

RANCANG BANGUN SISTEM PENYIRAM TANAMAN OTOMATIS BERBASIS IOT DENGAN SENSOR KELEMBAPAN TANAH

Muhamad Andri¹, Siti Muryanah², Vina Septiana Windyasari³

¹Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Islam Syekh-Yusuf
muhamadandri7823@gmail.com, Siti.muryanah@unis.ac.id, vswindyasari@unis.ac.id
Jl. Maulana Yusuf No.10, RT.001/RW.003, Babakan, Kec. Tangerang,
Kota Tangerang, Banten 15118

Keywords:

automatic watering system, ESP32, soil moisture sensor, Aglonema, WhatsApp.

Abstract

A smart irrigation system has been developed for Aglaonema ornamental plants, using an ESP32 as its main controller. This system addresses the issue of inconsistent watering by utilizing a soil moisture sensor to automatically trigger a water pump when the growing medium's moisture falls below a predetermined level. In addition to its automatic mode, manual control is available through a keypad and an LCD screen. Its key features include a remote monitoring capability that sends notifications to WhatsApp via the SenderBot API, and the use of the Preferences library to permanently store all settings. This project yields a reliable automation solution, ensuring that Aglaonema plants consistently maintain ideal moisture levels at all times.

Kata Kunci:

penyiraman otomatis, ESP32, sensor kelembapan tanah, Aglonema, WhatsApp.

Abstrak

Sebuah sistem irigasi cerdas telah dikembangkan untuk tanaman hias Aglaonema dengan ESP32 sebagai pengendali utamanya. Sistem ini menjawab masalah inkonsistensi penyiraman dengan menggunakan sensor kelembapan tanah untuk memicu pompa air secara otomatis saat media tanam mengering di bawah level yang ditentukan. Di samping mode otomatis, tersedia kontrol manual melalui keypad dan layar LCD. Keunggulan utamanya adalah fitur pemantauan jarak jauh yang mengirimkan notifikasi ke WhatsApp via API SenderBot, serta penggunaan *library Preferences* untuk menyimpan semua pengaturan secara permanen. Proyek ini menghasilkan solusi otomatisasi yang andal untuk memastikan tanaman Aglaonema mendapatkan kelembapan yang ideal setiap saat.

Pendahuluan

Popularitas Aglonema sebagai tanaman hias telah meningkat pesat, didorong oleh nilai estetika, fungsi ekologis, dan potensi ekonominya yang menjanjikan. Fenomena ini memicu dukungan pemerintah untuk mendorong budidaya di berbagai skala, mulai dari rumah tangga hingga mikro-wirausaha [1]. Meskipun demikian, terdapat kesenjangan antara permintaan pasar yang tinggi dengan kapabilitas produksi saat ini. Permasalahan fundamental teridentifikasi pada praktik budidaya yang belum efisien, terutama dalam pengelolaan faktor teknis krusial seperti kelembapan media tanam [2]. Kegagalan menjaga kelembapan tanah pada rentang optimal 55–65% merupakan faktor utama yang menyebabkan penurunan produktivitas tanaman. Di sisi lain, era digital telah membuka paradigma baru dalam agrikultur presisi melalui integrasi *Internet of Things (IoT)*. Berbagai studi telah berhasil menerapkan sistem *IoT* untuk otomatisasi irigasi dan telemonitoring kondisi lingkungan tanam, yang terbukti mampu meningkatkan efisiensi air lebih dari dua kali lipat dibandingkan metode manual [3]. Berdasarkan justifikasi tersebut, penelitian ini mengajukan pengembangan prototipe sistem irigasi otomatis untuk tanaman Aglonema. Sistem ini

dirancang menggunakan *mikrokontroler ESP32* sebagai unit pemrosesan utama, dengan *Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2* sebagai input data kelembapan, serta *Real Time Clock (RTC)* untuk fungsionalitas penjadwalan. Sistem aktuator terdiri dari pompa air dan *relay*, sementara interaksi pengguna difasilitasi oleh *LCD 16x2* dan *keypad 4x4*. Tujuan utama dari pengembangan perangkat ini adalah untuk mengatasi inkonsistensi penyiraman manual dengan menyediakan solusi otomatis yang presisi, terjadwal, dan adaptif terhadap kebutuhan spesifik tanaman *Aglonema*.

Landasan Teori

A. Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis IoT

Penyiraman merupakan aktivitas vital untuk menjaga kelembapan tanah demi mendukung pertumbuhan tanaman[4]. Otomatisasi, melalui penerapan teknologi, menggantikan intervensi manusia dalam suatu proses, sehingga sistem penyiraman otomatis dirancang untuk menjalankan tugas ini secara mandiri[5]. Latar belakang penelitian menunjukkan bahwa menjaga kelembapan tanah yang ideal, khususnya untuk tanaman *aglonema* antara 55% hingga 65%, adalah tantangan umum bagi para pembudidaya. Kesalahan dalam penyiraman dapat menurunkan hasil panen secara signifikan.

B. Integrasi

Internet of Things (IoT) membuka peluang untuk memantau dan mengatur kondisi lingkungan budidaya secara presisi. Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa sistem berbasis IoT, seperti yang menggunakan *NodeMCU ESP8266* atau *Wemos D1*, efektif dalam menjaga kelembapan tanah pada rentang ideal dan meningkatkan efisiensi penggunaan air.

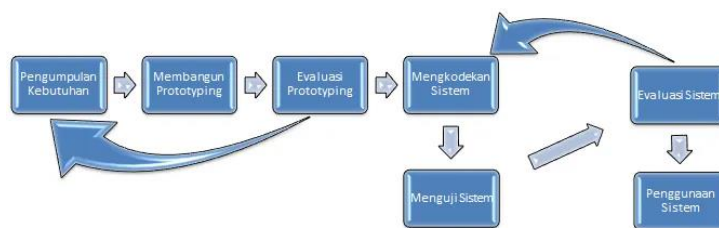
C. Komponen Utama Sistem

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen kunci yang bekerja secara terintegrasi:

1. *Mikrokontroler ESP32*: Sebagai unit pemrosesan utama (*otak*) sistem, *ESP32* adalah *System-on-Chip (SoC)* yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, dilengkapi dengan prosesor *dual-core*, *Wi-Fi*, dan *Bluetooth* terintegrasi. Keunggulannya meliputi konsumsi daya rendah dan dukungan berbagai antarmuka komunikasi (*SPI*, *I2C*, *UART*, dll.), menjadikannya ideal untuk aplikasi *IoT*[6].
2. *Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif (Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2)*: Perangkat ini mengukur kelembapan tanah berdasarkan prinsip kapasitansi, di mana perubahan kadar air akan mengubah nilai kapasitansi yang terdeteksi. Dibandingkan sensor resistif, sensor ini lebih tahan terhadap korosi dan memberikan akurasi yang lebih tinggi[7].
3. *Pompa Air*: Berfungsi sebagai aktuator yang memindahkan air ke media tanam. Pompa diaktifkan berdasarkan perintah dari mikrokontroler[8].
4. *Modul Relay*: Komponen ini bekerja sebagai saklar otomatis yang dikendalikan oleh sinyal berdaya rendah dari *ESP32* untuk mengontrol perangkat berdaya tinggi seperti pompa air[9].
5. *Interaksi Pengguna (LCD, Keypad, dan RTC)*:
 - *Layar LCD 16x2* digunakan untuk menampilkan informasi status sistem secara *real-time*, seperti nilai kelembapan dan waktu[10].
 - *Keypad* berfungsi sebagai antarmuka masukan bagi pengguna untuk mengatur parameter sistem secara manual[11].
 - *Real-Time Clock (RTC)* menyediakan informasi waktu yang akurat untuk fitur penjadwalan, bahkan saat daya utama terputus[12].
6. *Notifikasi WhatsApp*: Sistem ini memanfaatkan koneksi *WiFi* pada *ESP32* untuk mengirim notifikasi status penyiraman ke aplikasi *WhatsApp* pengguna melalui *API SeenderBot*. Fitur ini memungkinkan pemantauan jarak jauh yang efisien[13].

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pengembangan sistem prototipe. Metode ini memungkinkan pengembangan produk secara iteratif melalui evaluasi berkelanjutan dari pengguna untuk memastikan sistem yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan. Tahapan penelitian diuraikan sebagai berikut:



Gambar 1. 1 Tahapan penelitian

A. Pengumpulan Data dan Analisis Kebutuhan

Tahap awal berfokus pada pengumpulan data untuk memahami masalah dan kebutuhan sistem. Metode yang digunakan meliputi:

1. Studi Literatur: Menganalisis jurnal ilmiah, buku, dan laporan penelitian terkait teknologi penyiraman otomatis, sensor kelembapan, dan penerapan *IoT* pada tanaman *Aglaonema*.
2. Observasi: Mengamati secara langsung proses penyiraman tanaman secara manual untuk mengidentifikasi inefisiensi dan tantangan yang ada.
3. Wawancara: Melakukan diskusi dengan pembudidaya tanaman hias untuk mendapatkan wawasan mendalam mengenai kendala yang dihadapi, seperti kesulitan menentukan takaran air, jadwal yang tidak konsisten, dan perawatan saat pemilik tidak di rumah.

B. Perancangan Sistem

Berdasarkan analisis kebutuhan, sistem dirancang dengan arsitektur yang berpusat pada mikrokontroler *ESP32*. Diagram blok sistem menunjukkan alur kerja di mana *ESP32* bertindak sebagai unit pemrosesan utama yang menerima input dari dua sumber:

1. Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif: Untuk mendeteksi kadar air media tanam secara *real-time*.
2. Keypad: Sebagai antarmuka bagi pengguna untuk melakukan pengaturan manual, seperti mengatur batas minimum kelembapan dan jadwal penyiraman.
3. Output dari sistem ini divisualisasikan pada:
 - layar LCD 16x2 dan dieksekusi oleh pompa air yang dikendalikan melalui modul relay.
 - Modul RTC (Real-Time Clock) diintegrasikan untuk menunjang fungsi penjadwalan yang akurat.

C. Pengembangan dan Implementasi Prototipe

Prototipe fisik sistem dibangun dengan merangkai komponen-komponen utama, yaitu *ESP32*, sensor kelembapan tanah, pompa air, modul relay 2 channel, layar LCD 16x2, modul RTC, dan keypad 4x4. Pengembangan perangkat lunak dilakukan menggunakan *Arduino IDE* untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler *ESP32*. Sistem dirancang untuk memiliki dua mode penyiraman:

1. mode otomatis berdasarkan sensor
2. mode terjadwal berdasarkan input waktu dari pengguna.

D. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik dan mudah digunakan, evaluasi dilakukan dengan dua metode pengujian:

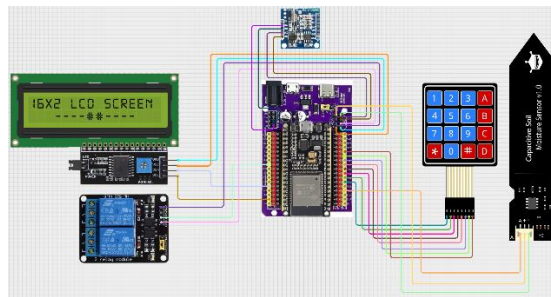
1. *Black Box Testing*: Pengujian ini dilakukan untuk memverifikasi fungsionalitas sistem dari perspektif pengguna tanpa melihat struktur kode program. Skenario pengujian mencakup semua fitur utama, seperti koneksi WiFi, pengaturan kelembapan dan jadwal melalui keypad, serta pengiriman notifikasi penyiraman ke WhatsApp.
2. *System Usability Scale (SUS)*: Metode ini digunakan untuk mengukur tingkat kemudahan penggunaan (*usability*) dan kepuasan pengguna. Kuesioner dengan 10 pernyataan (skala Likert 1-5) disebarikan kepada 20 responden. Skor akhir dihitung menggunakan rumus standar SUS untuk menghasilkan nilai antara 0-100, di mana skor di atas 68 diinterpretasikan sebagai "Baik".

Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil dari implementasi dan pengujian sistem penyiram tanaman otomatis, serta pembahasan yang menginterpretasikan temuan tersebut.

A. Implementasi dan Deskripsi Sistem

Sistem penyiram tanaman otomatis berhasil direalisasikan dalam bentuk prototipe yang fungsional. Sistem ini menjadikan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama yang mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan lunak. Arsitektur sistem secara keseluruhan, termasuk diagram pengkabelan antar komponen seperti ESP32, sensor kelembapan, modul relay, layar LCD, RTC, dan keypad, dirancang seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. 2 Rangkaian Keseluruhan Sistem

Fungsionalitas utama sistem ini adalah menyediakan dua mode penyiraman yang fleksibel:

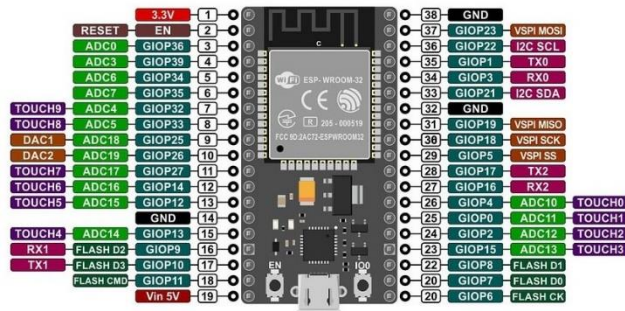
1. Mode Otomatis: Sistem secara *default* akan mengaktifkan pompa air ketika sensor kelembapan mendeteksi kadar air tanah turun di bawah ambang batas yang ditentukan (antara 35% hingga 40%).
2. Mode Terjadwal: Pengguna dapat mengatur jadwal penyiraman pada waktu spesifik melalui keypad, yang akan dieksekusi oleh sistem berdasarkan waktu dari modul RTC.

Selain itu, sistem dilengkapi fitur pemantauan jarak jauh melalui notifikasi yang dikirimkan ke WhatsApp pengguna setiap kali pompa aktif, memanfaatkan API SeenderBot yang terhubung melalui koneksi WiFi.

B. Pengujian Fungsional Sistem

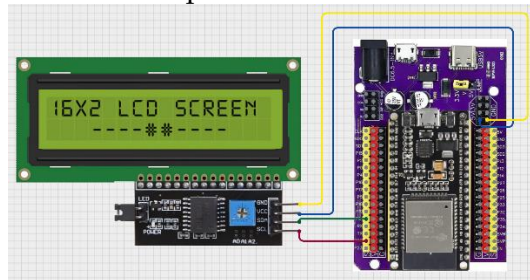
Sebelum pengujian sistem secara keseluruhan, setiap komponen utama diuji secara individual untuk memastikan semuanya berfungsi dengan baik. Pengujian fungsional pada ESP32, layar LCD 16x2 I2C, modul relay, sensor kelembapan tanah, modul RTC, dan keypad menunjukkan bahwa semua komponen dapat beroperasi sesuai spesifikasi dan siap diintegrasikan.

1. ESP32: Pengujian dasar dengan menghubungkan modul ke komputer dan mengunggah program sederhana melalui Arduino IDE berhasil dilakukan. Modul dapat terdeteksi dan mampu menjalankan instruksi dasar, seperti mengendalikan LED internal, yang memvalidasinya sebagai unit pemrosesan utama.



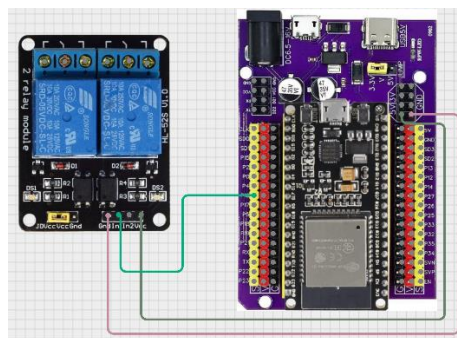
Gambar 1. 3 Pengujian ESP32

2. LCD 16x2 I2C: Modul terbukti mampu menerima dan menampilkan teks uji dengan baik melalui komunikasi I2C saat dihubungkan ke ESP32. Hal ini mengonfirmasi kesiapannya sebagai antarmuka output visual sistem.



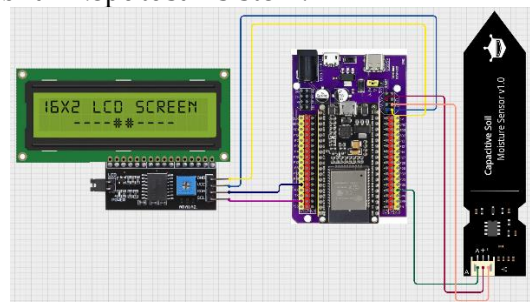
Gambar 1. 4 Pengujian LCD 16x2 I2C

3. Modul Relay 2 Channel: Pengujian menunjukkan bahwa modul relay merespons sinyal digital HIGH dan LOW dari ESP32 secara akurat dan responsif. Ini memastikan kemampuannya untuk berfungsi sebagai saklar otomatis yang andal untuk mengontrol pompa air.



Gambar 1. 5 Pengujian Relay

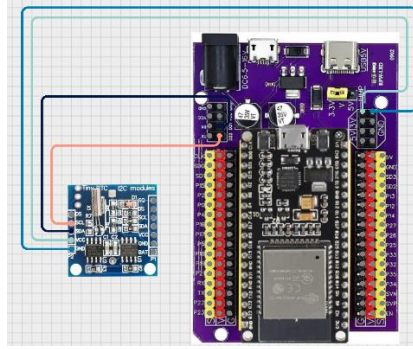
4. Sensor Kelembapan Tanah V1.2: Saat diuji pada berbagai kondisi media tanam (kering, lembap, dan basah), sensor secara konsisten menghasilkan nilai analog yang bervariasi sesuai tingkat kelembapan. Hasil ini menunjukkan sensor berfungsi dengan baik dan akurat untuk pengambilan keputusan sistem.



Gambar 1. 6 Pengujian sensor kelembapan tanah

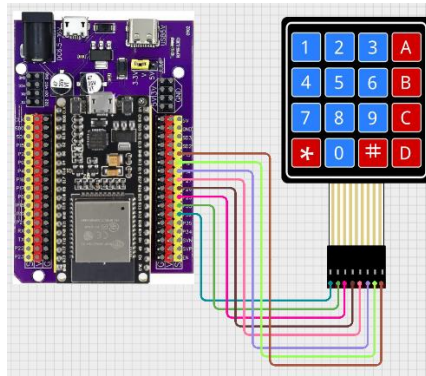
5. Modul RTC DS1307: Modul berhasil menyediakan data waktu dan tanggal yang akurat dan dapat menampilkannya di *serial monitor* maupun layar LCD. Fungsi baterai

cadangan juga terverifikasi bekerja dengan baik, menjaga waktu tetap berjalan meski daya utama terputus.



Gambar 1. 7 Pengujian RTC

6. Keypad 4x4: Pengujian menunjukkan bahwa setiap tombol yang ditekan dapat dibaca dengan benar dan responsif oleh ESP32. Data input juga berhasil ditampilkan secara

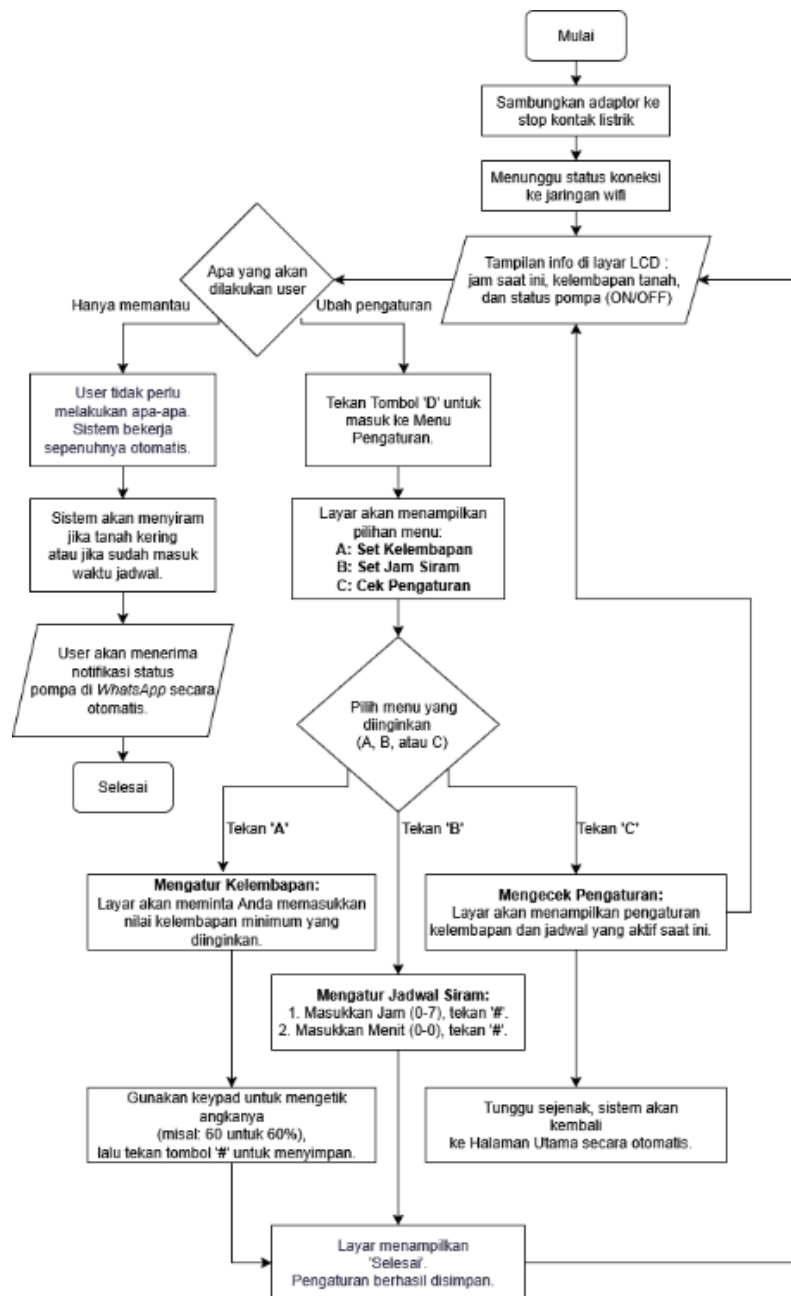


Gambar 1. 8 Pengujian keypad

Secara keseluruhan, hasil pengujian individual ini mengonfirmasi bahwa semua komponen berada dalam kondisi optimal dan siap untuk diintegrasikan ke dalam sistem penyiraman otomatis secara utuh.

1. Alur Kerja Sistem yang Diusulkan

Alur kerja sistem yang diusulkan, yang menjadi dasar pengujian fungsional, diilustrasikan pada Gambar 2. Diagram alir ini memandu pengguna mulai dari menghidupkan perangkat, menunggu koneksi WiFi, hingga memilih menu untuk memantau atau mengatur parameter kelembapan dan jadwal.



Gambar 1. 9 Alur sistem yang diusulkan

2. Pengujian Fungsional Black Box Testing

Validasi fungsionalitas sistem secara menyeluruh dilakukan menggunakan metode Black Box Testing. Pengujian ini berfokus pada verifikasi *input* dan *output* dari perspektif pengguna. Skenario pengujian mencakup semua fungsi inti, mulai dari interaksi menu keypad hingga pengiriman notifikasi. Hasil pengujian diringkas pada Tabel 1.

Tabel 1. 1 Pengujian black box testing

No	Fungsi yang Diuji	Skenario Input	Output yang Diharapkan	Hasil
1	Akses Menu Utama	Pengguna menekan tombol 'D' pada keypad.	Layar LCD menampilkan pilihan menu (A: Atur Kelembapan, B: Set Jam, C: Cek Pengaturan).	Sesuai

No	Fungsi yang Diuji	Skenario Input	Output yang Diharapkan	Hasil
2	Pengaturan Kelembapan	Pengguna menekan 'A', lalu memasukkan nilai minimum kelembapan (misal: 40) dan menekan '#'.	Pengaturan berhasil disimpan dan ditampilkan pada menu 'Cek Pengaturan'.	Sesuai
3	Pengaturan Jadwal	Pengguna menekan 'B', lalu memasukkan jam dan menit penyiraman.	Jadwal berhasil disimpan dan akan dieksekusi sesuai waktu RTC.	Sesuai
4	Pengiriman Notifikasi	Pompa air aktif karena kondisi tanah kering atau sesuai jadwal.	Pengguna menerima pesan notifikasi di aplikasi WhatsApp.	Sesuai

3. Evaluasi Kemudahan Penggunaan System Usability Scale (SUS)

Tingkat kemudahan penggunaan dan penerimaan sistem oleh pengguna diukur secara kuantitatif menggunakan metode System Usability Scale (SUS). Pengujian ini melibatkan 20 responden yang diminta untuk memberikan penilaian terhadap 10 pernyataan terkait pengalaman penggunaan sistem melalui kuesioner berskala Likert (1-5).

- 1) 1 = Sangat Tidak Setuju
- 2) 2 = Tidak Setuju
- 3) 3 = Netral
- 4) 4 = Setuju
- 5) 5 = Sangat Setuju

Pernyataan dalam kuesioner disusun secara bergantian antara positif (nomor ganjil: 1, 3, 5, 7, 9) dan negatif (nomor genap: 2, 4, 6, 8, 10). Penyusunan ini dimaksudkan untuk mengurangi bias dalam jawaban responden serta meningkatkan validitas hasil pengukuran. Setelah memperoleh data dari kuesioner, penulis menghitung skor *SUS* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Rumus Perhitungan Skor *SUS*:

$$SUS\ Score = \left(\sum_{i=1}^{10} S_i \right) \times 2.5$$

Dengan ketentuan:

1. Untuk pernyataan bernomor ganjil:

$$S_i = \text{Nilai jawaban} - 1$$

2. Untuk pernyataan bernomor genap:

$$S_i = 5 - \text{Nilai jawaban}$$

Langkah-langkah perhitungan dilakukan sebagai berikut:

1. Mengklasifikasikan setiap pertanyaan berdasarkan jenisnya (positif atau negatif).
2. Menyesuaikan skor berdasarkan rumus di atas.
3. Menjumlahkan skor dari seluruh pernyataan (total 10).
4. Untuk mendapatkan skor akhir antara 0 dan 100, kalikan skor keseluruhan dengan faktor 2,5.

Interpretasi Nilai Skor *SUS*:

Tabel 1. 2 Interpretasi Nilai

Nilai <i>SUS</i>	Kriteria Penilaian
≤ 10	Sangat Kurang
20 - 30	Kurang
40 - 50	Lumayan
60 - 80	Baik
90 - 100	Sangat Baik

1. Hasil Penilaian Responden

Tabel 1. 3 Hasil Penilaian Responden

No	Nama Responden	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1	Responden 1	5	2	5	1	5	1	5	2	5	1
2	Responden 2	5	1	5	2	5	2	5	1	5	1
3	Responden 3	5	2	5	1	5	1	5	1	5	2
4	Responden 4	5	1	5	2	5	2	5	2	5	2
5	Responden 5	5	1	5	2	5	2	5	2	5	2
6	Responden 6	5	1	5	2	5	2	5	2	5	2
7	Responden 7	5	1	5	1	5	2	5	1	5	2
8	Responden 8	5	1	5	2	5	1	5	2	5	1
9	Responden 9	5	2	5	1	4	1	5	1	5	1
10	Responden 10	5	2	5	2	4	2	5	1	4	2
11	Responden 11	5	2	5	3	4	2	2	1	4	2
12	Responden 12	5	1	5	1	4	1	5	2	5	1
13	Responden 13	5	3	5	2	4	2	5	1	4	2
14	Responden 14	5	2	5	2	4	2	5	1	4	3
15	Responden 15	5	1	5	2	4	1	5	1	5	1
16	Responden 16	5	2	5	2	4	2	5	1	4	2
17	Responden 17	5	1	5	2	4	2	5	1	4	2
18	Responden 18	5	2	5	2	4	2	5	1	4	2
19	Responden 19	5	3	5	2	2	2	5	1	4	2
20	Responden 20	5	2	3	2	4	2	5	1	4	2

2. Hasil Hitungan dan Jumlah Responden

Tabel 1. 4 Hasil nilai rata-rata

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Jumlah	Nilai (Jumlah X 2.5)
4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	38	95
4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	38	95
4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	38	95
4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	36	90
4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	36	90
4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	38	95
4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	38	95
4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	38	95
4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	34	85

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Jumlah	Nilai (Jumlah X 2.5)
4	3	4	2	3	3	1	4	3	3	30	75
4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	38	95
4	2	4	3	3	3	4	4	3	3	33	82,5
4	3	4	3	3	3	4	4	3	2	33	82,5
4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	38	95
4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	34	85
4	4	4	3	3	3	4	4	3	3	35	87,5
4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	34	85
4	2	4	3	1	3	4	4	3	3	31	77,5
4	3	2	3	3	3	4	4	3	3	32	80
Jumlah nilai rata-rata											80

Skor akhir SUS dihitung dari total jawaban responden yang telah disesuaikan. Dari hasil analisis data 20 responden, sistem ini memperoleh skor SUS rata-rata sebesar 80 dimana nilai tersebut dinyatakan sebagai kategori "Baik".

C. Pembahasan

Hasil pengujian fungsional yang sukses dan skor *usability* yang tinggi menunjukkan bahwa sistem penyiram tanaman otomatis yang dikembangkan tidak hanya andal secara teknis tetapi juga mudah diterima oleh pengguna. Skor SUS sebesar 80 mengindikasikan bahwa antarmuka yang dirancang, termasuk penggunaan keypad dan layar LCD untuk pengaturan langsung, dinilai cukup intuitif dan tidak menyulitkan pengguna. Keberhasilan fungsionalitas notifikasi WhatsApp secara *real-time* menjadi nilai tambah yang signifikan, karena menjawab salah satu kebutuhan utama pengguna yang diidentifikasi pada tahap analisis, yaitu kemampuan memantau tanaman saat tidak berada di lokasi. Kombinasi antara otomasi berbasis sensor yang presisi dan otomasi berbasis jadwal memberikan solusi yang komprehensif untuk mengatasi masalah inkonsistensi penyiraman. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa prototipe ini berhasil mencapai tujuan penelitian, yaitu menciptakan sistem yang efektif dan efisien untuk menjaga kelembapan tanah tanaman hias *Aglaonema* secara otomatis.

Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, implementasi, dan serangkaian pengujian pada sistem penyiram tanaman otomatis berbasis *IoT*, dapat ditarik kesimpulan yang menjawab rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Sistem penyiraman tanaman otomatis telah berhasil dirancang dan dibangun dengan menjadikan *mikrokontroler ESP32* sebagai pusat kendali. Alat ini menggunakan berbagai komponen terintegrasi, termasuk sensor kelembapan tanah kapasitif untuk mengukur kadar air, *RTC* sebagai penentu waktu, *keypad* dan layar *LCD* untuk interaksi pengguna, serta modul *relay* untuk mengaktifkan pompa air. Rangkaian komponen ini sukses membentuk sebuah prototipe yang berfungsi secara otomatis.
2. *Soil moisture* sensor mampu mendeteksi kondisi kadar air pada media tanam secara langsung dan akurat. Informasi dari sensor ini kemudian diproses oleh *ESP32* untuk mengatur jalannya penyiraman. Apabila kelembapan terdeteksi berada di bawah nilai minimum yang ditetapkan, yaitu antara 35% hingga 40%, maka sistem akan menyalakan pompa air melalui *relay*. Dengan mekanisme ini, sistem dapat menjaga ketersediaan air bagi tanaman secara tepat dan efisien kemudian untuk mengontrol sistem penyiraman otomatis tersebut diberikan 2 mode penyiraman, yaitu mode

pertama adalah untuk memberikan nilai kelembapan tanah yang sesuai pada tanaman hias tertentu dan mode kedua adalah mengsetting waktu penyiraman tanaman.

3. Pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa sistem berfungsi dengan optimal dan layak untuk digunakan. Uji fungsional (*black box*) mengonfirmasi bahwa semua fitur, termasuk notifikasi via *WhatsApp* dan pengaturan melalui *keypad*, beroperasi tanpa kendala. Lebih lanjut, penilaian tingkat kemudahan penggunaan (*usability*) dengan metode *SUS* memperoleh skor akhir 80 dari total 20 responden, yang mengindikasikan bahwa alat ini dinilai "Baik" dan mudah diterima oleh pengguna.

B. Saran

Untuk penyempurnaan sistem di masa mendatang, berikut adalah beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Sebaiknya dilakukan penambahan sensor lain, misalnya sensor untuk memantau suhu, kelembapan udara, atau level air di penampungan, agar sistem dapat bekerja lebih adaptif dan menyeluruh.
2. Sistem ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi platform berbasis aplikasi *web* atau seluler, yang akan memberikan pengguna fleksibilitas lebih dalam memonitor dan mengontrol perangkat dari mana saja.
3. Direkomendasikan untuk mengintegrasikan sumber daya energi terbarukan seperti panel surya, sehingga alat ini dapat dioperasikan di lokasi-lokasi tanpa akses listrik dari *PLN*.
4. Antarmuka pengguna pada perangkat, yang mencakup *keypad* dan layar *LCD*, disarankan untuk dirancang agar lebih intuitif dan mudah digunakan, terutama bagi pengguna yang tidak terbiasa dengan teknologi.
5. Aspek keamanan perlu menjadi perhatian utama dalam pengembangan berbasis *IoT*, dengan menerapkan mekanisme proteksi dan manajemen akses pengguna untuk mencegah penyalahgunaan data atau kontrol sistem oleh pihak yang tidak sah.

Referensi

- [1] M. A. Akbar *et al.*, "Identification of Stomata Structures in Leaves of The *Tradescantia* Genus in The Meurandeh Langsa Region," *J. Biol. Trop.*, vol. 23, no. 1, pp. 302–306, 2023.
- [2] L. P. Hapsari, R. P. Pasaribu, and I. Anjani, "The Use of An Arduino Uno Ultrasonic Sensor in Desalination Equipment's Water Filling Control," *Circuit J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, p. 164, 2023.
- [3] Z. Zulfachmi, A. Saputra, and J. Juliadi, "Monitoring Penyiraman Aglonema Lulaiwan Otomatis Berbasis IoT Dengan Sensor Soil Moisture dan DHT11 Menggunakan Aplikasi Telegram," *Pros. Semin. Nas. Ilmu Sos. dan Teknol.*, vol. 5, no. September, pp. 458–463, 2023.
- [4] E. Faustina, A. Rahmah, and T. Utari, "Pengaruh Silika dan Intensitas Penyiraman Terhadap Produksi Tanaman Sawi Hijau (*Brassica Juncea* L.)," *J. Ilm. Pertan.*, vol. 20, no. 1, pp. 93–97, 2024.
- [5] H. T. Anaam K I and P. A. Y. W. Pranata R Y, Abdillah h, "Pengaruh Trend Otomasi Dalam Dunia Manufaktur dan Industri," *Vocat. Educ. Natl. Semin.*, vol. 1, no. 1, pp. 46–50, 2022.
- [6] R. Nurul Hidayatullah, N. Ariesanto Ramdhan, and A. Khamid, "Pengembangan Kendali Lampu Menggunakan Mikrokontroler Nodemcu Esp32 Dan Arduino Ide Berbasis Internet of Things (Iot)," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 4, pp. 7762–7767, 2024.
- [7] M. N. Hidayat, H. Hazarika, and H. Kanaya, "Calibration and Performance Evaluation of Cost-Effective Capacitive Moisture Sensor in Slope Model Experiments," *Sensors*, vol. 24, no. 24, 2024.

- [8] V. S. Windyasari and P. A. Bagindo, "Rancang Bangun Alat Penyiraman Dan Pemupukan Tanaman Secara Otomatis Dengan Sistem Monitoring Berbasis Internet Of Things," *Pros. Semin. Nas. Univ. Indones. Timur*, vol. 1, no. 1, pp. 151–171, 2019.
- [9] D. Aditia Maulana and V. Septiana Windyasari, "Rancang Bangun Alat Wiper Otomatis Dan Pendeteksi Pada Helm Driver Ojek Online Menggunakan Mikrokontroller," *J. Tek. Inform. Unis*, vol. 10, no. 2, pp. 181–192, 2022.
- [10] S. Mindasari, M. As'ad, and D. Meilantika, "Sistem Keamanan Kotak Amal di Musala Sabilul Khasanah Berbasis Arduino UNO," *J. Tek. Inform. Mahakarya*, vol. 5, no. 2, pp. 7–13, 2022.
- [11] R. Tripena Lubis and S. Susilawati, "Sistem Kunci Pintu Berbasis Pin Menggunakan Arduino Dan Keypad," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 3, pp. 3830–3835, 2024.
- [12] S. M. Safrilly and R. Badarudin, "Sistem Monitoring Suhu secara Real-Time berbasis Arduino Uno untuk Pemantauan Lingkungan," vol. 3, no. 2, 2024.
- [13] S. Hamzah, T. Aditya, and K. El Yana, "Pemanfaatan Saluran Whatsapp Terhadap Kepuasan Literasi Masyarakat Informasi di Kabupaten Tangerang," *J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 8, no. 3, pp. 556–568, 2024.