

Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Pertanian Greenhouse

Wahyudi^{*1}, Afu Ichsan Pradana², Hanifah Permatasari³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa, Surakarta, Indonesia

Email: ¹230103294@mhs.udb.ac.id, ²afu_ichsan@udb.ac.id, ³hanifah_permatasari@udb.ac.id

Abstrak

Pertanian merupakan sektor vital dalam pemenuhan kebutuhan pangan di Indonesia, namun masih menghadapi tantangan dalam efisiensi irigasi dan regenerasi petani. Penelitian ini mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor kelembaban tanah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air pada pertanian *greenhouse*. Data sensor dikirim ke *platform Thingspeak* untuk pemantauan *real-time*, sementara pengendalian penyiraman dilakukan berdasarkan kelembaban tanah yang terdeteksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengurangi penggunaan air sebesar 30% dibandingkan metode konvensional, serta meningkatkan efisiensi energi dengan optimalisasi siklus penyiraman. Implementasi teknologi ini berpotensi menjadi solusi strategis dalam meningkatkan keberlanjutan pertanian dan menarik minat petani muda terhadap teknologi agrikultur.

Kata kunci: ESP32, *Greenhouse*, *Internet of Things*, Irigasi Otomatis, Sensor Kelembaban Tanah

Implementation of IoT-Based Automatic Irrigation System for Greenhouse Farming

Abstract

Agriculture is a vital sector in meeting food demands in Indonesia, yet it still faces challenges in irrigation efficiency and farmer regeneration. This study developed an *Internet of Things* (IoT)-based automatic irrigation system using the ESP32 microcontroller and soil moisture sensors to enhance water usage efficiency in greenhouse farming. Sensor data is transmitted to the ThingSpeak platform for real-time monitoring, while irrigation control is performed based on detected soil moisture levels. The research results indicate that this system can reduce water usage by 30% compared to conventional methods and improve energy efficiency through optimized irrigation cycles. The implementation of this technology has the potential to be a strategic solution for enhancing agricultural sustainability and attracting young farmers to agricultural technology.

Keywords: ESP32, *Greenhouse*, *Internet of Things*, Automatic Irrigation, Soil Moisture Sensor

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan di Indonesia. Namun, sektor ini menghadapi tantangan signifikan, salah satunya adalah rendahnya regenerasi petani, terutama di kalangan generasi muda atau milenial. Di Kabupaten Sragen sendiri terdapat 109.274 petani yang tergabung dalam 1364 Kelompok tani yang tertuang dalam SK Bupati tahun 2024. Rendahnya minat generasi milenial terhadap sektor pertanian sering kali dikaitkan dengan kurangnya akses terhadap teknologi modern yang dapat meningkatkan efisiensi kerja dan profitabilitas. Selain akses teknologi yang kurang hasil dari bidang pertanian di anggap kurang menguntungkan karena biaya produktivitas yang tinggi. Kondisi ini menjadi salah satu penghambat dalam transformasi pertanian menuju sistem yang lebih maju dan berkelanjutan.

Pertanian *greenhouse* adalah metode pertanian modern yang menggunakan rumah kaca untuk menciptakan kondisi ideal bagi tanaman [1], [2]. Sistem ini memungkinkan kontrol penuh terhadap suhu, kelembapan, pencahayaan, dan nutrisi, sehingga hasil panen lebih maksimal dan berkualitas. *Greenhouse* menjadi salah satu pilihan menarik bagi petani milenial karena inovasinya yang menggabungkan teknologi dengan keberlanjutan [3].

Salah satu pendekatan inovatif yang dapat meningkatkan daya tarik dan efisiensi sektor pertanian adalah adopsi teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT), khususnya pada sistem irigasi di pertanian *greenhouse* [4]. *Greenhouse* memungkinkan petani untuk mengontrol kondisi lingkungan secara lebih efektif, namun operasionalnya sering kali terkendala oleh tingginya konsumsi energi, terutama untuk sistem irigasi. Dalam konteks ini, penggunaan teknologi IoT berbasis ESP32 dan sensor kelembaban tanah menawarkan solusi yang

efisien. Teknologi ini memungkinkan penyiraman otomatis berdasarkan kebutuhan tanaman yang terpantau secara real-time, sehingga penggunaan air dan energi listrik dapat dioptimalkan.

Sistem irigasi berbasis ESP32 tidak hanya mampu meminimalkan pemborosan sumber daya, tetapi juga dapat menekan biaya operasional secara signifikan. Hal ini membuat teknologi ini relevan untuk mendukung pertanian yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Selain itu, penerapan teknologi IoT di greenhouse dapat meningkatkan produktivitas dan menarik minat generasi milenial yang cenderung lebih responsif terhadap inovasi teknologi.

Menurut data dari Food and Agriculture Organization (FAO), penggunaan air di sektor pertanian mencapai 70% dari total konsumsi air global, dengan tingkat efisiensi rata-rata hanya 40-50% dalam metode irigasi konvensional [5]. Sementara itu, penelitian internasional menunjukkan bahwa penerapan sistem irigasi otomatis berbasis teknologi IoT di greenhouse dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 60-70%, terutama di lingkungan yang terkendali seperti rumah kaca.

Meskipun banyak penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan teknologi otomatisasi pada irigasi, kebanyakan masih menggunakan mikrokontroler sederhana seperti Arduino Uno atau Raspberry Pi yang memiliki keterbatasan dalam konektivitas dan efisiensi biaya. Penelitian ini berbeda dengan menonjolkan penggunaan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, yang menawarkan konektivitas Wi-Fi bawaan, kemampuan pemrosesan data lebih cepat, dan biaya lebih rendah. Dibandingkan dengan metode irigasi otomatis lainnya, sistem berbasis ESP32 mampu mengintegrasikan pemantauan real-time melalui platform seperti ThingSpeak, sehingga lebih praktis dan efektif dalam mendukung keputusan irigasi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi sistem irigasi otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor kelembaban tanah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian greenhouse. Penelitian ini juga akan mengukur sejauh mana sistem ini dapat mengurangi konsumsi air, biaya operasional, dan energi, serta mengevaluasi potensi penerapan teknologi ini dalam skala luas. ESP32 adalah mikrokontroler untuk mengatur sensor yang digunakan dalam penelitian ini [6]. Data yang dihasilkan dari sensor kelembaban tanah akan dikirim melalui ESP32 dan ditampilkan di LCD dan website Thingspeak. Selain itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi efisiensi penggunaan air setelah implementasi sistem tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian melalui inovasi teknologi yang relevan dan aplikatif.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Metode Pengumpulan Data

2.1.1. Metode Observasi Terstruktur

Metode ini dilakukan dengan Teknik pengumpulan data pengamatan berdasarkan waktu dan daftar peristiwa yang ditentukan [5]. Metode ini digunakan untuk mengamati kebutuhan tanaman dan perkembangan tanaman dalam *greenhouse* dengan menggunakan PH meter tanah untuk memperoleh data kebutuhan air tanaman.

2.1.2. Metode Pengukuran Fisik

Pendekatan ini diterapkan untuk mengumpulkan data dari variabel-variabel yang mencakup parameter atau ukuran tertentu terkait aspek fisik [6]. Pengukuran dilakukan melalui observasi dengan mencatat pola perubahan. Dalam konteks ini, peneliti mengamati perbedaan kelembaban tanah pada tanaman menggunakan soil PH moisture. Soil PH Moisture adalah alat untuk mengetahui dimana tanah di kategorikan kering atau lembab [7], [8]. Dengan demikian data yang diperoleh dari metode ini adalah data yang objektif dan terukur. Seperti Gambar 1.

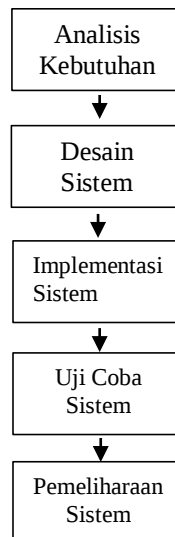


Gambar 1. Pengukuran PH Tanah Manual

2.2. Metode Pengembangan Sistem

2.2.1. Metode *Waterfall*

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode waterfall, yaitu serangkaian tahapan yang dilakukan secara berurutan [9], [10], [11]. Seperti dilihat dari Gambar 1.



Gambar 2. Tahapan Penelitian metode *Waterfall*

Metode Waterfall digunakan dalam penelitian ini karena memiliki pendekatan yang sistematis dan terstruktur, yang sangat sesuai untuk mengembangkan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) di sektor pertanian *greenhouse*. Dengan tahapan yang berurutan, yaitu analisis kebutuhan, desain, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan, metode ini memastikan setiap langkah selesai sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Hal ini membantu meminimalkan risiko kesalahan dalam desain sistem, seperti ketidaksesuaian antara perangkat IoT dengan kebutuhan *greenhouse*, serta mempermudah identifikasi masalah pada tahap awal.

Risiko utama yang mungkin muncul, seperti kegagalan integrasi perangkat atau kesalahan prediksi kebutuhan, dapat diminimalkan karena setiap tahap melalui proses validasi yang jelas. Dibandingkan dengan metode lain seperti *Agile* yang lebih fleksibel namun cenderung iteratif, *Waterfall* dipilih karena cocok untuk proyek yang memiliki persyaratan awal yang jelas dan tidak berubah secara signifikan selama proses pengembangan, seperti dalam pengelolaan sistem otomatis untuk pengaturan suhu, kelembapan, dan pencahayaan di *greenhouse*.

2.2.2. Pemilihan Komponen Perangkat Keras

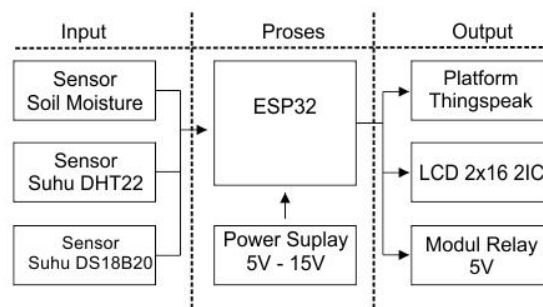
Pada penelitian ini, Pemilihan komponen perangkat keras dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengoptimalkan irigasi pertanian *greenhouse* dengan memanfaatkan teknologi sensor dan mikrokontroler. Sensor kelembaban tanah digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban di dalam tanah, sehingga irigasi dapat disesuaikan secara otomatis berdasarkan kebutuhan tanaman [11], [12]. Sensor kelembaban udara dan suhu udara berfungsi untuk memantau kondisi lingkungan di dalam *greenhouse*, memastikan bahwa parameter-parameter mikroklimat tetap optimal untuk pertumbuhan tanaman [13]. Sensor suhu air digunakan untuk mengukur suhu air irigasi agar tidak mengganggu kondisi akar tanaman, terutama pada tanaman yang sensitif terhadap perubahan suhu air [14], [15]. ESP32 memiliki modul *Wi-Fi* dan *Bluetooth* bawaan, sehingga mendukung konektivitas nirkabel tanpa memerlukan perangkat tambahan seperti modul ESP8266. Selain itu, ESP32 memiliki kecepatan prosesor yang lebih tinggi dan kapasitas memori yang lebih besar, memungkinkan pengolahan data lebih kompleks dibandingkan serta lebih hemat biaya dan energi dibandingkan *Arduino Uno* dan *Raspberry Pi*. Penggunaan ESP32 juga memungkinkan sistem irigasi terhubung dengan aplikasi IoT, sehingga mempermudah pemantauan dan pengelolaan jarak jauh melalui *thingspeak*. ThingSpeak dirancang khusus untuk Internet of Things (IoT), dengan fitur bawaan untuk analisis dan visualisasi data waktu nyata, seperti grafik waktu dan rata-rata data. Firebase, meskipun kuat, lebih kompleks dan memerlukan pengaturan tambahan untuk analitik IoT. *ThingSpeak*, di sisi lain, adalah platform siap pakai yang mendukung MQTT secara bawaan dan menyediakan antarmuka pengguna untuk monitoring tanpa memerlukan instalasi tambahan [16]. Kombinasi perangkat keras ini dipilih karena

keandalannya, biaya yang terjangkau, serta kompatibilitasnya dengan sistem IoT untuk mengoptimalkan efisiensi irigasi di *greenhouse*.

2.2.3. Diagram Alur Sistem

Diagram alur sistem menggambarkan interaksi antara komponen-komponen utama, mulai dari sensor hingga platform pemantauan. Alur sistem adalah sebagai berikut :

1. Sensor (Soil Moisture, DHT22, DS18B20) mendeteksi data lingkungan, seperti kelembapan tanah, suhu udara, dan suhu air.
2. Data dari sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses.
3. Hasil pemrosesan ditampilkan secara langsung pada layar LCD 16x2 I2C untuk monitoring lokal.
4. ESP32 mengirimkan data ke platform ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi untuk pemantauan jarak jauh.
5. Berdasarkan data kelembapan tanah, mikrokontroler memerintahkan modul relay untuk menghidupkan atau mematikan pompa air secara otomatis.



Gambar 3. Diagram alur sistem

2.2.4. Parameter Uji Coba

Pengujian sistem dilakukan dengan 2 percobaan yang melibatkan 2 kondisi kelembapan tanah yang berbeda. Data yang diambil dari sensor kelembapan tanah, kelembapan udara, suhu udara, dan suhu air ditampilkan secara real-time pada layar LCD sebagai antarmuka lokal untuk memantau kondisi lingkungan *greenhouse*. Data historis penyiraman manual, seperti frekuensi dan durasi penyiraman, digunakan untuk menguji keakuratan sistem dalam mengatur pompa air. Data dari sensor kelembapan tanah dibandingkan dengan kondisi nyata untuk memastikan sistem memberikan keputusan yang sesuai. Sistem ini diuji terhadap metode irigasi konvensional untuk mengevaluasi efisiensi air dan hasil panen. Sistem otomatis harus mampu mengurangi konsumsi air tanpa mengorbankan kesehatan tanaman. Sistem diuji pada berbagai kondisi lingkungan, seperti tanah dengan kelembapan tinggi atau rendah, suhu ekstrem, dan gangguan jaringan internet. Hasil dari sistem otomatis dibandingkan dengan ekspektasi untuk memastikan performa tetap konsisten. Selain itu, data yang diperoleh dari sensor dikirimkan ke platform *ThingSpeak* melalui koneksi *Wi-Fi* ESP32 untuk pengolahan dan pemantauan jarak jauh secara *real-time* [17], [18]. Sistem juga dirancang untuk mendukung otomatisasi irigasi, di mana tingkat kelembapan tanah menjadi parameter utama untuk mengaktifkan atau menonaktifkan penyiraman otomatis. Uji coba melibatkan evaluasi terhadap kecepatan pembaruan data, keandalan pengiriman data ke *ThingSpeak*, serta akurasi penyiraman otomatis sesuai dengan kondisi tanah. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem bekerja secara efektif dalam mengoptimalkan proses irigasi dan meminimalkan intervensi manual.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem optimalisasi irigasi pertanian pada *greenhouse* berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan komponen utama mikrokontroler ESP32, Sensor kelembapan tanah, sensor kelembapan udara, sensor suhu udara, sensor suhu air dan platform *Thingspeak*. Berikut adalah hasil dari setiap tahap implementasi:

3.1.1. Analisis Kebutuhan Sistem.

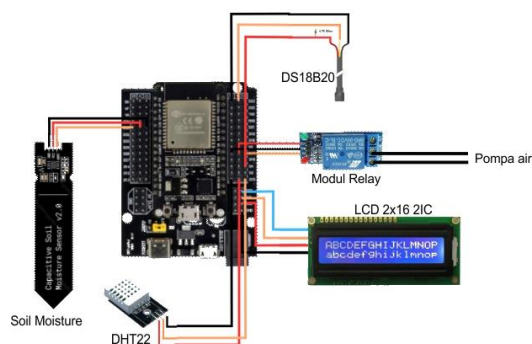
Sistem irigasi otomatis untuk pertanian *greenhouse* bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya air dan listrik, sekaligus meningkatkan produktivitas tanaman. Sistem ini menggunakan sensor untuk

memantau kondisi lingkungan dan perangkat lunak untuk mengontrol penyiraman secara otomatis berdasarkan data yang diperoleh. Adapun kebutuhan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Kebutuhan fungsional
Sistem ini dirancang untuk mengukur kelembapan tanah dan hanya menyiram tanaman ketika kondisi tertentu, sehingga mampu mengoptimalkan kebutuhan air dan berpengaruh pada penggunaan listrik, antara lain:
 - 1) Memanfaatkan sensor kelembapan tanah untuk mengetahui kondisi PH tanah.
 - 2) Sistem akan memerintahkan relay pompa untuk penyiraman tanaman ketika kelembapan tanah di kurang dari 30%
 - 3) Antarmuka pengguna menggunakan LCD dan Thingspeak untuk pemantauan kondisi pada tanaman di greenhouse secara online
- b. Kebutuhan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak
Agar sistem dapat berfungsi dengan optimal, diperlukan perangkat keras dan perangkat lunak yang terintegrasi dengan baik untuk memastikan akurasi serta kenyamanan pengguna, di antaranya:
 - 1) Mikrokontroler ESP32, Sebagai pusat pengolahan data dan penghubung dengan platform thingspeak.
 - 2) Sensor *Soil Moisture* untuk mengukur kelembapan tanah.
 - 3) Sensor DHT22 untuk memantau suhu udara dan kelembaba.
 - 4) Sensor DS18B20 untuk mengukur suhu air.
 - 5) LCD 16x2 I2C untuk menampilkan hasil dari pemantauan sensor secara offline
 - 6) Modul Relay berfungsi untuk mengontrol pompa air untuk irigasi secara otomatis
 - 7) Platform Thingspeak, digunakan untuk menampilkan data yang dikirim oleh ESP32 secara Online.

3.1.2. Desain Sistem

Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler ESP32, sensor kelembapan tanah (*Soil Moisture*), sensor suhu dan kelembapan DHT22, sensor suhu DS18B20, modul relay, dan layar LCD. Data yang diperoleh dari sensor akan diolah oleh mikrokontroler, ditampilkan secara langsung pada layar LCD, dan dikirimkan ke platform ThingSpeak untuk memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui koneksi internet..



Gambar 3. Desain Sistem

Keterangan:

- a. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data dari sensor-sensor yang terhubung dan sebagai penghubung untuk mengirimkan data ke platform ThingSpeak melalui koneksi internet.
 - b. Sensor *Soil Moisture* digunakan untuk mengukur tingkat kelembapan tanah, sehingga dapat menentukan kondisi tanah apakah membutuhkan irigasi atau tidak.
 - c. Sensor DHT22 berfungsi untuk memantau suhu udara dan tingkat kelembapan lingkungan secara akurat.
 - d. Sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu air, biasanya untuk memastikan kondisi air dalam sistem irigasi atau lingkungan terkait.
 - e. LCD 16x2 I2C menampilkan hasil pemantauan dari sensor-sensor secara lokal, memungkinkan pengguna untuk melihat data secara offline tanpa memerlukan akses internet.
 - f. Modul Relay berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengontrol pompa air, sehingga irigasi dapat dilakukan secara otomatis berdasarkan kondisi kelembapan tanah yang terdeteksi oleh sensor.
 - g. Platform ThingSpeak digunakan untuk menampilkan dan menyimpan data pemantauan yang dikirim oleh ESP32 secara online, memungkinkan akses data jarak jauh melalui internet.
- Sistem ini dirancang untuk memberikan pemantauan stok yang efisien, baik secara lokal maupun jarak jauh, dengan notifikasi otomatis yang memudahkan pengelolaan inventaris.

3.1.3. Perbandingan Kuantitatif

Sistem irigasi otomatis ini efektif dalam mengoptimalkan penggunaan sumber daya sekaligus meningkatkan hasil panen. Meskipun ada tantangan implementasi seperti keterbatasan akses internet, manfaat jangka panjang dari efisiensi biaya dan peningkatan produktivitas jauh lebih besar dibandingkan dengan biaya awal investasi.

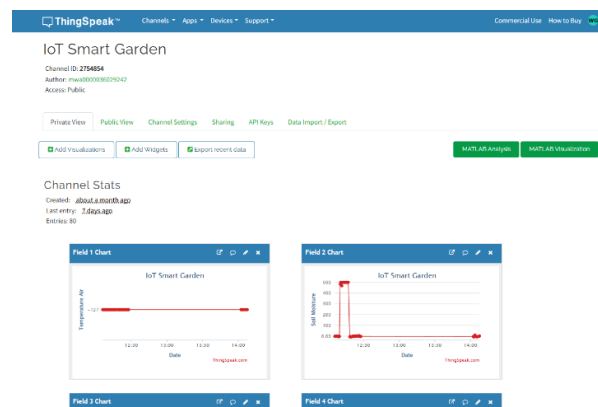
1. Penghematan Air :
 - Sebelum otomatisasi: 1000 liter/hari (penyiraman manual).
 - Setelah otomatisasi: 700 liter/hari (penyiraman berdasarkan kebutuhan).
 - Penghematan: 30% per hari.
2. Peningkatan Produktivitas:
 - Tanaman menghasilkan 15-20% lebih banyak hasil panen karena lingkungan yang lebih terkontrol.

3.1.4. Implementasi

Proses ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

- a. Pembuatan akun di platform thingspeak

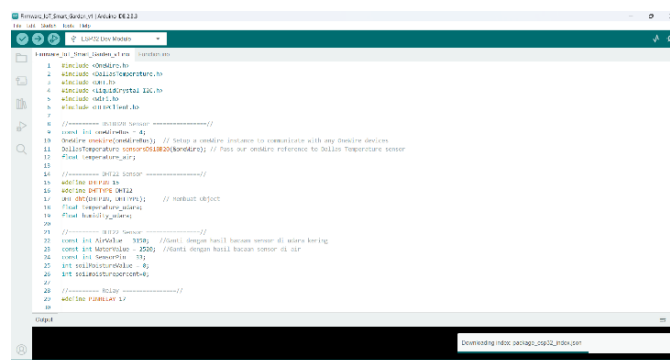
Untuk membuat akun di platform ThingSpeak, kunjungi situs resmi ThingSpeak.com dan klik tombol Sign Up. Isi formulir pendaftaran dengan informasi seperti nama, alamat email, dan kata sandi, lalu setuju syarat dan ketentuan yang berlaku. Setelah itu, periksa email Anda untuk memverifikasi akun melalui tautan yang dikirimkan. Setelah verifikasi selesai, Anda dapat masuk ke akun ThingSpeak dan mulai membuat channel baru untuk mengelola serta memantau data sensor yang akan diunggah.



Gambar 4. Tampilan halaman Thingspeak

- b. Proses persiapan perangkat lunak.

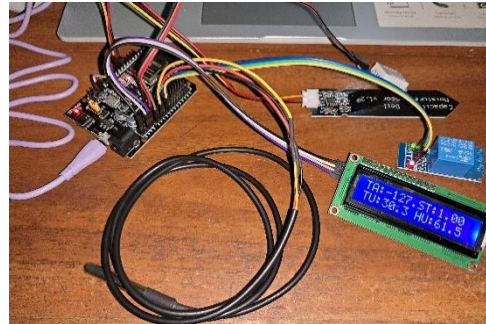
Langkah awal dalam implementasi adalah mengunggah kode ke mikrokontroler ESP32 menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Sebelum proses unggah, pastikan semua pustaka (library) yang dibutuhkan telah diimpor dengan benar. Kode yang ditulis mencakup program untuk membaca data dari semua sensor, menyertakan Key API yang diperoleh dari platform ThingSpeak, menampilkan hasil pada layar LCD, mengaktifkan modul relay, dan mengirimkan data ke platform ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi. Proses unggah ini bertujuan untuk memastikan bahwa mikrokontroler ESP32 dapat menjalankan semua fungsi yang telah dirancang dengan baik.



Gambar 5. Arduino IDE untuk upload Kode ke ESP32

c. Proses Pengujian Awal

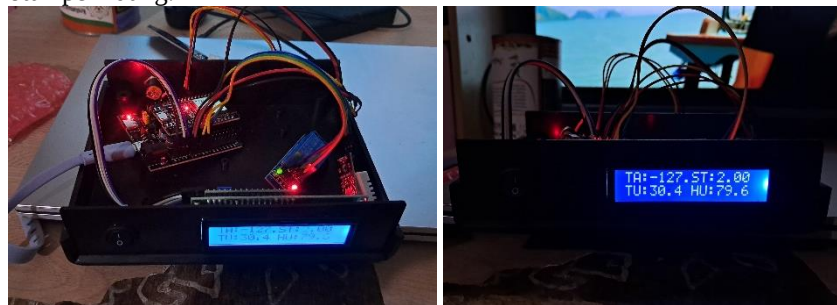
Sebelum dirakit secara permanen, semua komponen seperti mikrokontroler ESP32, sensor kelembapan tanah (*Soil Moisture*), sensor suhu dan kelembapan DHT22, sensor suhu DS18B20, modul relay, dan layar LCD diuji konektivitasnya. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa kode yang telah diunggah melalui Arduino IDE berfungsi sebagaimana mestinya. Langkah ini juga berguna untuk mendeteksi serta mengatasi kesalahan sejak tahap awal.



Gambar 6. Rangkaian pengujian.

d. Finalisasi Rangkaian

Setelah pengujian selesai dan berhasil, rangkaian disusun dengan lebih rapi menggunakan kabel yang diatur di dalam kotak pelindung.



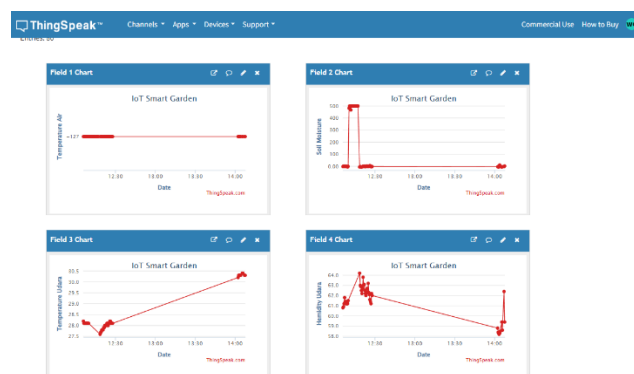
Gambar 7. Memasukan kedalam kotak pelindung

Desain akhir ini ditunjukkan pada Gambar 7, Desain akhir ini bertujuan untuk melindungi alat ketika di dalam *greenhouse*.

e. Desain Tampilan Platform Thingspeak

Platform *Thingspeak* dirancang untuk memberikan antarmuka pengguna yang sederhana dan informatif. Tampilan. Dalam platform ini menampilkan beberapa informasi, yaitu:

- 1) Kelembapan tanah dalam *greenhouse*
- 2) Suhu udara dan kelembapan udara di dalam *greenhouse*
- 3) Suhu Air yang berada dalam bak tampungan air



Gambar 8. Desain tampilan pada platform Thingspeak

Gambar 6 menunjukkan desain tampilan aplikasi *Blynk*. Dengan tampilan ini, pengelola toko dapat memantau stok secara *real-time*, baik dari segi berat maupun jumlah buah, serta melacak riwayat pemantauan dengan mudah.

3.1.5. Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk memantau kondisi lingkungan dengan menggunakan ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, sensor Soil Moisture untuk mengukur kelembapan tanah, dan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu tanah. Data yang dihasilkan ditampilkan pada LCD 2x16 dengan modul I2C dan dikirim ke platform ThingSpeak. Analisis dilakukan terhadap data kelembapan tanah di bawah dan di atas 30% dalam rentang waktu 12 jam dengan total 10 data.



Gambar 9. Data soil moisture menunjukkan 25% kondisi kering



Gambar 10. Data soil moisture menunjukkan 49% kondisi lembab

Parameter pengujian:

- 1) Sampel uji menggunakan salah satu tanaman, pengujian berupa data yang dicatat selama 12 jam. Berikut adalah tabel hasil pengukuran:

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Sebelum Penggunaan Sistem

Waktu	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Udara (%)	Suhu Tanah (°C)	Kelembapan Tanah (%)	Kondisi
08:00	29.5	65.3	28.2	25.0	Kering
09:00	30.2	63.8	28.7	27.1	Kering
10:00	31.8	60.5	29.3	35.8	Lembap
11:00	32.4	58.9	29.9	40.2	Lembap
12:00	33.1	55.7	30.4	49.3	Lembap
13:00	33.6	54.2	30.8	50.1	Lembap
14:00	34.0	53.0	31.2	29.6	Kering
15:00	33.7	52.5	30.9	28.7	Kering
16:00	33.0	54.1	30.5	30.5	Lembap

17:00	31.9	57.0	29.6	32.8	Lembap
-------	------	------	------	------	--------

Analisis Hasil Pengujian:

Berdasarkan hasil pengujian, kelembapan tanah cenderung meningkat setelah pukul 10:00, mencapai kondisi lembap (di atas 30%). Sebelumnya, pada pukul 08:00 hingga 09:00, kelembapan tanah berada di bawah 30%, mengindikasikan tanah dalam kondisi kering. Data menunjukkan tren bahwa kelembapan tanah meningkat secara bertahap setelah matahari mencapai puncaknya, kemungkinan akibat efek penguapan air tanah.

Tabel 2. Tabel Hasil Pengujian Sesudah Penggunaan Sistem

Waktu	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Udara (%)	Suhu Tanah (°C)	Kelembapan Tanah (%)	Kondisi
08:00	29.5	65.3	28.2	30.0	Lembap
09:00	30.2	63.8	28.7	32.5	Lembap
10:00	31.8	60.5	29.3	40.0	Lembap
11:00	32.4	58.9	29.9	45.5	Lembap
12:00	33.1	55.7	30.4	55.0	Lembap
13:00	33.6	54.2	30.8	56.0	Lembap
14:00	34.0	53.0	31.2	35.0	Kering
15:00	33.7	52.5	30.9	34.0	Kering
16:00	33.0	54.1	30.5	38.0	Lembap
17:00	31.9	57.0	29.6	42.0	Lembap

Suhu udara juga mempengaruhi kelembapan tanah, di mana suhu yang lebih tinggi menyebabkan penguapan air tanah meningkat. Hal ini terlihat pada kelembapan tanah yang cenderung menurun kembali mendekati sore hari setelah mencapai puncaknya pada tengah hari.



Gambar 11. Tampilan pada halaman Thingspeak pada layar ponsel

Data yang dikirim ke platform Thingspeak mempermudah pengelolaan dan pemantauan jarak jauh untuk mendapatkan informasi real-time tentang kondisi tanah. Integrasi dengan LCD 2x16 memudahkan pengguna untuk melihat data langsung di lapangan tanpa bergantung pada koneksi internet.

3.2. Pembahasan

3.2.1. Efektivitas Sistem dan Analisis Kinerja

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem irigasi pada pertanian greenhouse berbasis IoT yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan secara efektif. Sistem ini mencakup fitur penyiraman otomatis berdasarkan data kelembapan tanah, pemantauan kondisi lingkungan secara real-time yang meliputi suhu udara, kelembapan udara, suhu tanah, dan kelembapan tanah, serta kemudahan penggunaan melalui antarmuka digital.

a) Efisiensi Pemantauan Kondisi Lingkungan Greenhouse

Sistem berbasis ESP32 dengan integrasi sensor DHT22, Soil Moisture, dan DS18B20 menunjukkan efisiensi tinggi dalam memantau kondisi lingkungan. Data yang diperoleh memberikan gambaran jelas mengenai suhu udara, kelembapan udara, suhu tanah, dan kelembapan tanah. Hal ini sangat penting dalam pengelolaan lingkungan greenhouse untuk memastikan kondisi optimal bagi tanaman.

b) Kemampuan menampilkan data secara Real-Time

Pengiriman data ke platform ThingSpeak memungkinkan akses data secara real-time. Hal ini mendukung pengambilan keputusan yang cepat, seperti mengatur penyiraman otomatis berdasarkan kelembapan tanah. Tampilan data pada LCD 2x16 memberikan nilai tambah bagi pengguna di lapangan yang membutuhkan informasi instan tanpa memerlukan perangkat tambahan.

c) Penggunaan yang mudah

Sistem ini dirancang untuk mudah digunakan oleh petani dan pengelola greenhouse. Modul LCD memberikan akses langsung ke data, sementara antarmuka ThingSpeak yang sederhana memudahkan pengelolaan data. Integrasi dengan IoT memungkinkan pengoperasian sistem yang minim intervensi manual.

d) Kemampuan Sistem

Sistem dapat bekerja secara konsisten untuk memantau parameter lingkungan selama 12 jam. Kelembapan tanah yang terpantau di bawah dan di atas 30% menunjukkan bahwa sensor memiliki sensitivitas yang baik dalam mendeteksi perubahan kondisi. Namun, peningkatan dalam kapasitas penyimpanan data dan pengolahan algoritma prediktif dapat meningkatkan kemampuan sistem secara keseluruhan. Bahwa sistem berbasis ESP32 dengan sensor DHT22, Soil Moisture, dan DS18B20 dapat bekerja dengan baik untuk memantau kondisi lingkungan. Sistem ini mampu mendeteksi perubahan kelembapan tanah secara akurat dan memberikan informasi real-time baik melalui LCD maupun platform ThingSpeak.

e) Efektivitas Pemakaian Sistem

Sistem ini terbukti efektif dalam mendukung pengelolaan irigasi. Dengan mengetahui kondisi tanah secara real-time, pengelola greenhouse dapat mengatur penyiraman secara lebih presisi, sehingga menghemat penggunaan air dan meningkatkan produktivitas tanaman.

3.2.2. Potensi Implementasi dan Kendala

Potensi implementasi sistem irigasi berbasis IoT sangat besar dalam pertanian greenhouse, terutama dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air, otomatisasi penyiraman, dan pemantauan kondisi lingkungan secara real-time. Sistem ini mendukung pengelolaan tanaman yang lebih presisi, mengurangi intervensi manual, dan mempermudah pengambilan keputusan berbasis data.

Namun, kendala yang dihadapi meliputi keterbatasan kapasitas sensor untuk mencakup area yang lebih luas dan akurasi pengukuran pada kondisi lingkungan yang ekstrem:

1. Kapasitas Sensor.

Sensor yang digunakan memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi parameter lingkungan. Namun, untuk pengelolaan greenhouse yang lebih besar, diperlukan sensor tambahan atau upgrade pada akurasi dan jangkauan sensor agar dapat mencakup area yang lebih luas.

2. Koneksi Jaringan

Koneksi jaringan merupakan faktor penting dalam keberhasilan implementasi sistem IoT. Dalam pengujian, pengiriman data ke ThingSpeak berjalan lancar, tetapi implementasi di area dengan konektivitas internet yang terbatas dapat menjadi kendala. Alternatif seperti penggunaan jaringan mesh atau modul komunikasi lokal dapat dipertimbangkan untuk mengatasi masalah ini.

Dengan memperhatikan kendala-kendala tersebut, sistem ini dapat diadaptasi untuk implementasi yang lebih luas dengan perencanaan yang matang terkait infrastruktur jaringan dan kapasitas sensor. Sistem irigasi otomatis ini memerlukan investasi awal yang cukup besar, namun memberikan manfaat signifikan berupa penghematan air sebesar 30%, pengurangan biaya listrik hingga 20%, dan peningkatan produktivitas tanaman hingga 15-20%, yang secara keseluruhan menghasilkan manfaat tahunan. Dengan waktu pengembalian investasi kurang dari 5 bulan, sistem ini terbukti layak diterapkan, terutama di wilayah dengan keterbatasan sumber daya air atau yang memprioritaskan efisiensi dan produktivitas pertanian.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis IoT dengan ESP32 mampu mengoptimalkan penggunaan air dalam pertanian greenhouse hingga 30%, sekaligus meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan melalui penyiraman yang lebih terarah dan efisien. Sistem ini mencakup fitur penyiraman otomatis berdasarkan data kelembapan tanah, pemantauan kondisi lingkungan secara real-time (suhu udara, kelembapan udara, suhu tanah, dan kelembapan tanah), serta antarmuka digital yang mudah digunakan, sehingga mendukung keberlanjutan pertanian dengan pengelolaan sumber daya yang lebih hemat dan efektif.

Dengan integrasi IoT, sistem ini mampu memberikan solusi yang efisien untuk pengelolaan lingkungan greenhouse, mendukung penghematan sumber daya air, dan meningkatkan produktivitas tanaman. Kendati demikian, pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan skalabilitas dan keandalan sistem, seperti memperluas kapasitas sensor, meningkatkan ketahanan terhadap kendala jaringan, dan mengintegrasikan teknologi machine learning untuk mengoptimalkan siklus penyiraman berdasarkan pola cuaca dan pertumbuhan tanaman. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah menguji sistem ini pada berbagai jenis tanah dan tanaman, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap keberlanjutan ekosistem pertanian yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Zain, M. A. H. Wahidah, and K. Fathoni, "Pemanfaatan Greenhouse Sebagai Potensi Desa Meningkatkan Produktivitas Pertanian Dan Kesejahteraan Masyarakat (Studi Kasus Desa Kedung Banteng Sukorejo Ponorogo)," *Soc. Sci. Acad.*, pp. 591–600, 2024.
- [2] M. R. Ananta and Y. E. Riwurohi, "IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL, MONITORING DAN DATA LOGGING BERBASIS IOT PADA RUMAH KACA MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ESP32," in *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI)*, 2024, pp. 1029–1036.
- [3] A. W. N. Jati, S. Nindito, S. A. Pramono, Y. N. Sharaningtyas, and B. D. Puspita, "Penguatan Petani Milenial Dalam Inisiasi Budidaya Cabai Di Luar Musim Berbasis Teknologi Tetes Air Di Pleret, Bantul, Diy," *J. Atma Inovasia*, vol. 2, no. 1, pp. 26–34, 2022.
- [4] B. D. A. Nugroho, C. Arif, N. A. I. Hasana, R. Maftukhah, F. Suryandika, and U. Hapsari, "Pengenalan Metode Tanam SRI (System Rice of Intensification) dengan Teknologi untuk Peningkatan Produktifitas dan Ramah Lingkungan," *J. Pengabd. dan Pengemb. Masy.*, vol. 3, no. 2, pp. 493–503, 2020.
- [5] U. N. Water, *Progress on change in water-use efficiency: Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.4. 1, 2021*. Food & Agriculture Org., 2021.
- [6] I. Suharjo, "Prototype alat kendali otomatis penjemur pakaian menggunakan NodeMCU ESP32 dan telegram bot berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Inf. Syst. Artif. Intell.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2020.
- [7] M. A. Thalib, "Pelatihan teknik pengumpulan data dalam metode kualitatif untuk riset akuntansi budaya," *Seandanan J. Pengabd. Pada Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 44–50, 2022.
- [8] R. A. Siroj, W. Afgani, F. Fatimah, D. Septaria, and G. Z. Salsabila, "Metode penelitian kuantitatif pendekatan ilmiah untuk analisis data," *J. Rev. Pendidik. dan Pengajaran*, vol. 7, no. 3, pp. 11279–11289, 2024.
- [9] M. N. Gani, H. Ludyati, R. Hanifatunnisa, E. Mozef, and R. N. Ananti, "Sistem Pemantauan Kelembaban Tanah Jarak Jauh Berbasis LoRa Menggunakan Sensor pH dan Kelembaban," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 22, no. 2, pp. 153–161, 2023.
- [10] M. Narji, R. Agustino, D. Setiadi, and M. R. Effendi, "Simulasi Otomatisasi Sistem Penyiraman Tanaman Menggunakan Moisture Sensor Berbasis Mobile," *J. Teknol. Inform. dan Komput*, vol. 8, no. 1, pp. 215–227, 2022.
- [11] D. Andrian, "Penerapan Metode Waterfall Dalam Perancangan Sistem Informasi Pengawasan Proyek Berbasis Web," *J. Inform. dan Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 2, no. 1, pp. 85–93, 2021.
- [12] A. A. F. Amarta and I. G. Anugrah, "Implementasi Agile Scrum Dengan Menggunakan Trello Sebagai Manajemen Proyek Di PT Andromedia," *J. Nas. Komputasi dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 6, pp. 528–534, 2021.
- [13] H. Kurniawan, W. Apriliah, I. Kurniawan, and D. Firmansyah, "Penerapan Metode Waterfall Dalam Perancangan Sistem Informasi Penggajian Pada Smk Bina Karya Karawang," *J. Interkom J. Publ. Ilm. Bid. Teknol. Inf. Dan Komun.*, vol. 14, no. 4, pp. 159–169, 2020.
- [14] I. Udrea, V. I. Gheorghe, and A. M. Dogeanu, "Optimizing Greenhouse Design with Miniature Models

- and IoT (Internet of Things) Technology—A Real-Time Monitoring Approach,” *Sensors*, vol. 24, no. 7, p. 2261, 2024.
- [15] K. A. P. Singh, P. K. Goutam, S. Xaxa, S. K. Pandey, N. Panotra, and G. M. Rajesh, “The Role of Greenhouse Technology in Streamlining Crop Production,” *J. Exp. Agric. Int.*, vol. 46, no. 6, pp. 776–798, 2024.
- [16] D. Y. Setyawan, W. Warsito, R. Marjunus, and S. Sumaryo, “Automasi dan Internet of Things (IoT) pada Pertanian Cerdas: review artikel pada Jurnal Terakreditasi Kemenristek,” *Pros. Semnastek*, 2024.
- [17] M. F. Zulkarnaen, A. N. Hanafi, and M. T. A. Zaen, “Rekayasa SmartHome System Berbasis Internet of Things,” *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 552–562, 2024.
- [18] D. S. E. Estu, M. Yantidewi, M. B. Adikuasa, B. M. Rusdi, and M. Khoiro, “Alat Monitoring Ketinggian Air Laut Berbasis IOT dengan Nodemcu ESP32 DAN HC-SR04,” *J. Kolaboratif Sains*, vol. 6, no. 7, pp. 586–597, 2023.