

Fuzzy-Adaptive Smart Irrigation: Sistem Otomatis Penyiraman Tanaman Berbasis IoT dengan Prediksi Kebutuhan Air Real-Time

Joko Handoyo¹, Ervian Febrianto^{2*}

^{1,2}Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe

e-mail: jokohandoyo2013@gmail.com, febriantoervian@gmail.com

Abstrak - Penelitian ini membahas perancangan, pengujian, dan implementasi prototipe sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan metode *fuzzy logic* berbasis *Internet of Things* (IoT). Tujuannya adalah mempermudah proses penyiraman tanaman, khususnya cabai, dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan secara adaptif, karena penyiraman konvensional kurang efisien dan tidak mempertimbangkan kondisi suhu serta kelembapan tanah yang optimal (24°C–28°C and 70%–80%). Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan sensor DHT11 (suhu udara) dan sensor kelembapan tanah. Data dari kedua sensor diolah menggunakan metode logika *fuzzy mamdani* untuk menentukan durasi penyiraman secara otomatis. Pengguna juga dapat melakukan monitoring data sensor dan kontrol manual melalui aplikasi Blynk. Proses logika *fuzzy* terdiri dari fuzzifikasi, inferensi menggunakan rule base 9 aturan, dan defuzzifikasi menggunakan metode *centroid*. Pengujian fungsionalitas dilakukan dengan *black box testing*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi data antara perangkat keras dan perangkat lunak berjalan sinkron dan seluruh fungsi sistem beroperasi sesuai perancangan. Pengujian akurasi sensor menunjukkan rata-rata selisih 0,76% untuk DHT11 (dibandingkan termometer) dan rata-rata error 4,57% untuk sensor kelembapan tanah (dibandingkan higrometer), yang masih dalam batas toleransi wajar. Sementara itu, pengujian logika *fuzzy mamdani* dengan perbandingan hasil simulasi MATLAB menghasilkan rata-rata error 10,5%. Sistem mampu menyesuaikan durasi penyiraman berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan. Penelitian ini berhasil membuat prototipe sistem penyiraman otomatis yang mampu menyesuaikan durasi penyiraman secara adaptif dan menyediakan kemudahan bagi pengguna dalam pemantauan serta pengendalian jarak jauh melalui IoT.

Kata Kunci: IoT, ESP32, Sensor Testing.

Abstract - This research discusses the design, testing, and implementation of an automatic plant watering system prototype using an *Internet of Things* (IoT)-based *Fuzzy Logic* method. The aim is to simplify the plant watering process, particularly for chili peppers, by adaptively considering environmental conditions, as conventional watering is less efficient and does not take into account optimal soil temperature and humidity conditions (24°C–28°C and 70%–80%). The system is designed using the ESP32 microcontroller as the central controller, connected to the DHT11 sensor (air temperature) and the soil moisture sensor. Data from both sensors is processed using the *mamdani* fuzzy logic method to automatically determine the watering duration. Users can also monitor sensor data and manually control it thru the Blynk application. The fuzzy logic process consists of fuzzification, inference using a 9-rule base, and defuzzification using the *centroid* method. Functionality testing is performed using *black box testing*. The test results show that data communication between hardware and software is running synchronously and all system functions are operating as designed. Sensor accuracy testing showed an average difference of 0.76% for DHT11 (compared to a thermometer) and an average error of 4.57% for the soil moisture sensor (compared to a hygrometer), which is still within reasonable tolerance limits. Meanwhile, testing the fuzzy logic *mamdani* with a comparison of MATLAB simulation results yielded an average error of 10.5%. The system is able to adjust watering duration based on temperature and humidity conditions. This research successfully created a prototype of an automatic watering system that can adaptively adjust watering duration and provide users with ease of remote monitoring and control via IoT.

Keywords: IoT, ESP32, Sensor Testing.

PENDAHULUAN

Di era digital saat ini, teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membawa perubahan signifikan dan membuka peluang baru dalam meningkatkan efisiensi di berbagai sektor, termasuk sektor pertanian. Pertanian merupakan sektor vital dalam kehidupan manusia karena berperan dalam penyediaan kebutuhan pangan dan bahan baku industri. Namun demikian, sektor ini menghadapi berbagai tantangan seperti pertumbuhan populasi,



perubahan iklim, serta keterbatasan sumber daya alam. Salah satu aspek penting dalam pertanian adalah pengelolaan air, yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Penggunaan air yang efisien dan tepat waktu dapat meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus mengurangi pemborosan sumber daya (Permatasari et al., 2023).

Kabupaten Blora, misalnya, memiliki luas panen padi sekitar 84.500 ha pada tahun 2024, mengalami penurunan sebesar 14,46% dibandingkan tahun sebelumnya, dengan total produksi gabah kering giling (GKG) sebesar 420.230 ton atau turun 11,13% dari tahun sebelumnya. Selain itu, area tegalan dan sawah tadah hujan mencapai lebih dari 25.000 ha yang tersebar di berbagai kecamatan seperti Randublatung dan Jati (Badan Pusat Statistik Kabupaten Blora, 2024). Kondisi tersebut menunjukkan adanya tantangan dalam pengelolaan air dan distribusi kelembapan tanah, sehingga penerapan sistem irigasi otomatis berbasis IoT dan logika fuzzy menjadi solusi yang tepat untuk menjaga kelembapan tanah secara adaptif dan efisien.

Tanaman cabai (*Capsicum annuum*) merupakan salah satu komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan di berbagai daerah. Pertumbuhan dan produktivitas cabai sangat bergantung pada kondisi penyiraman yang optimal. Kelebihan atau kekurangan air dapat menghambat pertumbuhan bahkan menurunkan hasil panen. Saat ini, sebagian besar proses penyiraman tanaman masih dilakukan secara konvensional dengan membuka dan menutup saluran air secara manual oleh petani. Metode ini dinilai kurang efisien karena memerlukan waktu, tenaga, dan sering kali tidak memperhitungkan kondisi suhu serta kelembapan tanah. Padahal, cabai merupakan tanaman yang tidak tahan terhadap kekeringan maupun genangan air, sehingga kadar kelembapan tanah ideal untuk budidaya cabai berkisar antara 60%–80% (Haqi et al., 2024).

Pertumbuhan optimal tanaman cabai merah terjadi pada suhu udara antara 24°C–28°C dan kelembapan tanah antara 70%–80% (Lestari et al., 2023). Untuk mempertahankan kondisi tersebut, dibutuhkan sistem yang mampu memantau dan mengatur suhu serta kelembapan tanah secara akurat dan otomatis. Salah satu teknologi yang potensial untuk diterapkan adalah sistem penyiraman otomatis berbasis IoT.

Sektor pertanian secara global menggunakan sekitar 70% dari total air tawar yang tersedia (Harahap et al., 2024). Oleh karena itu, penerapan teknologi IoT dalam pertanian dapat menjadi solusi dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui sistem irigasi cerdas, pemantauan kelembapan tanah, dan pengawasan secara *real-time*. Penerapan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT terbukti dapat meningkatkan hasil panen cabai hingga 21% dibandingkan sebelum penggunaan sistem otomatis (Saputro et al., 2023).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi logika fuzzy dan IoT dalam sistem penyiraman otomatis mampu meningkatkan efisiensi air dan menjaga kondisi tanaman tetap optimal. (Aulia Riantizal et al., 2023) mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dan aplikasi Blynk yang dapat melakukan pengendalian serta pemantauan penyiraman secara *real-time*, sehingga mempermudah pengelolaan air tanpa intervensi manual.

Logika fuzzy merupakan metode pengambilan keputusan berdasarkan nilai kebenaran yang bersifat tidak tegas (*non-biner*), diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk menangani ketidakpastian dan variasi data dari sensor. Dalam konteks sistem penyiraman otomatis, logika fuzzy mampu menentukan durasi penyiraman berdasarkan kategori linguistik seperti “kering”, “lembap”, atau “basah”, bukan sekadar kondisi biner. Proses logika fuzzy terdiri dari tiga tahap utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi, untuk mengubah data sensor menjadi keputusan yang digunakan dalam pengendalian aktuator seperti pompa air (Hoque et al., 2024).

Penerapan IoT dan logika fuzzy dalam sistem penyiraman otomatis telah menunjukkan tingkat akurasi hingga 91,6% (Muttaqi et al., 2024). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem penyiraman otomatis tanaman cabai berbasis ESP32 dengan metode logika fuzzy, menggunakan sensor suhu DHT11 dan sensor kelembapan tanah. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi tingkat kekeringan tanah dan secara otomatis melakukan penyiraman, dengan kontrol yang dapat diakses melalui aplikasi *smartphone*.

Penelitian ini diharapkan dapat membantu petani dan masyarakat dalam mengatasi masalah kekeringan pada musim kemarau serta meningkatkan efisiensi penggunaan air. Selain itu, beberapa penelitian terkini juga menunjukkan bahwa integrasi IoT dan logika fuzzy dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30% serta menjaga kestabilan kondisi optimal tanaman. Hasil penelitian (Musyaffa et al., 2023) juga menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan volume dan durasi penyiraman berdasarkan kelembapan tanah, misalnya ketika sensor mendeteksi kelembapan 0%, pompa menyala selama 2 menit dan meningkatkan kelembapan hingga 92%. Hal ini membuktikan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis IoT dan logika fuzzy dapat bekerja secara adaptif, efisien, dan berkelanjutan dalam mendukung pertanian modern.

Perancangan sistem penyiraman tanaman cerdas membutuhkan kerangka teori yang mengintegrasikan kemampuan pemantauan *real-time* dan pengambilan keputusan adaptif. Implementasi Internet of Things (IoT) menjadi dasar utama untuk memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem jarak jauh melalui jaringan internet (Aisyah et al., 2024). Sementara itu, untuk mencapai efisiensi dan adaptivitas yang tinggi dalam menjaga kelembapan tanah sesuai kebutuhan spesifik tanaman cabai, digunakanlah pendekatan Logika Fuzzy. Metode ini memungkinkan sistem untuk memproses input yang tidak pasti, seperti fluktuasi suhu dan kelembapan, untuk menghasilkan output penyiraman yang fleksibel (Hendri et al., 2023). Kombinasi antara teknologi IoT yang

terhubung dengan Logika Fuzzy terbukti efektif dalam menghasilkan sistem irigasi cerdas yang optimal untuk budidaya cabai (Wahjuni et al., 2022).

1.a. Internet of Things (IoT)

Sistem Internet of Things (IoT) menjadi tulang punggung dalam otomatisasi pertanian modern, memungkinkan perangkat fisik seperti sensor dan aktuator terhubung ke jaringan untuk pertukaran data tanpa intervensi manusia (Dwianti Westari & Syaeful Ilman, 2024). Pemanfaatan IoT ini memungkinkan pengguna memantau kondisi lingkungan secara real-time, termasuk kelembaban tanah dan suhu udara, serta mengendalikan penyiraman dari jarak jauh untuk mencapai efisiensi (Amelia et al., 2024). Perancangan sistem smart agriculture berbasis IoT, seperti yang diterapkan pada greenhouse atau pada pemantauan pH tanah dan kelembaban, telah terbukti berhasil meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya (Mujahid et al., 2023).

1.b. NodeMCU ESP32 DevKit V1

Perancangan sistem penyiraman otomatis cerdas berpusat pada penggunaan NodeMCU ESP32 sebagai pengendali utama. Mikrokontroler ini dipilih karena konektivitas Wi-Fi terintegrasinya, yang berfungsi mengolah data masukan dari sensor suhu dan kelembaban (DHT11 dan Moisture Sensor), sekaligus menjadi jembatan untuk koneksi Internet of Things (IoT) (Dwianti Westari & Syaeful Ilman, 2024). Pengolahan data sensor tersebut kemudian diserahkan kepada metode logika fuzzy, yang berperan penting dalam menentukan durasi penyiraman secara adaptif dan fleksibel, sesuai dengan kondisi kelembaban tanah yang bervariasi (Hendri et al., 2023). Integrasi kemampuan kontrol ESP32 dengan kecerdasan Logika Fuzzy terbukti menghasilkan sistem yang efisien. Selanjutnya, data hasil olahan ini dikirimkan ke cloud dan diakses melalui platform Blynk, yang memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi dan mengendalikan sistem penyiraman dari jarak jauh secara real-time.

1.c. Sensor DHT11 dan Sensor Kelembapan Tanah

Akurasi data masukan menjadi krusial dalam sistem penyiraman otomatis untuk menjamin efisiensi irigasi. Peran sensor DHT11 (untuk suhu udara) dan sensor kelembapan tanah (untuk kadar air) sangat vital, karena data dari keduanya menjadi penentu utama kebutuhan penyiraman (Dwianti Westari & Syaeful Ilman, 2024). Namun, keterbatasan sensor seperti DHT11 memerlukan perhatian; oleh karena itu, studi tentang pengujian akurasi dan error pembacaan sensor menjadi penting (Huda & Syahputra, 2024). Beberapa penelitian bahkan menyarankan peningkatan akurasi DHT11 melalui metode kalibrasi berbasis IoT untuk memastikan sistem dapat mengatur penyiraman dengan presisi (Tiyas et al., 2025).

1.d. Water Pump

Pompa air berfungsi sebagai aktuator krusial yang mengimplementasikan perintah penyiraman dengan mengalirkan air ke tanaman (Dwianti Westari & Syaeful Ilman, 2024). Pengaktifan pompa ini merupakan tindak lanjut dari keputusan yang dihasilkan oleh Logika Fuzzy, yang secara adaptif menilai kondisi suhu dan kelembaban tanah (Sugandi & Armentaria, 2021). Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang menerima output dari Logika Fuzzy dan mengirimkan sinyal perintah kepada pompa air untuk eksekusi penyiraman. Untuk meningkatkan fleksibilitas operasional, sistem modern juga mengintegrasikan kontrol manual, memungkinkan pengguna mengendalikan pompa air langsung dari jarak jauh melalui aplikasi Blynk, menjamin kontrol real-time dan kemampuan penjadwalan (Hasanah et al., 2025).

1.e. Metode Logika Fuzzy Mamdani

Untuk menangani ketidakpastian data sensor dan membuat keputusan penyiraman yang adaptif, penelitian ini mengimplementasikan Logika Fuzzy, yang menggunakan derajat keanggotaan untuk merepresentasikan nilai di antara kategori biner. Metode yang digunakan adalah Fuzzy Mamdani, yang secara luas diterapkan pada sistem kendali otomatis karena kemampuannya menghasilkan keputusan yang lebih realistis dan menyerupai logika manusia (Muttaqi et al., 2024). Proses Mamdani melibatkan tiga tahapan utama: Fuzzifikasi, Inferensi, dan Defuzzifikasi, yang mengubah input sensor menjadi durasi penyiraman pompa air (Wahjuni et al., 2022).

1.f. Arduino IDE

Arduino IDE merupakan platform pemrograman utama yang digunakan untuk mengimplementasikan source code pada mikrokontroler ESP32, menjadikannya alat esensial untuk mengintegrasikan seluruh fungsionalitas sistem. Melalui lingkungan software ini, program ditulis untuk mengintegrasikan pembacaan sensor (DHT11 dan kelembapan tanah) dan mengimplementasikan algoritma kompleks seperti Logika Fuzzy yang menjadi dasar keputusan penyiraman (Sugandi & Armentaria, 2021). Program yang diunggah dari Arduino IDE juga bertanggung jawab atas komunikasi real-time data sensor ke platform Blynk serta pengendalian pompa air, memastikan seluruh sistem IoT berfungsi secara terpadu (Dwianti Westari & Syaeful Ilman, 2024).

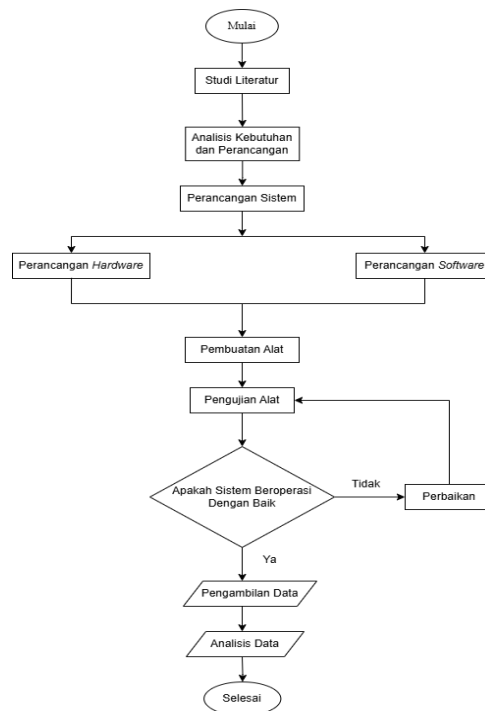
1.g. Blynk

Blynk berfungsi sebagai antarmuka cloud yang esensial dalam sistem penyiraman otomatis, menyediakan kanal komunikasi dua arah antara pengguna dan system (Dwianti Westari & Syaeful Ilman, 2024). Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk memantau data sensor lingkungan, seperti suhu dan kelembapan tanah, secara real-time, yang merupakan fitur kunci dalam pertanian cerdas (Wathan et al., 2025). Integrasi yang kuat antara Blynk dan mikrokontroler ESP32 memperkuat kemampuan sistem dalam memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan. Selain pemantauan otomatis, Blynk juga memberikan fleksibilitas kendali dengan memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan atau menjadwalkan pompa air (water pump) secara manual melalui smartphone, sebuah fitur yang meningkatkan efisiensi operasional dan kontrol pengguna.

METODE PENELITIAN

2.a. Diagram Alir Penelitian

Diagram penelitian menggambarkan alur tahapan yang dilakukan dalam perancangan dan pengujian sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT dan logika fuzzy. Proses penelitian dimulai dari studi literatur dan identifikasi masalah yang berkaitan dengan efisiensi penyiraman tanaman cabai. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sistem yang meliputi pemilihan komponen seperti ESP32, sensor DHT11, sensor kelembapan tanah, pompa air, LCD, dan integrasi dengan aplikasi Blynk. Alur lengkap tahapan penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

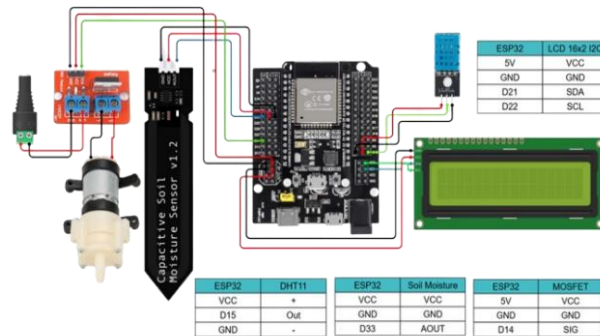
Gambar 1 Diagram alur penelitian sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dan logika fuzzy yang menunjukkan urutan tahapan mulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, hingga pengujian dan evaluasi kinerja alat.

2.b. Perancangan Sistem

Perancangan sistem monitoring dan kontroling prototype penyiraman tanaman otomatis ini dibagi menjadi dua fokus utama yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*) berbasis logika kendali. Bagian *hardware* berpusat pada penggunaan mikrokontroler NodeMCU ESP32 sebagai pengendali utama dan modul komunikasi IoT, menerima masukan dari sensor kelembapan tanah (*Capacitive Soil Moisture Sensor*) dan sensor lingkungan (DHT11) untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Data ini kemudian diolah untuk mengaktifkan aktuator berupa pompa air DC 12V melalui modul *driver*. Sementara itu, perancangan *software* melibatkan implementasi logika *fuzzy* mamdani dalam Arduino IDE, yang berfungsi untuk memetakan kombinasi nilai Kelembapan Tanah dan Suhu Udara menjadi keputusan Durasi Penyiraman yang optimal. Seluruh sistem dirancang terintegrasi dengan *platform* Blynk sebagai antarmuka *real-time* untuk memantau kondisi tanaman dan mengontrol sistem dari jarak jauh.

2.c. Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras sistem ini berpusat pada NodeMCU ESP32 sebagai *microcontroller* utama, yang berfungsi mengintegrasikan kendali sistem dengan konektivitas Wi-Fi untuk IoT. *Input* data diperoleh dari sensor kelembapan tanah *capacitive* dan sensor DHT11 (Suhu dan Kelembapan Udara). Data sensor diproses untuk mengendalikan Pompa Air DC 12V sebagai aktuator penyiraman. Seluruh komponen dirakit dan dihubungkan sesuai dengan skema yang ditunjukkan pada Gambar 2 rangkaian komponen sistem.



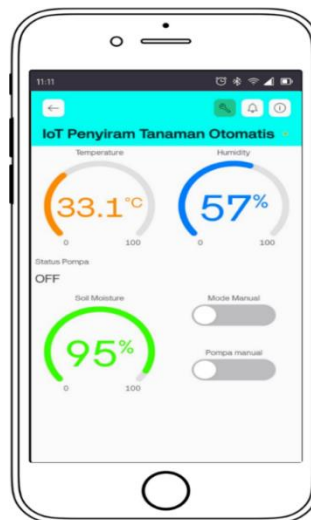
Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 2 Skema Rangkaian Komponen

Pada Gambar 2 ditunjukkan *wiring* diagram yang memperlihatkan alur koneksi antar komponen mulai dari sensor, mikrokontroler, driver, hingga aktuator dan perangkat tampilan.

2.d. Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak berfokus pada implementasi logika kendali menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Mamdani dalam Arduino IDE. Logika ini memproses *input* Kelembapan Tanah dan Suhu Udara untuk menghasilkan *output* Durasi Penyiraman yang telah melalui proses defuzzifikasi. Selain logika kendali, sistem juga dikembangkan untuk terhubung dengan *platform* IoT melalui aplikasi Blynk. Aplikasi ini menyediakan antarmuka grafis bagi pengguna untuk memantau nilai sensor, status sistem secara otomatis, serta memberikan kemampuan *kontrolling* pompa air secara manual. Desain tampilan *prototype* pada aplikasi Blynk dapat dilihat pada Gambar 3 Desain Tampilan Aplikasi Blynk.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 3 Desain Tampilan Aplikasi Blynk

Gambar 3 memperlihatkan perancangan tampilan perangkat pada aplikasi Blynk untuk pemantauan dan penyiraman dengan menambahkan *widget* seperti *gauge* untuk memantau kondisi kelembapan tanah dan suhu yang dihasilkan oleh pembacaan sensor, serta *button* untuk pengetesan pompa secara manual.

2.e. Implementasi Fuzzy Mamdani

Metode logika fuzzy Mamdani digunakan untuk menentukan durasi penyiraman secara otomatis berdasarkan nilai suhu udara dan kelembapan tanah yang dibaca oleh sensor. Sistem memiliki dua variabel input dan satu variabel output. Variabel input terdiri dari kelembapan tanah (kering, normal, basah) dan suhu udara

(dingin, sedang, panas), sedangkan variabel output berupa durasi penyiraman (mati, pendek, sedang, lama). Proses fuzzy diawali dengan fuzzifikasi, yaitu mengubah nilai input dari sensor menjadi derajat keanggotaan sesuai fungsi keanggotaan segitiga. Selanjutnya dilakukan inferensi, yaitu penerapan aturan fuzzy untuk menentukan keluaran berdasarkan kombinasi kedua input. Tabel 1 menunjukkan rule base yang digunakan dalam sistem ini.

Tabel 1 Rule Base Fuzzy

No	Kelembapan Tanah	Suhu Udara	Durasi Penyiraman
1	Kering	Panas	Lama
2	Kering	Sedang	Lama
3	Kering	Dingin	Sedang
4	Normal	Panas	Sedang
5	Normal	Sedang	Pendek
6	Normal	Dingin	Mati
7	Basah	Panas	Mati
8	Basah	Sedang	Mati
9	Basah	Dingin	Mati

Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Tabel 1 menunjukkan *rule base* sistem logika fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini. Setiap aturan ditentukan berdasarkan kombinasi antara dua variabel input, yaitu kelembapan tanah dan suhu udara, untuk menghasilkan variabel *output* berupa durasi penyiraman. Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengubah hasil inferensi fuzzy menjadi nilai tegas (*crisp output*) yang digunakan untuk mengendalikan aktuator, yaitu pompa air. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *centroid* (pusat gravitasi) karena menghasilkan keluaran yang stabil dan representatif terhadap kondisi lingkungan. Rumus defuzzifikasi dengan metode *centroid* dinyatakan sebagai berikut:

$$z = \frac{\sum(z_i \times \mu(z_i))}{\sum \mu(z_i)} \quad (1)$$

Keterangan:

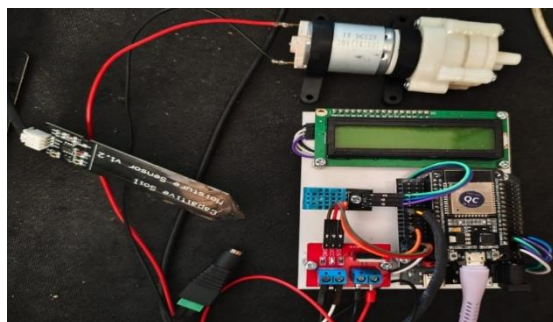
- z = nilai *output* tegas (hasil akhir defuzzifikasi)
- z_i = nilai *output* ke- i (durasi penyiraman dalam detik)
- $\mu(z_i)$ = derajat keanggotaan fuzzy pada z_i
- $\sum(z_i \times \mu(z_i))$ = total momen tiap nilai output
- $\sum \mu(z_i)$ = total derajat keanggotaan

Dengan metode ini, sistem menentukan nilai rata-rata tertimbang dari seluruh keluaran fuzzy untuk menghasilkan keputusan yang paling sesuai dengan kondisi suhu dan kelembapan tanah. Implementasi metode Mamdani dilakukan menggunakan *library* eFLL pada Arduino IDE, di mana mikrokontroler ESP32 memproses data sensor secara langsung dan mengaktifkan pompa air dengan durasi penyiraman sesuai hasil logika fuzzy.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.a. Hasil Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT ini melibatkan integrasi antara NodeMCU ESP32, sensor, aktuator, dan media tampilan. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang memproses data sensor dan mengatur kerja pompa air secara otomatis melalui koneksi Wi-Fi dengan aplikasi Blynk, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 dibawah ini.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 4 Instrumentasi Prototype

Setelah dilakukan perancangan instrumentasi pada Gambar 4 merupakan tampilan akhir sistem penyiram tanaman otomatis yang telah digabungkan dari beberapa komponen. Implementasi ini bertujuan untuk menguji respon sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan tanaman cabai, sekaligus memastikan logika fuzzy yang diterapkan mampu mengatur durasi penyiraman sesuai kebutuhan tanaman, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



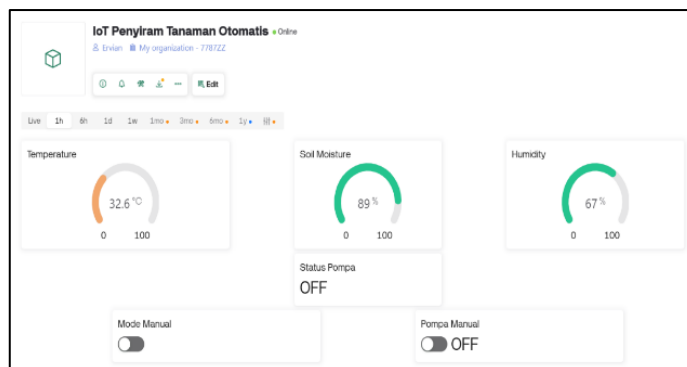
Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 5 Implementasi Prototype Pada Tanaman

Pada Gambar 5 Implementasi sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis logika fuzzy pada tanaman cabai rawit, menunjukkan pemasangan sensor kelembapan tanah di dekat zona akar, sensor DHT11 pada posisi terlindung, serta pompa air dan rangkaian kontrol berbasis ESP32 yang terhubung ke aplikasi Blynk.

3.b. Hasil Perancangan Software

Pada proses pembuatan antarmuka, pengguna menambahkan dan mengatur berbagai widget seperti tombol dan *gauge* melalui situs Blynk.cloud maupun aplikasi Blynk di *smartphone*. Tampilan serta penataan *widget* dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem, dan setiap widget dihubungkan dengan datastream yang telah dibuat. Hal ini memungkinkan pengguna untuk memonitor data sensor secara langsung atau mengontrol perangkat fisik secara *real-time* melalui antarmuka yang tersedia baik di website maupun aplikasi Blynk. Hasil rancangan desain *interface* pengguna tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 6 Widget Interface Blynk

Pada Gambar 6 menunjukkan tampilan *dashboard* website aplikasi Blynk yang berfungsi sebagai antarmuka monitoring dan kontrol pada sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT. Pada bagian bawah terdapat dua kontrol tambahan, yaitu Mode Manual dan Pompa Manual, yang dapat digunakan untuk mengaktifkan pompa secara manual apabila diperlukan. Melalui tampilan ini, sistem dapat menyajikan data sensor secara *real-time* sekaligus memberikan fleksibilitas dalam pemilihan mode operasi prototype penyiram tanaman. Kemudian untuk tampilan aplikasi Blynk di *smartphone* dapat dilihat pada Gambar 7.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar 7 Aplikasi Blynk di Smartphone

Pada Gambar 7 adalah antarmuka aplikasi Blynk di *smartphone* pada sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT. Dari tampilan tersebut terlihat bahwa suhu udara berada pada nilai 33,3 °C, kelembapan udara sebesar 57%, dan kelembapan tanah mencapai 95%. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanah berada dalam keadaan sangat lembap sehingga pompa berada pada status OFF karena penyiraman tidak diperlukan.

3.c. Pengujian Sensor DHT11 dengan Thermometer

Pengujian sensor suhu DHT11 dilakukan sebanyak sepuluh kali. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi akurasi pembacaan sensor dengan membandingkannya dengan alat ukur *thermometer*. Data hasil dari pengujian sensor DHT11 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian DHT11 dengan *Thermometer*

No	Sensor DHT11	Thermometer	Selisih (°C)
1	33.1	33.0	0.1
2	34.5	34.0	0.5
3	32.9	32.5	0.4
4	33.1	33.1	0
5	33.3	32.1	1.2
6	33.0	31.6	1.4
7	33.2	32.0	1.2
8	33.4	32.0	1.4
9	30.4	29.1	1.3
10	30.5	30.4	0.1
Rata-rata selisih (%)			0.76

Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Hasil pembacaan data pertama Tabel 2 yang diambil dengan menggunakan sensor suhu udara DHT11 dan data suhu oleh *thermometer*. Selanjutnya data akan dihitung presentase selisih dan nilai rata-rata selisih. Berikut perhitungan rata-rata selisih dari tabel pengujian sensor suhu DHT11 dengan *thermometer* diatas.

$$\text{Rata-rata selisih} = \frac{7.6}{10} = 0,76 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Hasil rata-rata selisih pembacaan suhu udara oleh sensor DHT11 dan *thermometer* menunjukkan nilai selisih sebesar 0,76 °C. Menurut (Feresu et al., 2022), sensor DHT11 memiliki toleransi kesalahan pengukuran suhu sebesar ±2 °C dan kelembapan sebesar ±5% RH. Dengan demikian, nilai selisih sebesar 0,76 °C masih tergolong wajar dan dapat diterima, karena masih berada di sekitar batas toleransi pabrikan serta dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu ruangan dan waktu respon sensor.

3.d. Pengujian Sensor Kelembapan Tanah dengan Hygrometer

Sensor kelembapan tanah diuji sebanyak sepuluh kali. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi akurasi pembacaan sensor dengan membandingkannya dengan alat ukur kelembapan tanah *hygrometer*. Data hasil dari pengujian sensor kelembapan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengujian Sensor Kelembapan Tanah dengan *Hygrometer*

No	Sensor kelembapan Tanah	Hygrometer	Error (%)
1	32	30	6.67
2	33	32	3.13
3	35	34	2.94
4	43	45	4.44
5	39	37	5.41
6	45	43	4.65
7	44	42	4.76
8	34	32	6.25
9	30	29	3.45
10	26	25	4
Rata-rata Error (%)			4.57

Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Tabel 3 merupakan hasil data yang diambil dengan menggunakan sensor kelembapan tanah dan data kelembapan tanah oleh *Hygrometer*. Selanjutnya data akan dihitung presentase *error* dan nilai rata-rata *error*.

$$\text{Rata-rata error} = \frac{45.70}{10} = 4.57\% \tag{3}$$

Hasil rata-rata selisih pembacaan sensor kelembapan tanah dan *hygrometer* menunjukkan nilai *error* sebesar 4,57% pada Tabel 3 Pengujian Sensor Kelembapan Tanah dan Data Kelembapan Tanah oleh *Hygrometer*. Menurut (Al-Rawi, 2024) dalam penelitiannya *Low-Cost Soil Moisture Sensors’ Assessment for Their Accuracy After Calibration through the Gravimetric Method*, sensor kelembapan tanah kapasitif memiliki tingkat kesalahan pengukuran antara 4,76% hingga 7,36% setelah proses kalibrasi. Dengan demikian, nilai *error* sebesar 4,57% pada hasil pengujian ini masih berada dalam batas toleransi yang wajar, sehingga sensor kelembapan tanah yang digunakan dapat dikatakan berfungsi dengan baik dan cukup akurat untuk prototype sistem penyiraman otomatis berbasis IoT.

3.e. Pengujian Fuzzy Mamdani

Untuk menguji tingkat keakuratan sistem, output yang dihasilkan dibandingkan dengan hasil simulasi pada MATLAB. Pengujian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem fuzzy Mamdani yang dikembangkan mampu menentukan nilai output berdasarkan dua parameter input, yaitu suhu (°C) dan kelembapan tanah (%). Nilai keluaran dari sistem kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan yang diperoleh melalui MATLAB. Hasil perbandingan pengujian sistem dengan simulasi MATLAB ditunjukkan pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4 Pengujian Mikrokontroler dengan Matlab

No	Input		Output (detik)		Error (%)
	Kelembapan	Suhu	ESP32	Matlab	
1	7	32.9	6.8	7.5	9.3
2	14	32.8	6.8	7.5	9.3
3	40	31.5	3.9	4	2.5
4	32	30.4	3.6	4	10
5	64	30.3	3.3	3.85	14.3
6	25	30.2	7	7.5	6.7
7	63	30.8	3.1	3.9	20.5
8	39	30.8	3.5	4	12.5
9	64	30.9	3.5	3.85	9.1
10	63	31	3.5	3.9	10.3
Rata-rata Error (%)					10.5

Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Rata-rata *error* dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai *error*, kemudian membaginya dengan jumlah keseluruhan pengujian, sehingga diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Rata-rata error} = \frac{104.5}{10} = 10.5\% \tag{4}$$

Berdasarkan perhitungan *fuzzy logic* menggunakan NodeMCU ESP32 dan Matlab, diperoleh rata-rata nilai *error* sebesar 10.5%.

KESIMPULAN

Penelitian ini sukses dalam merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem penyiraman otomatis untuk tanaman cabai, yang mengaplikasikan metode *fuzzy mamdani* berbasis *internet of things* (IoT), memungkinkan fungsi monitoring dan kontroling jarak jauh yang efektif. Keberhasilan ini didukung oleh serangkaian pengujian yang menunjukkan kinerja sensor yang memadai, di mana pengujian sensor DHT11 untuk suhu udara menghasilkan rata-rata selisih pembacaan sebesar 0,76% dibandingkan dengan termometer acuan, sementara pengujian sensor kelembapan tanah menunjukkan nilai *error* rata-rata sebesar 4,57% saat dibandingkan dengan *higrometer*, meskipun perhitungan *fuzzy logic* antara *mikrokontroler* dan MATLAB mencatat rata-rata nilai *error* sebesar 10,5%. Lebih lanjut, mekanisme IoT yang dirancang, yang melibatkan sensor kelembapan tanah dan suhu/kelembapan udara (DHT11), terbukti sinkron dan berjalan dengan baik; hal ini ditunjukkan oleh kesamaan data yang ditampilkan pada LCD dan aplikasi Blynk, mengonfirmasi bahwa proses pengiriman data melalui jaringan IoT berfungsi optimal antara perangkat keras dan perangkat lunak. Verifikasi fungsionalitas sistem melalui Pengujian Black Box juga memberikan hasil positif, menunjukkan bahwa semua fungsi utama, mulai dari koneksi ke server, pembacaan nilai sensor, penampilan data pada antarmuka aplikasi, hingga pengendalian pompa air dalam mode otomatis dan manual, beroperasi sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan. Meskipun demikian, sistem penyiraman otomatis ini masih memiliki keterbatasan karena hanya mengandalkan dua parameter input (suhu dan kelembapan) yang dibaca oleh sensor pada NodeMCU ESP32. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan pengembangan lebih lanjut agar hasil penyiraman dapat menjadi lebih optimal dan adaptif, yaitu dengan menambahkan variabel input lain yang lebih komprehensif, seperti kondisi cuaca, intensitas cahaya matahari, dan faktor lingkungan kritis lainnya. Selain penambahan variabel input, diperlukan pula penambahan modul RTC (*Real-Time Clock*) DS3231; modul ini akan memungkinkan sistem untuk mengatur dan menjalankan proses penyiraman secara otomatis pada waktu yang spesifik dan tepat, sehingga modul MOSFET dapat menerima sinyal untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air dengan tingkat akurasi waktu yang jauh lebih tinggi.

REFERENSI

- Aisyah, S., Nasution, M. I., & Nasution, N. (2024). Design and Construction of an Automatic Chili Plants Watering System Based on the Internet of Things (IoT) Using the Blynk App . *Jurnal Pijar Mipa*, 19(3 SE-Articles), 540–546. <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i3.6772>
- Al-Rawi, M. A. M. (2024). Low-Cost Soil Moisture Sensors' Assessment for Their Accuracy After Calibration Through the Gravimetric Method. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 56(1), 353–369. <https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.32>
- Amelia, D. N., Rahman, K. G., Tandra, A. I. D., & Amrozi, Y. (2024). Model IoT Perancangan Alat Penyiraman Tanaman Otomatis Pada Instalasi Greenhouse. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis (JUNSIBI)*, 5(1 SE-Articles), 1–8. <https://doi.org/10.55122/junsibi.v5i1.1025>
- Aulia Riantizal, D., Lhaura Van, L. F., Yunefri, Y., Ersan Fadrial, Y., Kuning, L., & Yos Sudarso, J. K. (2023). Alat Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Iot Menggunakan metode Fuzzy Logic. *Semaster*, 228(1), 228–237.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Blora. (2024). Badan Pusat Statistik Kabupaten Blora. In *Badan Pusat Statistik KabupatebnBlora* (Vol. 11, Issue 1). Badan Pusat Statistik Kabupaten Blora.
- Dwianti Westari, & Syaeful Ilman. (2024). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32, Moisture Sensor, DHT22 Sensor dan Blynk. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 3(4 SE-Articles), 314–321. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i4.4941>
- Feresu, Mashonjowa, E., & Matandirotya, E. (2022). Journal of Electrical Engineering and Electronic Technology DHT11 Based Temperature and Humidity Measuring System. *J Electr Eng Electron Technol*, 2022, 5. <https://doi.org/10.4172/jeeet.1000902.Materials>
- Haqi, M., Abidin, F., Farida, I. N., & Rochana, S. (2024). *Alat Penyiraman Cabai Otomatis Berbasis ESP8266 Dengan Metode Fuzzy Logic*. 8, 1308–1315.
- Harahap, A. A., Siahaan, H. M., Nurul, D., & Aulia, R. (2024). *Krisis Air di Spanyol: Kekeringan, Penurunan Cadangan Air, dan Dampaknya Terhadap Masyarakat dan Ekonomi*. 04(02), 160–165.
- Hasanah, A. P., Sarif, M. I., & Hafni, H. (2025). Perancangan Sistem Monitoring Level Air Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis IoT Dengan Aplikasi Blynk. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(2 SE-Articles). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i2.6485>
- Hendri, M., Sucipto, S., & Insani, R. W. S. (2023). Sistem Penyiraman Otomatis Pada Tanaman Cabai Rawit Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno. *JUTECH: Journal Education and Technology*, 4(1), 49–60. <https://doi.org/10.31932/jutech.v4i1.2109>
- Hoque, M. J., Islam, M. S., & Khaliluzzaman, M. (2024). *A Fuzzy Logic- and Internet of Things-Based Smart Irrigation System*. November, 93. <https://doi.org/10.3390/ecsa-10-16243>

- Lestari, P., Tasmi, & Antony, F. (2023). Sistem Penyiraman Budidaya Tanaman Cabai Berdasarkan Pengukuran Suhu Dan Kelembaban Tanah. *Journal of Intelligent Networks and IoT Global*, 1(1), 20–32. <https://doi.org/10.36982/jinig.v1i1.3080>
- Mujahid, A., Jannah, M., Salahuddin, & Taufiq. (2023). Penyiram Tanaman Otomatis menggunakan Sensor pH Tanah dan Sensor Kelembaban Tanah untuk Tanaman Tomat Berbasis IoT. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 9(2), 1–5. <https://doi.org/10.19184/jaei.v9i2.32623>
- Musyaffa, N., Rifai, B., Sastra, R., & Yuniarto, E. (2023). Smart Plant Monitoring System Kelembaban Tanah Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Tumbuhan Cabai Berbasis IoT. *Jurnal Khatulistiwa Informatika*, 11(1), 35–42. <https://doi.org/10.31294/jki.v11i1.16114>
- Muttaqi, B., Ningsih, P. W., Informatika, T., Komputer, F. I., Duta, U., Surakarta, B., Informasi, S., Komputer, F. I., Duta, U., & Surakarta, B. (2024). Penerapan Logika Fuzzy Mamdani dalam Sistem Penyiraman Cerdas untuk Pertanian. 8(2), 111–120.
- Permatasari, I., Nurfajri Arofah, N., & Titan Syifa, F. (2023). Penyiraman Tanaman Otomatis pada Tanaman Cabai Rawit dengan Metode Simple Additive Weighting. *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 9(2), 116–129. <https://doi.org/10.30738/st.vol9.no2.a15217>
- Saputro, U. A., Agusta, R., Wicaksono, A. B., Salsabila, R. N., Studi, P., Universitas, I., Yogyakarta, A., Ilmu, P. S., Universitas, K., & Yogyakarta, A. (2023). Program Studi Informatika Universitas Amikom Yogyakarta , 2 Program Studi Ilmu. 10, 2505–2513.
- Sugandi, B., & Armentaria, J. (2021). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 5(1 SE-Manuscripts), 5–8. <https://doi.org/10.30871/jaece.v5i1.2991>
- Tiyas, A. W., Erwanto, D., & Yanuartanti, I. (2025). Peningkatan Akurasi Sensor Suhu dan Kelembaban DHT11 dengan Kalibrasi Suhu Berbasis IoT pada Platform Thingspeak . *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 5(3 SE-), 625–633. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.709>
- Wahjuni, S., Wulandari, W., & Kholili, M. (2022). Development of Fuzzy-Based Smart Drip Irrigation System for Chili Cultivation. *JUITA: Jurnal Informatika*, 10(1 SE-Articles), 115–125. <https://doi.org/10.30595/juita.v10i1.12998>
- Wathan, M. H., Irawan, I., Swengky, B., & Cahyadi, I. (2025). InfusCare: Smart Infusion Monitoring System with Real-Time Notifications via ESP32 and Blynk. *Jurnal Pengembangan Sistem Informasi Dan Informatika*, 6(3 SE-), 100–108. <https://doi.org/10.47747/jpsii.v6i3.2759>