

Pemodelan Sistem Penyiraman Cerdas Bergerak Pada Budidaya Jamur Tiram

Herny Februariyanti¹, Eddy Nurraharjo², Muji Sukur³, Firman Ardiansyah Ekoanindiyo⁴

^{1,2,3,4}Universitas Stikubank Semarang, Indonesia

¹e-mail: hernyfeb@edu.unisbank.ac.id

²e-mail: eddynurraharjo@edu.unisbank.ac.id

³e-mail: muji.sukur@edu.unisbank.ac.id

⁴e-mail: firman@edu.unisbank.ac.id

Diterima	Direvisi	Disetujui
11-06-2024	26-06-2024	22-07-2024

Abstrak - Integrasi sistem kendali jarak jauh telah menjadi aspek krusial dalam evolusi teknologi digital. Sistem tersebut memegang peran dan fungsi yang bervariasi, untuk memenuhi banyak ragam kebutuhan. Pada masa periode Revolusi Industri 4.0 seiring dengan lajunya Pertanian 4.0, penerapan teknologi ini semakin meluas, salah satu riset yang telah dilakukan pada artikel ini adalah proses penyiraman atau pengabutan pada ruang budidaya secara otomatis bergerak. Fokus masalah penyiraman didasarkan pada permasalahan terhadap kurangnya pemerataan hasil penyiraman, sehingga memunculkan inovasi ide fitur adaptif penyiraman otomatis bergerak. Pengembangan riset diawali dengan melakukan integrasi teknologi sensor suhu, kelembapan dan intensitas cahaya, dilengkapi dengan perangkat kendali utama (mikrokendali), dan perangkat aktuator berdaya DC. Selain itu sistem yang diusulkan ini, menerapkan algoritma *fuzzy* yang lebih adaptif terhadap perubahan fenomena alamiah dan iklim, sesuai kebutuhannya, dimana suhu antara 15-33° Celcius, kelembapan antara 47-99% serta intensitas cahaya pada nilai rentang 80-800 lumens. Proses pengamatan, pemodelan dan pengujian sistem berjalan dalam 1 periode tanam Jamur Tiram, dan telah diterajukan di lingkungan sebenarnya di wilayah Kota Semarang. Sinergi berbagai teknologi, didampingi oleh algoritma terapan berbasis pembelajaran mesin *fuzzy* pada sistem ini telah mampu menghasilkan sebuah perangkat yang inovatif cerdas kekinian, sesuai kebutuhan penggunaannya, dan berpotensi luas untuk dapat diterapkan pada beragam lingkup budidaya tanaman hortikultura maupun fortikultura lainnya.

Kata Kunci: Sistem Cerdas, Penyiraman Bergerak, Fuzzy Adaptif, Autosprayer

Abstract - Currently, the integration of remote control systems has become a crucial aspect in the evolution of digital technology. These systems play diverse roles and functions to meet various needs. In the era of Industry 4.0 and Agriculture 4.0, the implementation of this technology is expanding, as evidenced by research discussed in this article focusing on the automated movement of irrigation or misting processes in cultivation spaces. The irrigation issue addressed is the uneven distribution of watering results, prompting the innovation of an adaptive feature for moving automatic irrigation. The research development began with the integration of temperature, humidity, and light intensity sensor technologies, complemented by the main control device (microcontroller), and DC-powered actuator devices. Additionally, the proposed system applies a more adaptive fuzzy algorithm to respond to changes in natural phenomena and climate, tailored to specific needs, where the temperature ranges between 25-30 degrees Celsius, humidity between 47-99% and light intensity within the range of 80-800 lumens. The observation, modelling, and testing processes of the system occurred over one cultivation period of Oyster mushrooms and were successfully implemented in the actual environment in the Semarang City region. The synergy of various technologies, coupled with a machine learning-based fuzzy algorithm, has resulted in an innovative and contemporary intelligent device that meets user needs and has the potential for broad application in various horticultural and floricultural cultivation scopes.

Keywords: Smart System, Mobile Irrigation, Adaptive Fuzzy, Auto sprayer

PENDAHULUAN

Negara-negara berkembang seperti Indonesia masih memerlukan kontribusi besar dari para peneliti dalam negeri untuk pengembangan berbagai sektor potensi negara yang didominasi pertanian. Salah satu

sektor yang mendapat perhatian khusus bagi para periset dunia diantaranya adalah pertanian(Xu et al., 2022)(Zhou, 2022). Permintaan yang tinggi terhadap produktivitas pertanian, sejalan dengan peningkatan kebutuhan sekunder masyarakatnya, sekaligus dapat



membuatnya menjadi fokus utama dalam berbagai penelitian yang dilakukan oleh anak-anak bangsa. Ketersediaan sumber energi alamiah dasar dan letak geografis yang mendukung, telah menjadi dasar yang memadai untuk menjalankan penelitian jangka panjang (Bhat et al., 2022) (Farooq et al., 2022).

Teknologi rekayasa, terutama dalam era Pertanian 4.0, terus bersinergi untuk memenuhi kebutuhan pengelolaan (Siskandar et al., 2022), pemantauan (Yang et al., 2021), deteksi (Lee et al., 2021), serta memberikan solusi dan pendekatan terbaik terhadap tantangan di sektor pertanian (Liaqat et al., 2022). Selama perjalanan panjang peningkatan produktivitas pertanian ini, teknologi tersebut telah melengkapi seluruh proses, dimulai dari tahap awal hingga tahap akhir. Berbagai teknologi terkini telah berhasil diterapkan dengan berbagai tingkat otomatisasi, mulai dari penggunaan sistem manual, semi otomatis (Khoa et al., 2019), hingga kendali elektronik canggih dan modern. Bahkan, kemajuan dalam desain sistem otomatis memungkinkannya untuk meningkatkan percepatan proses dan menjaga konsistensi terhadap produk budidaya dari pra-proses hingga pasca-panen, yang terbukti memberikan hasil yang positif.

Beberapa faktor yang menjadi bahan riset adaptif pada artikel ini, seperti perubahan kondisi alamiah dalam budidaya (Nourani et al., 2021), mencakup aspek-aspek yang signifikan seperti suhu (Oubehar et al., 2020), kelembapan, curah hujan (Varga, 2021), kontur tinggi rendah tanah, geografis, ketinggian permukaan dari air laut, dan faktor lainnya. Faktor-faktor ini memiliki potensi menjadi perhatian utama, terutama di area budidaya yang memiliki cakupan wilayah terbatas. Sementara itu, dalam konteks perkembangan sistem informasi, yang merupakan cabang keilmuan multifungsi, masih memegang peran penting dalam evolusi teknologi informasi. Penerapan dan pengendalian sistem menjadi fokus utama dalam pengembangan tata kelola sumber daya saat ini. Dalam konteks ini, perancangan sistem menjadi krusial agar dapat menyediakan fitur yang memadai dan sesuai dengan kebutuhan operasional, terutama dalam area budidaya pertanian (Yang et al., 2021).

Harapannya adalah bahwa penggunaan teknologi mutakhir dalam meningkatkan kemampuan multi-implementatif dapat diterapkan dalam berbagai aspek, terutama dalam sistem ekonomi masyarakat seperti pendidikan, pertanian, perkebunan, perikanan, bahkan industri. Pemanfaatan teknologi berbasis *Internet of Things* di bidang pertanian (Tao et al., 2021), yang telah berkembang dan merambah ke berbagai aspek kehidupan, mampu mendukung transisi menuju sistem pintar yang beregenerasi, menjadi landasan teknologi bagi industri global di masa depan (Khoa et al., 2019).

Beberapa contoh perangkat kendali yang tersedia di pasaran menggunakan fitur unggulan

koneksi secara *wireless*. Proses pengembangan melibatkan kolaborasi berbagai metode dan algoritma logika fuzzy (Thong-un & Wongsaroj, 2022), seperti Tsukamoto (Handayani & Nurcahyo, 2021), Mamdani (Napitupulu et al., 2020), Sugeno (Sari et al., 2016), dan Telemetry (Thong-un & Wongsaroj, 2022), telah dapat dimanfaatkan dan diterapkan oleh beberapa peneliti dengan optimasi dan akurasi yang baik. Terapan dominasi yang banyak ditemukan pada beberapa jurnal, terkait masih dalam hal menerapkannya untuk membantu mendeteksi beberapa hal seperti kondisi tanah, jenis tanaman, kondisi lingkungan, otomatisasi proses dan lain sebagainya.

Masalah yang utama dalam pertanian adalah adanya proses pengelolaan budidaya, seperti penyiraman (Prasetyo et al., 2022), pemupukan, penyemaian, perawatan dari hama dan gulma, serta tata kelola hasil panen, masih memerlukan adanya inovasi guna mengembangkan teknologi yang ada dan meningkatkan nilai kemanfaatannya bagi pengguna pada idang pertanian, pada umumnya dan pada budidaya jamur tiram ini pada khususnya (Chwietczuk, 2021) (Fitriawan et al., 2020).

Salah satu hal yang menjadi fokus riset ini adalah rekayasa sistem penyiraman guna menjaga kelembapan dan suhu area budidaya (Senanayake & Pradhan, 2022), akibat dari perubahan iklim yang tidak dapat ditentukan dan tidak mudah diprediksi (Pomoni et al., 2023). Hal ini biasanya dilakukan oleh para petani jamur tiram dengan melakukan penyiraman berkala dan periodik, untuk menjadikannya menjaga kestabilan lingkungan area budidaya jamur tiram ini (Soheli et al., 2022). Efek yang diharapkan adalah mampu menurunkan suhu dan meningkatkan kelembapan sebagai syarat tumbuh optimal tanaman jamur tiram ini. Rekayasa sistem penyiraman berpenggerak motor DC menjadi ide atas inovasi dan menjadi tema yang layak diangkat untuk melengkapi fitur penyiraman dengan dasar logika fuzzy, yang telah banyak dilakukan periset sebelumnya berdasarkan variabel suhu, kelembapan dan intensitas cahaya.

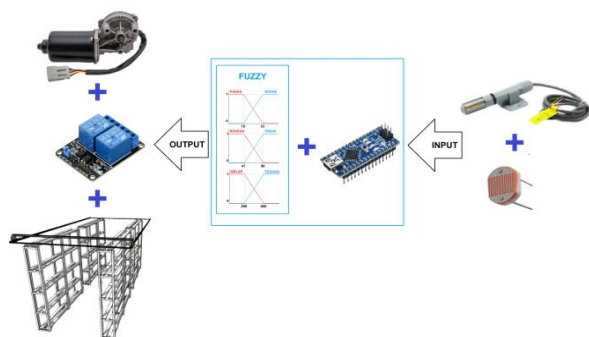
Adanya pengembangan kemampuan sistem penyiraman menggunakan logika fuzzy dan berpenggerak ini diharapkan akan mampu menangani kekurangan atas model mode yang sama namun statis. Dimana kondisi penyiraman otomatis statis, yang hanya terjadwal sewaktu periodik, masih memiliki dampak umum yaitu tanaman jamur tiram memiliki tingkat kebasahan yang tinggi, sehingga menurunkan kualitas dan harga jual pasca panennya.

METODE PENELITIAN

Berdasarkan pada informasi data yang telah dikumpulkan pada uraian latar belakang di atas, terdapat sejumlah fokus permasalahan yang menjadi hambatan dalam sistem pengendaliannya. Perancangan struktur sistem dalam bentuk blok diagram yang berhasil diterapkan pada riset ini, dapat dilihat pada Gambar 1, sekaligus mencerminkan struktur dan

konstruksi rangkaian penelitian. Modul mikrokontroler Arduino nano yang diifungsikan sebagai pengendali utama, akan menjadi penghubung luaran beban berupa dua buah relai, yang akan digunakan untuk mengatur atau mengubah polaritas sebuah adaptor daya 19V, dan terhubung dengan motor penggerak DC. Data dan nilai masukan sistem, diperoleh dari sensor utama AM2305 yang berfungsi mendeteksi suhu dan kelembapan di sekitar, serta sensor LDR sebagai pendeteksi intensitas cahaya lingkungan. Modul sistem mikrokontroler ini dapat secara dinamis, melakukan penyesuaian operasional penyiraman dengan fleksibilitas dan mobilitas tinggi serta adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Adapun gagasan keseluruhan sistem dapat diamati dalam diagram alir yang disajikan pada artikel ini sebagai berikut.



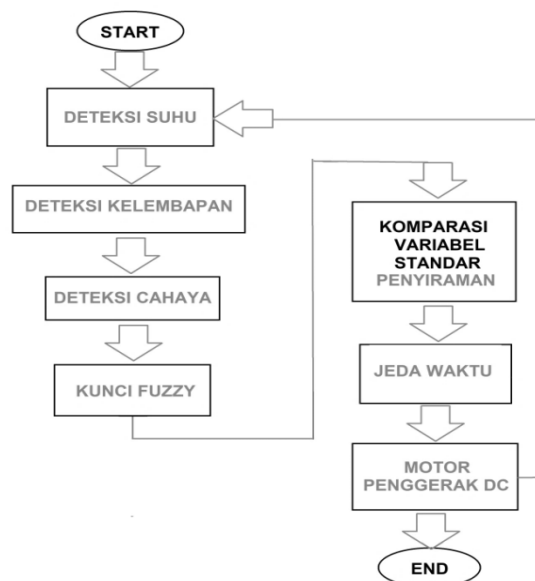
Gambar 1. Blok Sistem Penyiraman
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Gambar 1 di atas menggambarkan struktur sistem dari riset yang telah dilakukan, dengan modul Arduino nano sebagai pengendali mikro utama yang terhubung ke aktuator penggerak DC berupa motor wiper DC 24 volt. Data kendali masukan berupa suhu, kelembapan, intensitas cahaya lingkungan akan diolah dan digunakan untuk dapat menentukan 3 kriteria penyiraman pada perbedaan waktunya pagi, siang dan malam.

Kategori suhu adalah panas dan dingin, kategori kelembapan adalah tinggi dan rendah, serta kategori intensitas cahaya adalah gelap dan terang. Diagram alir yang menggambarkan proses algoritma sistem kendali dengan pendekatan metode fuzzy tsakamoto dapat disimak pada tampilan Gambar 2.

Proses rekayasa perangkat lunak mengkombinasikan masukan sensor AM2305 dan LDR, akan menentukan kendali luaran aktuator agar dapat bergerak dengan pengaturan mode penyiraman searah atau dua arah, sebagai pembeda intensitas penyiramannya. Rancangan ini fokus pada pengendalian sumber daya listrik (*switching*) yang mengkoneksikan beban AC melalui adaptor sebagai catu daya ke motor DC melalui relai. Relai juga terkondisi program dengan fungsi untuk pengaturan pergerakan maju dan mundur., arah maju-mundur pergerakannya berdasarkan pada pengendalian

serempak 2 relainya, yang telah berubah polaritas catu daya secara otomatis.

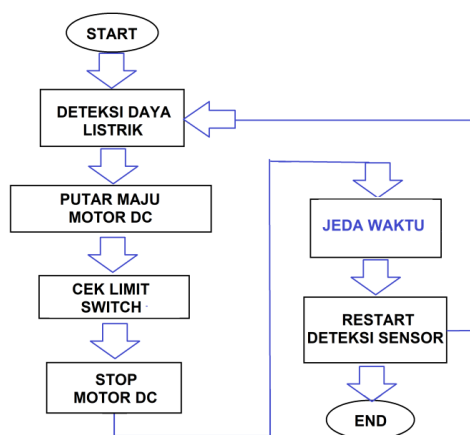


Gambar 2. Diagram alir Sistem Penyiraman Bergerak
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Tahap awal adalah inisialisasi untuk menyiapkan semua elemen yang diperlukan sesuai kebutuhan sistem, mulai dari input sensor dan luaran kendali relai. Selanjutnya, dilakukan pendeteksian terhadap sensor DHT AM2305 untuk persiapan deteksi data suhu dan kelembapan, seiring hal itu pendeteksian intensitas cahaya didasarkan pada nilai perubahan pada sensor LDR. Dat ini direkam dalam variabel bebas dan dimasukkan dan diproses menggunakan logika fuzzy untuk memperoleh perkiraan dan prediksi hasil sesuai kategori penyiramannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Logika fuzzy yang diterapkan telah mampu memisahkan kategori dari variable masukan yaitu suhu, kelembapan dan intensitas cahayanya. Namun pada saat implementasinya, ada pengembangan masalah baru yaitu pada saat pengujian. Dimana ditemukan masalah pada posisi sprayer penyiraman saat terjadi listrik padam atau kehilangan daya listrik sesaat, sistem tidak mengenali posisi akuratnya, sehingga diperlukan pengkondisian sistem *restart* pergerakan penyiramannya. Sebuah *limit switch* sebagai fungsi tombol yang mengindikasikan batas pergerakan motor menjadi *default* awal dengan pergerakan arah maju, sehingga motor DC akan terpantau dan terkendali arah pergerakan saat sistem mengalami *restart*. Adapun operasional piranti lunak sistem aplikasi dapat dilihat pada tampilan Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Deteksi Daya Listrik
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)



Gambar 3. Hasil implementasi Sistem
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Berbagai pengujian telah dilakukan secara berulang terhadap sistem kendali ini dengan berfokus pada pengendalian pergerakan secara otomatis. Ringkasan hasil uji coba tersebut dapat dilihat dalam model tabulasi sederhana berikut.

Tabel 1. Uji Sistem Kendali Putaran

KENDALI PUTARAN			
No	Relai 1	Relai 2	Status
1	OFF	OFF	Maju
2	OFF	ON	Berhenti
3	ON	OFF	Berhenti
4	ON	ON	Mundur

(Sumber : Hasil penelitian, 2023)

Tabel 1 di atas menyatakan respon sistem pengendalian arah putaran pergerakan penyiraman terhadap pengambilan keputusan berdasarkan masukan dan penentuan luaran beban motor DC.

Tanggapan sistem hasil aktifitas oprasional harian, telah berhasil menunjukkan niali respon yang baik yang berhubungan dengan penerapannya pada lingkungan area budidaya.

Variabel Lingkungan	Bobot Variabel
Suhu	15 – 33 °C
Kelembapan	47 – 99 %
Intensitas cahaya	80 – 800 lumens

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Fuzzifikasi

kemampuan sistem untuk mengontrol keluarannya dapat diuji menggunakan simulasi 2 relai dengan memanfaatkan 2 LED, yang terkait dengan data pendeteksian suhu dan kelembapan. Saat ini, pendekatan yang digunakan adalah logika fuzzy, yang melibatkan klasifikasi suhu menjadi PANAS - DINGIN, kelembapan menjadi RENDAH - TINGGI, serta intensitas cahaya menjadi GELAP - TERANG. Metode logika fuzzy diterapkan untuk mengatur keluaran I/O berdasarkan aturan fuzzy, dengan mempertimbangkan perubahan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya. Proses ini dimulai dengan fuzzifikasi, menggunakan metode Tsakamoto, dan melibatkan uji defuzzifikasi. Representasi himpunan fuzzy dapat dilihat pada bagian berikutnya

Representasi suhu

Gambar 10 menjelaskan mengenai domain keanggotaan suhu, sementara fungsi keanggotaan untuk kriteria suhu dapat dijelaskan melalui rumus berikut.



Gambar 10. Representasi suhu

$$\mu_{PANAS}[x] = \begin{cases} x \leq 15 & 0 \\ \frac{x-15}{18} & 15 \leq x \leq 33 \\ 1 & x \geq 33 \end{cases} \quad (1)$$

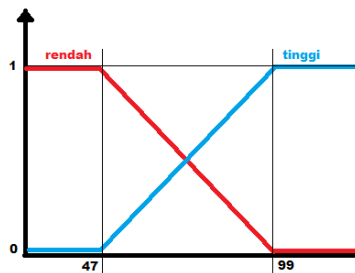
$$\mu_{DINGIN}[x] = \begin{cases} 1 & x \leq 15 \\ \frac{33-x}{18} & 15 \leq x \leq 33 \\ 0 & x \geq 33 \end{cases} \quad (2)$$

Definisi dari formula (1) dan (2), menyatakan kelompokan 2 kriteria utama SUHU, yaitu PANAS - DINGIN, yang dinyatakan dengan fungsi $\mu_{DINGIN}[x]$ dan $\mu_{PANAS}[x]$. Kelompok data ini menjadi dasar kebutuhan dalam operasional pengkondisi ruang budidaya, dimana kriteria suhu antara 15-33 derajat Celcius.

Representasi fuzzy kelembapan

Gambar 11, tentang wilayah himpunan keanggotaan kelembapan, sedangkan fungsi

keanggotaan himpunan rendah dan tinggi dari nilai kelembapan adalah:



Gambar 11. Representasi kelembapan

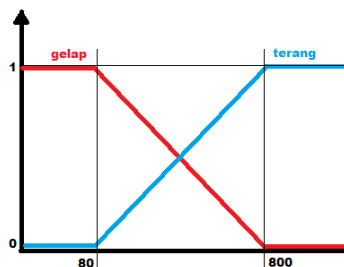
$$\mu_{TINGGI}[x] = \begin{cases} x \leq 47 \\ \{0 \frac{x-47}{52} 1 & 47 \leq x \leq 99 \\ x \geq 99 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{RENDAH}[x] = \begin{cases} x \leq 47 \\ \{1 \frac{99-x}{52} 0 & 47 \leq x \leq 99 \\ x \geq 99 \end{cases} \quad (4)$$

Definisi dari rumus (3) dan (4) mencerminkan dua kelompok kriteria utama dalam konteks variabel kelembapan, yang diwakili oleh fungsi simbol $\mu_{TINGGI}[x]$ dan $\mu_{RENDAH}[x]$. Hal ini diperlukan untuk menjaga stabilitas pada area budidaya dengan kriteria rentang sistem antara 47 hingga 99% RH.

Representasi fuzzy intensitas cahaya

Gambar 12, menyatakan kelompok himpunan keanggotaan intensitas cahaya, sedangkan fungsi keanggotaan GELAP - TERANG dari nilai intensitas cahaya adalah:



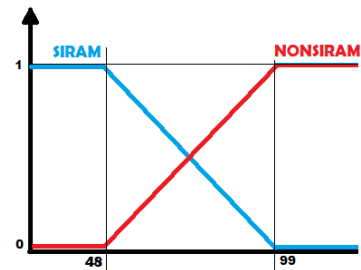
Gambar 12. Representasi intensitas cahaya

$$\mu_{TERANG}[x] = \begin{cases} x \leq 80 \\ \{0 \frac{x-200}{720} 1 & 80 \leq x \leq 800 \\ x \geq 800 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{GELAP}[x] = \begin{cases} x \leq 80 \\ \{1 \frac{800-x}{720} 0 & 80 \leq x \leq 800 \\ x \geq 800 \end{cases} \quad (6)$$

Representasi fuzzy kelembapan dan *sprayer*

Representasi fungsi keanggotaan himpunan fuzzy variabel keluaran sistem yaitu mesin pompa pengabutan *sprayer*, terbagi 2 yaitu SIRAM dan NONSIRAM, dan digambarkan pada gambar 13.



Gambar 6. Representasi *sprayer* terhadap Kelembapan

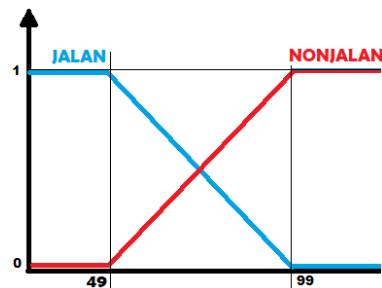
Fungsi keanggotaan himpunan SIRAM dan NONSIRAM dari variabel keluaran mesin pompa pengabutan metode Tsukamoto ini adalah:

$$\mu_{NONSIRAM}[x] = \begin{cases} x \leq 48 \\ \{0 \frac{x-48}{51} 1 & 48 \leq x \leq 99 \\ x \geq 99 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{SIRAM}[x] = \begin{cases} x \leq 48 \\ \{1 \frac{99-x}{51} 0 & 48 \leq x \leq 99 \\ x \geq 99 \end{cases} \quad (8)$$

Representasi fuzzy kelembapan dan motor penggerak

Representasi fungsi keanggotaan himpunan fuzzy variabel keluaran sistem yaitu motor penggerak, terbagi 2 yaitu NONJALAN dan JALAN, seperti digambarkan pada gambar 14.



Gambar 14. Representasi motor terhadap Kelembapan

Fungsi keanggotaan himpunan NONJALAN dan JALAN dari variabel keluaran sistem motor penggerak metode Tsukamoto adalah:

$$\mu_{NONJALAN}[x] = \begin{cases} x \leq 49 \\ \{0 \frac{x-49}{50} 1 & 49 \leq x \leq 99 \\ x \geq 99 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{JALAN}[x] = \begin{cases} x \leq 49 \\ \{1 \frac{99-x}{50} 0 & 49 \leq x \leq 99 \\ x \geq 99 \end{cases} \quad (10)$$

Pengaturan keendali I/O yaitu *SPRAYER*, yang disimulasikan dan dioperasikan berdasarkan kriteria aturan pengendaliannya sebagai berikut:

[R1] Jika kelembapan RENDAH, suhu PANAS, intensitas cahaya TERANG, maka *sprayer* SIRAM..

- [R2] Jika kelembapan TINGGI, suhu PANAS, intensitas cahaya TERANG, maka *sprayer* NONSIRAM.
- [R3] Jika kelembapan RENDAH, suhu DINGIN, intensitas cahaya TERANG, maka *sprayer* SIRAM.
- [R4] Jika kelembapan TINGGI, suhu DINGIN, intensitas cahaya TERANG, maka *sprayer* NONSIRAM.
- [R5] Jika kelembapan RENDAH, suhu PANAS, intensitas cahaya GELAP, maka *sprayer* SIRAM..
- [R6] Jika kelembapan TINGGI, suhu PANAS, intensitas cahaya GELAP, maka *sprayer* NONSIRAM.
- [R7] Jika kelembapan RENDAH, suhu DINGIN, intensitas cahaya GELAP, maka *sprayer* SIRAM.
- [R8] Jika kelembapan TINGGI, suhu DINGIN, intensitas cahaya GELAP, maka *sprayer* NONSIRAM.

Pengendalian I/O berupa pergerakan arah motor DC, bergantung pada keadaan 2 RELAI, yang disimulasikan dan dioperasikan berdasarkan kriteria aturan pengendalian RELAI sebagai berikut:

- [R1] Jika lembap RENDAH, suhu PANAS, cahaya TERANG, maka motor penggerak JALAN.
- [R2] Jika lembap RENDAH, suhu DINGIN, cahaya TERANG, maka motor penggerak JALAN.
- [R3] Jika lembap TINGGI, suhu PANAS, cahaya TERANG, maka motor penggerak NONJALAN.
- [R4] Jika lembap TINGGI, suhu DINGIN, cahaya TERANG,, maka motor penggerak NONJALAN.
- [R5] Jika lembap RENDAH, suhu PANAS, cahaya GELAP, maka motor penggerak JALAN.
- [R6] Jika lembap RENDAH, suhu DINGIN, cahaya GELAP, maka motor penggerak JALAN.
- [R7] Jika lembap TINGGI, suhu PANAS, cahaya GELAP, maka motor penggerak NONJALAN.
- [R8] Jika lembap TINGGI, suhu DINGIN, cahaya GELAP, maka motor penggerak NONJALAN.

Defuzzifikasi

Defuzzifikasi dilakukan dengan metode rata-rata. Untuk pengujian dilakukan dengan memberikan nilai simulasi kasus pengamatan ujinya, semisal bagaimana tanggapan sistem terhadap prediksi kondisi lingkungan dengan kriteria uji suhu 35 derajat Celcius, Kelembapan 64% RH, dan intensitas cahaya sebesar 400 lumens, maka sistem dapat memberikan tanggapan mengikuti pendekatan formulasi defuzzifikasi berikut:

$$Z = \frac{(\alpha_1x_1) + (\alpha_2x_2) + (\alpha_3x_3) + (\alpha_4x_4)}{(\alpha_1) + (\alpha_2) + (\alpha_3) + (\alpha_4)} \quad (11)$$

Tabel 2. Pengujian Sampel Data1 untuk Masukan

STUDI KASUS	
HIMPUNAN	NILAI
SUHU	35
LEMBAP	64
INT. CAHAYA	400

NILAI 'μ' KEANGGOTAAN FUNGSI MASUKAN					
SUHU		LEMBAP		INT. CAHAYA	
DINGIN	PANAS	RENDAH	TINGGI	GELAP	TERANG
-0.1111	1.1111	0.6731	0.3269	0.5556	0.4444

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023)

Tabel 3. Pengujian Sampel Data1 untuk Keluaran

NILAI 'μ' KEANGGOTAAN FUNGSI KELUARAN			
PENYIRAMAN		MOTOR DC	
SIRAM	NONSIRAM	JALAN	NONJALAN
0.6863	0.3077	0.7000	0.3000

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023)

KESIMPULAN

Berdasarkan implementasi model pengendalian penyiraman mode bergerak ini, beberapa kesimpulan dapat ditarik sebagai berikut, model pengendalian dengan menggunakan metode fuzzy adaptif mampu beroperasi secara efektif. Pengaturan dan pengendalian dilakukan secara otomatis.

Meskipun demikian, terdapat beberapa saran untuk pengembangan fitur dan kemampuan berikutnya. Pertama, disarankan untuk memilih mikrokontroler yang memiliki kapasitas memori penyimpanan yang lebih besar dalam mengatasi program dengan metodekolaborasi (hybrid) yang lebih baik ini, mengingat besarnya kapasitas program dapat menjadi pertimbangan penting.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sejalan dengan selesainya artikel ini, kami mengucapkan terima kasih yang terbaik kepada lembaga yang telah memfasilitasi kegiatan kami mulai dari awal kegiatan hingga akhir, dalam penyelesaian luaran tambahan program Kedaireka Tahun 2023 ini, utamanya adalah pihak Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan – Riset dan Teknologi, dan peranserta dan dukungan institusi kampus kami Universitas Stikubank Semarang. Kami berharap tulisan dalam artikel ini dapat mengembangkan wawasan kami dan dapat memberikan tambahan manfaat bagi pembaca pada umumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhat, S. A., Huang, N. F., Sofi, I. B., & Sultan, M. (2022). Agriculture-Food Supply Chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability. In *Agriculture (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/agriculture12010040>
- Birtha, Arifudzaki; Soemantri, Maman; Abdian, F. (2010). Aplikasi Sistem Informasi Persediaan Barang pada Perusahaan Export Hasil Laut Berbasis Web. *Transmisi*, 12(1), 1.
- Chwietczuk, P. (2021). Proposals of Universal Algorithms for the Automation of the Irrigation Process of Plant Crops. *Agricultural Engineering*, 25(1). <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0009>.
- Farooq, M. S., Sohail, O. O., Abid, A., & Rasheed, S. (2022). A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Livestock Environment. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142848>
- Fitriawan, H., Cahyo, K. A. D., Purwiyanti, S., & Alam, S. (2020). Pengendalian Suhu dan Kelembapan pada Budidaya Jamur Tiram Berbasis IoT. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 9(1). <https://doi.org/10.23960/jtep-1.v9i1.28-37>
- Han, J., & Kamber, M. (2006). Data Mining: Concepts and Techniques. In *Soft Computing* (Vol. 54, Issue Second Edition). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19721-5>
- Handayani, S., & Nurcahyo, G. W. (2021). Accuracy in Identifying Rice Plant Diseases Using Method Fuzzy. *Smart Computing & Informatics*, 13(1).
- Khoa, T. A., Man, M. M., Nguyen, T. Y., Nguyen, V. D., & Nam, N. H. (2019). Smart agriculture using IoT multi-sensors: A novel watering management system. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/JSAN8030045>
- Lee, M., Kim, H. K., & Yoe, H. (2021). Plant Growth Measurement System Using Image Processing. In *Studies in Computational Intelligence* (Vol. 930). https://doi.org/10.1007/978-3-030-64773-5_11
- Liaqat, W., Barutçular, C., Farooq, M. U., Ahmad, H., Jan, M. F., Ahmad, Z., Nawaz, H., & Li, M. (2022). Climate change in relation to agriculture: A review. In *Spanish Journal of Agricultural Research* (Vol. 20, Issue 2). <https://doi.org/10.5424/sjar/2022202-17742>
- Liza, Y., & Yupinti. (2012). Sistem Informasi persediaan barang pada PT.Surya Nusa Bhaktindo Bengkulu. *Media Infotama*, 8(1), 90–117.
- Marcoulides, G. a. (2005). Discovering Knowledge in Data: an Introduction to Data Mining: Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining. In *Journal of the American Statistical Association* (Vol. 100, Issue 472). <https://doi.org/10.1198/jasa.2005.s61>
- Napitupulu, S., Nababan, E. B., & Sihombing, P. (2020). Comparative Analysis of Fuzzy Inference Tsukamoto Mamdani and Sugeno in the Horticulture Export Selling Price. *MECnIT 2020 - International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology*. <https://doi.org/10.1109/MECnIT48290.2020.9166587>.
- Nurraharjo E., Sukur M., Februariyanti H., dkk., Sistem Cerdas Mesin Pengendali Produksi Komuditas Jamur, Hibah Kedaireka 2023 Kemendikbud Ristekdikti Tahun 2023.
- Nourani, V., Foroumandi, E., Sharghi, E., & Dąbrowska, D. (2021). Ecological-environmental quality estimation using remote sensing and combined artificial intelligence techniques. *Journal of Hydroinformatics*, 23(1). <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.048>
- Oubehar, H., Selmani, A., Ed-Dahhak, A., Lachhab, A., Archidi, M. E. H., & Bouchikhi, B. (2020). ANFIS-based climate controller for computerized greenhouse system. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(1), 8–12. <https://doi.org/10.25046/aj050102>
- Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use. In *Energies* (Vol. 16, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en16041690>
- Prasetyo, A., Setyawan, M. B., Litanianda, Y., Sugianti, S., & Masykur, F. (2022). Fuzzy Method Design for IoT-Based Mushroom Greenhouse Controlling. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 6(1). <https://doi.org/10.29407/intensif.v6i1.16786>
- Sari, W. E., Wahyunggoro, O., & Fauziati, S. (2016). A comparative study on fuzzy Mamdani-Sugeno-Tsukamoto for the childhood tuberculosis diagnosis. *AIP Conference Proceedings*, 1755. <https://doi.org/10.1063/1.4958498>
- Senanayake, S., & Pradhan, B. (2022). Predicting soil erosion susceptibility associated with climate change scenarios in the Central Highlands of Sri Lanka. *Journal of Environmental Management*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114589>
- Siskandar, R., Santosa, S. H., Wiyoto, W., Kusumah, B. R., & Hidayat, A. P. (2022). Control and Automation: Insmoaf (Integrated Smart Modern Agriculture and Fisheries) on The Greenhouse Model. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(1). <https://doi.org/10.18343/jipi.27.1.141>

- Soheli, S. J., Jahan, N., Hossain, M. B., Adhikary, A., Khan, A. R., & Wahiduzzaman, M. (2022). Smart Greenhouse Monitoring System Using Internet of Things and Artificial Intelligence. *Wireless Personal Communications*, 124(4). <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09528-x>
- Tao, W., Zhao, L., Wang, G., & Liang, R. (2021). Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 189). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106352>
- Thong-un, N., & Wongsaroj, W. (2022). Productivity enhancement using low-cost smart wireless programmable logic controllers: A case study of an oyster mushroom farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106798>
- Varga, A. (2021). Climate Change and Its Impact on Agriculture. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 24(s1). <https://doi.org/10.2478/ahr-2021-0010>
- Xu, J., Gu, B., & Tian, G. (2022). Review of agricultural IoT technology. In *Artificial Intelligence in Agriculture* (Vol. 6). <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.01.001>
- Yang, J., Sharma, A., & Kumar, R. (2021). IoT-based framework for smart agriculture. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 12(2). <https://doi.org/10.4018/IJAEIS.20210401.oa1>
- Zhou, J. (2022). *Views on Development of Modern Agriculture*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86985-4_11