kerja Sistem

Sistem yang telah dibangun pada Gambar 7 memiliki alur proses sebagai berikut:

1. **Mulai**
Sistem diaktifkan dan memulai proses pengaturan irigasi otomatis.
2. **Inisialisasi WiFi, NTP, dan Firebase**
ESP32 menghubungkan sistem ke jaringan WiFi, melakukan sinkronisasi waktu melalui NTP (Network Time Protocol), dan terhubung ke Firebase untuk komunikasi data.
3. **Baca Sensor Soil Moisture**
Sensor soil moisture mulai membaca tingkat kelembapan tanah. Nilai yang diperoleh dalam bentuk data analog akan dikonversi menjadi persentase.
4. **Baca Sensor DHT22**
Sensor DHT22 membaca suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman. Data ini digunakan sebagai referensi tambahan untuk optimasi irigasi.
5. **Input Data Sensor ke Firebase**
Data dari soil moisture dan DHT22 dikirimkan ke Realtime Database

- Firestore untuk ditampilkan pada website monitoring.
6. Tampilkan Data Sensor ke Website
Website menampilkan nilai suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah secara real-time yang dapat dipantau oleh pengguna dari jarak jauh.
 7. Cek Kelembapan Tanah
Sistem membandingkan hasil pembacaan kelembapan tanah dengan ambang batas 60%.
 - a. Jika kelembapan $< 60\%$, maka dilanjutkan dengan evaluasi tambahan.
 - b. Jika kelembapan $\geq 65\%$, maka sistem menetapkan status = “Penyiraman tidak diperlukan” dan kembali ke awal.
 8. Evaluasi Kondisi Eksternal
Sistem memeriksa apakah :
 - a. Waktu sudah lewat pukul 09.00,
 - b. Suhu ekstrem ($>35^{\circ}\text{C}$ atau $<15^{\circ}\text{C}$),
 - c. Kelembapan tanah sangat rendah ($<60\%$) atau sangat tinggi ($>70\%$).
 Jika ya, maka status ditetapkan sebagai “Penyiraman tidak dilakukan karena kondisi lingkungan tidak sesuai”.
 9. Aktifkan Pompa Air
Jika semua kondisi sesuai dan kelembapan tanah masih $<60\%$, pompa air diaktifkan untuk mulai penyiraman.
 10. Cek Ulang Kelembapan Tanah
Sistem terus memantau perubahan kelembapan tanah. Jika kelembapan $> 60\%$, maka sistem mematikan pompa air dan mengakhiri siklus.
 11. Update Status Ke Firestore
Status penyiraman, termasuk kondisi sensor dan status pompa, dikirim ke Firestore untuk dicatat sebagai riwayat dan monitoring.
 12. Selesai
Satu siklus operasi sistem selesai. Pada implementasi nyata, sistem biasanya akan berjalan secara berulang (kembali ke langkah 2) untuk memastikan monitoring dan penyesuaian irigasi yang terus-menerus.

Untuk mengukur kelembapan tanah, sistem ini menggunakan sensor Soil Moisture YL-69 yang bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas listrik. Sensor ini menghasilkan data analog yang dibaca oleh ESP32 dalam rentang nilai 0–2500. Nilai tersebut kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase kelembapan tanah untuk menentukan status kondisi tanah. Adapun klasifikasi tingkat kelembapan tanah yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Kurang (0–60%): Mengindikasikan tanah sedang kering. Tanaman cabai berisiko stres dengan ciri daun menguning dan pertumbuhan terhambat. Untuk itu, sistem akan menyalakan pompa air secara otomatis agar dilakukan penyiraman.
- b. Baik (60–65%): Merupakan tingkat kelembapan ideal bagi tanah. Tanaman cabai memperoleh air yang cukup tanpa kelebihan. Dalam keadaan ini, pompa air tidak akan dinyalakan.
- c. Berlebihan ($>65\%$): Menunjukkan kondisi tanah yang terlalu jenuh air, berpotensi menyebabkan akar membusuk serta meningkatkan risiko penyakit. Oleh karena itu, sistem akan memastikan pompa air tetap mati untuk mencegah kelebihan air.

Setelah sistem selesai dirancang dan diimplementasikan, dilakukan pengujian untuk memastikan seluruh komponen, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, berfungsi sesuai spesifikasi. Pengujian meliputi sensor soil moisture, sensor DHT22, serta integrasi rangkaian berbasis ESP32. Sistem monitoring berbasis web yang terhubung ke Firestore juga diuji untuk menilai keakuratan data dan tampilan informasi secara real-time.

A. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk memastikan setiap sensor berfungsi sesuai dengan tujuan sistem. Sensor soil moisture diuji untuk membaca tingkat kelembapan tanah secara akurat, sedangkan sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di lingkungan sekitar. Selain itu, dilakukan pula pengujian terhadap keseluruhan alat secara terintegrasi. Hasil pengujian menunjukkan

bahwa kedua sensor bekerja stabil dan mampu memberikan data yang sesuai dengan kondisi realtime.

1. Pengujian Sensor Soil Moisture

Pada tahap ini dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa mikrokontroler ESP32 dapat terhubung dan berkomunikasi dengan sistem monitoring berbasis website. Website ini berfungsi sebagai alat bantu pemantauan secara real-time, di mana pengguna dapat melihat informasi mengenai kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara dengan mudah. Data dari sensor soil moisture dan DHT22 secara otomatis dikirim ke platform Firebase dan ditampilkan dalam tampilan web yang responsif. Tampilan monitoring ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Sensor Soil Moisture

Pengujian	Jam	Kelembapan Tanah (%)	Keterangan Kelembapan Tanah
1	06.00	55	Kering – Perlu penyiraman
2	07.30	62	Ideal – Kondisi kelembapan tanah optimal
3	09:00	67	Basah – Perlu dikurangi penyiraman
4	10.30	70	Terlalu basah – Risiko akar membusuk
5	12.00	65	Ideal – Tidak perlu penyiraman

2. Pengujian Sensor DHT22

Pada tahap ini dilakukan pengujian sensor DHT22 untuk memastikan akurasi dan kestabilan dalam membaca suhu dan kelembapan udara. Sensor DHT22 berfungsi sebagai alat pemantau kondisi lingkungan sekitar tanaman yang digunakan sebagai data pendukung dalam sistem irigasi otomatis. Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor di lingkungan ruang terbuka dan tertutup, kemudian mencatat hasil pembacaan suhu dan kelembapan udara yang ditampilkan melalui Serial Monitor Arduino IDE dan sistem monitoring web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT22 dapat

bekerja dengan baik dan memberikan data yang stabil. Tampilan hasil pengujian sensor DHT22 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Sensor DHT22

Pengujian	Jam	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Udara (%)	Keterangan
1	06:00	24	68	Ideal – Suhu & kelembapan sesuai
2	07:30	26	72	Suhu ideal, kelembapan terlalu tinggi
3	09:00	29	65	Ideal – Suhu & kelembapan sesuai
4	10:30	34	58	Suhu ideal, kelembapan terlalu rendah
5	12:00	36	62	Suhu terlalu tinggi, kelembapan ideal

3. Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen bekerja secara terintegrasi. Sensor soil moisture dan DHT22 berhasil membaca data kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara dengan stabil. ESP32 memproses data dan mengirimkannya ke Firebase, kemudian ditampilkan secara real-time melalui website monitoring. Hasil menunjukkan sistem berjalan otomatis sesuai logika penyiraman yang ditentukan dan mampu diakses secara jarak jauh.

Tabel 3. Pengujian Keseluruhan Alat.

Pengujian	Jam	Kelembapan Tanah (%)	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Udara (%)	Status Pompa
1	06:00	55	65	25	ON
2	06:15	62	64	24	OFF
3	12:05	68	55	36	OFF
4	12:30	58	63	33	OFF
5	18:15	52	65	22	OFF
6	18:25	58	63	22	OFF

B. Pengujian Website

Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem monitoring berbasis web dapat menampilkan data sensor secara real-time dan menyimpan

riwayat penyiraman secara otomatis. Website ini terhubung dengan dua layanan dari platform Firebase, yaitu Realtime Database dan Firestore.

Realtime Database digunakan untuk menampilkan data kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara secara langsung pada antarmuka website. Data diperbarui setiap kali terjadi pembacaan dari sensor dan dikirim oleh ESP32 melalui koneksi Wi-Fi.

Sementara itu, Firestore dimanfaatkan untuk menyimpan riwayat kelembapan tanah secara berkala setiap 30 menit. Data historis ini kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pada halaman website guna memberikan informasi tren kelembapan tanah dari waktu ke waktu. Selain itu, Firestore juga digunakan untuk mencatat riwayat penyiraman berdasarkan status pompa yang aktif. Dengan demikian, pengguna dapat melihat kapan sistem melakukan penyiraman secara otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa website mampu menampilkan data secara real-time dengan akurat serta menyimpan riwayat data secara konsisten dan dapat diakses kapan saja oleh pengguna.

IV. KESIMPULAN

Prototipe dalam penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem irigasi otomatis berbasis IoT dengan sensor soil moisture dan DHT22 yang didukung oleh sumber daya terbarukan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, serta mengintegrasikan panel surya untuk mengisi daya tiga baterai berkapasitas 1500 mAh, memungkinkan sistem beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada listrik konvensional. Sensor soil moisture digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah, sedangkan sensor DHT22 berfungsi untuk memantau suhu dan kelembapan udara.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara otomatis berdasarkan ambang batas kelembapan tanah yang telah ditentukan. Data dari sensor dikirimkan secara real-time ke platform monitoring berbasis web yang dikembangkan

menggunakan bahasa pemrograman HTML, CSS, dan JavaScript. Website ini terhubung dengan Firebase sebagai basis data untuk menampilkan data secara langsung serta menyimpan riwayat penyiraman dan kondisi lingkungan. Sistem ini dapat diakses secara remote oleh pengguna, sehingga mendukung pengawasan irigasi secara efisien, khususnya di lokasi dengan keterbatasan infrastruktur.

Dengan demikian, tujuan penelitian untuk membangun sistem irigasi otomatis berbasis IoT yang hemat energi, presisi, dan mendukung pemantauan jarak jauh telah tercapai. Sistem ini memberikan kontribusi dalam pengelolaan air yang lebih efisien pada budidaya tanaman cabai dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih luas atau pada komoditas pertanian lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses pelaksanaan dan penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan kelompok yang telah menunjukkan kerja sama yang baik, penuh tanggung jawab, dan komitmen tinggi dalam menyelesaikan seluruh tahapan penelitian.

Penghargaan yang setinggi-tingginya juga disampaikan kepada Bapak Pramono, S.Kom, M.Kom, selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penelitian berlangsung. Dukungan beliau memberikan kontribusi besar terhadap kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada keluarga yang senantiasa memberikan dorongan moral, motivasi, serta doa yang tidak pernah putus selama proses penelitian ini berlangsung. Dukungan mereka menjadi sumber semangat yang sangat berarti.

Akhir kata, penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan teknologi sistem irigasi otomatis

berbasis IoT dan energi terbarukan di bidang pertanian, serta menjadi referensi dan pijakan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

REFERENSI

- [1] M. F. Rahman, M. S. Hossain, and M. S. Islam, "Solar-powered smart irrigation system using IoT," *International Journal of Innovative Science and Development*, vol. 6, no. 4, pp. 112–120, 2021. \[Online].
- [2] D. Kurniawan and S. Hidayat, "Implementasi IoT pada sistem monitoring pertanian," *Berkala Fisika*, vol. 24, no. 3, pp. 89–97, 2021. doi: 10.22146/bf.34359.
- [3] T. W. Adi and I. G. P. Suryawan, "Smart agriculture dengan energi terbarukan," *Smart Comp*, vol. 9, no. 1, pp. 33–40, 2023. \[Online].
- [4] MR. D. Cahyani and A. Wibowo, "Integrasi sensor DHT22 dan soil moisture pada sistem irigasi presisi," *Jurnal AgriTech*, vol. 11, no. 2, pp. 67–75, 2022.
- [5] R. A. Saputra and E. Wijayanti, "Optimasi irigasi cerdas menggunakan sensor soil moisture dan DHT22," *JINIG: Jurnal Ilmiah Informatika Global*, vol. 12, no. 1, pp. 22–30, 2022. \[Online].
- [6] P. K. Devan, A. Kumar, N. H. Arvindkumar, R. Aravind, and R. D. Kumar, "IoT based solar powered smart irrigation system," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2054, pp. 012074, 2021. doi: 10.1088/1742-6596/2054/1/012074.
- [7] L. Sari and R. D. Prasetyo, "Analisis kinerja panel surya pada sistem irigasi otomatis," *Jurnal Teknik Elektro ITN*, vol. 14, no. 2, pp. 77–85, 2021. \[Online].
- [8] S. H. Nasution, A. N. Siregar, and R. M. Sembiring, "IoT-based solar-powered automatic irrigation system," *Jurnal Teknik Pertanian*, vol. 8, no. 3, pp. 45–55, 2021. doi: 10.35194/jtp.v8i3.472.
- [9] A. F. Ahmad and B. Subekti, "Pengembangan Website Pemantauan Sensor Berbasis IoT pada Sistem Irigasi Otomatis," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, vol. 5, no. 1, pp. 45–52, 2022.
- [10] B. Setiawan and D. A. Pratama, "Optimasi konsumsi daya pada sistem IoT menggunakan ESP32," *JEED: Journal of Electrical Engineering and Design*, vol. 4, no. 1, pp. 12–20, 2023.