

Sistem Kontrol Dan Monitoring Kelembaban Dan pH Tanah Tanaman Cabai Rawit Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani

¹Wilma Wijayanti, ²Kristofel Santa, ³Sondy C. Kumajas

^{1,2,3}Prodi Teknik Informatika Universitas Negeri Manado, Indonesia

[^1wijayantiwilma7@gmail.com](mailto:wijayantiwilma7@gmail.com), [^2kristofelsanta@unima.ac.id](mailto:kristofelsanta@unima.ac.id), [^3sondykumajas@unima.ac.id](mailto:sondykumajas@unima.ac.id)

Submit : 03 Okt 25 | Diterima : 11 Okt 2025 | Terbit : 12 Okt 2025

ABSTRAK

Pertanian memiliki peranan penting dalam memenuhi kebutuhan pangan masyarakat, Salah satu tanaman bernilai ekonomis tinggi adalah cabai rawit, yang banyak digunakan sebagai bumbu masakan sekaligus memiliki manfaat kesehatan. Produktivitas cabai sangat dipengaruhi oleh kualitas tanah, seperti kelembaban dan pH. Kelembaban tanah yang terlalu tinggi menghambat penyerapan oksigen, sedangkan kelembaban yang terlalu rendah membatasi ketersediaan air, dan pH di luar kisaran 6–7 menurunkan efisiensi penyerapan nutrisi tanaman. Permasalahan ini memerlukan adanya sistem pemantauan dan pengendalian otomatis agar kondisi tanah tetap ideal. Dengan adanya teknologi Internet of Things (IoT), monitoring dan kontrol dapat dilakukan secara real-time. Pada penelitian ini dikembangkan sistem kontrol dan monitoring kelembaban serta pH tanah cabai rawit berbasis IoT dengan metode fuzzy Mamdani. Metode ini dipilih karena mampu menangani data yang dinamis dan tidak pasti melalui aturan tertentu untuk menghasilkan keputusan optimal. Sistem diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, menjaga kualitas tanah sesuai kebutuhan tanaman, serta mendukung produktivitas pertanian.

Kata Kunci : Cabai Rawit, Fuzzy Mamdani, Internet of Things, Kelembaban, Pertanian, pH Tanah

PENDAHULUAN

Tanaman cabai merupakan golongan sayuran sekaligus bumbu yang banyak dibudidayakan di negara Asia Tenggara termasuk Indonesia, karena harga jual yang tinggi banyak digunakan sebagai pengukut rasa masakan, penyedap masakan dan berbagai manfaat kesehatan. Di Indonesia, tanaman cabai ditanam tanaman tahunan umumnya dikenal sebagai rawa di sawah dan lahan gersang. Tanaman cabai lebih mudah tumbuh, namun wajib mencermati perkembangan tanaman cabai biar produktif serta menghasilkan buah yang bermutu (Morselena & Andie Rahman, 2021).

Salah satu perkembangan teknologi yang sangat berpengaruh dalam perkembangan dunia yaitu Internet of Things (IoT). Internet of Things adalah struktur dimana objek, orang disediakan dengan identitas eksklusif dan kemampuan untuk pindah data melalui jaringan tanpa memerlukan dua arah antara manusia ke manusia yaitu sumber ke tujuan atau interaksi manusia ke komputer. Menurut beberapa penelitian Internet of Things sudah banyak diterapkan di beberapa bidang keilmuan dan industry, salah satunya yaitu pada bidang pertanian (Ningsi et al., n.d.).

Tanaman cabai rawit memerlukan kadar kelembaban dan pH yang cukup agar proses pertumbuhan tanaman lebih baik sehingga menghasilkan hasil panen yang lebih banyak. Cabai dapat tumbuh di dataran rendah ataupun dataran tinggi. Pertumbuhan cabai akan baik jika ditanam pada tanah dengan kadar pH yang baik adalah 6-7. pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dari pH ideal dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman terhambat atau kerdil. Kelembaban untuk tanaman cabai berkisar antara 60-80%. Semakin rendah kelembaban tanahnya maka pertumbuhan tanaman cabai tidak akan maksimal, tanaman akan mengalami kekerdilan dan semakin tinggi kadar kelembaban tanahnya maka tanaman cabai akan layu. Kelembaban yang tinggi akan menyebabkan tanaman mudah terserang penyakit. Kondisi curah hujan yang tinggi

menyebabkan kelembaban tinggi sehingga perlu untuk mengatur jarak yang lebih renggang antar tanaman (Imtiyaz et al., 2017).

Peranan alat IoT sangat penting untuk mengontrol dan mengatur kelembaban dan pH tanah pada tanaman cabai. Untuk menentukan Penggunaan air yang maksimal tersebut, maka di gunakan metode Fuzzy Mamdani. Penggunaan Algoritma ini dikarenakan kelembaban dan pH tanah yang merupakan unsur utama dalam sistem ini selalu berubah, akibat dari hal tersebut menimbulkan banyaknya aturan-aturan sehingga diperlukanlah sebuah algoritma yaitu Fuzzy Mamdani untuk menentukan keputusan oleh peneliti yaitu “Sistem Kontrol Dan Monitoring Kelembaban Dan Ph Tanah Tanaman Cabai Rait Berbasis Internet Of Things (IOT) Menggunakan Metode Logika Fuzzy Mamdani”.

TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things

IOT (Internet of Things) adalah suatu sistem yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang berkelanjutan. Sistem ini mencakup pertukaran informasi, pengendalian dari jarak jauh, dan penggunaan sensor secara luas. IOT juga dapat diterapkan dalam sektor peternakan dan pertanian, di mana semua komponen terhubung ke jaringan. Internet of Things (IoT) memiliki cara kerja, yaitu dimana menggunakan sebuah argumentasi dari algoritma bahasah programan yang telah dibuat dan tersusun dengan baik. (Bala et al., 2022).

Arduino Uno R3

Arduino Uno merupakan mikrokontroler dengan processor ATmega328P. Board ini memiliki 14 digital input output pin dan 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset, serta dilengkapi dengan koneksi USB tipe B, header ICSP serta tombol reset (Yusran et al., 2023) .

NodeMCU ESP8266

NodeMCU merupakan modul yang digunakan untuk berkomunikasi melalui internet dan dapat digunakan secara mandiri maupun dihubungkan ke Arduino. Terdapat beberapa pin I/O pada board elektronik ini yang mampu dikembangkan untuk menjadi sebuah aplikasi monitoring maupun controlling pada sistem Internet of Things (Yusran et al., 2023).

Soil Moisture (Sensor Kelembaban Tanah)

Soil moisture sensor FC-28 adalah sensor kelembaban yang dapat mendeteksi kelembaban dalam tanah. Sensor ini terdiri dua probe untuk melewati arus melalui tanah, kemudian membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai tingkat kelembaban. Semakin banyak air membuat tanah lebih mudah menghantarkan listrik (resistansi kecil), sedangkan tanah yang kering sangat sulit menghantarkan listrik (resistansi besar). Soil moisture sensor FC-28 memiliki spesifikasi tegangan input sebesar 3.3V atau 5V, tegangan output sebesar 0 – 4.2V, arus sebesar 35 mA, dan memiliki value range ADC sebesar 1024 bit mulai dari 0 – 1023 bit (Studi et al., 2022).

Sensor pH Tanah

Sensor pH adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. pH adalah ukuran yang mengindikasikan seberapa asam atau basa suatu larutan, dengan rentang nilai antara 0 hingga 14. Sensor pH memiliki dua elektroda pada probe-nya, sebuah measuring electrode dan sebuah reference electrode. Besarnya beda potensial tersebut yang menentukan nilai pH larutan yang diukur (Adolph, 2016)

LCD (Liquid Crystal Display)

LCD Display adalah alat yang digunakan untuk menampilkan ukuran atau angka yang dapat dilihat dan diketahui melalui kristal. LCD dapat menampilkan 224 karakter dengan simbol yang berbeda. LCD dapat menampilkan campuran huruf dan angka baik berwarna maupun tidak berwarna. Pada saat menampilkan suatu karakter menginformasikan proses dan control yang terjadi dalam program. LCD 16x2 terdiri dari 16 kolom dan 2 baris Driver tersebut terdiri dari rangkaian

pengaman, pengatur data atau tingkat kecerahan (backlight) dan untuk memudahkan pemasangan pada mikrokontroler (Rika Widianita, 2023).

Relay

Relay dapat digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan perangkat listrik. Secara singkat relay ini untuk membuka atau menutup kontak saklar dengan gaya elektromagnetik dan secara mekanis digerakkan oleh daya atau energi listrik. Relay dapat bekerja dengan konsep pada gaya elektromagnetik, ini tercipta dari inti besi yang dililitkan kawat kumparan dan dialiri oleh aliran listrik, saat kumparan dialiri oleh aliran listrik, maka secara otomatis inti besi akan menjadi magnet dan menarik penyangga, sehingga kondisi yang awalnya tertutup akan terbuka (open) dan pada saat kumparan tidak dialiri oleh listrik otomatis akan menyebabkan kondisi yang awalnya terbuka jadi tertutup (close) (Yusran et al., 2023).

Waterpump

Water pump adalah motor pompa air celup yang berukuran kecil yang dioperasikan di dalam air. Memiliki fungsi untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain yang prinsip kerjanya adalah mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik. Water pump memiliki ukuran 24x33x45mm dengan tegangan yang diperlukan adalah 3-6V. Pompa air mini ini biasa digunakan pada akuarium, kolam ikan, hidroponik dan agriculture (tanaman) yang berbasis mikrokontroler (Yusran et al., 2023).

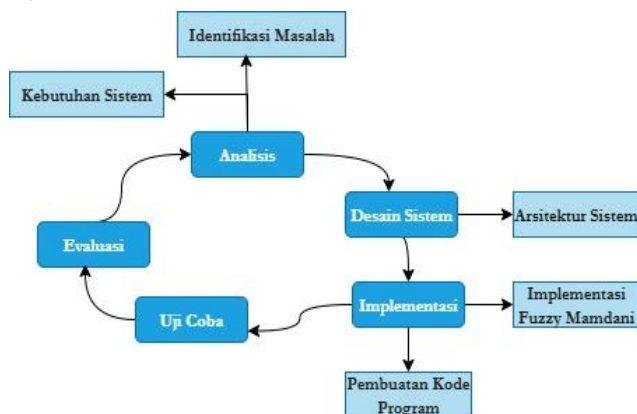
Logika Fuzzy

Fuzzy dapat diartikan sebagai kabur atau samar yang dimana suatu nilai dapat bernilai True atau False secara bersamaan. Dalam fuzzy terdapat derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1 (satu) dan menunjukkan sejauh mana nilai dikatakan bernilai True dan sejauh mana suatu nilai bernilai False. Logika fuzzy adalah metodologi sistem yang digunakan untuk pengontrol dalam memecahkan masalah, yang sangat cocok dalam implementasikan untuk sebuah sistem

METODE PENELITIAN

Metode Prototype

Dalam pelaksanaan pengembangan sistem keamanan ini, penulis menggunakan metode pengembangan sistem prototype. Metode prototype adalah metode pengembangan perangkat lunak yang menekankan pada pengembangan cepat dan iteratif dari prototype. Metode ini memungkinkan pengembang untuk merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi prototype dengan cepat (Runtuwene et al., 2024).



Gambar 1 Metode Prototype

Analisis

Pada tahap ini merupakan tahap untuk mengetahui permasalahan yang ada serta mencari data-data yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem kontrol dan monitoring kelembaban dan ph tanah tanaman cabai berbasis Internet Of things (IOT) menggunakan Fuzzy Mamdani.

Desain Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan, yaitu perancangan alur proses sistem dengan menggunakan diagram UML (Unified Modelling Language), selanjutnya dilakukan perancangan antarmuka pengguna yang nantinya akan dijadikan acuan di dalam menentukan tampilan sistem yang akan dibuat.

Implementasi

Tahap ini merupakan tahap untuk mengembangkan program, dimana sistem yang telah direncanakan dibuat sesuai dengan kebutuhan dan memasukan kode program kedalam sistem yang sudah dirancang. Pada tahap implementasi logika fuzzy Mamdani diintegrasikan ke dalam prototipe untuk mengimplementasikan sistem kontrol atau modul pengambilan keputusan.

Uji Coba

Tahap ini merupakan tahap pengujian terhadap sistem control dan monitoring kelembaban dan ph tanah tanaman cabai berbasis iot menggunakan fuzzy Mamdani.

Evaluasi

Pada Tahap ini dilakukan evaluasi pada sistem kontrol dan monitoring kelembaban dan ph tanah berbasis iot menggunakan Fuzzy Mamdani apakah sudah berjalan dengan baik atau belum, jika masih terjadi kesalahan maka akan dilakukan perbaikan di tahap ini.

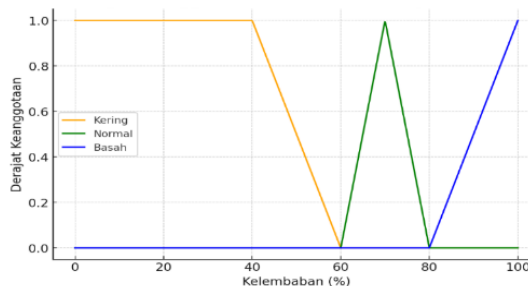
Algoritma Fuzzy Mamdani

Metode Mamdani atau sering disebut dengan Metode MAX – MIN. Fuzzy logic Mamdani adalah salah satu metode yang paling fleksibel dan toleran terhadap data yang tersedia. Metode fuzzy lebih efisien dalam menggunakan angka daripada metode peramalan. Dalam proses pemrograman tersebut akan memakai kondisi JIKA-MAKA (IF-THEN), yang dimana setiap hasil inputan sensor akan digabungkan dengan inputan dari software pengontrol sehingga menghasilkan kondisi output yang sesuai. Berikut ini adalah variabel dari inputan sensor dan variabel dari inputan software pengontrol, variabel – variabel tersebut akan digunakan pada fungsi keanggotaan fuzzy dan sistem inferensi fuzzy (Metode Mamdani).

1. Variabel Kelembaban

Variabel Kelembaban memiliki 3 himpunan, yaitu kering, normal, dan basah. Himpunan kering menggunakan fungsi keanggotaan linear turun, himpunan Normal menggunakan fungsi keanggotaan linear segitiga, dan himpunan Basah menggunakan fungsi keanggotaan linear naik. Dibawah ini merupakan fungsi keanggotaan kelembaban.

- Kering = 0-60%
- Normal = 60-80%
- Basah = 80-100

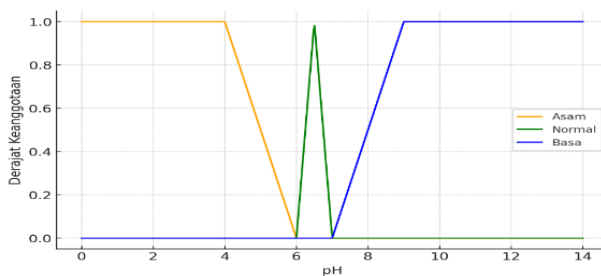


Gambar 2 Grafik Keanggotaan Variabel Kelembaban

2. Variabel pH

Variabel pH memiliki 3 himpunan, yaitu asam, netral, dan basah. Himpunan asam menggunakan fungsi keanggotaan linear turun, himpunan Normal menggunakan fungsi keanggotaan linear segitiga, dan himpunan Basah menggunakan fungsi keanggotaan linear naik. Dibawah ini merupakan fungsi keanggotaan pH.

- Asam = 0-6
- Normal = 6-7
- Basa = 7-14



Gambar 3 Grafik Keanggotaan Variabel pH

Pada metode Fuzzy Mamdani, setiap konsekuen pada Rule yang berbentuk IF-Then harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton sebagai hasilnya (proses fuzzifikasi). Keluaran hasil inferensi dari tiap-tiap rule diberikan secara tegas (crisp) berdasarkan α -predikat. Penulis menggunakan metode logika Fuzzy-mamdani sebagai pengambilan keputusan berdasarkan aturan-aturan Fuzzy yang dibuat. Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan Fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan Fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu. Untuk memperoleh output diperlukan empat tahap yaitu:

a. Pembentukan himpunan Fuzzy

Metode mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan Fuzzy, himpunan Fuzzy diambil dari fungsi keanggotaan. Derajat keanggotaan dari masing-masing elemen semesta pembicaraan memerlukan perhitungan. Fungsi matematis yang biasa digunakan yaitu fungsi trapesium.

b. Aplikasi fungsi implikasi

Logika pengambilan keputusan (Fuzzy inference) mengamplifikasikan aturan-aturan Fuzzy pada masukkan Fuzzy, kemudian mengevaluasi setiap aturan. Prinsip logika Fuzzy digunakan untuk mengkombinasikan aturan-aturan JIKA-MAKA (IF THEN) yang terdapat dalam basis aturan suatu pemetaan dari suatu himpunan Fuzzy input himpunan Fuzzy output.

c. Komponen aturan

Pada tahap ini terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan kolerasi antar aturan, yaitu menggunakan tiga metode dalam sistem inferensi Fuzzy yaitu, Max, implikasi dan Probabilistik OR.

d. Penegasan (Defuzzifikasi)

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan Fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturanaturan Fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan Fuzzy tersebut. Jika diberikan suatu himpunan Fuzzy dalam range tertentu, maka dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kebutuhan Sistem

Dari hasil analisis didapat beberapa komponen yang dibutuhkan dalam membuat sistem-kontrol dan monitoring kelembaban dan ph tanah berbasis internet of things menggunakan metode logika fuzzy mamdani diantaranya dapat dilihat dalam tabel-berikut:

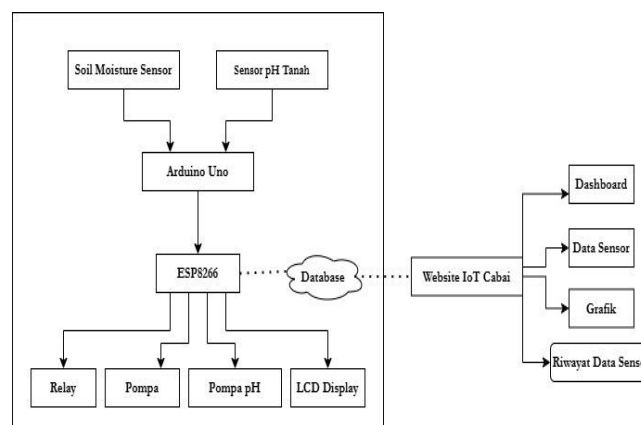
Tabel 1 Alat Penelitian

Device	Sistem
Mikrokontroler Arduino Uno R3	Sebagai mikrokontroler yang digunakan sebagai interface untuk menghubungkan semua perangkat hardware.
Nodemcu ESP8266	Mikrokontroler yang berfungsi menerima data dari sensor yang bekerja.
Sensor kelembaban	Digunakan untuk mengetahui dan memantau kadar air maupun

Device	Sistem
tanah (Soil Moisture Sensor)	kelembaban dalam tanah.
Sensor Ph Tanah	Digunakan sebagai pendeteksi kadar pH yang terkandung dalam tanah.
Lcd display	Digunakan untuk menampilkan nilai atau angka dari hasil sensor Kelembaban dan pH Tanah
Relay	Kontrol peralatan ON-OFF berfungsi sebagai saklar elektronik, untuk menyambung dan memutuskan koneksi. Seperti digunakan untuk menyalakan dan mematikan pompa air.
Pompa air mini (DC5v)/Waterpump	Digunakan sebagai sumber keluarnya air untuk proses pengairan pada tanah tanaman cabai.

Rancangan Keseluruhan Desain Sistem Blok Diagram Sistem

Berikut merupakan penjelasan dari perancangan sistem kontrol dan monitoring kelembaban dan ph tanah tanaman cabai berbasis iot. Sistem ini memanfaatkan teknologi iot dengan menggunakan Arduino Uno sebagai mikrocontroller yang menghubungkan semua perangkat hardware, dan NodeMCU ESP8266 sebagai modul wifi untuk mengirim data, sehingga pengguna dapat memantau kondisi kelembaban dan ph serta penyiraman otomatis melal LCD dan website IoT Cabai.



Gambar 4 Blok Diagram Sistem

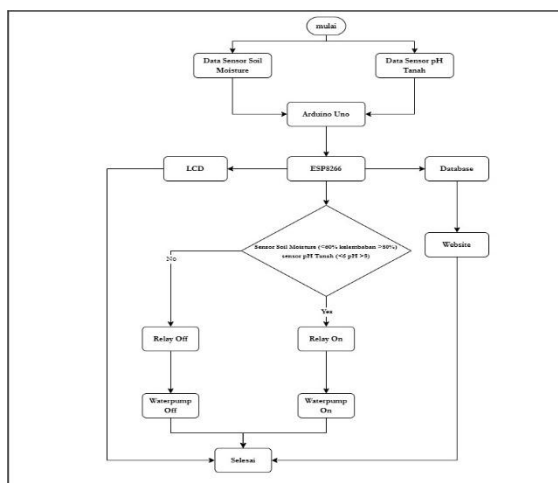
Flowchart Perancangan Alat

Berikut merupakan diagram alir Sistem Kontrol dan Monitoring Kelembaban dan pH Tanah Tanaman Cabai Rawit Berbasis IOT menggunakan Fuzzy Mamdani. Dimana diagram alir sistem ini dimulai dari Arduino yang sudah terhubung dengan NodeMCU esp8266, Sensor Soil Moisture dan Sensor pH Tanah. Tahap ini memastikan semua perangkat Hardware yang digunakan sudah terhubung dan dapat berfungsi dengan baik. Kemudian sensor Soil Moisture atau sensor Kelembaban Tanah akan mendeteksi kandungan air yang ada dalam tanah, begitupun dengan sensor pH Tanah akan mendeteksi kadar pH pada Tanah.

Data-data yang dihasilkan akan diolah oleh mikrokontroller untuk menentukan berdasarkan batas minimal dan maksimal nilai ph dan kelembaban tanah. Pertumbuhan cabai yang baik ditanam pada tanah dengan kelembaban 60-80% dan pada pH 6-7. Oleh karena itu untuk mempertahankan kelembaban tanah yang baik dan pH yang ideal maka diperlukan tindakan sebagai berikut.

- Apabila nilai Kelembaban Tanah <60% maka switch Relay akan Meangaktifkan waterpump untuk proses penyiraman otomatis pada tanaman, sebaliknya jika kelembaban Tanah sudah mencapai batas normal maka switch relay menonaktifkan waterpump untuk menghentikan proses penyiraman.
- Apabila pH Tanah <6 maka akan dilakukan penambahan pupuk, dimana switch Relay akan mengaktifkan pompa Waterpump untuk melakukan penyiraman pupuk, sebaliknya jika pH

tanah sudah mencapai batas normal maka tidak dilakukan penambahan pupuk.

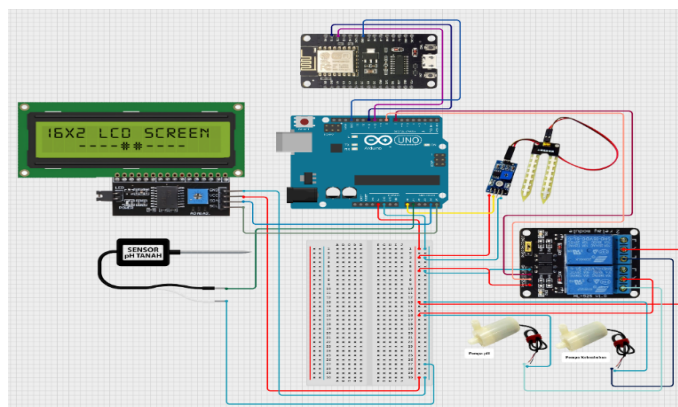


Gambar 5 lowchart Perancangan Alat

Data-data yang dihasilkan dari sensor kemudian akan bersamaan dikirim melalui modul NodeMCU ESP8266 yang telah dilengkapi dengan modul Wi-fi ke database untuk disimpan, kemudian akan ditampilkan pada Website IoT Cabai.

Perancangan Keseluruhan

Perancangan keseluruhan pada penelitian ini yaitu terdiri dari semua rangkaian komponen yang diperlukan dan digabungkan menjadi satu, berupa NodeMCU ESP8266, Arduino UNO, Soil Moisture, Sensor pH, Relay 2 channel, LCD 16x2, Waterpump untuk kelembaban dan waterpump untuk pH.



Gambar 6 Arsitektur Alat

Implementasi Logika Fuzzy Mamdani dan Hasil Pengujian Sistem dan Alat IoT

Analisa Data Logika Fuzzy Mamdani

1. Variabel Fuzzy

Pada penelitian ini menggunakan 2 variabel input, yaitu Kelembaban dan pH Tanah. Sedangkan untuk variabel output yang dihasilkan ada 2 yaitu, pompa 1 untuk Kelembaban (On or Off) dan pompa 2 untuk pH Tanah (On or Off), dan aksi manual. Untuk data inputan dan output beserta himpunannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Variabel Fuzzy

Nama Variabel	Jenis Variabel	Himpunan
Kelembaban	Input	Kering
		Normal
pH		Basah
		Asam

Nama Variabel	Jenis Variabel	Himpunan
		Netral
		Basah
Pompa 1 (Kelembaban)	Output	On
		Off
Pompa 2 (pH)		On
		Off

Tahapan Fuzzyfikasi, inferensi dan defuzifikasi

1) Fuzzyfikasi

- Variabel Kelembaban

Variabel Kelembaban tanah memiliki 3 himpunan, yaitu kering, Normal dan basah. Himpunan kering menggunakan fungsi keanggotaan linear turunn, himpunan normal menggunakan fungsi keanggotaan linear segitiga dan himpunan basah menggunakan fungsi keanggotaan linear naik. dibawah ini merupakan fungsi keanggotaan kelembaban tanah.

- Fungsi Keanggotaan Kering (<60%)

$$\mu_{kering}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq b \\ \frac{b-x}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; x \geq a \end{cases}$$

Misalnya: a = 30, b = 60

untuk x = 50 maka $\mu_{kering}(50) = \frac{60-50}{60-30} = \frac{10}{30} = 0.33$

Hasil 0.33 menunjukkan derajat keanggotaan 33% pada kondisi **kering**.

- Fungsi Keanggotaan Normal (60-80%)

$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b \leq x \leq c \\ 0 & ; x \geq c \end{cases}$$

Misalnya: a = 60, b = 70, c = 80

Untuk x(Nilai Kelembaban) = 70; Karena x= 70, maka $b \leq x \leq c$ ($70 \leq 70 \leq 80$) → maka kita gunakan: $\mu_{normal}(70) = \frac{80-70}{80-70} = \frac{10}{10} = 1$

Penjelasan: Karena nilai 70 berada di tengah segitiga normal, maka derajat keanggotaan = 1 (maksimum). Ini menunjukkan bahwa kelembaban 70% adalah **Normal**

- Fungsi Keanggotaan Basah (>80%)

$$\mu_{basah}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq b \\ \frac{b-x}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; x \geq a \end{cases}$$

Dimana: a = 80, b = 100, untuk x = 85%

karena a = 80 ≤ x = 85 ≤ b = 100, maka digunakan rumus: $\mu_{basah}(85) = \frac{85-80}{100-80} = \frac{5}{20} = 0,25$

Penjelasan: Pada derajat keanggotaan 0.25 menunjukkan bahwa kelembaban 85% termasuk **Basah**

- Variabel pH

Variabel pH tanah memiliki 3 himpunan, yaitu Asam, Normal dan Basah.

- Fungsi Keanggotaan Asam (≤6)

$$\mu_{asam}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq b \\ \frac{b-x}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; x \geq a \end{cases}$$

Dimana: a = 5, b = 6

Untuk x = 5.5, karena a = 5 ≤ x = 5.5 ≤ b = 6 maka: $\mu_{asam}(5.5) = \frac{6-5.5}{6-5} = \frac{0.5}{1} = 0,5$

Penjelasan: Nilai pH 5.5 memiliki tingkat keanggotaan 0.5 (50%) terhadap kategori **asam**.

- Fungsi Keanggotaan Netral (6-7)

$$\mu_{netral}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases}$$

Dimana: $a = 6$, $b = 6.5$, $c = 7$, untuk $x = 6.5$

Karena $b = 6.5 \leq x = 6.5 \leq c = 7$, maka $\mu_{netral}(6.5) = \frac{7-6,5}{7-6,5} = \frac{0,5}{0,5} = 1$

Penjelasan: Nilai pH 6.5 memiliki tingkat keanggotaan 1 (100%) terhadap kategori **Netral**.

- Fungsi Keanggotaan Basah (≥ 7)

$$\mu_{basah}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq b \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq a \end{cases}$$

Dimana: $a = 7$, $b = 8$, untuk $x = 7.5$

Karena $a = 7 \leq x = 7.5 \leq b = 8$, maka: $\mu_{basah}(7.5) = \frac{7,5-7}{8-7} = \frac{0,5}{1} = 0.5$

Penjelasan: Nilai pH 7.5 memiliki tingkat keanggotaan 0.5 (50%) terhadap kategori **Basah**

2) Inferensi

Inferensi fuzzy adalah proses pengambilan keputusan berdasarkan aturan logika fuzzy (rule base) yang telah didefinisikan. Dalam metode Mamdani, inferensi dilakukan dengan:

- Menentukan nilai keanggotaan untuk masing-masing input (kelembaban dan pH) ke dalam kategori linguistik seperti "kering", "normal", "asam", "netral", dll.
- Menggabungkan nilai keanggotaan dari dua input menggunakan operator logika fuzzy (AND = min, OR = max).
- Mencocokkan ke aturan fuzzy (rule base) untuk menghasilkan output fuzzy.
- Output fuzzy berupa nilai keanggotaan dari status pompa seperti "tidak aktif", "aktif sedang", atau "aktif tinggi".

Tabel 3 Inferensi Fuzzy

No	IF Kelembaban	AND pH	THEN Pompa Kelembaban	Pompa pH
1	Kering	Asam	ON	ON
2	Kering	Netral	ON	OFF
3	Normal	Asam	OFF	ON
4	Normal	Netral	OFF	OFF
5	Basah	Asam	OFF	ON
6	Basah	Netral	OFF	OFF

3) Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi adalah tahap terakhir dalam sistem logika fuzzy. Setelah proses fuzzifikasi (mengubah input tegas menjadi nilai fuzzy) dan inferensi fuzzy (menentukan output fuzzy berdasarkan rule base), defuzzyfikasi mengubah hasil fuzzy menjadi nilai tegas (crisp value) yang dapat digunakan untuk mengendalikan aktuator (misalnya pompa). Metode defuzzyfikasi yang paling sering digunakan adalah Centroid (Center of Gravity, COG). Metode ini mengambil rata-rata tertimbang dari nilai keluaran fuzzy. Rumus umumnya:

$$Z = \frac{\sum(\mu(z), z)}{\sum \mu(z)}$$

Dimana:

Z = Hasil Defuzzyfikasi (Nilai Tegas)

$\mu(z)$ = Derajat Keanggotaan Fuzzy Pada Nilai Keluaran z

z = Nilai Keluaran Fuzzy yang ditentukan.

- Defuzzyfikasi Untuk Kelembaban Tanah

Hasil fuzzy inference memberikan output fuzzy dengan derajat keanggotaan untuk setiap kategori kelembaban. Misalnya:

- Kering (30, $\mu = 0.3$)

- Normal (70, $\mu = 0.6$)
- Basah (90, $\mu = 0.1$)

$$\text{Perhitungan: } Z = \frac{(0.3 \times 30) + (0.6 \times 70) + (0.1 \times 90)}{0.3 + 0.6 + 0.1} = \frac{60}{1} = 60$$

Hasil: Nilai crisp kelembaban tanah = **60%**, artinya kondisi berada pada batas **Normal**.

b) Defuzzyfikasi untuk pH

Hasil fuzzy inference memberikan output fuzzy dengan derajat keanggotaan untuk setiap kategori pH. Misalnya:

- Asam (5.5, $\mu = 0.2$)
- Netral (6.5, $\mu = 0.8$)
- Basa (7.5, $\mu = 0$)

$$\text{Dengan perhitungan: } Z = \frac{(0.2 \times 5.5) + (0.8 \times 6.5) + (0 \times 7.5)}{0.2 + 0.8 + 0} = \frac{6.3}{1} = 6.3$$

Hasil: Nilai crisp pH tanah = 6.3, menunjukkan bahwa kondisi pH berada pada kategori Netral. Jadi, Nilai Defuzzyfikasi pH Tanah adalah 6.3, dimana menunjukkan bahwa pH tanah berada pada batas Normal/Netral.

c) Defuzzyfikasi untuk Pompa Kelembaban

Output Fuzzy pompa Kelembaban bisa dinyatakan dalam kecepatan pompa atau level intensitas (misalnya 0-100%), misalnya:

- Off (0, $\mu = 0$)
- Low (30, $\mu = 0.2$)
- Medium (60, $\mu = 0.6$)
- High (90, $\mu = 0.5$)

$$\text{Perhitungan: } Z = \frac{(0.2 \times 30) + (0.6 \times 60) + (0.5 \times 90)}{0.2 + 0.6 + 0.5} = \frac{87}{1.3} = 66.92$$

Jadi, pompa kelembaban disarankan berjalan pada 66.92% dari kapasitas penuh.

d) Defuzzyfikasi Untuk Pompa pH

Output fuzzy Pompa pH bisa dinyatakan dalam kecepatan pompa atau level intensitas (misalnya 0-100%). Misalnya:

- Off (0, $\mu = 0$)
- Low (25, $\mu = 0.3$)
- Medium (50, $\mu = 0.7$)
- High (75, $\mu = 0$)

$$\text{Perhitungan: } Z = \frac{(0.3 \times 25) + (0.7 \times 50)}{0.3 + 0.7} = \frac{42.5}{1} = 42.5$$

Jadi, Pompa pH disarankan beroperasi pada 43.5% dari kapasitas penuh

Hasil Pengujian Alat IoT dan Pengujian Sistem



Gambar 7 Tampilan Alat

1. Hasil Pengujian Alat IoT / Hardware

Tabel 4 Pengujian Alat IoT

No	Hasil Yang di Harapkan	Hasil Pengujian	
		Sesuai	Tidak sesuai
1	Proses integrasi Arduino dan sensor soil moisture dalam membaca nilai kelembaban tanah	✓	
2	Proses integrasi Arduino dan sensor pH dalam membaca nilai pH tanah	✓	
3	Proses integrasi Arduino dan <i>relay 2 channel</i> dalam mengatur penyiraman otomatis tanaman	✓	
4	Proses integrasi Arduino dan waterpump (kelembaban dan pH) sebagai penyalur air	✓	
5	Proses integrasi Arduino dan LCD dalam menampilkan data sensor yang bekerja	✓	

2. Pengujian Sistem IoT

Tabel 5 Pengujian Sistem IoT

Fitur	Aktivitas Pengujian	Hasil Yang di Harapkan	Hasil Pengujian	
			Sesuai	Tidak sesuai
Login	Input username & password	Sistem memverifikasi dan masuk dashboard jika valid	✓	
Dashboard	Akses halaman dashboard	Menampilkan ringkasan sistem & status sensor	✓	
Data Sensor	Buka halaman data sensor	Menampilkan data sensor & kontrol pompa real-time	✓	
Grafik	Klik menu grafik	Menampilkan grafik kelembaban, pH tanah & status pompa	✓	
Riwayat Sensor	Klik menu riwayat sensor	Menampilkan tabel histori data sensor	✓	
Pengaturan	Atur mode pompa & interval sensor	Sistem mengubah mode/interval sesuai pilihan pengguna	✓	
Logout	Klik menu logout	Pengguna keluar & kembali ke halaman login	✓	

3. Pengujian alat pada tanaman cabai

Tabel 6 Pengujian Pada Tanaman Cabai

Pengujian	Kelembaban %	Ph	Status Pompa Kelembaban (On/Off)	Status Pompa Ph (On/Off)
1	55	5.8	On	On
2	62	6.2	Off	Off
3	48	6.5	On	Off

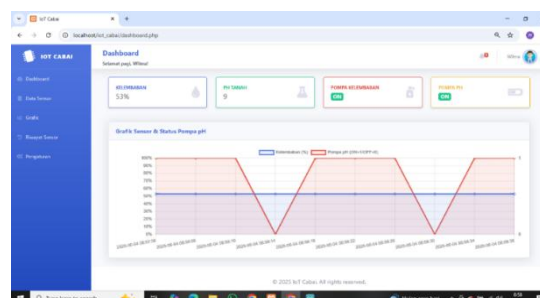
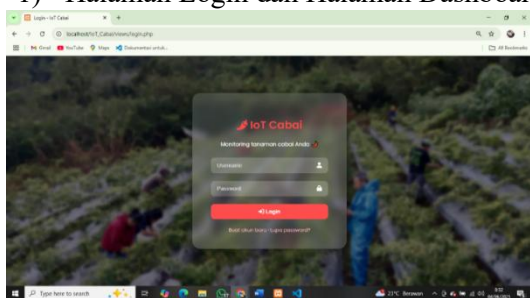
Pengujian	Kelembaban %	Ph	Status Kelembaban (On/Off)	Status Pompa (On/Off)	Pompa Ph
4	82	7.3	Off (Manual)	Off (Manual)	
5	68	6.9	Off	Off	

Penjelasan:

- 1) Kelembaban
 - a) Jika kelembaban < 60% maka Pompa kelembaban On (otomatis) untuk melakukan penyiraman
 - b) Jika $60\% \leq$ kelembaban $\leq 80\%$ maka Pompa kelembaban Off karena Kelembaban berada pada batas Normal
 - c) Jika kelembaban > 80% maka pompa kelembaban Off dan pemantauan dan pengendalian dilakukan secara manual dengan cara memperbaiki drainase, mengurangi penyiraman.
- 2) pH
 - a) Jika pH < 6.0 maka pompa pH On (Otomatis) untuk melakukan penyiraman berupa kapur pertanian untuk menaikkan pH.
 - b) Jika pH > 7.0 maka pompa pH tetap OFF dan pemantauan/pengendalian dilakukan secara manual dengan melakukan pemberian pupuk atau zat yang bisa menurunkan pH
 - c) Jika $6.0 \leq \text{pH} \leq 7.0$ maka Pompa pH Off (otomatis) karena ph berada pada batas normal.

4. Tampilan Pada Halaman Website

1) Halaman Login dan Halaman Dashboard

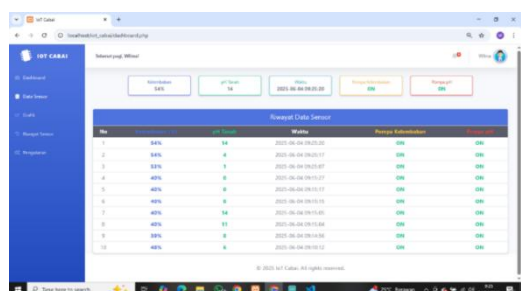


Gambar 9 Halaman Login

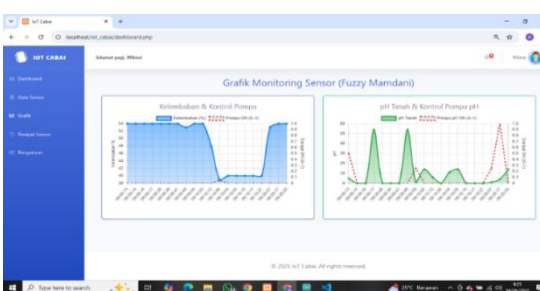
Gambar 8 Halaman Dashboard

Pada Gbr 8 menampilkan Halaman login sistem IoT Cabai yang menyediakan verifikasi username dan password. Dan pada Gambar 9 Halaman Dashboard yang menampilkan informasi real-time kelembaban, pH tanah, status pompa, serta grafik data historis sensor dan aktivitas pompa.

2) Halaman Data Sensor dan Halaman Grafik



No	Kelembaban	pH Tanah	Status Pompa	Waktu
1	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:00:00
2	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:05:00
3	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:10:00
4	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:15:00
5	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:20:00
6	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:25:00
7	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:30:00
8	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:35:00
9	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:40:00
10	65%	6.9	Off	2025-10-04 08:45:00

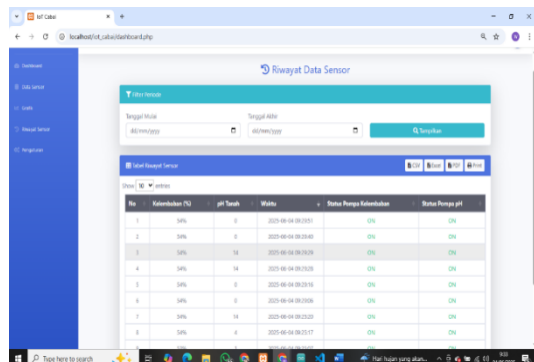


Gambar 11 Halaman Data Sensor

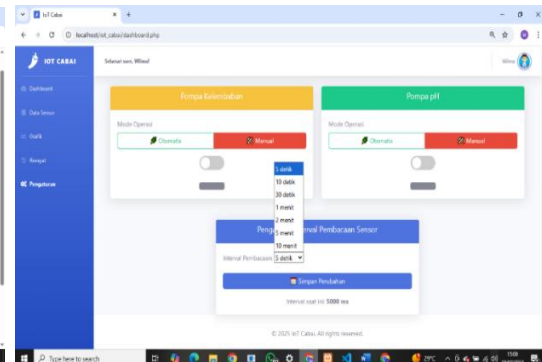
Gambar 10 Halaman Grafik

Pada Gbr 10 Halaman Data Sensor menampilkan data historis kelembaban, pH tanah, dan status pompa dalam tabel terstruktur sebagai akses data untuk analisis lebih lanjut. Dan pada Gambar 11 monitoring real-time menampilkan nilai kelembaban dan pH tanah beserta aktivitas pompa berbasis fuzzy Mamdani dalam rentang waktu tertentu untuk memudahkan analisis kondisi tanah..

3) Halaman Riwayat Data Sensor



Gambar 13 Halaman Riwayat Data Sensor



Gambar 12 Halaman Pengaturan

Pada Gbr 12 Menampilkan Halaman Riwayat Data Sensor yang menyediakan Fitur pencarian dan filter memungkinkan pemilihan periode waktu tertentu, dengan opsi ekspor data ke CSV, Excel, PDF, atau cetak langsung. dan Pada Gambar 13 menampilkan Halaman Pengaturan yang memungkinkan pengguna mengontrol pompa kelembaban dan pH dalam mode otomatis atau manual serta mengatur interval pembacaan sensor secara real-time.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, sistem kontrol dan monitoring kelembaban serta pH tanah cabai berbasis IoT dengan metode fuzzy Mamdani berhasil diimplementasikan menggunakan sensor kelembaban, sensor pH, Arduino Uno, ESP8266, dan modul relay untuk mengendalikan pompa. Sistem mampu melakukan pengambilan data secara real-time, mengirimkannya ke server, serta menampilkan hasil pemantauan pada aplikasi web. Penerapan algoritma fuzzy Mamdani terbukti efektif dalam mengendalikan pompa secara otomatis berdasarkan kondisi aktual tanah melalui proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi, sehingga sistem dapat menangani ketidakpastian data sensor dan memberikan keputusan yang adaptif sesuai kebutuhan tanaman cabai rawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah berperan serta dan memberikan dukungan kepada penulis selama proses penelitian ini, mulai dari tahap perencanaan hingga penyelesaian dengan lancar. Penghargaan khusus ditujukan kepada Rektor Universitas Negeri Manado, Dekan Fakultas Teknik, Pimpinan dan Dosen Program Studi Teknik Informatika, para dosen mata kuliah, serta orang tua, keluarga, dan sahabat yang selalu memberikan semangat dan dukungan tanpa henti. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasi yang telah diberikan.

REFERENSI

- Adolph, R. (2016). 濟無 No Title No Title No Title. 1–23.
- Ahmad Faisal Lukman Hakim, Tukadi, A. S. (2021). *Sistem Kontrol dan Monitoring Kelembaban dan Ph pada Tanaman Cabai Rawit (Capsicum Frutescens) Berbasis IoT (Internet Of Things)*. 219–224.
- Bala, A., Munaiseche, C. P. C., & Santa, K. (2022). Sistem kontrol alat pengukur berbasis iot menggunakan fuzzy tsukamoto dipeternakan ayam broiler desa tonsea lama. *Jointer : Journal of Informatics Engineering*, 03(02), 24–35.
- Imtiyaz, H., Prasetyo, B. H., & Hidayat, N. (2017). Sistem Pendukung Keputusan Budidaya Tanaman Cabai Berdasarkan Prediksi Curah Hujan. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 1(9), 1–6.
- Morselena, A., & Andie Rahman, F. Y. (2021). Alat Monitoring Kondisi Tanah Dan Penyiraman Otomatis Pada Tanaman Cabai Di Lahan Gambut Dengan Web Menggunakan Nodemcu

- Esp8266 Berbasis Internet of Things. *Diploma Thesis, Universitas Islam Kalimantan MAB*, 1–15.
- Ningsi, I. R., Kumajas, S. C., & Manado, U. N. (n.d.). *Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Gudang Farmasi Dinas Kesehatan Kabupaten Minahasa Berbasis IOT*.
- Rahardjo, V. A., & Setiyadi, D. (2021). Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering Implementasi Sensor Pengukur Kelembaban Tanah Dan Penyiraman Otomatis Serta Monitoring Pada Kebun Tanaman Cabai Rawit. *Homepage*, 3(2), 106–115.
- Rika Widianita, D. (2023). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析 Title. *AT-TAWASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam*, VIII(I), 1–19.
- Rukmana, A., Susilawati, H., & Galang. (2019). Pencatatan pH Tanah Otomatis. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Teknik Elektro Telekomunikasi Indonesia*, 10(1), 25–32.
- Runtuwene, S., Kumajas, S. C., & Sangkop, F. I. (2024). Aplikasi IoT Keamanan Rumah Menggunakan Metode Prototype: Aplikasi IoT Keamanan Rumah Menggunakan Metode Prototype. *Journal of Informatics, Business, Education and Innovation Technology*, 2(3), 26–37.
- Studi, P., Informatika, T., Sains, F., Teknologi, D. A. N., Islam, U., & Syarif, N. (2022). *Implementasi Fuzzy Logic Mamdani Pada Implementasi Fuzzy Logic Mamdani Pada*. 17(Iii).
- Yusran, F., Ramadan, D. N., & Damayanti, T. N. (2023). Sistem Monitoring pH Tanah dan Penyiraman Otomatis Tanaman Cerdas Berbasis IoT Mikrokontroler pada Bonsai Berjenis Santigi. *E-Proceeding of Applied Science*, 9(1), 316–323.