

IMPLEMENTASI SMART IRRIGATION SYSTEM BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK MONITORING KELEMBABAN TANAH DAN EFISIENSI PENGGUNAAN AIR

Putu Aditya Pratama^{1*}, Gede Rai Utama¹, Made Santo Gitakarma², Rofi'ud Darojatin Nisaa³

¹Teknologi Informasi, Fakultas Pertanian dan Teknik, Universitas Panji Sakti Singaraja

²Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Ganesha

³Bimbingan Konseling, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Panji Sakti

Email: aditya@unipas.ac.id, rai.sutama@unipas.ac.id, santo@undiksha.ac.id, nisaa@unipas.ac.id

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 18 April 2026, diterima untuk diterbitkan: 30 April 2026)

Abstrak

Ketersediaan air merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi produktivitas pertanian. Metode penyiraman konvensional yang masih banyak digunakan sering kali menyebabkan penggunaan air yang tidak efisien karena tidak mempertimbangkan kondisi aktual kelembaban tanah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan Smart Irrigation System berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan monitoring kelembaban tanah dan pengendalian penyiraman tanaman secara otomatis untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air. Sistem dikembangkan menggunakan sensor kelembaban tanah sebagai perangkat akuisisi data, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, modul relay sebagai aktuator, pompa air sebagai sistem penyiraman, serta platform cloud IoT untuk monitoring secara real-time. Metode penelitian meliputi identifikasi kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi, pengujian, serta evaluasi dan analisis data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan kelembaban tanah dan mengaktifkan pompa air secara otomatis ketika nilai kelembaban berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Selain itu, data hasil pengukuran dapat ditampilkan secara real-time melalui dashboard monitoring berbasis cloud. Berdasarkan hasil evaluasi, sistem mampu mengurangi penggunaan air hingga 40% dibandingkan metode penyiraman konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT pada sistem irigasi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mendukung implementasi konsep smart agriculture yang berkelanjutan.

Kata kunci: *Internet of Things (IoT), irigasi pintar, kelembaban tanah, efisiensi air, sistem otomatis*

IMPLEMENTATION OF AN INTERNET OF THINGS (IOT)-BASED SMART IRRIGATION SYSTEM FOR SOIL MOISTURE MONITORING AND WATER USE EFFICIENCY

Abstract

Water availability is one of the key factors affecting agricultural productivity. Conventional irrigation methods commonly used in agricultural activities often lead to inefficient water consumption because they do not consider the actual soil moisture conditions. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based Smart Irrigation System capable of monitoring soil moisture and automatically controlling irrigation processes to improve water-use efficiency. The system was developed using a soil moisture sensor for data acquisition, an ESP32 microcontroller as the main controller, a relay module as the actuator, a water pump for irrigation, and a cloud-based IoT platform for real-time monitoring. The research method consisted of system requirement identification, system design, implementation, testing, and data evaluation and analysis. The results showed that the system successfully detected changes in soil moisture and automatically activated the water pump when the soil moisture level dropped below the predefined threshold value. Furthermore, sensor data could be monitored in real time through a cloud-based dashboard. The evaluation results indicated that the proposed system reduced water consumption by up to 40% compared to conventional irrigation methods. These findings demonstrate that IoT technology can significantly improve water-use efficiency and support the implementation of sustainable smart agriculture practices.

Keywords: *Internet of Things (IoT), smart irrigation, soil moisture, water efficiency, automation system*

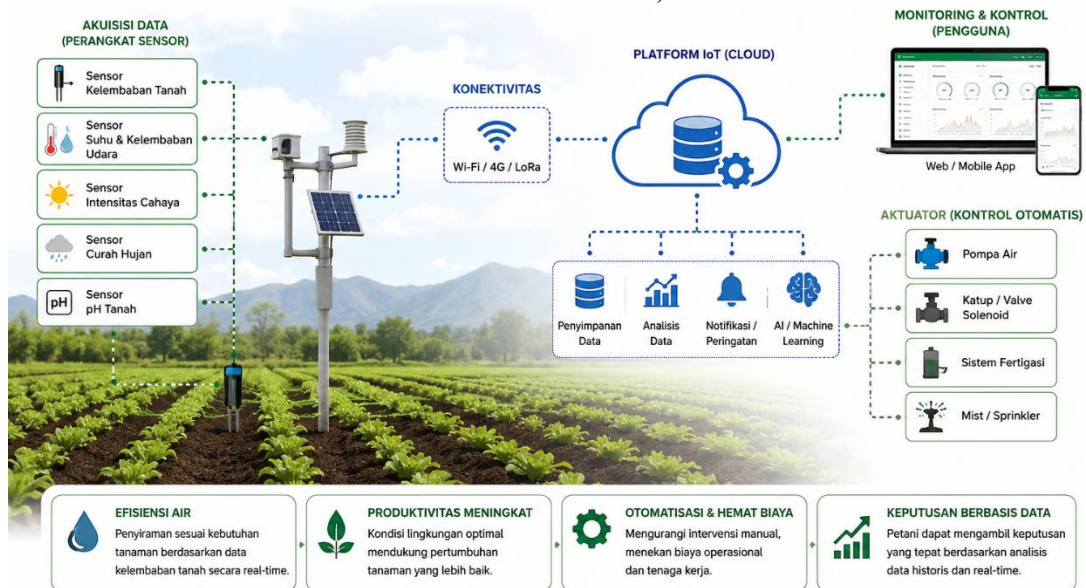
1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya vital yang berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan sektor pertanian. Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) melaporkan bahwa sektor pertanian mengonsumsi lebih dari 70% total penggunaan air tawar global, sehingga efisiensi penggunaan air menjadi salah satu isu utama dalam pembangunan pertanian berkelanjutan. Peningkatan jumlah penduduk dunia, perubahan iklim, serta meningkatnya kebutuhan air pada sektor domestik dan industri menyebabkan tekanan yang semakin besar terhadap ketersediaan sumber daya air (SIDIK et al., 2025).

Di Indonesia, permasalahan penggunaan air dalam sektor pertanian masih menjadi tantangan yang signifikan. Sebagian besar sistem irigasi yang digunakan masih mengandalkan metode konvensional yang dilakukan secara manual atau

berdasarkan jadwal tetap tanpa mempertimbangkan kondisi aktual tanah maupun kebutuhan tanaman. Praktik tersebut sering menyebabkan pemberian air yang berlebihan (*over-irrigation*) maupun kekurangan air (*under-irrigation*), yang berdampak pada penurunan efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman (REGINALD, 2024).

Perkembangan teknologi digital mendorong lahirnya konsep pertanian cerdas (*smart agriculture*) yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi sumber daya, serta keberlanjutan sistem pertanian. Salah satu teknologi yang banyak diterapkan dalam *smart agriculture* adalah Internet of Things (IoT), seperti terlihat pada Gambar 1. Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik untuk saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu melakukan pertukaran data secara otomatis dan real-time (GUNASEKARAN et al., 2025).



Gambar 1. Konsep Smart Agriculture Berbasis IoT

Penerapan IoT dalam sistem irigasi memungkinkan proses penyiraman dilakukan secara otomatis berdasarkan kondisi aktual lingkungan. Sensor kelembaban tanah digunakan untuk mengukur kadar air pada media tanam, kemudian data tersebut diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan kebutuhan penyiraman tanaman. Dengan pendekatan ini, air hanya diberikan ketika tanaman benar-benar membutuhkannya sehingga mampu mengurangi pemborosan air (AISYAH et al., 2024).

Sistem irigasi pintar berbasis IoT juga memberikan kemampuan monitoring secara real-time melalui platform cloud. Pengguna dapat memantau kondisi kelembaban tanah, status pompa, serta histori penyiraman melalui perangkat komputer maupun smartphone. Kemampuan ini memungkinkan

pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam pengelolaan tanaman (ELLA et al., 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas penggunaan IoT dalam sistem irigasi pintar. AISYAH et al. (2024) mengembangkan sistem irigasi berbasis sensor kelembaban tanah yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air secara signifikan. REGINALD (2024) melaporkan bahwa penggunaan sistem monitoring kelembaban tanah berbasis IoT dapat meningkatkan kualitas pertumbuhan tanaman hortikultura. Sementara itu, GUNASEKARAN et al. (2025) mengembangkan sistem irigasi berbasis ESP32 yang memungkinkan monitoring dan kontrol jarak jauh secara real-time.

Selain memanfaatkan sensor kelembaban tanah, beberapa penelitian terbaru juga mengintegrasikan

prediksi cuaca ke dalam sistem irigasi. VELMURUGAN et al. (2020) mengombinasikan data kelembaban tanah dengan prakiraan cuaca untuk mengoptimalkan jadwal penyiraman. Penelitian lain yang dilakukan oleh BHOSALE et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi data cuaca mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan sistem penyiraman konvensional.

Lebih lanjut, SIDIK et al. (2025) melalui kajian literatur sistematis menyimpulkan bahwa penggunaan sensor kelembaban tanah yang dipadukan dengan sumber energi terbarukan dan teknologi IoT memiliki potensi besar dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek monitoring atau pengendalian otomatis sederhana dan belum mengevaluasi secara mendalam tingkat efisiensi penggunaan air yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat kebutuhan untuk mengembangkan sistem irigasi pintar yang mampu mengintegrasikan monitoring real-time, kontrol otomatis berdasarkan kelembaban tanah, serta analisis efisiensi penggunaan air dalam satu platform yang terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan Smart Irrigation System berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan monitoring kondisi kelembaban tanah secara real-time dan mengendalikan proses penyiraman tanaman secara otomatis.

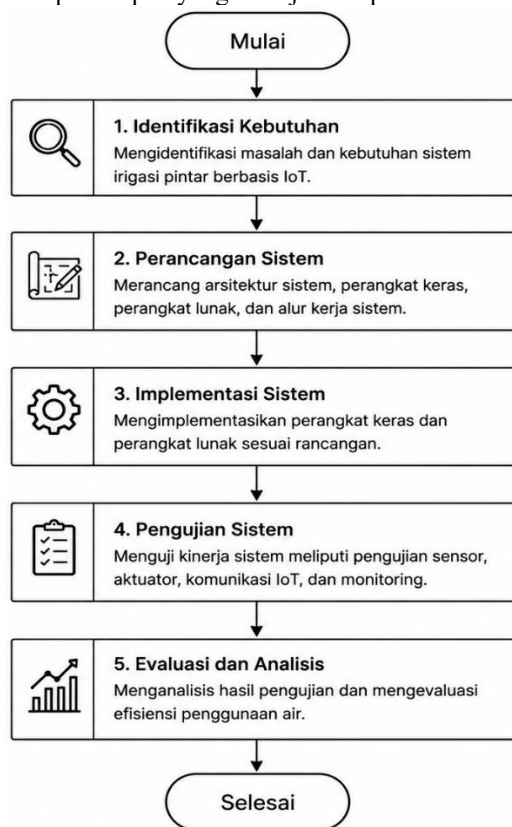
Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu, sebagian besar sistem irigasi pintar berfokus pada monitoring kondisi lingkungan dan otomatisasi penyiraman. Namun, masih terdapat keterbatasan dalam evaluasi efisiensi penggunaan air pada implementasi sistem yang sederhana dan berbiaya rendah. Oleh karena itu, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan Smart Irrigation System berbasis ESP32 yang mengintegrasikan monitoring real-time dan evaluasi efisiensi penggunaan air pada lingkungan pertanian skala kecil. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan sensor kelembaban tanah, mikrokontroler ESP32, modul relay, pompa air, serta platform cloud untuk monitoring dan pengendalian jarak jauh. Diharapkan sistem ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi pemborosan sumber daya, serta mendukung smart agriculture yang berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (engineering research) dengan pendekatan eksperimental yang bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi kinerja Smart Irrigation System berbasis Internet of Things (IoT). Sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor kelembaban tanah, mikrokontroler ESP32, modul relay, pompa air, serta platform cloud untuk monitoring dan pengendalian jarak jauh (GUNASEKARAN et al., 2025).

2.1 Tahapan Penelitian

Metode penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan penelitian

1. **Identifikasi Kebutuhan Sistem.** Tahap identifikasi kebutuhan dilakukan untuk menentukan spesifikasi sistem yang akan dikembangkan. Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software), serta identifikasi parameter lingkungan yang akan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses penyiraman tanaman. Parameter utama yang digunakan adalah kelembaban tanah karena memiliki pengaruh langsung terhadap kebutuhan air tanaman (REGINALD, 2024). Selain itu, dilakukan studi literatur terhadap berbagai penelitian terkait sistem irigasi pintar berbasis IoT guna menentukan konfigurasi sistem yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Hasil identifikasi kebutuhan digunakan sebagai dasar dalam perancangan perangkat keras, perangkat lunak, dan arsitektur komunikasi data sistem.
2. **Perancangan Sistem.** Tahap perancangan sistem dilakukan untuk menghasilkan desain Smart Irrigation System yang mampu bekerja secara otomatis dan terhubung dengan platform IoT. Perancangan sistem mencakup tiga aspek utama yaitu perangkat

keras, perangkat lunak, dan arsitektur komunikasi data.

- a. **Perancangan perangkat keras.** Perancangan ini meliputi pemilihan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengolah data, sensor kelembaban tanah (soil moisture sensor) sebagai perangkat input, relay sebagai saklar elektronik, pompa air sebagai aktuator penyiraman, serta catu daya sebagai sumber energi sistem (ELLA et al., 2024).
 - b. **Perancangan perangkat lunak.** Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan mengembangkan program yang berfungsi untuk membaca data sensor, mengolah data kelembaban tanah, mengendalikan pompa air secara otomatis, serta mengirimkan data hasil pengukuran ke platform IoT berbasis cloud untuk monitoring real-time.
 - c. **Perancangan arsitektur IoT.** Selain itu dilakukan perancangan arsitektur IoT yang mencakup mekanisme komunikasi data antara sensor, mikrokontroler, jaringan internet, dan server cloud. Arsitektur ini dirancang agar pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi sistem dari jarak jauh melalui perangkat komputer maupun smartphone.
3. **Implementasi Sistem.** Tahap implementasi merupakan realisasi dari hasil perancangan yang telah dibuat sebelumnya. Pada tahap ini dilakukan proses perakitan perangkat keras sesuai rancangan sistem, meliputi pemasangan sensor kelembaban tanah, mikrokontroler ESP32, relay, dan pompa air. Selanjutnya dilakukan pengembangan dan pengunggahan program ke dalam mikrokontroler. Sistem yang telah dirakit kemudian dihubungkan dengan platform IoT untuk memastikan proses pengiriman dan penerimaan data berjalan dengan baik.
4. **Pengujian Sistem.** Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dikembangkan. Pengujian meliputi beberapa aspek, yaitu:
- a. Uji fungsi sensor kelembaban tanah untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan kondisi media tanam.
 - b. Uji respon sistem terhadap perubahan kelembaban tanah untuk mengetahui kecepatan sistem dalam mengaktifkan dan menonaktifkan pompa air.
 - c. Uji konektivitas dan pengiriman data secara real-time untuk memastikan data hasil pengukuran dapat dikirimkan ke platform cloud tanpa gangguan yang signifikan.

- d. Uji kinerja sistem penyiraman otomatis untuk mengetahui keberhasilan sistem dalam melakukan penyiraman berdasarkan nilai ambang batas kelembaban tanah yang telah ditentukan (BHOSALE et al., 2024).

5. **Evaluasi dan Analisis Data.** Tahap terakhir adalah evaluasi dan analisis data hasil pengujian. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengetahui performa sistem yang dikembangkan. Analisis dilakukan dengan membandingkan penggunaan air pada sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan metode penyiraman konvensional. Parameter yang dievaluasi meliputi tingkat kelembaban tanah, volume penggunaan air, dan waktu respon sistem. Hasil analisis digunakan untuk menentukan tingkat efisiensi penggunaan air dan efektivitas sistem dalam mendukung penerapan konsep smart agriculture yang berkelanjutan (SIDIK et al., 2025).

2.2 Arsitektur Sistem

Smart Irrigation System yang dikembangkan pada penelitian ini dirancang menggunakan konsep Internet of Things (IoT) yang memungkinkan proses monitoring dan pengendalian penyiraman dilakukan secara otomatis dan real-time. Sistem terdiri atas empat komponen utama, yaitu sensor kelembaban tanah, mikrokontroler ESP32, platform cloud IoT, dan aktuator berupa pompa air.

Sensor kelembaban tanah berfungsi untuk mengukur kadar air pada media tanam secara kontinu. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses sesuai dengan algoritma yang telah ditentukan. Mikrokontroler kemudian membandingkan nilai kelembaban tanah dengan nilai ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan. Apabila nilai kelembaban berada di bawah ambang batas, maka sistem akan mengaktifkan pompa air melalui modul relay. Sebaliknya, apabila nilai kelembaban telah mencapai batas yang ditentukan, pompa air akan dimatikan secara otomatis (AISYAH et al., 2024).

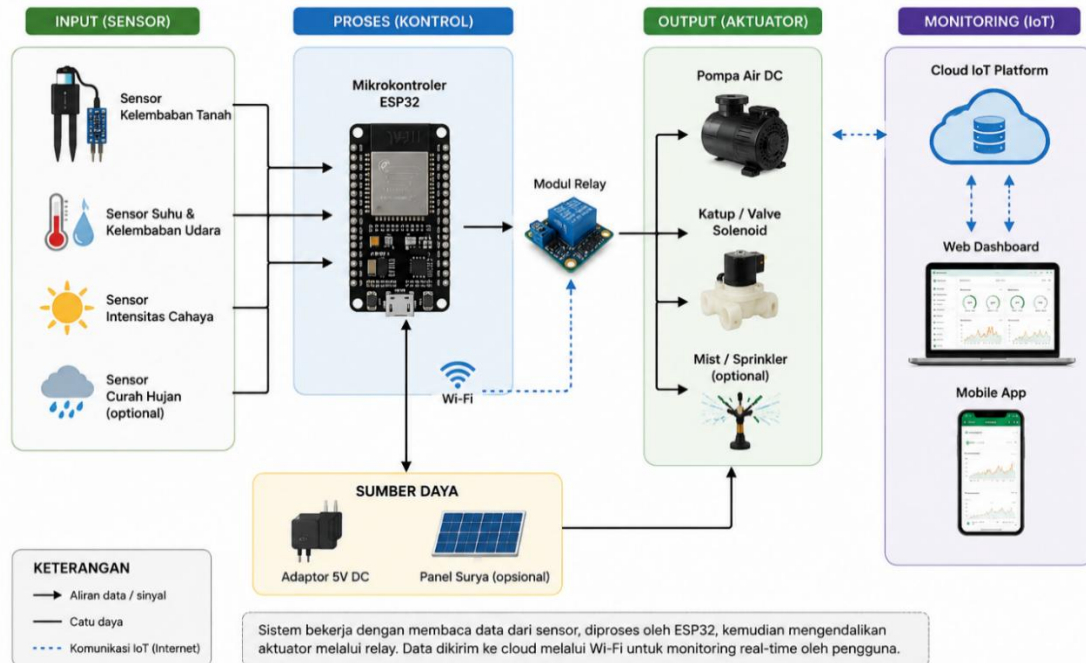
Selain melakukan pengendalian penyiraman, ESP32 juga mengirimkan data hasil pengukuran ke platform cloud melalui jaringan Wi-Fi. Data tersebut dapat diakses oleh pengguna melalui aplikasi berbasis web maupun perangkat mobile sehingga memungkinkan proses monitoring kondisi tanaman dilakukan dari jarak jauh (ELLA et al., 2024). Arsitektur sistem ini terlihat pada Gambar 3.

2.3 Diagram Alir Sistem

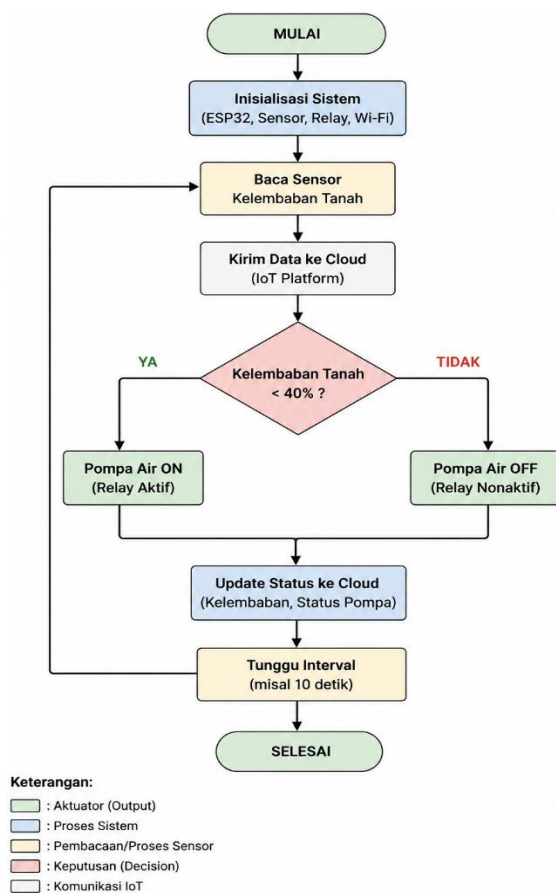
Diagram alir (flowchart) digunakan untuk menggambarkan mekanisme kerja Smart Irrigation System secara keseluruhan (Gambar 4). Sistem dimulai dengan proses pembacaan data kelembaban

tanah menggunakan sensor soil moisture. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi tanah. Apabila nilai kelembaban tanah lebih rendah dari nilai ambang batas yang telah ditentukan, sistem akan mengaktifkan pompa air sehingga proses penyiraman berlangsung secara

otomatis. Setelah penyiraman dilakukan, sensor kembali membaca kondisi tanah hingga kelembaban mencapai nilai yang diinginkan. Seluruh data hasil pengukuran dan status pompa dikirimkan ke platform IoT untuk keperluan monitoring real-time (GUNASEKARAN et al., 2025).



Gambar 3. Arsitektur Smart Irrigation System Berbasis IoT



Gambar 4. Flowchart Sistem Smart Irrigation

2.4 Persamaan Perhitungan Sistem

2.4.1 Perhitungan Persentase Kelembaban Tanah

Sensor kelembaban tanah menghasilkan data analog yang perlu dikonversi menjadi nilai persentase kelembaban agar lebih mudah dianalisis. Persentase kelembaban tanah dihitung menggunakan Persamaan (1) berikut.

$$SM = \frac{ADC_{max} - ADC_{read}}{ADC_{max} - ADC_{min}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

SM = Persentase kelembaban tanah (%)

ADC_{read} = Nilai pembacaan sensor

ADC_{max} = Nilai sensor pada kondisi tanah kering

ADC_{min} = Nilai sensor pada kondisi tanah basah

Persamaan tersebut digunakan untuk mengubah data analog menjadi informasi kelembaban tanah yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem penyiraman otomatis (REGINALD, 2024).

2.4.2 Perhitungan Efisiensi Penggunaan Air

Efisiensi penggunaan air dihitung dengan membandingkan jumlah air yang digunakan pada sistem penyiraman konvensional dengan sistem Smart Irrigation berbasis IoT. Perhitungan efisiensi dilakukan menggunakan Persamaan (2).

$$E = \frac{V_k - V_i}{V_k} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

E = Efisiensi penggunaan air (%)

V_k = Volume penggunaan air metode konvensional (liter)

V_i = Volume penggunaan air sistem IoT (liter)

Semakin besar nilai E menunjukkan semakin tinggi tingkat penghematan air yang diperoleh dari penerapan sistem irigasi pintar.

2.4.3 Perhitungan Akurasi Sensor

Untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor kelembaban tanah, dilakukan perbandingan antara hasil pembacaan sensor dengan alat ukur referensi. Akurasi sensor dihitung menggunakan Persamaan (3) berikut.

$$A = \left(1 - \frac{X_r - X_s}{X_r}\right) \times 100\% \quad (3)$$

Persamaan ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam merepresentasikan kondisi

kelembaban tanah yang sebenarnya (BHOSALE et al., 2024).

2.4.4 Perhitungan Persentase Keberhasilan Pengiriman Data

Keberhasilan komunikasi data antara ESP32 dan platform cloud dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$SR = \frac{D_t}{D_s} \times 100\% \quad (4)$$

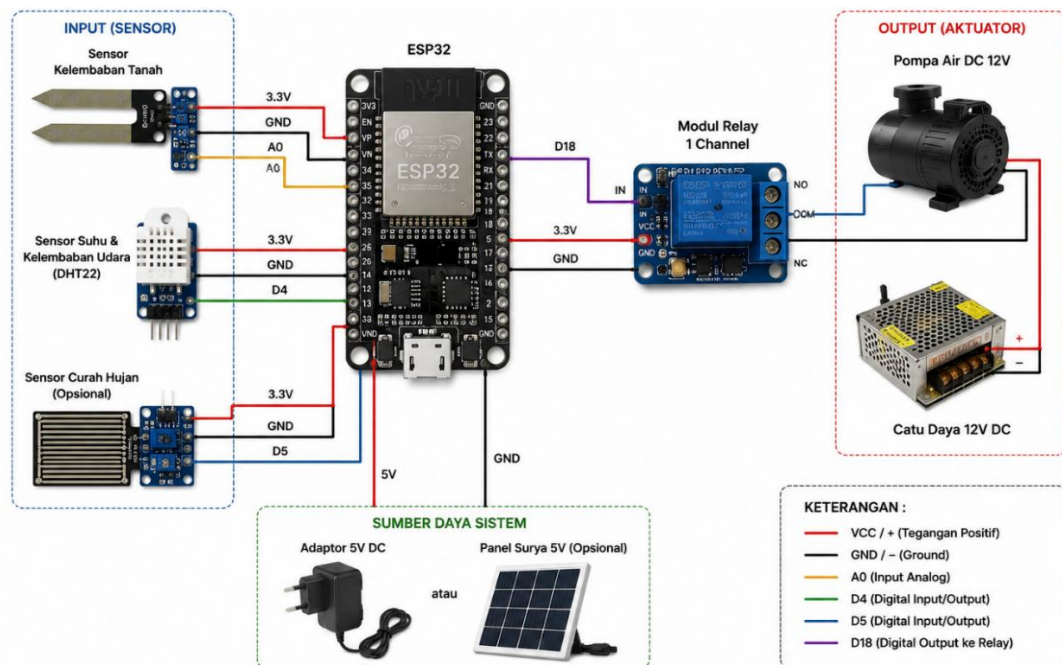
Keterangan:

SR = Success Rate (%)

D_t = Jumlah data yang berhasil diterima server

D_s = Jumlah data yang dikirimkan sistem

Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi stabilitas komunikasi data pada sistem IoT yang dikembangkan (SIDIK et al., 2025).



Gambar 5. Rangkaian Hardware Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Implementasi Sistem

Smart Irrigation System berbasis Internet of Things (IoT) berhasil diimplementasikan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Sistem terdiri atas sensor kelembaban tanah (soil moisture sensor), mikrokontroler ESP32, modul relay, pompa air DC, serta platform IoT berbasis cloud yang digunakan untuk monitoring kondisi sistem secara real-time. Rangkaian perangkat keras sistem terlihat pada Gambar 5 berikut.

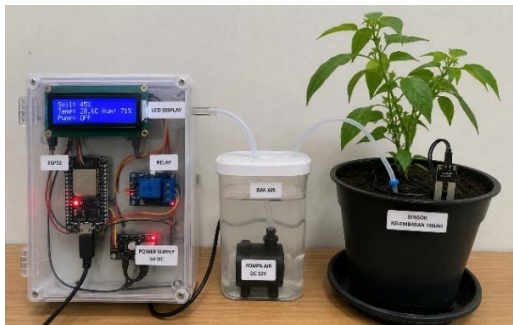
Sensor kelembaban tanah berfungsi untuk mendeteksi kadar air pada media tanam dan mengirimkan data hasil pengukuran ke mikrokontroler ESP32. Selanjutnya, ESP32 memproses data tersebut dan menentukan tindakan penyiraman berdasarkan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Data hasil pembacaan sensor juga

dikirimkan ke platform cloud sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanaman dari jarak jauh melalui perangkat komputer maupun smartphone (AISYAH et al., 2024).

Implementasi sistem menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi. Sensor mampu membaca kondisi kelembaban tanah secara kontinu, sedangkan modul relay dapat mengendalikan pompa air secara otomatis sesuai perintah yang diberikan oleh mikrokontroler.

3.2 Hasil Pengujian Sensor Kelembaban Tanah

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan kondisi kelembaban tanah. Pengukuran dilakukan pada tiga kondisi media tanam, yaitu tanah kering, tanah lembab, dan tanah basah.

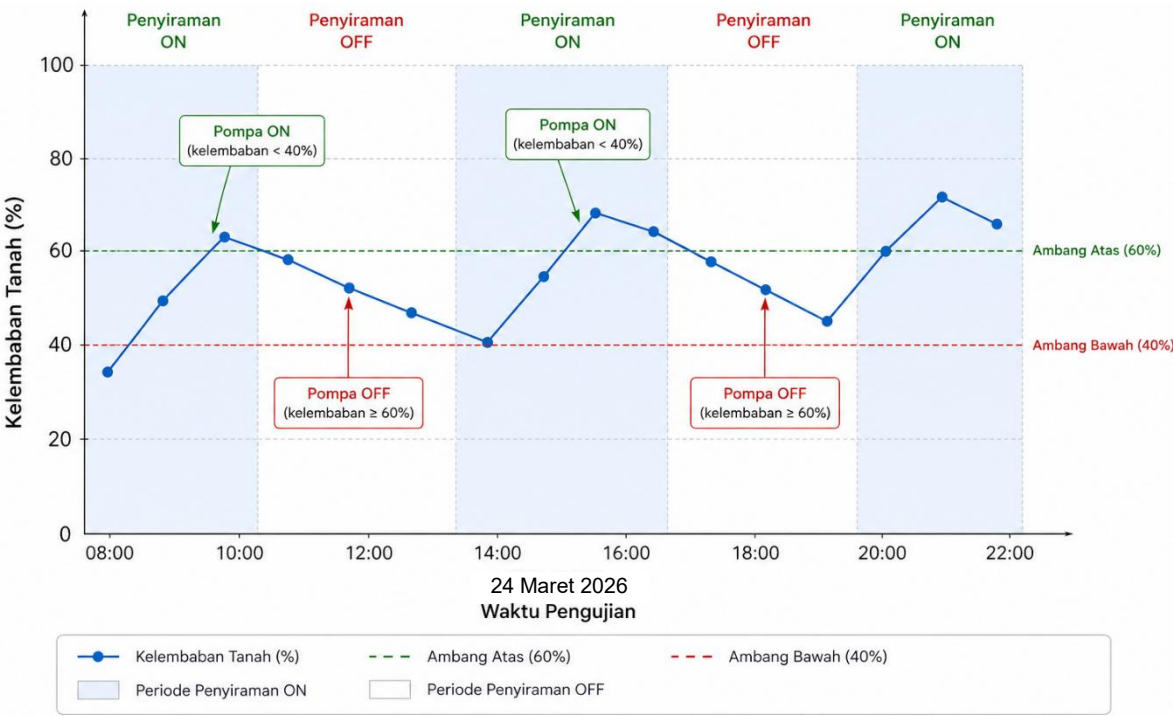


Gambar 6. Implementasi Prototype Smart Irrigation System

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Kelembaban Tanah

Kondisi Tanah	Nilai Kelembaban (%)	Kategori
Kering	25	Kering
Kering	28	Kering
Lembab	45	Lembab
Lembab	52	Lembab
Basah	68	Basah
Basah	74	Basah

Gambar 7 menunjukkan perubahan nilai kelembaban tanah selama periode pengujian sistem. Berdasarkan grafik, nilai kelembaban tanah mengalami fluktuasi sesuai dengan kondisi lingkungan dan proses penyiraman yang dilakukan oleh sistem. Ketika nilai kelembaban berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air sehingga kelembaban tanah kembali meningkat. Sebaliknya, ketika kelembaban tanah telah mencapai nilai yang diinginkan, pompa air akan dinonaktifkan untuk mencegah penggunaan air yang berlebihan. Pola tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kelembaban tanah pada rentang yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman serta mendukung penggunaan air yang lebih efisien.



Gambar 7. Grafik Kelembaban Tanah

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1 dan Gambar 8, sensor mampu membedakan kondisi tanah dengan cukup baik. Nilai kelembaban meningkat seiring bertambahnya kandungan air dalam media tanam. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan sebagai parameter utama dalam proses pengambilan keputusan penyiraman otomatis (REGINALD, 2024).

3.3 Hasil Pengujian Sistem Penyiraman Otomatis

Pengujian sistem dilakukan dengan menetapkan nilai ambang batas kelembaban tanah sebesar 40%. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pompa air apabila kelembaban tanah berada di bawah nilai ambang batas dan mematikan pompa ketika

kelembaban telah mencapai atau melebihi nilai tersebut, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis

Kelembaban (%)	Status Pompa
25	ON
30	ON
35	ON
40	OFF
45	OFF
50	OFF
60	OFF

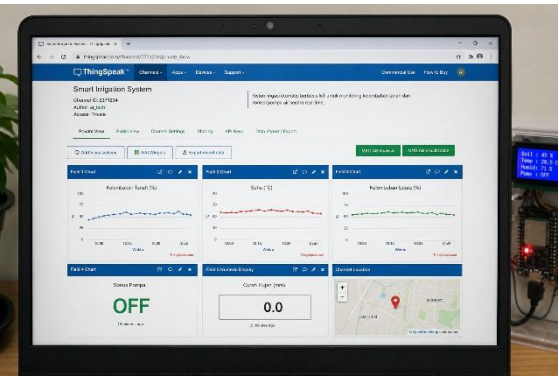
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan pompa air sesuai dengan logika yang telah dirancang. Selama pengujian tidak

ditemukan kesalahan dalam proses aktivasi maupun deaktivasi pompa.

Selain itu, waktu respon sistem berkisar antara 1–3 detik sejak perubahan kondisi tanah terdeteksi oleh sensor hingga pompa air diaktifkan atau dimatikan. Waktu respon tersebut masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi irigasi skala kecil hingga menengah (GUNASEKARAN et al., 2025).

3.4 Hasil Monitoring Real-Time

Pengujian monitoring dilakukan dengan menghubungkan sistem ke platform IoT berbasis cloud. Data kelembaban tanah dikirimkan secara periodik menggunakan jaringan Wi-Fi yang terhubung dengan internet.



Gambar 8. Dashboard Monitoring Smart Irrigation System

Gambar 8 menunjukkan tampilan dashboard monitoring yang digunakan untuk memantau kondisi Smart Irrigation System secara real-time melalui platform IoT berbasis cloud. Dashboard menampilkan berbagai parameter penting, seperti nilai kelembaban tanah, suhu lingkungan, kelembaban udara, status pompa air, serta histori data pengukuran dalam bentuk grafik. Data yang ditampilkan merupakan hasil pembacaan sensor yang dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 melalui jaringan internet ke server cloud. Melalui dashboard ini, pengguna dapat memantau kondisi tanaman dan sistem penyiraman dari jarak jauh menggunakan perangkat komputer maupun smartphone. Fitur monitoring real-time tersebut memberikan kemudahan dalam pengawasan sistem, meningkatkan efisiensi pengelolaan tanaman, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam proses penyiraman.

Kemampuan monitoring jarak jauh ini menjadi salah satu keunggulan utama sistem IoT dibandingkan metode penyiraman konvensional karena memungkinkan pengawasan kondisi tanaman dilakukan secara lebih efektif dan efisien (ELLA et al., 2024).

3.5 Analisis Efisiensi Penggunaan Air

Evaluasi efisiensi penggunaan air dilakukan dengan membandingkan volume penggunaan air

antara metode penyiraman konvensional dan Smart Irrigation System berbasis IoT selama periode pengujian. Hasil pengujian terlihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Penggunaan Air

Metode	Penggunaan Air (Liter/Hari)
Konvensional	10
Smart Irrigation IoT	6

Efisiensi penggunaan air dihitung menggunakan Persamaan (2):

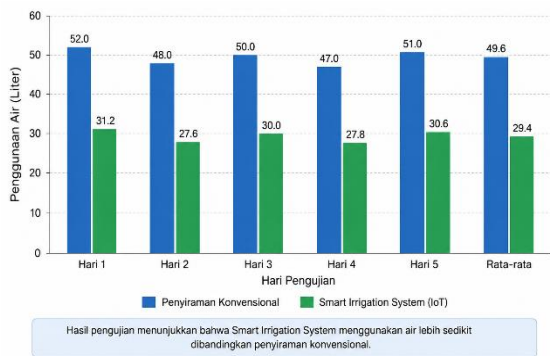
$$E = \frac{10 - 6}{10} \times 100\% = 40\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem mampu mengurangi penggunaan air sebesar 40% dibandingkan metode penyiraman konvensional. Penghematan ini terjadi karena penyiraman hanya dilakukan ketika tanah membutuhkan tambahan air sehingga mengurangi pemborosan akibat penyiraman berlebihan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian AISYAH et al. (2024) dan SIDIK et al. (2025) yang menunjukkan bahwa penerapan Smart Irrigation berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air secara signifikan.

3.6 Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa Smart Irrigation System berbasis IoT mampu menjalankan fungsi monitoring dan penyiraman otomatis dengan baik. Integrasi sensor kelembaban tanah, mikrokontroler ESP32, dan platform cloud memungkinkan proses pengambilan keputusan dilakukan secara otomatis berdasarkan kondisi aktual media tanam.



Gambar 9. Perbandingan Penggunaan Air

Gambar 9 memperlihatkan perbandingan penggunaan air antara metode penyiraman konvensional dan Smart Irrigation System berbasis IoT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode konvensional menggunakan air dalam jumlah yang lebih besar karena penyiraman dilakukan secara periodik tanpa mempertimbangkan kondisi aktual tanah. Sebaliknya, sistem yang dikembangkan hanya melakukan penyiraman ketika kelembaban tanah

berada di bawah nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Dengan pendekatan tersebut, jumlah air yang digunakan menjadi lebih terkontrol sehingga mampu mengurangi pemborosan air. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT pada sistem irigasi memberikan dampak positif terhadap efisiensi penggunaan sumber daya air.

Keunggulan utama sistem yang dikembangkan terletak pada kemampuannya dalam melakukan penyiraman berbasis kebutuhan tanaman (need-based irrigation), sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Selain itu, fitur monitoring real-time memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengawasi kondisi tanaman dari lokasi yang berbeda.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Sistem belum mengintegrasikan sensor lingkungan lain seperti suhu

udara, kelembaban udara, maupun prediksi cuaca yang berpotensi meningkatkan akurasi keputusan penyiraman. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan sensor lingkungan tambahan dan algoritma kecerdasan buatan untuk meningkatkan performa sistem secara keseluruhan.

3.7 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Untuk mengetahui posisi penelitian yang dilakukan, hasil pengembangan Smart Irrigation System berbasis IoT dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu yang memiliki karakteristik serupa. Perbandingan dilakukan berdasarkan teknologi yang digunakan, parameter monitoring, kemampuan kontrol otomatis, dan efisiensi penggunaan air.

Tabel 4. Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Teknologi Utama	Parameter Monitoring	Kontrol Otomatis	Efisiensi Air
1	AISYAH et al. (2024)	ESP32, Soil Moisture, Blynk	Kelembaban tanah, suhu	Ya	±40%
2	ARDIANTO et al. (2025)	ESP32, Soil Moisture, DHT22	Kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara	Ya	Tidak dilaporkan
3	ROHMAN et al. (2025)	ESP32, Soil	Kelembaban tanah,	Ya	30–40%

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat bahwa penelitian yang dilakukan memiliki kesamaan dengan berbagai penelitian sebelumnya dalam penggunaan mikrokontroler ESP32 dan sensor kelembaban tanah sebagai parameter utama pengendalian penyiraman. Namun demikian, penelitian ini menitikberatkan pada implementasi sistem yang sederhana, biaya implementasi yang relatif rendah, serta kemudahan penerapan pada skala pertanian kecil dan hortikultura.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mencapai efisiensi penggunaan air sebesar 40%. Nilai tersebut sejalan dengan penelitian AISYAH et al. (2024) yang melaporkan pengurangan konsumsi air sekitar 40% dibandingkan metode penyiraman konvensional. Selain itu, penelitian ROHMAN et al. (2025) juga menunjukkan penghematan air pada kisaran 30–40% melalui penerapan sistem irigasi berbasis IoT dengan konfigurasi multi-sensor. Dengan demikian, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan sensor kelembaban tanah sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman mampu memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi penggunaan air.

Salah satu keunggulan sistem yang dikembangkan adalah kemampuannya dalam melakukan monitoring secara real-time melalui platform cloud sehingga pengguna dapat memantau

		Moisture, DHT22, Rain Sensor	suhu, curah hujan		
4	DARMAWAN et al. (2026)	ESP32, Soil Moisture, DS18B20	Kelembaban tanah, suhu tanah	Ya	Meningkatkan efisiensi irigasi
5	Penelitian ini	ESP32, Soil Moisture, Cloud IoT	Kelembaban tanah	Ya	40%

kondisi tanaman dari lokasi yang berbeda. Fitur ini mendukung penerapan konsep smart agriculture yang mengintegrasikan teknologi sensor, komunikasi data, dan otomatisasi dalam pengelolaan pertanian modern.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan satu parameter utama yaitu kelembaban tanah. Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa integrasi data cuaca, suhu lingkungan, kelembaban udara, dan kecerdasan buatan dapat meningkatkan akurasi keputusan penyiraman dan efisiensi penggunaan air yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada penerapan sistem multi-sensor dan algoritma prediktif berbasis machine learning untuk mendukung sistem irigasi presisi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan Smart Irrigation System berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan monitoring kelembaban tanah dan pengendalian penyiraman tanaman secara otomatis. Sistem dikembangkan dengan memanfaatkan sensor kelembaban tanah sebagai perangkat akuisisi data, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, modul relay sebagai penghubung aktuator, serta pompa air sebagai perangkat penyiraman. Seluruh

komponen berhasil diintegrasikan dengan platform cloud IoT sehingga memungkinkan proses monitoring dilakukan secara real-time melalui perangkat komputer maupun smartphone.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor kelembaban tanah mampu mendeteksi perubahan kondisi media tanam dengan baik dan dapat digunakan sebagai parameter utama dalam pengambilan keputusan penyiraman. Sistem mampu mengaktifkan pompa air secara otomatis ketika kelembaban tanah berada di bawah nilai ambang batas yang telah ditentukan dan menghentikan penyiraman ketika kondisi tanah telah mencapai tingkat kelembaban yang diinginkan. Selain itu, proses pengiriman data ke platform cloud dapat berlangsung secara stabil sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh.

Berdasarkan hasil evaluasi penggunaan air, sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 40% dibandingkan metode penyiraman konvensional. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT pada sistem irigasi dapat menjadi solusi yang efektif dalam mendukung pengelolaan sumber daya air yang lebih efisien serta mendukung implementasi konsep smart agriculture yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi sensor kelembaban tanah, mikrokontroler ESP32, dan teknologi cloud computing mampu menghasilkan sistem irigasi pintar yang mudah diterapkan, relatif ekonomis, dan memiliki potensi untuk dikembangkan pada skala pertanian yang lebih luas.

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan beberapa sensor lingkungan lainnya seperti sensor suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, dan sensor curah hujan sehingga keputusan penyiraman tidak hanya bergantung pada kondisi kelembaban tanah. Integrasi beberapa parameter lingkungan diharapkan dapat meningkatkan akurasi sistem dalam menentukan kebutuhan air tanaman.

Selain itu, pengembangan algoritma berbasis kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) dan machine learning dapat diterapkan untuk memprediksi kebutuhan air tanaman berdasarkan pola cuaca, kondisi lingkungan, dan karakteristik pertumbuhan tanaman. Pendekatan ini berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air secara lebih optimal dibandingkan metode berbasis ambang batas (threshold).

Pengembangan berikutnya juga dapat diarahkan pada implementasi sumber energi terbarukan seperti panel surya untuk mendukung operasional sistem pada area pertanian yang memiliki keterbatasan akses listrik. Dengan demikian, sistem irigasi pintar yang dikembangkan dapat menjadi solusi yang lebih mandiri, ramah lingkungan, dan berkelanjutan dalam mendukung transformasi digital sektor pertanian.

5. DAFTAR PUSTAKA

- AI SYAH, N., ULHAQ, E.D., DHARMAWAN, A. & PURBAKAWACA, R., 2024. Design of an IoT-Based Smart Irrigation System Using Soil Moisture Sensors for Water Efficiency. *Journal Online of Physics*, 11(1).
- ARDIANTO, A.F., RAHMASARI, E.S. & PRATAMA, A.P., 2024. Smart Irrigation System Berbasis IoT dengan Sensor Soil Moisture dan DHT22 Menggunakan Sumber Daya Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis*.
- BHOSALE, S.G., DONGARE, S.S., KABADI, S.S., KAPHALE, J.S. & KHATRI, A.A., 2024. IoT-Based Smart Drip Irrigation with Soil Moisture and Weather Prediction. *International Journal of Scientific and Engineering Research*.
- DARMAWAN, T.R., ACHMAD, J., SETIAWAN, W., WIDIANTI, A.K., MARSHANDA, N.I. & PANDUNATA, P., 2026. Designing an Internet of Things (IoT)-Based Smart Irrigation System for Kampunganyar Village, Banyuwangi. *Journal of Computer Science, Information Technology and Telecommunication Engineering*, 7(1), pp.1049-1058.
- ELLA, W.O.D.M., BIABDILLAH, F., WAJANSYAH, A. & MULIA, A., 2024. SMARTSOIL: Sistem Monitoring Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan ESP32 dan Sensor Soil Moisture. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 14(1).
- GUNASEKARAN, S., HARINI, A., MAITHILI, S., DINAHAR, S.N. & GOWTHAM, R., 2025. Smart Irrigation System Using IoT. *Journal of ISMAC*, 7(1), pp.94-107.
- HADI, A.N., ZHALILA, A.Z., SALSABILA, R. & LESTARI, K.I., 2024. IoT-Based Smart Irrigation Protocol for Water Efficiency and Soil Moisture Stabilization in Lowland Horticulture. *Science, Technology and Communication Journal*, 6(2).
- KUMAR, R., SHARMA, P. & SINGH, A., 2023. Smart Agriculture Monitoring System Using Internet of Things and Cloud Computing. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(3), pp.234-242.
- MAHMOOD, T., ALI, S. & KHAN, M.A., 2022. Intelligent Irrigation Management Using IoT and Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 22(15), pp.1-18.
- MISHRA, P., PANDA, S. & ROUT, P.K., 2022. IoT-Based Precision Agriculture for Sustainable Water Resource Management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(8), pp.1-15.

- OBAIDEEN, K., YOUSEF, B.A.A., ALMALLAHI, M.N., ALI, M.K.A., ABDELKAREEM, M.A. & OLABI, A.G., 2022. An Overview of Smart Irrigation Systems Using IoT. *Energy Nexus*, 7, p.100124.
- PATEL, H., SHAH, D. & DESAI, N., 2023. Cloud-Based Monitoring Framework for Smart Irrigation Applications. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 15(4), pp.55-67.
- RAHMAN, M.M., ISLAM, M.S. & HOSSAIN, M.A., 2023. Development of Smart Irrigation Controller Using ESP32 and Soil Moisture Sensor. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 10(2), pp.1-11.
- REGINALD, P.J., 2024. Smart Irrigation and Soil Moisture Monitoring Using IoT for Enhanced Growth of Horticultural Crops. *National Journal of Plant Sciences and Smart Horticulture*.
- ROHMAN, F.N., 2025. Sistem Smart Irrigation Berbasis IoT dengan Monitoring Kelembaban Tanah, Suhu Udara, dan Curah Hujan. *Jurnal Riset Manajemen Informatika dan Edukasi*, 2(11).
- ROY, U.B.P., 2024. A Smart Irrigation System Using the IoT and Machine Learning Framework. *Journal of Smart Internet of Things*, 2024(2), pp.13-25.
- SIDIK, A.R., TAWAKAL, A., SUMIRAT, G.S. & NARPUTRO, P., 2025. Smart Irrigation Based on Soil Moisture Sensors with Photovoltaic Energy for Efficient Agricultural Water Management: A Systematic Literature Review. *Engineering Proceedings*, 107(1).
- SINGH, D., KUMAR, V. & YADAV, P., 2022. Water Conservation Through IoT-Based Automated Irrigation System. *Journal of Water Resource Management*, 36(9), pp.3145-3158.
- VELMURUGAN, S., BALAJI, V., BHARATHI, T.M. & SARAVANAN, K., 2020. An IoT Based Smart Irrigation System Using Soil Moisture and Weather Prediction. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 8(7), pp.552-556.
- YADAV, R., VERMA, S. & GUPTA, N., 2023. Smart Farming Using IoT: Recent Trends and Future Perspectives. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(7), pp.8651-8664.
- ZHANG, H., LI, J. & WANG, Y., 2022. Internet of Things-Based Precision Irrigation System for Sustainable Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, p.107021.