
PURWARUPA SISTEM PENGENDALIAN GREENHOUSE TANAMAN TOMAT MENGGUNAKAN RASPBERRY PI DAN FUZZY LOGIC

Junando Armando¹⁾, Yohanes Andreas Robert Langi²⁾, Edwin Tenda³⁾, Eliasta Ketaren⁴⁾

Program Studi Sistem Informasi

Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus Unsrat, Bahu-Kleak, Manado 95115

email: junandoarmando106@student.unsrat.ac.id¹⁾, yarlangi@unsrat.ac.id²⁾, tenda.edwin@unsrat.ac.id³⁾, eliasketaren@unsrat.ac.id⁴⁾

Abstrak

Pengendalian kondisi lingkungan greenhouse tanaman tomat secara manual seringkali kurang efektif dan tidak optimal. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pengendalian otomatis menggunakan Raspberry Pi dan logika fuzzy untuk mengatur suhu, kelembapan, dan cahaya, sehingga mendukung pertumbuhan optimal pada tanaman tomat. Metode yang digunakan adalah pengembangan waterfall, yang mencakup analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan perawatan. Sistem dilengkapi dengan sensor MiFlora Plant yang mengumpulkan data lingkungan secara real-time dan diproses menggunakan logika fuzzy untuk mengontrol aktuatur seperti pompa dan kipas DC secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan secara akurat dan efektif dalam menjaga kondisi optimal, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman tomat.

Kata Kunci: Greenhouse, Raspberry PI, Fuzzy Logic, Waterfall, Tanaman Tomat.

1. Pendahuluan

Greenhouse atau yang dikenal dengan rumah kaca sebagai fasilitas pertanian yang populer, telah menjadi kunci dalam mendukung pertumbuhan tanaman di lingkungan yang terkendali. Namun, menjaga kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman di dalam greenhouse bisa menjadi tantangan yang serius. Tanaman sangat rentan terhadap perubahan lingkungan, termasuk perubahan suhu dan kelembapan yang tajam. Kesalahan dalam pengaturan parameter lingkungan dapat berdampak buruk pada produktivitas tanaman, kualitas hasil panen dan bahkan kesejahteraan tanaman itu sendiri[1].

Dalam mengatasi tantangan tersebut diperlukan sistem pengendalian yang cerdas dan otomatis untuk mencapai hasil yang lebih konsisten dan optimal. Penerapan solusi ini menggunakan teknologi berbasis Raspberry PI yang terintegrasi dengan Fuzzy Logic. Raspberry PI, sebagai perangkat elektronik yang sering digunakan untuk pemantauan dan pengendalian lingkungan sehingga memungkinkan pengaturan parameter seperti suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya[2]. Di sisi lain, Fuzzy Logic yang merupakan bentuk kecerdasan buatan mampu memproses data yang tidak tepat atau tidak pasti, memberikan sistem kemampuan adaptasi terhadap perubahan lingkungan serta membuat keputusan yang menyerupai pemikiran manusia[3].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan konsep serupa seperti penelitian oleh Tenda[4], menciptakan prototipe sistem pemantauan dan pengendalian pertumbuhan tanaman cabai berbasis IoT dengan Raspberry PI. Kemudian penelitian oleh Farmadi[5], memanfaatkan mikrokontroler Arduino uno dan fuzzy logic untuk mengotomatisasi penyiraman tanaman dalam greenhouse. Selain itu, Nasron[6], menggunakan Raspberry PI dan Fuzzy Logic untuk mengontrol kelembapan tanah dan suhu yang menunjukkan keberhasilan 80% dalam menjaga kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman melalui metode fuzzy sugeno.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengendalian greenhouse tanaman tomat menggunakan Raspberry PI dan Fuzzy Logic. Serta untuk mengimplementasikan sistem pengendalian tersebut agar dapat mengatur suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya secara otomatis.

2. Landasan Teori

Greenhouse

Greenhouse atau rumah kaca merupakan struktur yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan mengatur faktor lingkungan seperti cahaya, suhu, kelembapan, nutrisi dan karbondioksida. Fasilitas ini meningkatkan produktivitas pertanian, melindungi tanaman dari kondisi merugikan, serta mendukung budidaya berbagai tanaman dengan hasil yang lebih beragam[7].

Purwarupa

Purwarupa atau prototype adalah model awal produk untuk menguji desain, fungsi, dan kinerja sebelum produksi massal. Ini membantu mengidentifikasi dan memperbaiki potensi kesalahan serta mengumpulkan masukan pengguna agar produk akhir sesuai kebutuhan[4].

Raspberry Pi

Raspberry Pi merupakan komputer papan tunggal seukuran kartu kredit yang dilengkapi CPU, GPU, RAM, port USB, HDMI, dan GPIO, serta menggunakan kartu Micro SD sebagai penyimpanan. Raspberry Pi dikembangkan oleh yayasan nirlaba, Raspberry Pi Foundation. Perangkat ini berfungsi sebagai server web, cloud storage, atau sistem pengontrol lingkungan untuk memantau suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya secara real-time, mendukung kondisi optimal pertumbuhan tanaman[8].

Miflora Sensor Plant

Sensor ini mampu mendeteksi kelembapan tanah, suhu, intensitas cahaya, dan kesuburan tanah. Miflora Sensor Plant terhubung secara nirkabel melalui Bluetooth dan memberikan data akurat untuk memastikan tanaman mendapatkan kondisi yang optimal. Sensor ini membantu dalam pemantauan detail dan otomatisasi sistem di greenhouse, menjadikan kontrol lingkungan lebih efisien dan cepat.

Motor Servo

Motor servo merupakan perangkat elektromekanis dengan sistem kontrol loop tertutup yang mengatur torsi dan kecepatan melalui arus dan tegangan. Berbagai jenis motor servo digunakan mulai dari mainan hingga mesin industri untuk kontrol posisi presisi tinggi. Komponen utamanya meliputi motor DC, roda gigi, kontroler, dan potensiometer, dengan fungsi utama mengatur posisi sudut berdasarkan lebar sinyal. Motor servo banyak diterapkan dalam industri seperti robotic arms, mesin CNC, dan pengemasan[9].

Logika Fuzzy Tsukamoto

Logika fuzzy adalah bentuk logika bernilai banyak yang memiliki nilai kebenaran antara 0 dan 1, dirancang untuk menangani ketidakpastian. Metode Tsukamoto diperkenalkan oleh Kiyoji Tsukamoto pada 1979 yang merupakan teknik inferensi fuzzy populer. Setiap aturan fuzzy memiliki konsekuensi berbentuk fungsi keanggotaan monoton. Prosesnya meliputi fuzzifikasi input, evaluasi aturan, dan kombinasi output menggunakan metode weighted average (rata-rata berbobot) untuk menghasilkan nilai crisp[10].

Metode Waterfall

Metode Waterfall adalah salah satu model pengembangan software yang paling klasik dengan tahapan berurutan: analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan perawatan. Setiap tahap harus diselesaikan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

3. Metode Penelitian

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Oktober 2023 dimulai dengan penyusunan proposal, tahapan perencanaan, pengumpulan data alat dan bahan. Penelitian ini akan dilaksanakan di Lab Komputer FMIPA UNSRAT.

Teknik Pengumpulan Data

a. Studi Literatur

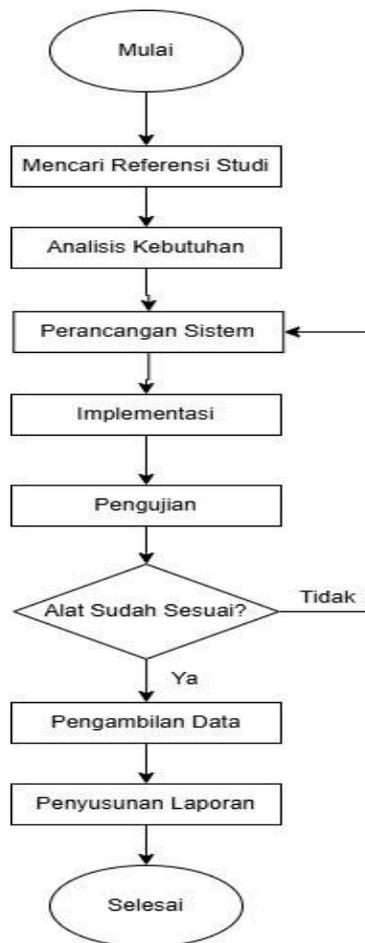
Studi literatur dilakukan dengan mempelajari beberapa jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan Raspberry Pi, Purwarupa Greenhouse, Logika Fuzzy, dan Metode Waterfall

b. Observasi

Observasi dilakukan dengan pengamatan langsung melalui studi literatur terhadap tanaman tomat dengan menggunakan sensor-sensor yang sesuai untuk mengukur parameter lingkungan di dalam greenhouse. Data ini menjadi dasar untuk mengamati kondisi lingkungan tumbuh tomat.

Tahapan Penelitian

Pada tahapan penelitian ini menjelaskan serangkaian langkah yang dilakukan oleh penulis dengan menggambarannya melalui flowchart. Tahapan-tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Dengan menggunakan metode RAD, sistem ini dapat disesuaikan dengan cepat terhadap perubahan kebutuhan TNI/Polri. RAD memungkinkan pengembangan yang lebih adaptif, di mana umpan balik dari pengguna langsung diterapkan dalam pengembangan sistem. Hal ini memungkinkan alat tes kesamaptaan berbasis teknologi Computer Vision dan IoT tersebut berfungsi secara optimal sesuai dengan standar fisik yang diharapkan oleh TNI/Polri, sekaligus memodernisasi dan mempercepat proses evaluasi fisik secara keseluruhan.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode Waterfall. Tahapan metode Waterfall tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- a. Analisis Kebutuhan
Pada tahap ini, dilakukan identifikasi kebutuhan spesifik seperti suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya pada greenhouse tanaman tomat dengan Raspberry Pi sebagai pusat control dan logika fuzzy.
- b. Perancangan Sistem
Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem pengendalian dengan Raspberri Pi dan logika fuzzy tsukomoto untuk kontrol otomatis dengan memilih hardware dan software yang sesuai dan identifikasi sensor untuk suhu, kelembapan. Intensitas Cahaya.
- c. Implementasi
Setelah tahap perancangan sistem, selanjutnya dilakukan merakit alat sensor yang sudah sesuai dan membuat program pada Raspberry Pi untuk membaca data dari sensor, mengolahnya dengan logika fuzzy dari setiap variable yang ada seperti suhu dengan parameter (dingin, normal, dan panas), kelembapan (kering, normal, basah), intensitas Cahaya (rendah, normal, tinggi) dengan mengontrol hardware sesuai kebutuhan.
- d. Pengujian
Melakukan pengujian sistem untuk memastikan bahwa semua kebutuhan sistem terpenuhi dan melakukan uji coba pada berbagai kondisi lingkungan untuk memastikan kendala pada sistem.
- e. Perawatan
Melakukan pemantauan dan perbaikan sistem secara berkala untuk memastikan sistem berjalan dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan.

4. Hasil Penelitian

Analisis Kebutuhan

Berikut merupakan rincian dari analisis kebutuhan yang dilakukan:

1. Identifikasi masalah
 - a. Sulitnya menjaga konsistensi suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya yang optimal untuk tomat
 - b. Memerlukan tenaga kerja yang terus-menerus memantau dan mengatur kondisi lingkungan.
 - c. Ketidakkuratan dalam pengaturan kondisi lingkungan yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas dan kuantitas pertumbuhan tanaman tomat.
2. Kebutuhan Fungsional
 - a. Pengukuran Parameter Lingkungan
Sistem memanfaatkan MiFlora Plant Sensor untuk mengukur suhu, kelembapan, dan intensitas secara real-time, yang merupakan faktor penting bagi pertumbuhan optimal tanaman tomat. Data sensor dikirim ke Raspberry Pi untuk analisis, menjadi input utama dalam pengendalian otomatis berbasis Fuzzy Logic.
 - b. Pengendalian Aktuator
Berdasarkan data sensor, sistem mengontrol kipas untuk menjaga suhu dan pompa air untuk irigasi secara otomatis menggunakan algoritma fuzzy logic, memastikan kondisi lingkungan optimal tanpa over-irigasi atau under-irigasi.
3. Kebutuhan Non-Fungsional:
 - a. Reliabilitas: Sistem harus mampu beroperasi secara kontinu dengan mekanisme pemulihan otomatis untuk mengatasi kegagalan sensor atau aktuator, memastikan kendali lingkungan greenhouse tetap akurat.
 - b. Kinerja: Sistem harus memproses data sensor dan merespons dengan cepat untuk menjaga kondisi optimal di greenhouse, menghindari dampak buruk akibat perubahan lingkungan yang mendadak.
 - c. Skalabilitas: Sistem harus fleksibel untuk dikembangkan, memungkinkan penambahan sensor atau aktuator tanpa perubahan besar pada arsitektur, mendukung perluasan area atau kebutuhan tambahan.

Perancangan Sistem

1. Perancangan Arsitektur Sistem

Berikut adalah komponen-komponen utama dari arsitektur sistem:

- a. Hardware
 1. Raspberry Pi digunakan untuk mikrokontroler utama yang akan mengumpulkan data dari sensor, memproses data menggunakan algoritma fuzzy logic, dan mengendalikan aktuator berdasarkan hasil pemrosesan data.
 2. MiFlora Sensor Plant untuk mengukur suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya di dalam greenhouse. Kemudian mengirimkan data suhu dan kelembapan ke Raspberry Pi secara berkala.
 3. Relay module digunakan untuk mengendalikan perangkat eksternal seperti kipas dan pompa air. Raspberry Pi akan mengirimkan sinyal ke relay module untuk mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat eksternal.
 4. Aktuator yang dikendalikan oleh relay module meliputi kipas untuk pengaturan suhu dan pompa air sebagai sistem irigasi otomatis.
- b. Software
 1. Python: Raspberry Pi menggunakan Python untuk mengolah data sensor dan mengimplementasikan algoritma fuzzy logic.
 2. Fuzzy Logic: Algoritma ini memproses data sensor untuk mengontrol sistem secara otomatis untuk memastikan kondisi lingkungan greenhouse tetap optimal

2. Perancangan Fuzzy Logic

Berikut adalah rincian dari masing-masing proses:

a. Pembentukan himpunan fuzzy

Terdapat 3 variabel input yang digunakan yaitu suhu, kelembapan, dan cahaya. Untuk variabel outputnya yaitu mati, menyala singkat, dan menyala lama.

1. Suhu

Dingin: (0°C - 20°C)

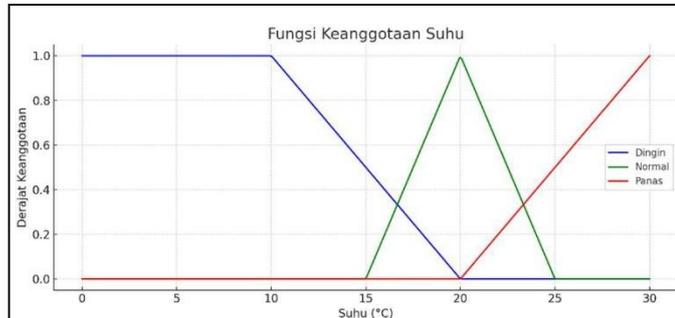
$$\mu_{Dingin}(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \leq 10 \\ \frac{20-x}{20-10} & \text{jika } 10 < x < 20 \\ 0 & \text{jika } x \geq 20 \end{cases}$$

Normal: (15°C - 25°C)

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 15 \text{ atau } x \geq 25 \\ \frac{x - 15}{20 - 15} & \text{jika } 15 < x < 20 \\ \frac{25 - x}{25 - 20} & \text{jika } 20 < x < 25 \end{cases}$$

Panas: (20°C – 30°C)

$$\mu_{Panas}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 20 \\ \frac{x - 20}{30 - 20} & \text{jika } 20 < x < 30 \\ 1 & \text{jika } x \geq 30 \end{cases}$$



Gambar 2. Grafik fungsi keanggotaan suhu

2. Kelembapan

Kering: (0% - 60%)

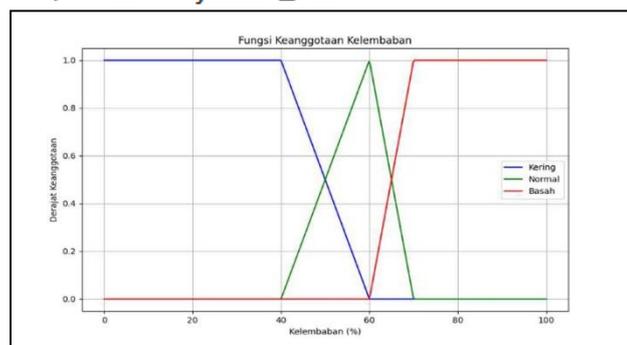
$$\mu_{Kering}(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \leq 40 \\ \frac{60 - x}{60 - 40} & \text{jika } 40 < x < 60 \\ 0 & \text{jika } x \geq 60 \end{cases}$$

Normal: (40% - 70%)

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 40 \text{ atau } x \geq 70 \\ \frac{x - 40}{60 - 40} & \text{jika } 40 < x < 60 \\ \frac{70 - x}{70 - 60} & \text{jika } 60 < x < 70 \end{cases}$$

Basah: (60% - 70%)

$$\mu_{Basah}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 60 \\ \frac{x - 60}{70 - 60} & \text{jika } 60 < x < 70 \\ 1 & \text{jika } x \geq 70 \end{cases}$$



Gambar 3. Grafik fungsi keanggotaan kelembapan

3. Intensitas Cahaya

Rendah : (0 – 4000 lux)

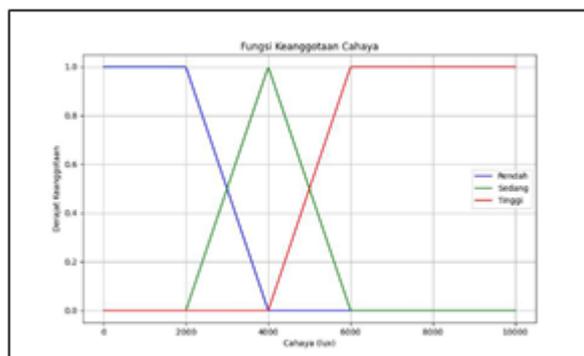
$$\mu_{\text{Rendah}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \leq 2000 \\ \frac{4000 - x}{4000 - 2000} & \text{jika } 2000 < x < 4000 \\ 0 & \text{jika } x \geq 4000 \end{cases}$$

Sedang : (2000 – 6000 lux)

$$\mu_{\text{Normal}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 2000 \text{ atau } x \geq 6000 \\ \frac{x - 2000}{4000 - 2000} & \text{jika } 2000 < x < 4000 \\ \frac{6000 - x}{6000 - 4000} & \text{jika } 4000 < x < 6000 \end{cases}$$

Tinggi : (4000 – 6000 lux)

$$\mu_{\text{Tinggi}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 4000 \\ \frac{x - 4000}{6000 - 4000} & \text{jika } 4000 < x < 6000 \\ 1 & \text{jika } x \geq 6000 \end{cases}$$



Gambar 4. Grafik fungsi keanggotaan intensitas cahaya

b. Aturan Fuzzy

1. Aturan fuzzy Suhu untuk Kecepatan Kipas

JIKA Suhu Dingin (0°C - 20°C) MAKA Kipas Mati

JIKA Suhu Normal (15°C - 25°C) MAKA Kipas Nyala Singkat (menyala 30 detik) JIKA Suhu Panas (20°C - 30°C) MAKA Kipas Nyala Lama (menyala 60 detik)

2. Aturan fuzzy kelembapan untuk Pompa Air

JIKA Kelembaban Kering (0% - 60%) MAKA Pompa Air Nyala Lama (menyala 60 detik)

JIKA Kelembaban Normal (40% - 70%) MAKA Pompa Air Nyala Singkat (menyala 30 detik)

JIKA Kelembaban Basah (60% - 70%) MAKA Pompa Air Mati

3. Aturan fuzzy cahaya untuk Motor Servo

JIKA Cahaya Rendah (0 – 4000 lux) MAKA Motor servo terbuka JIKA Cahaya Normal (2000 – 6000 lux) MAKA Motor servo tertutup JIKA Cahaya Tinggi (4000 – 6000 lux) MAKA Motor servo tertutup

c. Inferensi Fuzzy

1. Fuzzifikasi

Derajat keanggotaan misal $x = 22^\circ$ (untuk suhu), $x = 68\%$ (untuk kelembaban), dan 5000 lux (untuk Cahaya)

Suhu :

$$\mu_{\text{Dingin}}(22) = 0$$

$$\mu_{\text{Normal}}(22) = \frac{25 - 22}{25 - 20} = \frac{3}{5} = 0.6$$

$$\mu_{\text{Panas}}(22) = \frac{22 - 20}{30 - 20} = \frac{2}{10} = 0.2$$

Kelembaban :

$$\mu_{\text{Kering}}(68) = 0$$

$$\mu_{\text{Normal}}(68) = \frac{70 - 68}{70 - 60} = \frac{2}{10} = 0.2$$

$$\mu_{\text{Basah}}(68) = 0$$

Intensitas Cahaya :

$$\begin{aligned}\mu_{Dingin}(6000) &= 0 \\ \mu_{Normal}(6000) &= \frac{5000 - 4000}{6000 - 4000} = \frac{1000}{2000} = 0.5 \\ \mu_{Panas}(6000) &= 0\end{aligned}$$

2. Penerapan Aturan Fuzzy Suhu (Aktuator: Kipas):

Jika suhu Normal, maka kecepatan kipas adalah Menyala singkat. Jika suhu Panas, maka kecepatan kipas adalah Menyala sedang.

Kelembaban (Aktuator: Pompa Air):

Jika kelembaban Normal, maka pompa air Menyala singkat.

Intensitas Cahaya (Aktuator: Motor Servo):

Jika intensitas cahaya Normal, maka motor servo Tertutup.

3. Perhitungan Alpha Predikat Suhu:

Alpha predikat untuk kondisi Normal = 0.6 Alpha untuk kondisi Panas = 0.2

Kelembaban: Alpha untuk kondisi Normal = 0.2 Intensitas Cahaya: Alpha untuk kondisi Normal = 0.5

4. Agregasi Output

Suhu: Jika Suhu Normal maka Kipas Menyala Singkat $\alpha = 0.2$, $z = 30$

Kelembaban: Jika Kelembaban Normal maka Pompa Air Nyala Singkat $\alpha = 0.2$, $z = 30$ Intensitas

Cahaya: Jika Intensitas Cahaya Normal maka Motor Servo Tertutup $\alpha = 0.5$, $z = 0$

- d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi dilakukan dengan menghitung rata-rata tertimbang dari nilai output.

$$z_{crisp} = \frac{\sum(\alpha \times z)}{\sum \alpha}$$

Keterangan:

z_{crisp} = Nilai akhir crisp (tegas) yang dihasilkan dari proses defuzzifikasi. Ini adalah output yang akan digunakan sebagai keputusan atau tindakan sistem.

α = Alpha predikat, yaitu derajat keanggotaan (nilai minimum) dari setiap aturan yang menunjukkan seberapa besar aturan tersebut berkontribusi terhadap output.

z_i = Nilai output (konsekuen) yang sudah ditetapkan untuk setiap aturan berdasarkan kondisi fuzzy. Misalnya, "Kipas Nyala Lama" atau "Pompa Nyala Lama."

Defuzzifikasi untuk kipas:

$$\begin{aligned}z_{crisp \text{ kipas}} &= \frac{(0.2 \times 30) + (0.2 \times 60)}{0.2 + 0.2} \\ z_{crisp \text{ kipas}} &= 45\end{aligned}$$

Defuzzifikasi untuk pompa:

$$\begin{aligned}z_{crisp \text{ pompa}} &= \frac{(0.2 \times 30)}{0.2} \\ z_{crisp \text{ pompa}} &= 30\end{aligned}$$

Intensitas Cahaya (Aktuator: Motor Servo)

Defuzzifikasi untuk kipas:

$$\begin{aligned}z_{crisp \text{ Servo}} &= \frac{(0.5 \times 30)}{0.5} \\ z_{crisp \text{ Servo}} &= 0\end{aligned}$$

Berdasarkan input yang ada, maka defuzzifikasi crisp (nilai tegas) output dari setiap aktuator :

Suhu 22° : menyala kipas : 45 Detik

Kelembaban 68% : menyala Pompa : 30 Detik

Int Cahaya 6000 lux : motor servo : 0 (tertutup)

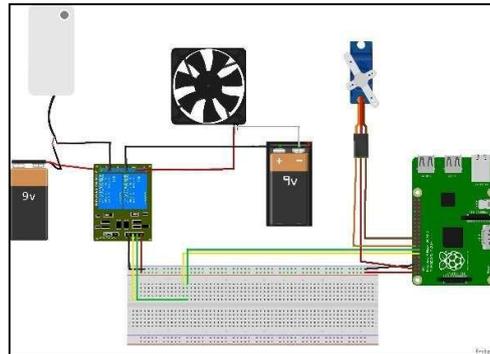
Implementasi

Instalasi dan Konfigurasi Hardware

Implementasi dimulai dengan merakit hardware, yaitu Raspberry Pi sebagai pusat kontrol, MiFlora Sensor untuk mengukur suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya, serta relay module untuk mengendalikan kipas dan pompa air.

- a. Raspberry Pi: Mikrokontroler utama dengan OS Raspbian, terhubung ke sensor dan aktuator melalui GPIO, serta dilengkapi Wi-Fi untuk pengiriman data.

- b. MiFlora Sensor: Mengukur parameter lingkungan secara real-time dan mengirimkan data ke raspberry Pi.
 - c. Relay Module: Mengontrol kipas dan pompa air berdasarkan sinyal dari Raspberry Pi sesuai algoritma Fuzzy Logic.
- Protipe konfigurasi alat dan penjelasan dapat dilihat pada gambar 4. Dan tabel 1 sampai tabel 4.



Gambar 4. Protipe Konfigurasi alat

Tabel 1. Konfigurasi Board Raspberry Pi ke Relay

| Kabel | Raspberry Pi | Relay |
|--------|------------------|------------------|
| Merah | 5V | VCC |
| Hitam | Ground | Ground |
| Kuning | Pin 11 (GPIO 17) | In 1 (channel 1) |
| Hijau | Pin 13 (GPIO 27) | In 2 (channel 2) |

Tabel 2. Konfigurasi Motor Servo ke Raspberry Pi

| Kabel | Motor Servo | Raspberry Pi |
|--------|-------------|------------------|
| Merah | VCC | 5V |
| Coklat | Ground | Ground |
| Kuning | Signal 1 | Pin 33 (GPIO 23) |

Tabel 3 Konfigurasi Kipas ke Relay

| Kabel | Kipas | Relay | Baterai |
|-------|-------|--------------------------|---------|
| Merah | (+) | Normally Open (NO) di K1 | |
| Hitam | | Common (COM) di K1 | (+) |
| Putih | (-) | | (-) |

Tabel 4 Konfigurasi Pompa ke Relay

| Kabel | Pompa | Relay | Baterai |
|-----------|-------|--------------------------|---------|
| Merah | (+) | Normally Open (NO) di K2 | |
| Hitam | | Common (COM) di K2 | (+) |
| Hitam (2) | (-) | | (-) |

Pemrograman Alat

- a. Suhu

Sistem menggunakan tiga kategori fuzzy untuk suhu(dingin, normal, panas) dan tiga kategori untuk kecepatan kipas(mati, singkat, lama). Aturan fuzzy yang diterapkan dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 5. Tabel Aturan Fuzzy Suhu

| Suhu | Kecepatan Kipas |
|--------|-----------------|
| Dingin | Mati |
| Normal | Singkat |
| Panas | Lama |

Raspberry Pi membaca data suhu melalui sensor dan mengolahnya dengan algoritma fuzzy untuk menentukan tindakan yang sesuai. Berdasarkan aturan ini, kipas akan menyala atau mati secara otomatis untuk menjaga kondisi lingkungan yang optimal.

- b. Kelembapan

Aturan fuzzy untuk pengendalian pompa air didasarkan pada tingkat kelembapan yang diukur oleh MiFlora Plant Sensor. Terdapat tiga kategori kelembapan, yaitu kering (0-40), normal (40-70), dan basah (60-100). Jika kelembapan berada dalam kondisi kering, pompa air diaktifkan dalam durasi lama untuk meningkatkan

kelembapan. Pada kondisi normal, pompa air hanya menyala dalam durasi singkat. Sementara itu, jika kelembapan berada dalam kategori basah, pompa air dimatikan untuk mencegah over-irrigasi. Logika fuzzy yang diterapkan pada Raspberry Pi memproses data kelembapan melalui tahap fuzzifikasi, inferensi menggunakan aturan fuzzy ini, dan defuzzifikasi untuk menentukan durasi kerja pompa secara otomatis dan akurat, menjaga kondisi ideal bagi tanaman di greenhouse. Aturan fuzzy dari kelembapan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Aturan Fuzzy dari kelembapan

| Kelembapan | Pompa Air |
|------------|---------------|
| Kering | Nyala Lama |
| Normal | Nyala Singkat |
| Basah | Mati |

c. Intensitas Cahaya

Aturan fuzzy untuk pengendalian motor servo berdasarkan intensitas cahaya bertujuan untuk menjaga tingkat pencahayaan optimal di dalam greenhouse. Terdapat tiga kategori intensitas cahaya yang didefinisikan: rendah (0-2000), normal (2000-4000), dan tinggi (4000-7000). Keluaran fuzzy berupa status motor servo yang memiliki dua kondisi: terbuka (membuka penutup) dan tertutup (menutup penutup). Jika intensitas cahaya berada dalam kategori rendah, motor servo akan membuka penutup untuk meningkatkan pencahayaan di dalam greenhouse. Sebaliknya, pada kategori normal dan tinggi, motor servo menutup penutup untuk mencegah pencahayaan berlebih. Aturan fuzzy ini memungkinkan sistem secara otomatis mengatur motor servo berdasarkan data intensitas cahaya yang diolah melalui proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Hal ini membantu menjaga kondisi pencahayaan yang sesuai untuk pertumbuhan optimal tanaman. Aturan fuzzy intensitas cahaya dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Tabel Aturan Fuzzy Intensitas Cahaya

| Cahaya | Motor Servo |
|--------|-------------|
| Rendah | Terbuka |
| Normal | Tertutup |
| Tinggi | Tertutup |

Pengujian

Pengujian alat dilakukan dengan cara memasukkan MiFlora Sensor Plant di tanah, lalu sensor tersebut akan mengirimkan data ke Raspberry Pi dengan data tergantung kondisi yang ada. Berikut hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian

| Pengujian | Aksi | Reaksi | Sesuai/TS |
|-----------|--|---|-----------|
| 1 | Suhu : 27° Kelembaban : 65% Intensitas Cahaya : 6125 lux | Kipas: Menyala lama Pompa: Menyala singkat Tirai: Tertutup | Sesuai |
| 2 | Suhu : 22,9° Kelembaban : 68% Intensitas Cahaya : 0 lux | Kipas: Menyala singkat Pompa: Menyala singkat Tirai : Terbuka | Sesuai |

Perawatan

Berikut merupakan proses perawatan yang dilakukan untuk memastikan sistem pengendalian greenhouse tetap bekerja sesuai kebutuhan dan dapat diandalkan dalam jangka panjang:

1. Evaluasi Keselarasan Sistem Dengan Kebutuhan
Kinerja Sistem: Evaluasi performa sistem dengan membandingkannya terhadap spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya, terutama dalam hal pengolahan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya. Pastikan sistem mampu menciptakan kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman tomat.
Efektivitas Logika Fuzzy: Verifikasi logika fuzzy merespons perubahan parameter lingkungan dengan benar. Jika diperlukan, lakukan uji coba tambahan untuk meningkatkan akurasi respon sistem.
2. Pengembangan dan Pembaruan
Peningkatan Perangkat Lunak: Lakukan pembaruan pada perangkat lunak untuk meningkatkan kinerja sistem dan mengatasi kekurangan yang ditemukan selama pengoperasian. Pastikan kode logika fuzzy dapat diadaptasi dengan kebutuhan baru.

Pengembangan Skala: Evaluasi apakah sistem memungkinkan untuk diperluas atau diintegrasikan dengan teknologi tambahan seperti IoT untuk pemantauan jarak jauh

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian otomatis untuk greenhouse tanaman tomat menggunakan Raspberry Pi dan Fuzzy logic, yang mampu mengatur suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya secara otomatis. Sistem ini terbukti efektif dalam menjaga kondisi lingkungan yang optimal di dalam greenhouse, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman tomat yang lebih. Pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi sesuai dengan aturan fuzzy yang telah dirancang, serta dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan secara real-time.

6. Daftar Pustaka

- [1] D. Kurniawan dan A. Witanti, "Prototype of Control and Monitor System with Fuzzy Logic Method for Smart Greenhouse," *Indones. J. Inf. Syst.*, vol. 3, no. 2, hal. 116–127, 2021, doi: 10.24002/ijis.v3i2.4067.
- [2] A. Prasetyo, A. R. Yusuf, Y. Litanianda, S. Sugianti, dan F. Masykur, "Implementation of Fuzzy Logic for Chili Irrigation Integrated with Internet of Things," *J. Comput. Networks, Archit. High Perform. Comput.*, vol. 5, no. 2, hal. 494–502, 2023, doi: 10.47709/cnahpc.v5i2.2518.
- [3] S. Yosep, "Implementation of Fuzzy Logic on Internet of Things-Based Greenhouse," *Internet Things Artif. Intell. J.*, vol. 1, no. 2, hal. 100–113, 2021, doi: 10.31763/iota.v1i2.489.
- [4] E. P. Tenda, A. Lengkong, R. Rotikan, dan S. Adam, "Purwarupa Sistem Pemantauan dan Pengendalian Pertumbuhan Tanaman Cabai dalam Screen House," *CogITo Smart J.*, vol. 8, no. 1, hal. 1–12, 2022, doi: 10.31154/cogito.v8i1.338.1-12.
- [5] A. Farmadi, D. T. Nugrahadi, F. Indriani, dan O. Soesanto, "Sistem Fuzzy Logic Tertanam Pada Mikrokontroler Untuk Penyiraman Tanaman Pada Rumah Kaca," *Klik - Kumpul. J. Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 2, hal. 223, 2017, doi: 10.20527/klik.v4i2.121.
- [6] N. Nasron, S. Suroso, dan A. R. Putri, "Perancangan Logika Fuzzy Untuk Sistem Pengendali Kelembaban Tanah dan Suhu Tanaman," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 3, no. 4, hal. 307, 2019, doi: 10.30865/mib.v3i4.1245.
- [7] Putri & Siptiana, "濟無No Title No Title No Title," *C*, hal. 1–23, 2019.
- [8] R. Friadi dan J. Junadhi, "Sistem Kontrol Intensitas Cahaya, Suhu dan Kelembaban Udara Pada Greenhouse Berbasis Raspberry PI," *J. Technopreneursh. Inf. Syst.*, vol. 2, no. 1, hal. 30–37, 2019, doi: 10.36085/jtis.v2i1.217.
- [9] Sujarwata, "Pengendali Motor Servo Berbasis Mikrokontroler Basic Stamp 2Sx Untuk Mengembangkan Sistem Robotika," *Eng. Sains J.*, vol. V, hal. 47–54, 2013.
- [10] H. Nasution, "Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan," *ELKHA J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, hal. 4–8, 2020, [Daring]. Tersedia pada: [https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/512%0Ahttp://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1559615&val=2337&title=Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan](https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/512%0Ahttp://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1559615&val=2337&title=Implementasi%20Logika%20Fuzzy%20pada%20Sistem%20Kecerdasan%20Buatan)