

PEMANFAATAN IOT DAN ALGORITMA FUZZY LOGIC UNTUK OPTIMALISASI PENYIRAMAN: STUDI KASUS PADA SMART GREENHOUSE

Tika Ayu Hariyantia ¹, Hariadi Yutanto ^{2*}, Yusuf Effendi ³

1,2,3) Prodi Informatika Fakultas Teknik dan Desain Universitas Hayam Wuruk Perbanas, Indonesia

Article Info	ABSTRACT
<p>Article history:</p> <p>Received: 02 Juli 2025 Revised: 16 Juli 2025 Accepted: 13 November 2025</p>	<p>Abstrak</p> <p>Rumah kaca memainkan peran penting dalam pertanian modern dengan menyediakan lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan tanaman, yang memungkinkan petani untuk mengendalikan faktor-faktor seperti suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya terlepas dari kondisi cuaca eksternal. Untuk memaksimalkan efektivitas sistem ini, teknologi sensor canggih sangat penting untuk pemantauan lingkungan yang efisien dan akurat. Namun, tantangan seperti pengetahuan teknologi yang terbatas dan kurangnya infrastruktur pendukung sering kali menghambat petani, terutama di daerah pedesaan. Integrasi teknologi otomasi dengan <i>IoT</i> memungkinkan pemantauan dan pengendalian kondisi rumah kaca secara real-time menggunakan sensor suhu, sensor kelembaban tanah, dan sensor nutrisi pupuk cair, yang memberikan solusi yang efisien dan berkelanjutan untuk pertanian cerdas. Penelitian ini memanfaatkan <i>IoT</i> untuk memantau kondisi rumah kaca, mengoptimalkan pertumbuhan tanaman melalui sistem irigasi otomatis yang dikendalikan oleh metode logika <i>Fuzzy</i>. Berbagai sensor dan aplikasi diuji untuk mengatur penyiraman yang tepat, sementara sistem pupuk cair terjadwal memastikan pasokan nutrisi yang cukup seminggu sekali. Sistem ini secara signifikan menyederhanakan pemantauan dan pengelolaan, menyelaraskan kondisi pertanian dengan kebutuhan nutrisi tanaman. Pengujian akurasi sensor menghasilkan hasil yang menjanjikan, dengan kesalahan sensor suhu sebesar 1,5% dan kesalahan sensor TDS sebesar 35,5%, sementara sistem irigasi berbasis <i>Fuzzy</i> mengaktifkan pompa saat kelembapan tanah turun di bawah 60%, menjadikan sistem penyiraman otomatis untuk tanaman pinus di rumah kaca sangat andal.</p> <p>Kata Kunci: Rumah kaca, pertanian cerdas, <i>IoT</i>, teknologi otomasi, logika <i>Fuzzy</i></p> <p>Abstract</p> <p><i>Greenhouses play a crucial role in modern agriculture by providing an ideal environment for plant growth, allowing farmers to control factors such as temperature, humidity, and light intensity regardless of external weather conditions. To maximize the effectiveness of this system, advanced sensor technology is essential for efficient and accurate environmental monitoring. However, challenges such as limited technological knowledge and lack of supporting infrastructure often hinder farmers, especially in rural areas. The integration of automation technology with IoT enables real-time monitoring and control of greenhouse conditions using temperature sensors, soil moisture sensors, and liquid fertilizer nutrient sensors, providing an efficient and sustainable solution for smart farming. This research utilizes IoT to monitor greenhouse conditions, optimizing plant growth through an automatic irrigation system controlled by the Fuzzy logic method. Various sensors and applications are tested to regulate precise watering, while a scheduled liquid fertilizer system ensures adequate nutrient supply once a week. The system significantly simplifies monitoring and management, aligning agricultural conditions with plant nutritional needs. Sensor accuracy tests yield promising results, with a temperature sensor error of 1.5% and a TDS sensor error of 35.5%, while the Fuzzy-based irrigation system activates the pump when soil moisture drops below 60%, making the automatic watering system for pine plants in greenhouses highly reliable.</i></p> <p>Keywords: Greenhouse, smart farming, IoT, automation technology, Fuzzy logic</p>

Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi oleh Universitas Dharmawangsa Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan dengan Lisensi Internasional Creative Commons Attribution NonCommercial ShareAlike 4.0 ([CC-BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)).



Corresponding Author:

E-mail : antok@perbanas.ac.id

1. PENDAHULUAN

Industri pertanian Indonesia mengalami transformasi besar akibat Revolusi Industri 4.0 melalui penerapan smart farming berbasis otomatisasi, kecerdasan buatan (AI) dan *Internet of Things* (IoT) [1]. Teknologi ini meningkatkan efisiensi dan hasil panen, namun masih menghadapi tantangan berupa infrastruktur dan model bisnis yang belum siap[2]. Salah satu inovasi penting ialah penggunaan *greenhouse* yang memungkinkan kontrol lingkungan tumbuh tanaman secara optimal[3]. terutama dengan bantuan sensor suhu dan kelembapan untuk pemantauan *real-time* [4].

Meski bermanfaat, adopsi teknologi ini masih terbatas karena kendala biaya, pengetahuan, dan dukungan infrastruktur, khususnya di pedesaan[5]. Oleh karena itu, solusi *smart farming* seperti penggunaan sensor DHT22 dan sensor kelembapan tanah menjadi alternatif efektif untuk mengoptimalkan penyiraman dan produktivitas [6].

Dari sisi bisnis, integrasi IoT tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga membuka peluang model bisnis berbasis data, mengurangi biaya tenaga kerja, dan memperluas ekosistem agritech[7]. Penelitian ini berfokus pada penerapan IoT dalam monitoring dan pengelolaan lingkungan *greenhouse* dengan logika fuzzy guna mengoptimalkan penggunaan air dan pupuk [8]. Implementasi sistem otomatis berbasis kebutuhan tanaman diharapkan meningkatkan efisiensi, produktivitas, serta peluang komersialisasi teknologi pertanian[9].

Kerangka Teori

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik ke internet untuk pertukaran data dan kontrol jarak jauh secara *real time*. Dalam pertanian, IoT berperan penting dalam otomatisasi proses penyiraman tanaman, karena efisiensi penggunaan air dan tenaga kerja sangat bergantung pada ketepatan waktu penyiraman[10] [11].

Sistem penyiraman otomatis berbasis IoT biasanya menggunakan sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan udara, serta sensor kelembapan tanah untuk menentukan kebutuhan air secara presisi [12]. Semua sensor ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang memiliki konektivitas Wi-Fi, berfungsi sebagai pusat pengendali sistem[13].

Untuk meningkatkan akurasi keputusan, diterapkan logika fuzzy yang memungkinkan sistem beradaptasi terhadap kondisi lingkungan, seperti menentukan

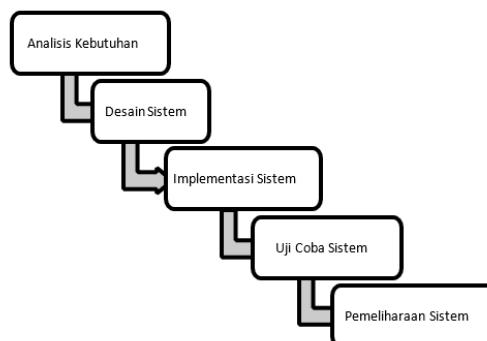
tingkat kelembapan “lembab”, “kering”, atau “sangat kering”[10] [14]. Pendekatan ini membantu mengurangi pemborosan air dan meningkatkan efektivitas penyiraman.

Dari sisi aplikasi, MIT App Inventor digunakan untuk merancang antarmuka kontrol yang mudah digunakan, sedangkan *Firebase* berperan sebagai platform *cloud* yang menghubungkan sistem dengan pengguna secara dua arah untuk monitoring dan kontrol real time [15] [16]. Integrasi semua komponen ini menciptakan sistem penyiraman tanaman otomatis yang efisien, adaptif, dan sesuai dengan prinsip pertanian modern.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Waterfall, yaitu pendekatan bertahap dalam *System Development Life Cycle* (SDLC) yang umum digunakan dalam pengembangan sistem informasi dan perangkat lunak [10]. Setiap tahap dikerjakan secara sistematis dan berurutan mulai dari analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, pengujian, hingga pemeliharaan[14].

Keunggulan model ini terletak pada struktur yang jelas dan dokumentasi yang lengkap, sehingga meminimalkan risiko perubahan besar di tahap akhir serta memudahkan evaluasi kemajuan proyek[12]. Dengan perencanaan yang matang dan alur kerja yang teratur, metode Waterfall membantu memastikan setiap proses penelitian berjalan optimal dan terkuu[13].



Gambar 1. Metode *Waterfall*

Dalam bahwa penelitian ini menerapkan metodologi waterfall, diharapkan hasil yang dicapai dapat lebih valid dan sistematis, meningkatkan efektivitas dalam pengembangan produk akhir, baik di bidang perangkat lunak maupun perangkat keras [1]. Gambar 1 menjelaskan mengenai tahapan metode Waterfall yang melibatkan lima tahap utama yakni analisis atau evaluasi kebutuhan, desain perancangan sistem, implementasi atau penerapan sistem, pengujian sistem dan pemeliharaan sistem.

2.1 Analisis kebutuhan

Analisis kebutuhan merupakan tahap penting dalam pengembangan sistem. Tahap ini dilakukan melalui observasi lapangan dan studi literatur guna mengidentifikasi masalah serta menentukan batas dan tujuan sistem sesuai kebutuhan pengguna. Dalam perancangan sistem ini, beberapa komponen utama yang dibutuhkan antara lain:

- Mikrokontroler ESP32: berfungsi sebagai pusat kendali dengan kemampuan Wi-Fi, memungkinkan komunikasi data secara nirkabel dan efisien[10].
- Sensor DHT22: memantau suhu dan kelembapan udara agar sistem dapat menentukan waktu penyiraman yang optimal [14].
- Soil Moisture Sensor: mendeteksi kadar kelembapan tanah untuk memastikan penyiraman hanya dilakukan saat diperlukan, sehingga menghemat air[11].
- Sensor TDS (Total Dissolved Solids): mengukur kualitas air berdasarkan kadar zat terlarut, yang berpengaruh terhadap pertumbuhan bibit pinus[12].
- Modul RTC (Real-Time Clock): menjaga akurasi waktu penyiraman, bahkan saat sistem dalam kondisi tidak aktif, guna mendukung penyiraman terjadwal[13].

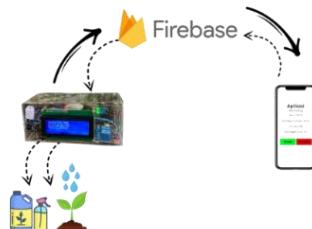
2.2 Desain Sistem

Desain sistem pengering yang optimal, termasuk dalam konteks irigasi dan penyiraman tanaman menggunakan teknologi berbasis *Internet of Things (IoT)*, memerlukan integrasi berbagai komponen seperti sensor, mikrokontroler, dan algoritma pengendalian yang tepat. Dalam hal ini, data dari sensor DHT22, TDS, dan kelembapan tanah berfungsi untuk menilai kebutuhan penyiraman secara otomatis. Mikrokontroler ESP32 menganalisis data ini dengan algoritma *Fuzzy Logic* untuk menentukan aksi yang optimal. Implementasi *fuzzy logic* dalam sistem pengairan menunjukkan efektivitas dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air, sebagaimana yang dijelaskan oleh Cahyani et al. bahwa sistem kontrol yang dibangun dapat memperbaiki proses irigasi dengan respons yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan [17].

Setelah menganalisis data, hasilnya disimpan dan diperbarui secara real-time menggunakan platform seperti *Firebase*, yang memungkinkan monitoring dari jarak jauh. Pendekatan ini telah terbukti efektif sebagaimana diungkapkan oleh Suryatini et al. dalam penelitiannya tentang penggunaan teknologi *IoT* dalam pengendalian suhu dan kelembapan, yang menunjang pertumbuhan tanaman dengan memantau parameter yang dibutuhkan secara otomatis [18]. Keberadaan aplikasi mobile yang dikembangkan memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau dan mengontrol sistem secara manual serta mendapatkan visualisasi data yang dinamis, relevan dengan temuan Munthe et al. di mana penggunaan antarmuka berbasis aplikasi dapat meningkatkan efektifitas dalam pengelolaan informasi proyek [19].

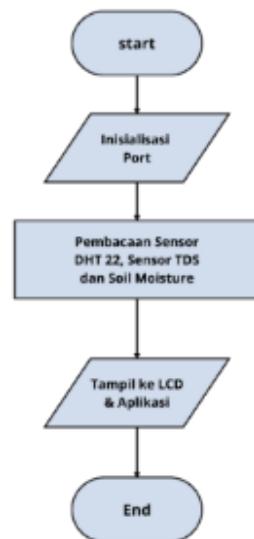
Mikrokontroler juga berfungsi untuk mengendalikan pompa air dan pompa pupuk, yang dioperasikan sesuai dengan kebutuhan dan jadwal yang telah ditentukan. Sebagai contoh, dalam penelitian oleh Saputra et al., sistem yang dikendalikan secara otomatis dapat menyalurkan larutan nutrisi sesuai dengan parameter yang sudah diatur [20]. Penerapan sistem ini berfokus pada pengaturan kelembapan tanah dan memastikan tanaman mendapat cukup nutrisi, di mana kesesuaian terhadap kebutuhan tanaman menjadi kunci utama dalam pengembangan sistem irigasi [21]. Selain itu, hasil monitoring ditampilkan pada LCD, menyediakan umpan balik visual bagi pengguna tentang status dan kondisi sistem saat ini.

Tahap selanjutnya adalah merancang sistem agar dapat beroperasi secara optimal. Desain aplikasi dibuat secara interaktif, memungkinkan sistem untuk merespons tindakan pengguna serta menampilkan visualisasi objek animasi secara dinamis.



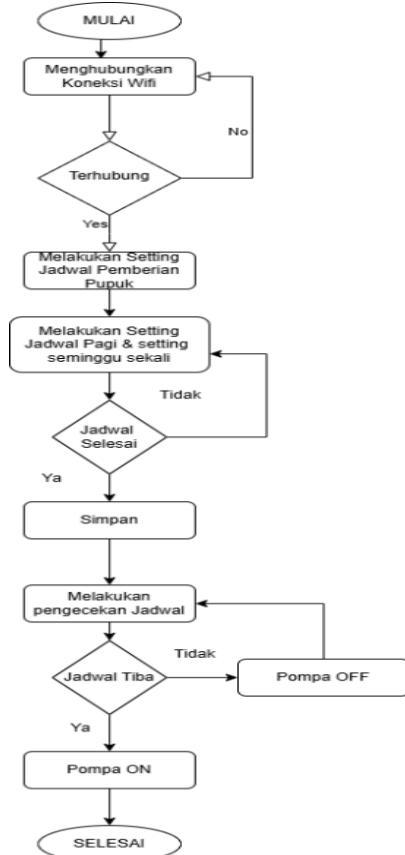
Gambar 2. Arsitektur Desain Sistem

Gambar 2. menunjukkan bahwa sistem ini secara otomatis menilai kebutuhan penyiraman dengan mengumpulkan data dari sensor DHT22, TDS, dan kelembapan tanah. Data dianalisis oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan algoritma *Fuzzy Logic*, lalu disimpan dan diperbarui secara real-time melalui Firebase. Aplikasi mobile yang dibuat dengan MIT App Inventor memungkinkan pengguna memantau sistem dan mengontrol pompa secara manual. Saat diperlukan, mikrokontroler mengaktifkan pompa air untuk irigasi, sementara pompa pupuk cair beroperasi sesuai jadwal, seperti sekali seminggu. Alur kerja sistem diilustrasikan sebagaimana terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Monitoring

Gambar 3. adalah Flowchart yang menggambarkan perangkat lunak yang dapat dijalankan pada perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini. Proses dimulai dengan inisialisasi port, di mana sistem mengaktifkan dan mempersiapkan koneksi untuk setiap sensor yang terhubung. Setelah itu, sistem melakukan pembacaan data dari berbagai sensor, seperti sensor DHT22, TDS, dan soil moisture, yang bertujuan untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time. Setelah data terkumpul, perangkat lunak mengirimkannya ke aplikasi mobile dan menampilkannya di LCD. Setelah itu, perangkat lunak kembali ke awal proses pemantauan.



Gambar 4. Flowchart Penjadwalan Pemberian Pupuk

Flowchart pada Gambar 4. menggambarkan proses penjadwalan pemberian pupuk otomatis menggunakan sistem berbasis *IoT*. Proses dimulai dengan perangkat yang mencoba menghubungkan ke koneksi WiFi hingga berhasil. Setelah koneksi terhubung, pengguna dapat mengatur jadwal pemberian pupuk, seperti pemberian setiap pagi dalam satu minggu sekali. Setelah pengaturan selesai, sistem menyimpan jadwal dan secara terus-menerus memeriksa apakah waktu yang dijadwalkan untuk pemberian pupuk telah tiba. Jika sudah, pompa akan otomatis menyala (Pompa ON), dan setelah waktu pemberian pupuk selesai, pompa dimatikan (Pompa OFF). Proses ini berulang sesuai jadwal yang disimpan. Sistem juga dilengkapi dengan fitur pemantauan dan pembaruan jadwal real-time melalui aplikasi berbasis *IoT*, yang memberikan fleksibilitas untuk menyesuaikan dengan kondisi lapangan seperti perubahan cuaca atau kebutuhan tanaman, memastikan pemberian pupuk dilakukan secara optimal dan efisien

3.3 Implementasi Sistem



Gambar 5. Bentuk Fisik alat

Tahapan ini merupakan proses mewujudkan desain sistem penyiraman otomatis yang telah dirancang. Seluruh sumber daya disiapkan sesuai dengan kebutuhan dan diintegrasikan melalui serangkaian perintah pemrograman pada komputer serta konfigurasi agar dapat diuji coba pada sistem penyiraman tanaman. Untuk memastikan sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi desain, pengujian perangkat keras dilakukan secara ketat. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, sistem penyiraman otomatis yang menggunakan algoritma *Fuzzy Logic* harus melalui tahap pengujian guna memastikan bahwa semua komponen dapat berfungsi dengan baik dan bekerja secara terintegrasi sesuai dengan tugas yang telah ditentukan.

Halaman utama aplikasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, memiliki dua bagian utama. Bagian pertama adalah panel kontrol, yang memiliki indikator sederhana untuk melacak variabel seperti kelembapan tanah, suhu udara, dan kadar nutrisi pupuk. Komponen kedua adalah sakelar hidup/mati daya, yang memungkinkan pengguna memilih antara mode otomatis dan manual untuk mengontrol aliran air dan distribusi nutrisi ke tanaman. Kontrol dan pemantauan secara real-time adalah satu-satunya tujuan penggunaan antarmuka ini.



Gambar 6. Mobile Apps

3.4 Uji Coba Sistem

Tahapan ini merupakan proses mewujudkan desain sistem penyiraman otomatis yang telah dirancang. Seluruh sumber daya disiapkan sesuai dengan kebutuhan dan diintegrasikan melalui serangkaian perintah pemrograman pada komputer serta konfigurasi agar dapat diuji coba pada sistem penyiraman tanaman. Untuk memastikan sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi desain, pengujian perangkat keras dilakukan secara ketat. langkah selanjutnya adalah menjalankan program dan memeriksa setiap rangkaian untuk memastikan semuanya berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi respons sistem, jangkauan sistem, serta keseluruhan rangkaian. Salah satu metode yang digunakan untuk menilai akurasi sensor adalah dengan menghitung Mean Absolute Error (MAE), yang menunjukkan rata-rata selisih absolut antara suhu yang diukur oleh sensor dan suhu yang diukur oleh alat referensi. MAE dihitung menggunakan,

Rumus:

$$\text{Selisih} = \text{Nilai Sensor} - \text{Nilai alat meter} \quad (1)$$

$$Error (\%) = \frac{Selisih\ nilai\ sensor}{nilai\ dari\ alat\ meter} \times 100\% \quad (2)$$

$$MAE\ sensor = \frac{\sum Selisih\ Sensor}{Jumlah\ Data\ sensor} \quad (3)$$

3.5 Pemeliharaan Sistem

Sistem yang telah selesai dikembangkan kemudian digunakan oleh pengguna. Pemeliharaan dilakukan secara rutin dan berulang, jika terdapat kendala (error) maka sistem tersebut dilakukan perbaikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor DHT22

Sensor DHT22 diuji untuk melihat seberapa baik kemampuannya mendeteksi perubahan suhu ruangan. Indikasi kinerja sensor adalah persentase ketidakakuratan, yang dihitung dengan menganalisis perbedaan hasil pengukuran.

Tabel 1. Hasil Pengujian Suhu Sensor DHT22

Percobaan	Waktu	Sensor Suhu(°C)	Termometer (°C)	Selisih	Error
1	10 menit	27	24,7	2,3	0,38 %
2	10 menit	27,1	25,8	1,3	0,21 %
3	10 menit	26,6	26	0,6	0,10 %
4	10 menit	26,7	25,7	1,0	0,16 %
5	10 menit	26,9	25	1,9	0,31 %
6	10 menit	26,8	24,9	1,9	0,31%
MAE Suhu					1,5 %

Tabel 1. menunjukkan hasil pengujian sensor DHT22 menunjukkan bahwa nilai suhu yang terdeteksi 26,9°C - 27°C, sementara pengujian oleh Termometer menunjukkan bahwa nilai suhu yang terdeteksi 24,7°C - 26°C. Perbedaan nilai suhu dari DHT22 dan termometer menghasilkan selisih yang kemudian digunakan untuk mencari Mean Absolute Error Suhu sesuai perhitungan pada Persamaan 3.3. Nilai MAE pada pembacaan suhu bernilai 1,5 %. Hal ini menunjukkan bahwa sensor DHT22 memberikan hasil yang cukup akurat untuk pengukuran suhu.

Perhitungan Mean Absolute Error Suhu:

$$MAE\ Suhu = \frac{\sum Selisih\ Suhu}{Jumlah\ Data\ Suhu}$$

$$MAE\ Suhu = \frac{\sum 2,3 + 1,3 + 0,6 + 1 + 1,9 + 1,9}{6}$$

$$MAE\ Suhu = \frac{9}{6}$$

$$MAE\ Suhu = 1,5$$

3.2 Pengujian Sensor Soil moisture

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk memeriksa keakuratan sensor kelembapan tanah sesuai dengan nilai acuan kelembapan tanah. Kondisi kelembapan tanah pada

penelitian ini menggunakan nilai dengan kelembapannya kurang dari 60% tergolong kering dan tergolong lembap nilai lebih dari 60% dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian sensor Soil moisture

Percobaan	Waktu	Sensor moisture (%)	Soil	Keterangan
1	10 menit	78%	Lembap	
2	10 menit	81%	Lembap	
3	10 menit	83%	Lembap	
4	10 menit	74%	Lembap	
5	10 menit	72%	Lembap	
6	10 menit	70%	Lembap	

Catatan: $\leq 60\%$ (kering) dan $\geq 60\%$ (lembap)

Hasil pengujian menunjukkan tanah termasuk dalam kategori lembap karena nilai lebih dari 60%. Klasifikasi ini bertujuan untuk membantu sistem dalam menentukan kebutuhan penyiraman secara otomatis, sehingga kelembapan tanah tetap terjaga.

3.3 Pengujian Sensor TDS Analog Meter

Pengujian TDS analog meter digunakan sebagai pengganti inputan dalam mengukur nilai ppm pada campuran nutrisi yang nantinya digunakan sebagai pemberi nutri pada bibit pohon pinus, pengujian dilakukan dalam satu hari yang sama per sepuluh menit untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian TDS Analog Meter

Percobaan	Waktu	Sensor (PPM)	TDS	TDS Meter (PPM)	Selisih	Error (%)
1	10 menit	599	514	85	0,16	
2	10 menit	602	584	18	0,030	
3	10 menit	608	686	78	0,011	
4	10 menit	618	635	17	0,026	
5	10 menit	624	636	12	0,018	
6	10 menit	633	636	3	0,004	
MAE TDS					35,5 %	

Data dikumpulkan setiap 10 menit setelah sensor dicelupkan dalam pupuk cair untuk pengujian total padatan terlarut (TDS), yang mengukur jumlah nutrisi dalam larutan atau nilai ppm. Perbedaan nilai PPM dari Sensor TDS dan TDS Meter menghasilkan selisih yang kemudian digunakan untuk mencari Mean Absolute Error TDS sesuai perhitungan pada Persamaan 3.6. Nilai MAE pada pembacaan suhu bernilai 35,5%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor TDS memberikan hasil yang cukup akurat untuk pengukuran PPM.

Perhitungan Mean Absolute Error TDS:

$$\text{MAE TDS} = \frac{\sum \text{Selisih TDS}}{\text{Jumlah Data TDS}}$$

$$\text{MAE TDS} = \frac{\sum 85 + 18 + 78 + 17 + 12 + 3}{6}$$

$$\text{MAE TDS} = \frac{213}{6}$$

$$MAE\ TDS = 35,5$$

3.4 Pengujian RTC

Tujuan pengujian RTC adalah untuk melihat seberapa baik waktu penyiraman yang sebenarnya sesuai dengan waktu yang ditentukan pada RTC (Real-time Clock). Pengujian dilakukan pada setiap pagi selama 4 hari, di mana waktu yang diatur di RTC adalah pukul 06.00, sedangkan waktu aktual penyiraman tercatat pada pukul 06.02. Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4. & 5.

Tabel 4. Pengujian Penjadwalan Pagi Hari

Hari ke	Setting jadwal	Aktual	Akurasi waktu	Keterangan	
				Sesuai	Tidak Sesuai
1	06.00	06.02	2 menit	✓	
2	06.00	06.02	2 menit	✓	
3	06.00	06.02	2 menit	✓	
4	06.00	06.02	2 menit	✓	
Rata-Rata			2 menit		

Selisih waktu sebesar 2 menit menunjukkan adanya deviasi kecil antara waktu yang diatur dengan waktu aktual, faktor penyebabnya adanya ketidak sempurnaan sinkronisasi RTC atau faktor penundaan mekanisme sistem dapat menyebabkan sedikit perbedaan waktu selama 2 menit antara waktu yang ditetapkan dan waktu sebenarnya.

Tabel 5. Pengujian Penjadwalan Sore Hari

Hari ke	Setting jadwal	Aktual	Akurasi waktu	Keterangan	
				Sesuai	Tidak Sesuai
1	15.30	15.32	2 menit	✓	
2	15.30	15.32	2 menit	✓	
3	16.00	16.02	2 menit	✓	
4	16.00	16.02	2 menit	✓	
Rata-Rata			2 menit		

Keberhasilan penyiraman berdasarkan jam dan menit ditunjukkan pada berbagai Tabel uji RTC DS3231 di atas. Namun, keakuratan waktu tunda penyiraman ditemukan pada penjadwalan pagi dan sore selama 2 menit.

3.5 Pengujian Relay

Saat menguji driver relay, dapat melihat output dari input pin digital ke ESP32. Tabel 6. menampilkan hasil pengujian yang dilakukan pada rangkaian driver relay.

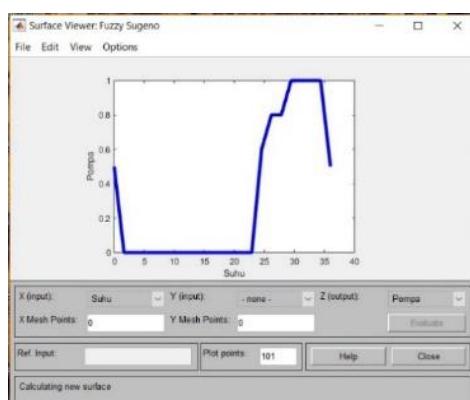
Tabel 6. Pengujian relay

Percobaan	Status Pada Pin Mikrokontroler	Tegangan Pin Mikrokontroler (Volt)	Kondisi Relay
1	Low	2,26	OFF
2	Low	2,27	OFF
3	High	5,01	ON
4	High	5,02	ON

Dari pengujian driver relay diketahui bahwa ketika mikrokontroler diatur ke rendah (0), pin mikrokontroler Nodemcu mengeluarkan nilai tegangan di bawah 5 volt, dan status relay menjadi OFF (Normaly Close). Status relay berubah menjadi ON (Normaly Open) dan listrik mengalir ke pompa jika mikrokontroler diatur ke tinggi (1) dan nilai tegangan yang disuplai oleh pin mikrokontroler Nodemcu lebih dari 5 volt.

4.6 Pengujian Fuzzy logic Sugeno

Pengujian Fuzzy logic Sugeno dilakukan dengan membandingkan nilai output pada matlab dan nilai output pada ESP32 atau alat. Parameter input Fuzzy logic pada penelitian ini hanyalah suhu yang digunakan untuk mengatur kecepatan pompa sebagai parameter output. Nilai input yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 23°C, 24°C, 27°C, 30,5°C, dan 34,4°C. Hasil pengujian Fuzzy logic Sugeno dapat dilihat pada Gambar 7. dan Tabel 7. Sumbu X merepresentasikan suhu (0-40°C), sementara sumbu Y menunjukkan intensitas kerja pompa (0 hingga 1). Grafik menunjukkan bahwa pada suhu rendah (di bawah 20°C), pompa tidak aktif (output 0), sedangkan pada suhu sekitar 25-34°C, pompa aktif secara bertahap, dan pada suhu tinggi (di atas 34°C), terjadi perubahan tajam dalam intensitas kerja pompa. Hasil ini mencerminkan hubungan antara suhu dan pengendalian pompa, yang dirancang untuk mengatur sistem secara otomatis sesuai dengan aturan Fuzzy yang telah ditentukan.



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Matlab

Tabel 7. Hasil Pengujian Fuzzy logic Sugeno

Pengujian	Input	Output Fuzzy		Status Pompa
		Matlab	ESP32	
1	23 °C	0 %	0%	Pompa off
2	24 °C	60 %	60 %	Pompa on
3	27 °C	80 %	80 %	Pompa on
4	30,5 °C	100 %	100 %	Pompa on
5	34,4 °C	100 %	100 %	Pompa on

3.7 Pengujian Aplikasi

Tujuan pengujian aplikasi adalah untuk memverifikasi bahwa perangkat lunak yang digunakan untuk melacak variabel lingkungan seperti kelembaban, suhu, dan total padatan terlarut (TDS). Dapat melihat hasil pengujian pada Tabel 8. Berdasarkan hasil pengujian, tidak ditemukan kendala atau kesalahan dalam proses komunikasi data antara

ESP, Firebase, dan aplikasi mobile, membuktikan bahwa sistem sudah terintegrasi dengan baik dan siap untuk digunakan.

Tabel 8. Hasil Pengujian Aplikasi

No	Parameter Pengujian	Hasil Pengujian	Status
1	Pembaruan data suhu	Data suhu diperbarui secara real-time di Firebase dan aplikasi mobile	Berhasil
2	Pembaruan data kelembaban tanah	Data kelembaban tanah diperbarui secara real-time di Firebase dan aplikasi mobile	Berhasil
3	Pembaruan data TDS	Data TDS diperbarui secara real-time di Firebase dan aplikasi mobile	Berhasil
4	Respons tombol MANUAL	Perubahan status tercatat di Firebase dan direspon oleh ESP	Berhasil
5	Respons tombol OTOMATIS	Perubahan status tercatat di Firebase dan direspon oleh ESP	Berhasil
6	Integrasi keseluruhan sistem	Sistem berfungsi tanpa kendala dalam komunikasi data antara ESP, Firebase, dan aplikasi mobile	Berhasil

3.8 Pengujian Koneksi Komunikasi

Pengujian koneksi komunikasi seperti pada Tabel 9 dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat dapat mengirim dan menerima data secara stabil antara ESP32, Firebase, dan aplikasi mobile. Hasil pengujian koneksi Pengujian koneksi menggunakan perintah ping dan tracert ke server Firebase menunjukkan bahwa komunikasi berlangsung dengan baik.

Tabel 9. Hasil Pengujian Tracert

Hop	Waktu (ms)	IP/Hostname
1	3 ms	192.168.100.251
2	*	Request timed out
3	24 ms	114.0.124.193
4	28 ms	114-0-63-222.resources.indosat.com [114.0.63.222]
5	37 ms	114-0-16-218.resources.indosat.com [114.0.16.218]
6	35 ms	114-0-112-49.resources.indosat.com [114.0.112.49]
7	42 ms	114-0-116-23.resources.indosat.com [114.0.116.23]
8	35 ms	103.231.152.109
9	42 ms	199.36.158.100

Pada Tabel 9 Hasil dari perintah Tracert menunjukkan bahwa rute ke IP tujuan 199.36.158.100, yang terkait dengan layanan Firebase. Terdapat satu titik pada hop ke-2 yang mengalami request timed out, kemungkinan besar karena firewall atau konfigurasi keamanan jaringan yang tidak merespons paket ICMP.

3.8 Pengujian Quality of Service

Pengujian koneksi ESP32 dan aplikasi mobile dilakukan untuk melihat seberapa baik koneksi internet. Pengujian QoS dilakukan dengan 4 cara pengujian yaitu, latensi

atau delay, packet loss, throughput, dan jitter yang dapat dilihat pada Tabel 10. Pengujian latensi atau delay dihitung mendapatkan nilai sebesar 0,00462 ms dengan kategori sangat baik. Pengujian packet loss mendapatkan nilai sebesar 0% dengan keterangan baik sehingga tidak ada data yang hilang selama pengujian. Pengujian Throughput mendapatkan nilai sebesar 1,429 Mbs. Pengujian jitter mendapatkan nilai sebesar 0,16040 ms yang tergolong baik dan mendukung aplikasi real-time. Secara keseluruhan, koneksi sangat stabil untuk kebutuhan monitoring dan kontrol otomatis, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pengujian QoS dengan Wireshark

Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Kategori/Standar TIPHON
Latensi (Delay)	Ms	0,004462 ms	≤ 150 ms (baik), 150–300 ms (cukup), > 300 ms (buruk)
Throughput	Mbps	1,429 Mbps	Mendekati bandwidth maksimal (baik)
Packet Loss	%	0%	≤ 1% (baik), 1–3% (cukup), > 3% (buruk)
Jitter	Ms	0,16040 ms	≤ 30 ms (baik), 31–100 ms (cukup), > 100 ms (buruk)

4. SIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Secara keseluruhan pembacaan sensor-sensor sangat baik, dengan nilai Mean Absolute Error (MAE) error sensor DHT22 0,15%, nilai error sensor TDS 16,8%, dan soil moisture dapat membaca kondisi tanda kering jika kurang dari 60% dan lembab jika lebih dari 70%.
2. Pengujian jaringan QoS dengan empat parameter juga menampilkan hasil yang baik, dengan nilai latensi atau delay 0,004ms, throughput 1,42Mbps, packet loss 0%, dan jitter 0,16ms
3. Aplikasi dapat menampilkan data pembacaan sensor-sensor.

REFERENCES

- [1] A. R. Saili, N. B. K. Zaman, W. N. W. M. Noor, F. A. Fatah, dan F. A. Abdullah, "Smart Farming: Challenges and Adoption Factors Among Paddy Farmers in IADA Barat Laut, Selangor," *Inf. Manag. Bus. Rev.*, vol. 16, no. 4(S)I, hal. 394–400, 2024, doi: 10.22610/imbr.v16i4(s).i.4288.
- [2] T. N. Gia, Q. Li, J. P. Queralta, Z. Zou, H. Tenhunen, dan T. Westerlund, "Edge AI in Smart Farming IoT: CNNs at the Edge and Fog Computing With LoRa," hal. 1–6, 2019, doi: 10.1109/africon46755.2019.9134049.
- [3] S. F. P. D. Musa, K. H. Basir, dan E. Luah, "The Role of Smart Farming in Sustainable Development," *Int. J. Asian Bus. Inf. Manag.*, vol. 13, no. 2, hal. 1–12, 2021, doi: 10.4018/ijabim.20220701.oa5.
- [4] M. Amiri-Zarandi, M. H. Fard, S. Yousefinaghani, M. Kaviani, dan R. Dara, "A Platform Approach to Smart Farm Information Processing," *Agriculture*, vol. 12, no. 6, hal. 838, 2022, doi: 10.3390/agriculture12060838.
- [5] R. Finger, S. M. Swinton, N. E. Benni, dan A. Walter, "Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment," *Annu. Rev. Resour. Econ.*, vol. 11, no. 1, hal. 313–335, 2019, doi: 10.1146/annurev-resource-100518-093929.
- [6] Q. Chen, L. Li, C. Chong, dan X. Wang, "AI-enhanced Soil Management and Smart Farming," *Soil Use Manag.*, vol. 38, no. 1, hal. 7–13, 2021, doi: 10.1111/sum.12771.
- [7] F. A. Almalki, B. O. Soufiene, S. H. Alsamhi, dan H. Sakli, "A Low-Cost Platform for Environmental Smart Farming Monitoring System Based on IoT and UAVs," *Sustainability*, vol. 13, no. 11, hal. 5908,

- 2021, doi: 10.3390/su13115908.
- [8] M. Saban *et al.*, "A Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan," *Sensors*, vol. 23, no. 5, hal. 2725, 2023, doi: 10.3390/s23052725.
- [9] J. L. Tsong dan S. M. Khor, "Modern Analytical and Bioanalytical Technologies and Concepts for Smart and Precision Farming," *Anal. Methods*, vol. 15, no. 26, hal. 3125–3148, 2023, doi: 10.1039/d3ay00647f.
- [10] F. Suryatini, M. Maimunah, dan F. I. Fauzandi, "Implementasi Sistem Kontrol Irigasi Tetes Menggunakan Konsep IoT Berbasis Logika Fuzzy Takagi-Sugeno," *Jtera (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 4, no. 1, hal. 115, 2019, doi: 10.31544/jtera.v4.i1.2019.115-124.
- [11] F. Fathurrohman, T. Prasetya, I. Iin, dan M. Mulyawan, "Sistem Monitoring Penyiraman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Soil Moisture Pada Tanaman Melon," *Jati (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 1, hal. 568–573, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8423.
- [12] M. Hasani dan S. Wulandari, "Implementasi Internet of Things (IoT) Pada Sistem Otomatisasi Penyiraman Tanaman Berbasis Mobile," *Ilk. J. Comput. Sci. Appl. Informatics*, vol. 5, no. 3, hal. 149–161, 2023, doi: 10.28926/ilkomnika.v5i3.573.
- [13] D. K. Nugraha, H. Setiawan, A. Pratama, dan D. Karomah, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Air Otomatis Untuk Kebun Tanaman Ruskus Di Desa Karyawangi, Kabupaten Bandung Barat," *Madaniya*, vol. 5, no. 2, hal. 337–347, 2024, doi: 10.53696/27214834.764.
- [14] B. Sugandi dan J. Armentaria, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Logika Fuzzy," *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, hal. 5–8, 2021, doi: 10.30871/jaee.v5i1.2991.
- [15] D. Setiawan dan B. Suhartono, "Desain Dan Implementasi Aplikasi Android Menggunakan Mit App Inventor Pada Pengendali Sistem Robotik," *J. Tek. Inform. Dan Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 1, hal. 1–8, 2023, doi: 10.55606/jutiti.v3i1.2030.
- [16] S. Gunawan, A. H. Anshor, dan A. Amali, "Sistem Monitoring Dan Kontrol Taman Pintar Berbasis IoT (Internet of Things) Dengan NodeMCU ESP8266," *Bull. Comput. Sci. Res.*, vol. 3, no. 4, hal. 283–288, 2023, doi: 10.47065/bulletincsr.v3i4.270.
- [17] R. Cahyani, K. Indriyani, dan F. N. Hulu, "Perancangan sistem kontrol pemupukan otomatis pada tanaman bawang menggunakan RTC DS3231 dengan sensor hujan FC-37 berbasis IoT," hal. 344–350, 2023.
- [18] F. Suryatini, W. Purnomo, dan M. Delistiani, "Pengendalian Suhu Dan Kelembapan Sistem Aeroponik Tanaman Stroberi Berbasis IOT Menggunakan Fuzzy Logic," *JTRM (Jurnal Teknol. Dan Rekayasa Manufaktur)*, vol. 2, no. 2, hal. 61–78, 2020, doi: 10.48182/jtrm.v2i2.20.
- [19] E. S. Munthe, A. T. Sitorus, F. G. C. Manoppo, D. P. Sari, dan F. Angellia, "Sistem Pakar Untuk Identifikasi Risiko Proyek Teknologi Informasi Berbasis Metode Fuzzy Logic," *J. Minfo Polgan*, vol. 13, no. 2, hal. 1710–1716, 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i2.14217.
- [20] D. I. Saputra, A. D. Ahkam, dan H. R. Iskandar, "Optimasi Kendali Kelembaban Tanah Berbasis Jaringan Nirkabel Menggunakan Algoritma Fuzzy-Pid," *E-Joint (Electronica Electr. J. Innov. Technol.)*, vol. 2, no. 1, hal. 1–11, 2021, doi: 10.35970/e-joint.v2i1.734.
- [21] A. Farizi, B. M. Susanto, E. S. J. Atmadji, A. Hariyanto, dan E. Antika, "Sistem Monitoring Suhu Dan Pengairan Otomatis Pada Tanaman Stroberi Berbasis Website," *J. Teknol. Inf. Dan Terap.*, vol. 8, no. 2, hal. 91–95, 2021, doi: 10.25047/jtit.v8i2.255.