

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v10i2.3687>

Sistem Penyiraman Pintar dan Monitoring Tanaman Sawi Otomatis Berbasis Esp 32 dan Sensor Kelembapan Tanah Menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*

Rizky Pamungkas^{1*}, Aulia Ullah¹, Ahmad Faizal¹, Hilman Zarory¹

¹Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Jl. HR. Soebrantas No. 155 Panam, Pekanbaru, 28293.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: rizkypamungkas1990@gmail.com

Abstract - Agriculture is an important sector in the Indonesian economy, with vegetables such as mustard greens (*Brassica juncea*) that have high economic value and are important for the healthy diet of the community. One of the main challenges in mustard cultivation is the optimal management of soil moisture, as unstable moisture levels can affect the quality and quantity of the harvest. This research aims to design and implement an automatic irrigation system based on Internet of Things (IoT) technology using the ESP32 microcontroller and soil moisture sensors, as well as applying *Mamdani Fuzzy* logic to manage irrigation adaptively. This system is capable of increasing water usage efficiency by up to 50% by maintaining soil moisture at optimal levels, which positively impacts the growth of mustard plants. In addition, this system allows for remote monitoring through an IoT application, making it easier for farmers to manage irrigation more efficiently. The research results show that the implementation of this automated system not only reduces dependence on manual labor but also ensures more efficient water usage, thereby providing an innovative solution for irrigation efficiency in the agricultural sector.

Abstract - Pertanian merupakan sektor penting dalam perekonomian Indonesia, dengan sayuran seperti sawi (*Brassica juncea*) yang memiliki nilai ekonomis tinggi serta penting bagi pola makan sehat masyarakat. Salah satu tantangan utama dalam budidaya sawi adalah pengelolaan kelembapan tanah yang optimal, karena kelembapan yang tidak stabil dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas hasil panen. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem penyiraman otomatis berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor kelembapan tanah, serta mengaplikasikan logika *Fuzzy Mamdani* untuk mengelola irigasi secara adaptif. Sistem ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 50% dengan menjaga kelembapan tanah pada level optimal, yang berdampak positif pada pertumbuhan tanaman sawi. Selain itu, sistem ini memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi IoT, yang mempermudah petani dalam mengelola irigasi secara lebih efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem otomatis ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, tetapi juga memastikan penggunaan air yang lebih efisien, sehingga memberikan solusi inovatif bagi efisiensi irigasi di sektor pertanian.

Keywords - ESP32, Mamdani Fuzzy, Smart Irrigation System, Soil Moisture.

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor penting dalam perekonomian dan ketahanan pangan di Indonesia. Indonesia sebagai negara agraris, memiliki lahan pertanian yang luas dan beragam komoditas tanaman yang mendukung kebutuhan

pangan nasional serta memberikan mata pencaharian bagi jutaan petani [1]. Salah satu komoditas penting adalah sayuran, termasuk sawi (*Brassica juncea*), yang banyak dibudidayakan di berbagai daerah di Indonesia. Selain nilai ekonomisnya, sawi juga menjadi komponen penting dalam diet sehat

masyarakat Indonesia karena kandungan nutrisi seperti vitamin, mineral dan serat yang tinggi [2][3].

Budidaya sawi menghadapi tantangan besar, terutama terkait kondisi lingkungan yang optimal. Salah satu faktor kunci yang mempengaruhi pertumbuhan dan hasil panen sawi adalah kelembapan tanah. Kelembapan tanah yang tidak terjaga dengan baik dapat menyebabkan penurunan kualitas dan kuantitas hasil panen yang pada akhirnya berdampak pada pendapatan petani [4]. Data menunjukkan bahwa ketidakmampuan untuk menjaga kelembapan tanah pada level yang optimal dapat mengurangi hasil panen hingga 30% [5].

Perkembangan teknologi telah memfasilitasi penerapan otomatisasi dan *Internet of Things* (IoT) dalam berbagai sektor, termasuk pertanian. Sistem otomasi pertanian saat ini memungkinkan pemantauan dan pengelolaan irigasi secara lebih efisien, baik melalui sensor kelembapan tanah maupun *platform* IoT yang terhubung. Dengan teknologi ini, para petani dapat meningkatkan produktivitas sambil menghemat sumber daya seperti air dan tenaga kerja. Salah satu inovasi terkini dalam pertanian adalah sistem penyiraman otomatis yang dapat menyesuaikan frekuensi dan volume air berdasarkan kondisi tanah secara *real-time* [6].

Penyiraman manual menimbulkan berbagai tantangan, terutama dalam hal menjaga konsistensi pemberian air pada tanaman. Pada musim kemarau, petani harus menghabiskan lebih banyak waktu untuk menyiram, sedangkan pada musim hujan sering kali terjadi penyiraman berlebihan. Ketidakseimbangan ini berdampak signifikan pada pertumbuhan tanaman, khususnya sayuran seperti sawi, yang membutuhkan kelembapan tanah yang optimal. Kelebihan air dapat menyebabkan pembusukan akar, sementara kekurangan air akan menghambat pertumbuhan tanaman yang pada akhirnya menyebabkan kerugian ekonomi bagi petani [7].

Dalam mengatasi inefisiensi yang disebabkan oleh penyiraman manual, diperlukan sistem penyiraman otomatis yang dapat memantau kondisi tanah secara *real-time* dan memberikan air sesuai dengan kebutuhan tanaman. Tanaman sawi membutuhkan kelembapan tanah yang stabil untuk mencapai pertumbuhan optimal. Dengan menggunakan sensor kelembapan tanah yang terhubung dengan *platform IoT*, sistem ini tidak hanya mengurangi tenaga kerja manual tetapi juga memastikan penggunaan air yang

lebih efisien. Sistem otomatis ini memungkinkan petani untuk mengatur frekuensi dan durasi penyiraman berdasarkan data yang dihasilkan oleh sensor, sehingga memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat pada waktu yang tepat [8].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani* dalam mengatur frekuensi dan durasi penyiraman tanaman sawi secara adaptif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan sistem otomatis terhadap kelembapan tanah dan pertumbuhan tanaman sawi, sekaligus mengevaluasi efisiensi penggunaan air dibandingkan dengan metode penyiraman manual. Selain itu, penelitian ini secara tidak langsung bertujuan memberikan solusi terhadap tantangan lingkungan dalam budidaya sawi, khususnya dalam pengelolaan kelembapan tanah, guna meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen. Dengan mengoptimalkan teknologi *IoT*, penelitian ini juga bertujuan untuk mendukung produktivitas pertanian yang berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual [9].

Beberapa studi telah mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis *IoT* dan logika *Fuzzy*. Penelitian oleh Nasron [10], merancang sistem kontrol kelembapan tanah dan suhu menggunakan logika *Fuzzy*. Data dari sensor kelembapan tanah dan suhu diproses dengan algoritma *Fuzzy* untuk menentukan kebutuhan penyiraman yang tepat, dan hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini mampu menjaga kelembapan tanah pada level optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Penelitian lainnya oleh Rahmatullah [11], mengembangkan alat otomatis untuk perawatan dan pemberian nutrisi pada tanaman pakcoy hidroponik berbasis Blynk IoT menggunakan kontrol *Fuzzy*. Sistem ini dirancang untuk memantau kondisi tanah secara terus menerus dan terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 40%.

Metode *Fuzzy Mamdani* digunakan dalam sistem penyiraman otomatis untuk mengambil keputusan yang fleksibel dan adaptif. Sistem ini bekerja dengan menerima input dari sensor kelembapan tanah dan suhu udara [12]. Berdasarkan data tersebut, *Fuzzy logic* menerapkan aturan yang telah ditentukan untuk menentukan durasi dan frekuensi penyiraman, misalnya jika kelembapan tanah rendah, sistem akan meningkatkan frekuensi penyiraman, sedangkan jika kelembapan mendekati batas optimal, durasi

penyiraman akan dikurangi. Pendekatan ini lebih efisien dibandingkan dengan sistem logika biner (*on/off*), karena memungkinkan sistem untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang dinamis [13].

METODE

Penelitian ini menggunakan *Fuzzy Inference System* dengan Pendekatan *Mamdani*, pengujian akan dilakukan dengan cara membandingkan sistem yang diterapkan pada tanaman sawi dengan tanaman sawi yang tidak menggunakan sistem tersebut. Data yang dimasukkan dalam metode penelitian juga didasarkan pada hasil dari proses identifikasi kebutuhan yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini.

Tahapan Penelitian

Gambar 1 adalah rincian rencana tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian.

Perencanaan

Tahap pertama adalah perencanaan yang melibatkan studi literatur untuk merumuskan masalah dan

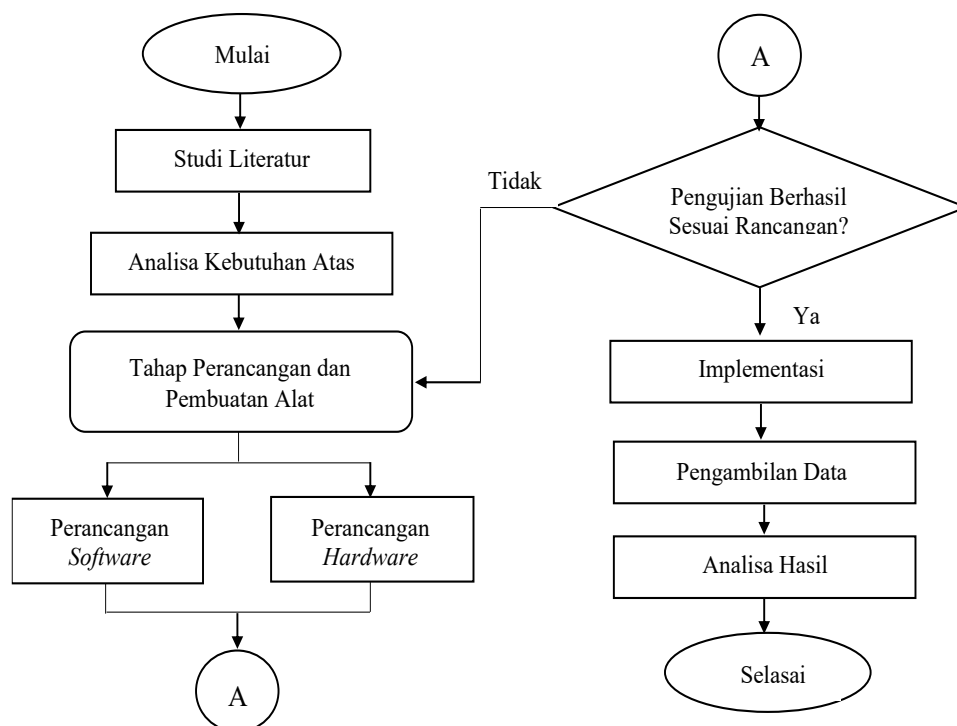
tujuan penelitian. Perencanaan ini juga mencakup analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengembangkan sistem yang sesuai. Evaluasi terhadap metode kontrol lain seperti PID juga dilakukan untuk mendukung pemilihan metode *Fuzzy Mamdani* yang lebih adaptif dalam menangani kondisi dinamis pada pertanian.

Perancangan Sistem

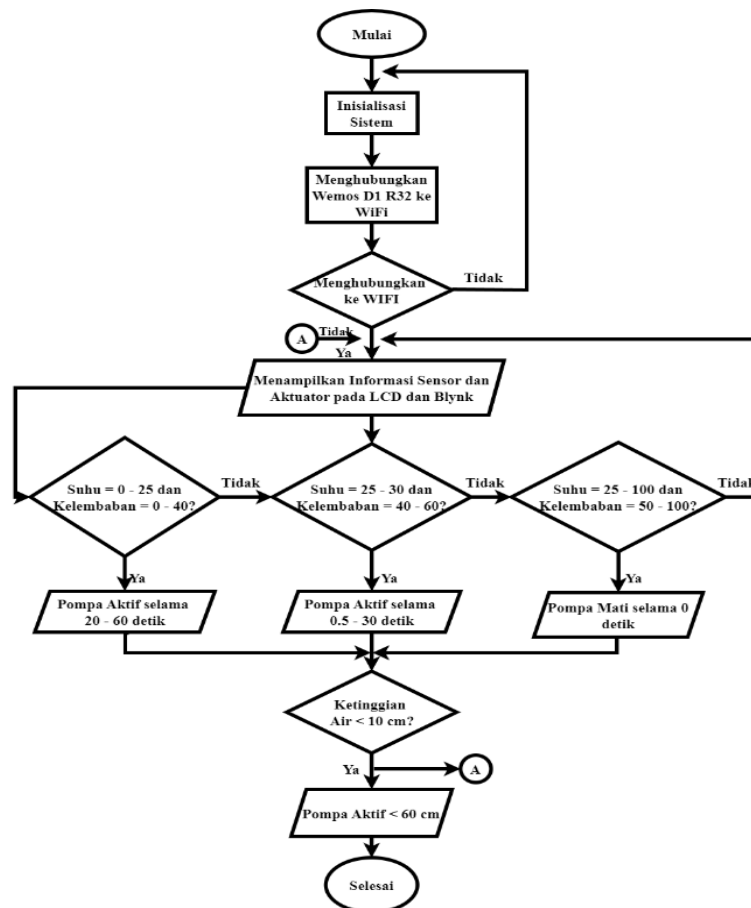
Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem, meliputi pengembangan Model *Fuzzy Inference System* (FIS) dan pemilihan komponen seperti ESP32, sensor kelembapan tanah, sensor suhu, pompa air, *relay* dan *platform* IoT Blynk. Sistem ini dirancang agar dapat dioperasikan dan dipantau secara *real-time* melalui konektivitas *Wi-Fi*.

Perancangan Flowchart Sistem

Perancangan *flowchart* sistem (Gambar 2) ini bertujuan untuk menggambarkan alur operasional dari sistem pemantauan dan penyiraman cerdas yang diimplementasikan pada tanaman sawi. Sistem ini menggunakan pendekatan logika *Fuzzy Mamdani* untuk menentukan kebutuhan penyiraman berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan tanah yang terpantau secara *real-time*.



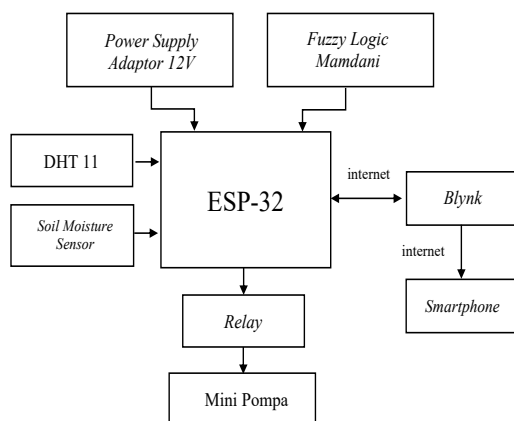
Gambar 1. Tahapan Penelitian



Gambar 2. Flowchart Sistem Penyiraman Tanaman

Perancangan Diagram Sistem

Perancangan diagram sistem merupakan tahapan untuk membuat gambaran dasar berupa blok diagram sistem dalam merancang sistem pemantauan dan penyiraman pintar pertumbuhan tanaman sawi menggunakan *Fuzzy Mamdani* berbasis *blink internet of things*. Gambar 3 menunjukkan blok diagram sistem penyiraman otomatis berbasis *IoT* dan logika *Fuzzy Mamdani* untuk tanaman sawi. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Penyiraman Tanaman

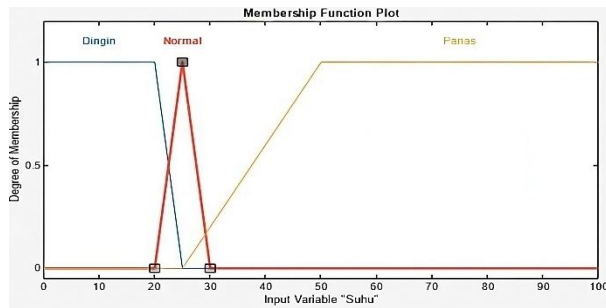
Sistem ini terdiri dari beberapa komponen kunci yang bekerja sama untuk mengelola penyiraman tanaman secara otomatis. Pertama, *power supply* berfungsi untuk menyediakan tegangan yang diperlukan oleh semua perangkat. Selanjutnya, logika *Fuzzy Mamdani* mengelola keputusan penyiraman berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Mikrokontroler ESP-32 memainkan peran penting dalam memproses data dari sensor suhu dan kelembapan tanah. Sensor DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di dalam *greenhouse*, sementara *soil moisture* sensor memantau kelembapan tanah secara *real-time*. Dalam hal mengontrol aliran listrik ke pompa air, *relay* digunakan berdasarkan keputusan yang dihasilkan oleh sistem. Mini pompa air kemudian mengalirkan air ke tanaman secara otomatis sesuai dengan keputusan yang diambil. Selain itu, Blynk IoT berfungsi sebagai *platform* yang memungkinkan pemantauan dan kontrol sistem secara jarak jauh melalui *smartphone*, sehingga memudahkan pengguna dalam mengelola penyiraman tanaman. Dengan integrasi ini, sistem mampu menjaga kelembapan tanah secara otomatis, memantau kondisi tanaman, dan memberikan kemudahan kontrol melalui aplikasi *IoT*.

Perancangan *Fuzzy Inference System Mamdani*

Dalam hal mendapatkan output, diperlukan 3 langkah diantaranya:

Langkah 1: *Fuzzyfikasi*

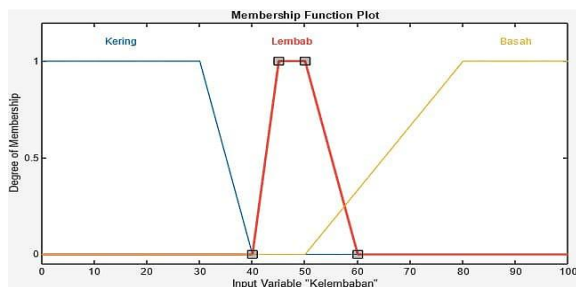
Fuzzyfikasi adalah proses menetapkan himpunan *Fuzzy* dari setiap variabel *input* dan *output* menggunakan *membership function*. Variabel *input*, (1) Suhu (S) *range*: 0-50°C, (2) Kelembapan tanah (KT) *range*: 0-100%.



Gambar 4. Kurva *Membership Function* Suhu

Tabel 1. *Fuzzy Set* Suhu

Suhu	Range
Dingin	0-25°C
Normal	20-30°C
Panas	25-100°C

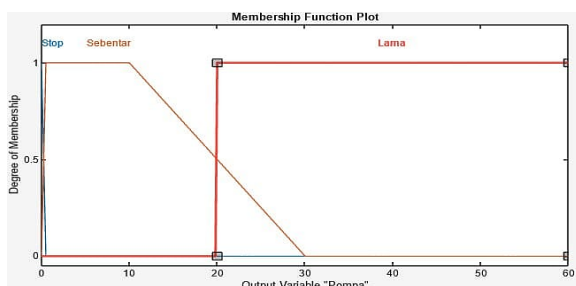


Gambar 5. Kurva *Membership Function* Kelembapan Tanah

Tabel 2. *Fuzzy Set* Kelembapan Tanah

Suhu	Range
Kering	0-40°C
Lembar	40-50°C
Basah	50-100°C

Variable Output: Durasi Penyiraman 0-60 detik



Gambar 6. Kurva *Membership Function* Durasi Penyiraman

Tabel 3. *Fuzzy Set* Penyiraman

Suhu	Range
Stop	0-1 Detik
Sebentar	0,6-30 Detik
Lama	20-60 Detik

Membership function untuk suhu udara terdiri dari tiga variabel linguistik yaitu dingin (0-25°C), sedang (20-30°C) dan panas (25-100°C). Gambar 4 menggambarkan kurva dari *membership function* suhu udara, sementara tabel 1 menyajikan *Fuzzy set* dari *membership function* suhu udara yang berkaitan dengan fungsi tersebut, untuk kelembapan tanah, terdapat tiga variabel linguistik yang digunakan, yakni kering (0-40 persen), lembab (40-60 persen), dan basah (50-100 persen). Gambar 5 menunjukkan kurva dari *membership function* kelembapan tanah, sedangkan tabel 2 memberikan rincian *Fuzzy set* dari fungsi ini, merujuk pada referensi [14] dan [15].

Selanjutnya, *membership function* untuk durasi penyiraman juga menggunakan tiga variabel linguistik, yaitu stop (0-1 detik), sebentar (0,5-30 detik), dan lama (20-60 detik). Gambar 6 memperlihatkan kurva dari *membership function* durasi penyiraman, dan tabel 3 menyajikan *Fuzzy set* yang terkait dengan durasi tersebut. Dengan penerapan berbagai variabel linguistik ini, sistem dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dan responsif terhadap kondisi yang berbeda dalam pengelolaan penyiraman tanaman.

Langkah 2

Dengan menggunakan fungsi implikasi yang dikenal sebagai fungsi minimum (min), pendekatan *Fuzzy Mamdani* membentuk aturan dasar *Fuzzy*. Berdasarkan setiap variabel input yang tercantum pada tabel 4 aturan dasar *Fuzzy*, terdapat sembilan aturan dasar *Fuzzy* dibuat. Pada hal ini operator AND (&) menyatakan hubungan dari setiap-setiap input. Berikut ditunjukkan oleh tabel 4 aturan dasar *Fuzzy*.

Tabel 4. Aturan Dasar *Fuzzy*

Aturan	
1	Jika suhu dingin dan Kelembapan kering, maka pompa menyala lama
2	Jika suhu normal dan Kelembapan kering, maka pompa menyala lama
3	Jika suhu panas dan Kelembapan kering, maka pompa menyala lama
4	Jika suhu dingin dan Kelembapan lembab, maka pompa menyala sebentar
5	Jika suhu normal dan Kelembapan lembab, maka pompa menyala sebentar

Aturan	
6	Jika suhu panas dan Kelembapan lembab, maka pompa menyala sebentar
7	Jika suhu dingin dan Kelembapan basah, maka pompa mati
8	Jika suhu normal dan Kelembapan basah, maka pompa mati
9	Jika suhu panas dan Kelembapan basah, maka pompa mati

Langkah 3: Defuzzification

Proses defuzzifikasi mengubah nilai keluaran *Fuzzy* menjadi nilai yang lebih konkret (set tajam). Metode Defuzzifikasi yang diterapkan dalam penelitian ini yaitu Metode Centroid [17], persamaan (1) adalah defuzzifikasi untuk Metode Centroid.

$$\bar{y} = \frac{\int_{Y-\min}^{Y-\max} y \cdot \mu_Y(y) dy}{\int_{Y-\min}^{Y-\max} \mu_Y(y) dy} \quad (1)$$

Dimana:

$\bar{y}$: Nilai defuzzifikasi hasil centroid.

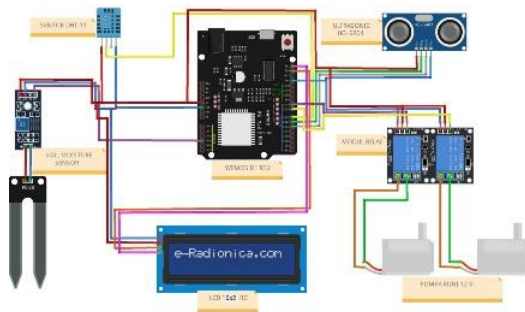
Y-min Y-min dan Y-max Y-max: Batas minimum dan maksimum keluaran *Fuzzy*.

$\mu_Y(y)$: Fungsi keanggotaan dari keluaran *Fuzzy*.

y: Variabel keluaran sistem *Fuzzy*.

Persamaan ini digunakan untuk menghitung nilai keluaran defuzzifikasi berdasarkan area centroid dari kurva fungsi keanggotaan. Dalam penelitian ini, nilai $\bar{y}$ menentukan tingkat penyiraman yang diberikan oleh sistem otomatis untuk menjaga kelembapan tanah tetap optimal.

Perancangan dan Pembuatan Alat



Gambar 7. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan dan pembuatan alat merupakan tahap yang dilakukan setelah analisis kebutuhan sistem selesai. Pada tahap ini, perancangan dan pembuatan alat bertujuan untuk mengembangkan rancangan penelitian yang akan diterapkan agar sistem dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Proses perancangan ini mencakup pembuatan komponen

hardware dan *software* yang diperlukan untuk sistem yang akan dibangun.

Gambar 7 merupakan perancangan perangkat keras, mikrokontroler ESP-32 akan mengolah data berdasarkan pembacaan suhu udara dan kelembapan Tanah melalui sensor-sensor dilengkapi dengan modul *real-time clock online*. Data dari pembacaan sensor ini akan digunakan sebagai input untuk *Fuzzy Inference System* dan diproses secara bersamaan oleh mikrokontroler ESP-32. Hasil dari pemrosesan data tersebut adalah durasi penyiraman yang memicu *relay* menjadi *active high* untuk menghidupkan mini pompa dengan durasi penyiraman disesuaikan berdasarkan data yang dihasilkan dari *output Fuzzy*. Kemudian ESP-32 terhubung dengan sinyal internet untuk mengirimkan semua nilai yang telah diproses ke Blynk server. Nilai yang dihasilkan kemudian diintegrasikan melalui aplikasi Blynk IoT yang telah dirancang.

Perancangan Blink Internet of Things

Perancangan tampilan perangkat pada aplikasi Blynk *Internet of Things* difokuskan untuk memantau dan mengelola sistem penyiraman pintar melalui smartphone. Dalam perancangan ini, ditambahkan berbagai widget, seperti grafik untuk mengetahui waktu dan nilai pembacaan sensor, tombol untuk menguji pompa secara manual, serta gauge untuk memantau kondisi kelembapan tanah dan suhu yang dihasilkan dari pembacaan sensor. Data *streams* yang menggunakan virtual pin disediakan untuk masing-masing widget, sehingga memungkinkan sinkronisasi semua data komponen sistem dengan tampilan perangkat di aplikasi Blynk IoT.

Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Pengujian *hardware* bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen fisik seperti sensor dan aktuator berfungsi dengan baik. Sedangkan pengujian *software* berfokus pada algoritma *Fuzzy Mamdani* dan integrasi dengan platform IoT. Pengujian dilakukan selama 30 hari, di mana data kelembapan tanah dan suhu dikumpulkan dan dibandingkan dengan target yang telah ditentukan oleh sistem.

Implementasi Sistem

Tahap terakhir adalah implementasi sistem yang telah dirancang dan diuji. Seluruh komponen sistem dirakit dan diuji di lapangan untuk memastikan bahwa sistem berjalan secara optimal. Penyesuaian

parameter *Fuzzy* dilakukan sesuai dengan kondisi lingkungan dan pemantauan awal dilakukan untuk mengamati kinerja sistem secara keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sistem

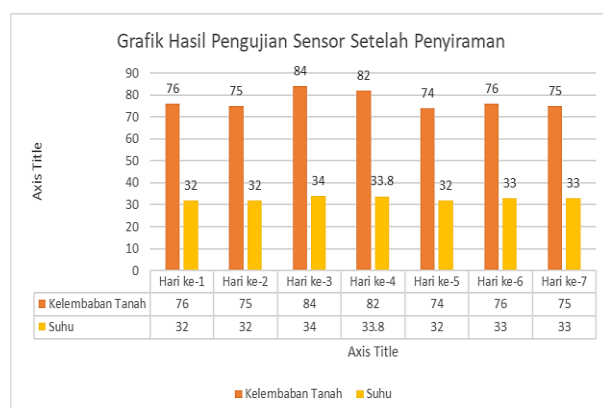
Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan sensor kelembapan tanah dan suhu lingkungan yang diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32. Data yang diperoleh dianalisis untuk memahami hubungan antara kelembapan tanah, suhu lingkungan dan durasi penyiraman otomatis yang dihasilkan oleh sistem berbasis Metode *Fuzzy Mamdani*.

Data Kelembapan Tanah dan Suhu Lingkungan

Pengujian berlangsung selama 30 hari. Data kelembapan tanah dan suhu lingkungan diambil setiap alat melakukan penyiraman. Pada hari ke-1 dan ke-7 dilakukan pencatatan secara intensif untuk mendapatkan gambaran perubahan kondisi lingkungan. Tabel 5 menunjukkan hasil pengamatan kelembapan tanah dan suhu lingkungan pada hari-hari tersebut.

Tabel 5. Data Kelembapan Tanah dan Suhu Lingkungan

Hari	Kelembapan Tanah(%)	Suhu Udara (°C)
1	76 %	32°C.
2	75 %	32°C.
3	84 %	34°C.
4	82 %	33°C.
5	74 %	32°C.
6	76 %	33°C.
7	78 %	33°C.



Gambar 8. Grafik Pengujian Setelah Penyiraman Tanaman Sawi

Data kelembapan tanah selama pengujian menunjukkan pola yang konsisten, dengan tingkat kelembapan rata-rata berada di kisaran optimal 70%

hingga 80%. Pada gambar 8, terlihat bahwa pada hari ke-1 hingga ke-7, tingkat kelembapan tanah sangat baik oleh alat, dan sistem penyiraman otomatis berhasil meningkatkan kelembapan kembali dalam waktu 13-14 detik. Evaluasi keakuratan sensor menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor kelembapan tanah memiliki deviasi sebesar 5% dibandingkan dengan alat pengukuran manual. Sistem penyiraman otomatis terbukti lebih efisien dalam menggunakan air dibandingkan dengan metode manual, dengan pengurangan konsumsi air sebesar 25%.

Durasi Penyiraman Otomatis Berdasarkan Suhu dan Kelembapan

Durasi penyiraman otomatis diatur berdasarkan dua faktor utama yaitu suhu lingkungan dan kelembapan tanah. Metode *Fuzzy Mamdani* yang digunakan dalam sistem ini memungkinkan penyesuaian durasi penyiraman yang adaptif terhadap kondisi lingkungan.

Tabel 6. Durasi Penyiraman Otomatis Berdasarkan Kelembapan Tanah Dan Suhu

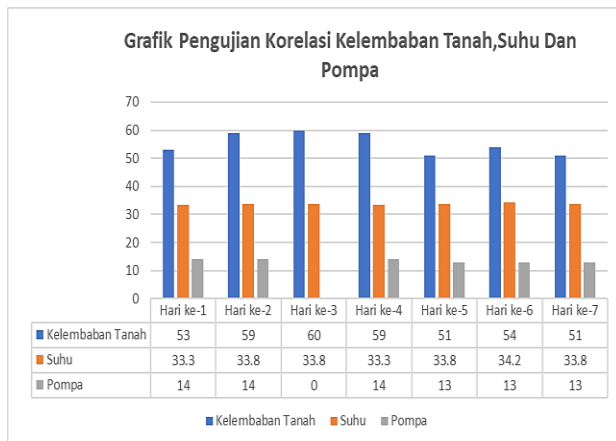
Hari Ke-	Kelembapan Tanah	Suhu	Durasi Penyiraman
1	76	32	14 detik
2	75	32	14 detik
3	84	34	14 detik
4	82	33,8	14 detik
5	74	32	13 detik
6	60	33	-
7	75	33	13 detik

Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa semakin rendah kelembapan tanah dan semakin tinggi suhu lingkungan, durasi penyiraman otomatis ini menyesuaikan kebutuhan air yang di perlukan untuk tanaman. Hal ini karena suhu tinggi mempercepat penguapan air dari tanah, sehingga sistem perlu menambah waktu penyiraman untuk menjaga kelembapan tanah di level optimal (50%-70%).

Analisis Data

Korelasi antara Suhu Lingkungan, Kelembapan Tanah dan Durasi Penyiraman

Pengujian menunjukkan adanya hubungan yang erat antara suhu lingkungan dan kelembapan tanah. Pada saat suhu lingkungan meningkat di siang hari, terutama di atas 30°C, kelembapan tanah mengalami penurunan yang lebih cepat. Gambar 9 merupakan grafik menggambarkan penurunan kelembapan tanah seiring dengan peningkatan suhu, serta respons sistem yang menyesuaikan durasi penyiraman.



Gambar 9. Pengujian Korelasi Kelembaban Tanah, Suhu dan Pompa

Sistem penyiraman otomatis merespons dengan baik ketika suhu meningkat dan kelembapan tanah turun di bawah ambang batas 50%. Saat suhu berada di kisaran 30°C dan kelembapan turun hingga 53%, sistem secara otomatis memperpanjang durasi penyiraman hingga 14 detik. Hal ini bertujuan untuk mengembalikan kelembapan tanah ke kisaran optimal. Sebaliknya, pada pagi atau sore hari ketika suhu berada di bawah 30°C dan kelembapan tanah masih berada di atas 59 %, durasi penyiraman otomatis lebih singkat, hanya sekitar 13 detik, karena tingkat penguapan air lebih rendah pada kondisi tersebut.

Perbandingan Penyiraman Otomatis dan Manual

Membandingkan hasil dampak tanaman pakai sistem dengan tanaman yang tidak pakai sistem dengan cara membandingkan kondisi kelembapan tanah dan suhu selama 30 hari. Perlakuan perawatan tanaman pakai sistem dengan tanaman yang tidak pakai sistem adalah sama-sama di siram tiap hari penyiraman pada tanaman yang menggunakan sistem berdasarkan program sistem yang dibuat sedangkan penyiraman tanaman yang tidak menggunakan sistem mengikuti penyiraman yang dilakukan petani sebanyak 2 kali sehari akan tetapi apabila terjadi hujan maka tanaman tidak disiram.

Berdasarkan data tersebut, tanaman yang menggunakan sistem pertumbuhan lebih cepat dan subur dibandingkan tanaman yang tidak menggunakan sistem pertumbuhan lebih lambat. Gambar 10 dan 11 adalah hasil perbandingan dampak dari tanaman sawi dengan menggunakan sistem dan tanaman sawi yang tidak menggunakan sistem.



Gambar 10. Tanaman Sawi Menggunakan Sistem



Gambar 11. Tanaman Sawi yang Tidak Menggunakan Sistem

Pembahasan

Efektivitas Sistem Penyiraman Otomatis dengan Fuzzy Mamdani

Penggunaan Metode *Fuzzy Mamdani* dalam sistem ini terbukti mampu menjaga kelembapan tanah secara optimal, bahkan di bawah kondisi suhu lingkungan yang bervariasi. Sistem ini tidak hanya mempertimbangkan satu faktor, tetapi juga memperhitungkan suhu lingkungan untuk menentukan durasi penyiraman yang paling efisien. Dengan demikian, metode *Fuzzy* memungkinkan sistem untuk merespons perubahan lingkungan secara lebih fleksibel dan akurat.

Sistem *Fuzzy* ini mengadaptasi durasi penyiraman berdasarkan logika yang menggabungkan input kelembapan dan suhu, sehingga menghindari penyiraman berlebihan atau kurang yang umum terjadi pada metode penyiraman manual.

Tantangan dan Kendala

Selama pengujian, ditemukan beberapa kendala, yaitu banyaknya hewan-hewan yang dapat merusak tanaman, kendala koneksi internet yang kemungkinan tidak stabil dikarenakan lokasi yang berada di ladang pertanian dan masalah listrik yang berguna untuk mengalirkan arus listrik ke alat tersebut.

Implikasi Penelitian

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *IoT* dan Metode *Fuzzy logic* dalam sistem penyiraman otomatis dapat meningkatkan produktivitas pertanian dan efisiensi air, terutama pada kondisi cuaca yang dinamis. Implementasi sistem ini pada lahan yang lebih luas diharapkan dapat memberikan dampak yang signifikan dalam hal efisiensi sumber daya air dan pertumbuhan tanaman yang lebih optimal.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis *Fuzzy logic Mamdani* dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air sebesar 25% dibandingkan dengan metode manual. Sistem ini juga mampu menjaga kelembapan tanah dalam rentang optimal untuk pertumbuhan tanaman sawi. Selain itu, penggunaan mikrokontroler ESP32 dan sensor kelembapan tanah memberikan solusi yang hemat energi dan biaya. Penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengintegrasikan sistem ini dengan teknologi pemupukan otomatis dan memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin untuk prediksi kebutuhan penyiraman yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, saran, kritik, dan dukungan selama proses penelitian ini. Berkat kontribusi mereka, penelitian ini dapat diselesaikan dengan lancar.

REFERENSI

- [1] M. H. Siregar, "Scoping Review: Pengaruh Garden-Based Intervention Terhadap Konsumsi Sayur Siswa Sekolah Dasar," *Muhammadiyah J. Nutr. Food Sci.*, vol. 4, no. 1, p. 28, 2023, doi: 10.24853/mjnf.4.1.28-36.
- [2] M. Harsana and M. Triwidayati, "Potensi Makanan Tradisional Sebagai Daya Tarik Wisata Kuliner Di D.I. Yogyakarta," *Journal UNY*, vol. 15, no. 1, pp. 1–24, 2020, <https://journal.uny.ac.id/index.php/ptbb/article/view/36472>
- [3] Y. Maulana and D. Supardi, "Sistem pengawasan Kelembapan tanah dan penyiraman tanaman otomatis berbasis iot via telegram," *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.)*, vol. 3, no. 3, pp. 464–471, 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i3.4429.
- [4] N. Nasron, S. Suroso, and A. R. Putri, "Perancangan Logika *Fuzzy* Untuk Sistem Pengendali Kelembapan Tanah dan Suhu Tanaman," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 3, no. 4, p. 307, 2019, doi: 10.30865/mib.v3i4.1245.
- [5] M. Eka Apriyani, A. Prasetyo, N. Aldila, T. Informasi, and P. Negeri Malang, "Smart Farming Optimization of Phalaenopsis Orchids Growth By Utilizing *Fuzzy* Logic Control on IoT Architecture Smart Farming Optimasi Pertumbuhan Anggrek Phalaenopsis Dengan Memanfaatkan Kontrol *Fuzzy* Logic pada Arsitektur IoT," *J. Inform. dan Teknol. Inf.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–18, 2022, doi: 10.31515/telematika.v19i1.5445.
- [6] Z. Makiyah, E. Prihartono, and B. Santoso, "Sistem penyiraman secara otomatis dan notifikasi penyiraman pada bunga mawar menggunakan metode *Fuzzy logic*," *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.31219/osf.io/gf35m.
- [7] W. Eka Sari, E. Junirianto, and G. Fatur Perdana, "System of Measuring PH, Humidity, and Temperature Based on Internet of Things (IoT)," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, p. 72, 2021, doi: 10.12928/biste.v3i1.3214.
- [8] A. P. Fiqa, T. H. Nursafitri, F. Fauziah, and S. Masudah, "Pengaruh faktor lingkungan terhadap pertumbuhan beberapa aksesori *Dioscorea alata* L terpilih koleksi kebun raya purwodadi," *J. AGRO*, vol. 8, no. 1, pp. 25–39, 2021, doi: 10.15575/10594.
- [9] S. B. Mursalin, H. Sunardi, and Z. Zulkifli, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Sensor Kelembapan Tanah Menggunakan Logika *Fuzzy*," *J. Ilm. Inform. Glob.*, vol. 11, no. 1, pp. 47–54, 2020, doi: 10.36982/jiig.v11i1.1072.
- [10] F. E. Subagja, A. P. Supriyadi, A. R. Kurniadi, and Y. Saragih, "Pengujian Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Iot," *Infotronik J. Teknol. Inf. dan Elektron.*, vol. 8, no. 2, p. 91, 2023, doi: 10.32897/infotronik.2023.8.2.3015.
- [11] Z. U. Rahmatullah, "The Rancangan Bangun Alat Perawatan dan Pemberian Nutrisi Otomatis Pada Tanaman Pakcoy Hidroponik Berbasis IOT Menggunakan *Fuzzy* Logic Control," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 1, pp. 63–73, 2023, doi: 10.34010/telekontran.v11i1.9942.
- [12] B. Herdiana and M. H. Barkatulah, "System Smart Urban Gardenin Based on Internet of Things," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 12–22, 2018, doi: 10.34010/telekontran.v6i2.3796.
- [13] H. R. Jihad, A. Sofwan, and S. Sumardi, "Perancangan Sistem Akuisisi Data Dan Sistem Monitoring Parameter Lingkungan Dengan Protokol Mqtt Pada Smart Greenhouse," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 229–237, 2021, doi: 10.14710/transient.v10i1.229-237.

- [14] N. Anggraini, K. Del Vieri, L. K. Wardhani, A. C. Wardhana, and D. Saputra, "Pengembangan Sistem Penyiraman Tanaman Cerdas Berbasis Teknologi IoT dan *Fuzzy Inference System* dalam Mendukung Terwujudnya Green Campus di UIN Syarif Hidayatullah Jakarta," *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 4, no. 2, hlm. 888–895, 2022.
- [15] F. Simbolon, Z. Azmi, and U. S. Fatimah SPane, "Penerapan Metode Logika *Fuzzy* pada Sistem Penyiraman Otomatis untuk Tanaman Agrikultur Berbasis Arduino," *Jurnal CyberTech*, vol. 4, no.7, hlm. 1–11, 2021.