

Implementasi Fuzzy Tsukamoto pada Sistem *Internet of Things* Budidaya Tanaman Bayam

Andrianto Suherman^{1*}
Destriana Widyaningrum²

^{1,2}Teknik Informatika, Universitas Bunda Mulia, Jl. Lodan Raya No.2, Ancol, Jakarta Utara, 14430, Indonesia
¹s32200021@student.ubm.ac.id, ²l0894@lecturer.ubm.ac.id

***Penulis Korespondensi:**
Andrianto Suherman
S32200021@student.ubm.ac.id

Abstrak

Pertanian merupakan sektor utama mata pencaharian bagi masyarakat di Indonesia, namun sering kali menghadapi tantangan seperti perubahan iklim, pengolahan sumber daya, maupun hasil panen yang kurang baik. Salah satunya pada budidaya bayam sering terkendala oleh kondisi lingkungan seperti suhu panas tinggi dan curah hujan berlebihan, hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas bayam hingga mengalami gagal panen yang dapat merugikan pihak petani dan mempengaruhi harga jual bayam. Teknologi *Internet of Things* (IoT) merupakan solusi untuk meningkatkan efisiensi pertanian dengan memonitor kondisi lingkungan seperti kelembaban tanah, suhu dan kebutuhan air secara real-time. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan fuzzy logic yang digunakan untuk mengatasi kompleksitas data yang diperoleh dari sensor-sensor IoT. Sistem kontrol otomatis menggerakkan terpal menggunakan motor servo berdasarkan sensor kelembaban tanah, suhu udara, dan hujan. Sistem ini menerapkan metode logika fuzzy Tsukamoto pada alat Arduino Uno R3 yang terdiri dari tahapan fuzzifikasi, pembentukan aturan, proses inferensi, dan defuzzifikasi. Pemantauan budidaya bayam menggunakan sistem IoT dilakukan selama 7 hari dalam kondisi terkontrol di dalam pot. Hasil penelitian menunjukkan pergerakan terpal berdasarkan input fuzzy sesuai dengan kondisi lingkungan pertumbuhan bayam, ditunjukkan pada pengamatan hari ke-5, kondisi tidak hujan, suhu panas 33^o celcius dan kelembaban tanah 69%, servo bergerak 79,2^o menutupi area pot, sesuai dengan nilai defuzzifikasi. Dengan hasil ini metode fuzzy Tsukamoto dapat diterapkan pada sistem IoT di bidang pertanian, khususnya untuk mengendalikan pergerakan motor servo untuk terpal melindungi tanaman bayam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dipengaruhi oleh iklim.

Kata Kunci: arduino; *Internet of Things*; Fuzzy Tsukamoto; bayam

Abstract

Agriculture is a major sector of livelihood for Indonesians, but often faces challenges such as climate change, resource management, and poor harvesting. One is that spinach cultivation is often controlled by environmental conditions such as high heat temperatures and excessive rainfall, which can lead to a decrease in spinach quality to failure to harvest which can be detrimental to farmers and affect the sale price of spinach. The *Internet of Things* (IoT) technology is a solution to improve agricultural efficiency by monitoring environmental conditions such as soil humidity, temperature and water requirements in real time. The research aims to implement the fuzzy logic used to address the complexity of data obtained from IoT sensors. An automatic control system uses a servo motor based on sensors of soil humidity, air temperature, and rain. The system applies Tsukamoto's fuzzy logic method to the Arduino Uno R3 device that consists of phases of fuzzification, rule formation, inference process, and defuzzification. The monitoring of spinach cultivation using the IoT system was conducted for 7 days under controlled conditions inside the pot. The results of the study showed fuzzy motion based on the input according to the conditions of the spinach growing environment, shown on observation day 5, no rain conditions, heat temperature 330 Celsius and soil humidity 69%, moving servo 79.20 covering the area of the pot, according to defuzzification values. With this result, Tsukamoto's fuzzy method can be applied to IoT systems in agriculture, in particular to control the movement of servo motors to protect spinach crops according to climate-affected environmental conditions.

Keywords: arduino; *Internet of Things*; Fuzzy Tsukamoto; spinach

1. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu negara yang menyediakan lapangan pekerjaan di sektor pertanian dan mengandalkan sektor ini sebagai salah satu pilar utama dalam perekonomiannya. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), sekitar 40,64 juta orang bekerja di sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan pada bulan Februari 2022 [1]. Bayam hijau merupakan salah satu tanaman yang banyak dibudidayakan karena pertumbuhannya yang relatif cepat dan banyak diminati oleh konsumen. Namun, banyak permasalahan terkait dengan produksi bayam, seperti perubahan karakteristik tanah, iklim, dan kelembaban tanah, hal ini menjadi tantangan utama dalam perkembangan tanaman bayam [2]. Suhu panas yang ekstrem dapat mengakibatkan stress panas pada tanaman, sehingga dapat menyebabkan dehidrasi yang menghambat proses pertumbuhan tanaman dan berkurangnya produksi fotosintesis. Selain suhu panas yang tinggi, curah hujan yang berlebihan juga dapat menyebabkan kerusakan seperti mengurangi pasokan oksigen dan karbon dioksida, mengganggu proses fotosintesis, dan berpotensi menyebabkan tanaman mengalami pembusukan.

Saat ini, harga bayam di beberapa pasar mengalami kenaikan harga yang signifikan akibat dampak dari perubahan cuaca yang tidak terkendali. Salah satunya pasar Pujabahari di Batam, dimana harga bayam mengalami peningkatan tajam dari harga Rp. 10.000 hingga menjadi Rp. 30.000 per kilogramnya [3]. Kenaikan harga ini dipicu oleh faktor cuaca hujan yang buruk dan pasokan yang terbatas akibat tanaman bayam yang mengalami gagal panen. Untuk menghadapi kondisi yang tidak menentu, salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah menerapkan sistem *Internet of Things (IoT)* untuk pemantauan lingkungan secara *real-time* dari jarak jauh [4]. Teknologi IoT ini menawarkan solusi untuk meningkatkan efisiensi pertanian dengan memonitoring kondisi lingkungan secara berkala.

Logika fuzzy merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan karena kemampuannya dalam mengatasi ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengambilan keputusan [5]. Hal ini sangat diperlukan karena kondisi lingkungan pertanian dipengaruhi oleh berbagai faktor suhu udara, kelembaban tanah, dan cuaca hujan. Dengan menggunakan logika fuzzy, sistem *IoT* yang dibangun dapat lebih adaptif dan responsif terhadap variasi kondisi lingkungan tersebut. Dengan ini memungkinkan sistem *IoT* dapat mengambil keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan tanaman sehingga hasil pertanian dapat ditingkatkan dan kerugian dapat diminimalkan.

Logika Fuzzy sering digunakan dalam perhitungan dalam menentukan sesuatu, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Calvin dkk [6] mengimplementasikan metode fuzzy Tsukamoto untuk menentukan pasokan BBM pada pertashop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mencapai tingkat akurasi 87%, mengindikasikan keberhasilannya dalam menghitung pasokan BBM untuk stok persediaan pertashop. Selain itu, metode logika fuzzy Mamdani digunakan untuk menentukan volume produksi yang sesuai dengan permintaan konsumen di perusahaan Salman Collection. Penerapan metode ini mempermudah pengambilan keputusan dalam proses produksi dan meningkatkan optimalitas dibandingkan dengan aplikasi sebelumnya [7]. Penelitian lain mengenai pengambilan keputusan dalam menentukan kelayakan keluarga miskin untuk mendapatkan bantuan pemerintah juga menggunakan logika fuzzy Tsukamoto [8]. Selanjutnya logika fuzzy digunakan untuk menjaga stabilitas suhu air, tingkat kekeruhan air, dan penyediaan cahaya yang cukup bagi tanaman air. Hasilnya menunjukkan bahwa logika fuzzy mampu mengontrol tingkat kekeruhan air dengan tingkat keberhasilan mencapai 96.66% [9].

Berdasarkan studi sebelumnya, penelitian ini juga mengimplementasikan logika fuzzy dengan metode Tsukamoto untuk mengatur pergerakan terpal berdasarkan kondisi lingkungan. Fuzzy Tsukamoto dipilih karena kemampuannya dalam mengelola data yang tidak akurat atau tidak pasti, serta kemampuan dalam pengambilan keputusan yang tidak memerlukan tingkat kompleksitas yang tinggi.

Kelembaban Tanah

Tanah adalah bagian terluar dari permukaan bumi yang terbentuk melalui proses alami pelapukan batuan, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti iklim, kehidupan organisme, jenis bahan dasar, kondisi topografi, dan jangka waktu yang panjang [10]. Sebagai media pertumbuhan, tanah menyediakan nutrisi, air, dan tempat bagi akar untuk berkembang. Kondisi kelembaban tanah yang baik adalah indikator kesuburan dan kesehatan tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman menjadi lebih kuat dan produktif. Kelembaban tanah terbagi menjadi tiga kondisi, yaitu tanah kering memiliki kelembaban antara 0-40%, kondisi ideal terjadi pada rentang 40-60%, dan tanah basah memiliki kelembaban antara 60-100% [11].

Suhu Udara

Suhu udara adalah ukuran dari pergerakan molekul udara, yang sering mencerminkan seberapa panas atau dinginnya suatu tempat pada waktu tertentu. Suhu udara menjadi parameter penting dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman, baik dalam periode singkat maupun panjang. Fluktuasi suhu udara berdampak signifikan pada proses kunci bagi tanaman seperti fotosintesis, respirasi, transpirasi, pertumbuhan, proses reproduksi seperti penyerbukan dan pembuahan, serta kualitas hasil panen. Untuk mencapai efisiensi dan suhu optimal dalam proses fotosintesis, umumnya diperlukan rentang suhu sekitar suhu 10-30°C [12].

Hujan

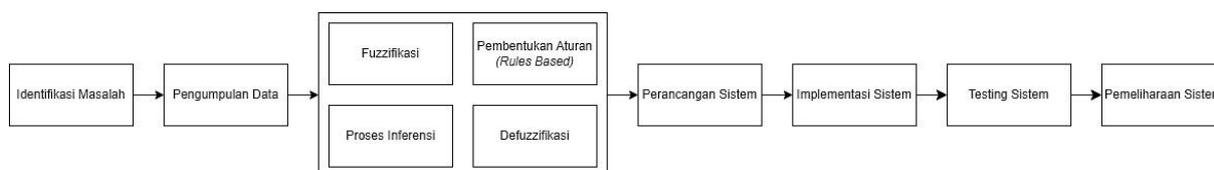
Hujan adalah kejadian alam di mana air di mana air jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi dalam bentuk tetesan air [13]. Proses ini diawali dengan penguapan air dari tanah, yang kemudian naik ke atmosfer sebagai uap air. Uap air di atmosfer mengalami pendinginan dan berubah menjadi embun yang membentuk awan. Ketika tetesan air di dalam awan mencapai ukuran yang mencukupi, mereka turun ke permukaan bumi sebagai hujan. Curah hujan yang tinggi sangat berpengaruh terhadap kondisi tanah pada tanaman, hal ini menyebabkan terjadinya banjir yang berujung dapat mengalami kegagalan panen pada tanaman.

IoT (Internet of Things)

IoT singkatan dari "Internet of Things" mengacu pada jaringan perangkat fisik yang terkoneksi melalui internet. Perangkat-perangkat ini dapat saling berkomunikasi dan bertukar data tanpa memerlukan keterlibatan langsung dari manusia ke manusia atau manusia ke komputer. [14]. IoT terdiri dari tiga komponen utama yaitu sensor, gateway, dan cloud. Sensor mengumpulkan data dari objek fisik yang terhubung ke internet. Gateway mentransmisikan data ke cloud dan dapat mengontrol perangkat. Cloud menyediakan layanan untuk mengelola IoT dan memungkinkan pengguna memberikan perintah kepada perangkat. Pertukaran data yang terjadi antar perangkat IoT secara real-time memungkinkan pengguna untuk memantau, mengontrol, dan mengelola perangkat mereka dengan lebih efisien dan responsif [15].

2. Metode Penelitian

Implementasi fuzzy Tsukamoto pada pergerakan motor servo ini menggunakan metode *Research and Development (R&D)*. Metode *R&D* adalah proses yang terdiri dari berbagai langkah untuk menciptakan produk baru, meningkatkan produk yang ada, menyempurnakan produk, atau mengembangkan teknologi dan proses baru [16]. Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam metode *R&D* yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 1. Alur Penelitian

Pengumpulan data diawali dengan studi pustaka untuk menguatkan landasan teori dalam penerapan metode yang tepat. Ini mencakup artikel jurnal terkait metode fuzzy dan literatur buku tentang algoritma yang diterapkan pada sistem *IoT*. Metode yang dipilih untuk diimplementasikan pada sistem *IoT* budidaya tanaman bayam adalah fuzzy Tsukamoto. Metode Tsukamoto dikenal sebagai pendekatan dalam logika fuzzy yang menggunakan aturan "sebab-akibat" atau "if-then" untuk pengambilan keputusan. Kelebihan dari metode Tsukamoto adalah kemampuannya dalam menangani aturan-aturan fuzzy yang kompleks dengan tingkat keanggotaan yang bergradasi. Metode Tsukamoto tidak memerlukan definisi eksplisit dari fungsi keanggotaan, yang mempermudah penerapannya dalam kasus-kasus di mana fungsi keanggotaan tidak dapat ditentukan dengan jelas. Pendekatan ini memusatkan perhatian pada penggunaan aturan *IF-THEN* dengan himpunan fuzzy yang memiliki fungsi keanggotaan yang monoton. Hasil dari proses inferensi untuk setiap aturan dinyatakan secara jelas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*), yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan *output* akhir menggunakan metode rata-rata terbobot [17].

Tahapan metode ini dimulai dari proses fuzzifikasi, di mana variabel fuzzy diidentifikasi dan dikonversi menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan fuzzy yang sesuai. Selanjutnya, pembentukan aturan dilakukan dalam bentuk pernyataan "IF-THEN" untuk menghubungkan kondisi-kondisi *input* dengan *output* yang diinginkan, Proses inferensi dilakukan untuk menghitung α -predikat untuk setiap aturan fuzzy menggunakan fungsi implikasi *MIN*, di mana nilai α -predikat adalah nilai keanggotaan minimum antara himpunan fuzzy *input* dan himpunan fuzzy *output*. Setelah itu, dilakukan perhitungan inferensi secara spesifik (*crisp*) dari setiap aturan fuzzy berdasarkan nilai α -predikat yang telah dihitung sebelumnya. Langkah terakhir adalah defuzzifikasi, di mana hasil inferensi fuzzy diubah menjadi nilai konkret menggunakan metode rata-rata terbobot atau *weighted average* [18].

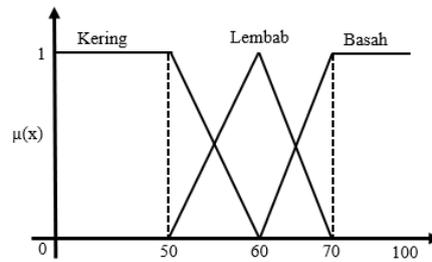
3. Hasil

Data yang diolah berasal dari nilai *input* yang diperoleh melalui deteksi sensor, kemudian dilakukan proses fuzzifikasi untuk mendapatkan nilai derajat keanggotaan. Pada penelitian ini terdapat tiga fungsi keanggotaan untuk *input* sensor, yaitu kelembaban tanah, suhu udara, dan curah hujan, serta satu fungsi keanggotaan untuk *output* motor servo. Setiap nilai dari himpunan fuzzy dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Himpunan Fuzzy

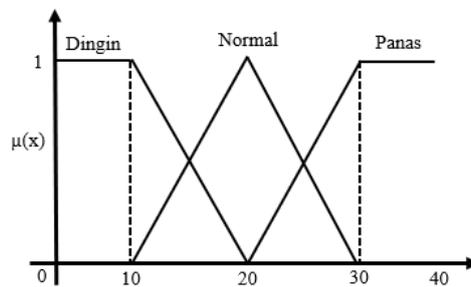
Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain
Input	Kelembaban Tanah	Kering	0-50
		Lembab	50-70
		Basah	70-100
	Suhu Udara	Dingin	0-10
		Normal	10-30
		Panas	30-40
Curah Hujan	Tidak Terdeteksi	0-1	
	Terdeteksi	1-5	
Output	Motor Servo	Setengah	0-30
		Full	30-90

Pada fungsi keanggotaan kelembaban udara terdapat 3 himpunan, yaitu kategori kering berada diantara 40-60%, kategori lembab berada diantara 40-60%, sedangkan untuk kategori basah berada di antara 60-100%. Bentuk grafik fungsi keanggotaannya, sebagai berikut :



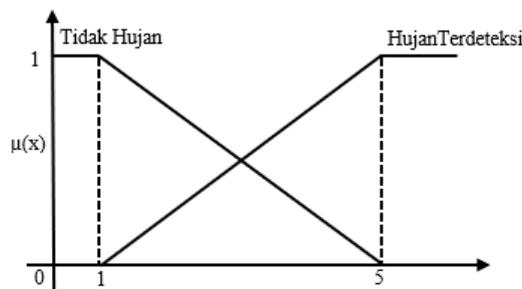
Gambar 2. Derajat Keanggotaan Variabel Kelembaban Tanah

Dalam grafik variabel suhu udara, fungsi keanggotaan nya adalah kategori dingin berada diantara 0-10°C, kategori normal berada diantara 10-30°C, sedangkan untuk kategori panas berada di antara 30-40°C. Bentuk grafik fungsi keanggotaan suhu udara, sebagai berikut :



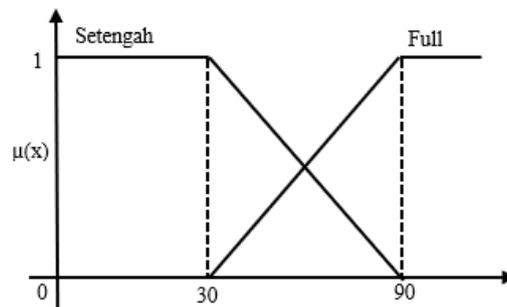
Gambar 3. Derajat Keanggotaan Variabel Suhu Udara

Dalam grafik variabel hujan, fungsi keanggotaan nya adalah kategori tidak hujan berada diantara 0-1 mm sedangkan untuk kategori hujan terdeteksi berada di antara 1-5 mm. Bentuk grafik fungsi keanggotaan hujan, sebagai berikut :



Gambar 4. Derajat Keanggotaan Variabel Hujan

Pada grafik fungsi keanggotaan himpunan pergerakan motor servo, terdapat dua himpunan, yaitu kategori setengah berada di 0-30 derajat sedangkan untuk kategori full berada di 30-90 derajat. Berikut ini, grafik fungsi keanggotaannya :



Gambar 5. Derajat Keanggotaan Variabel Motor Servo

Setelah proses fuzzifikasi, selanjutnya dilakukan langkah pembentukan aturan. Fuzzy rules dibentuk untuk menyatakan hubungan antara *input* dan *output*. Dua *input* dihubungkan menggunakan operator *AND*, dan untuk korespondensi antara *input* dan *output* dibuat dengan format *IF-THEN*. Berikut adalah tabel yang menunjukkan rules permutasi dari variabel suhu udara, kelembaban tanah, dan curah hujan pada domain masing-masing variabel:

Tabel 2. Aturan Fuzzy Tsukamoto

Rules	Kelembaban tanah	Input		Output Motor servo
		Suhu udara	Hujan	
R1	Kering	Panas	Tidakhujan	Berputar
R2	Kering	Panas	Hujanterdeteksi	Berputar
R3	Kering	Normal	Tidakhujan	Diam
R4	Kering	Normal	Hujanterdeteksi	Berputar
R5	Lembab	Normal	Tidak hujan	Diam
R6	Lembab	Normal	Hujanterdeteksi	Berputar
R7	Lembab	Panas	Tidak hujan	Berputar
R8	Lembab	Panas	Hujanterdeteksi	Berputar
R9	Basah	Normal	Tidak hujan	Diam
R10	Basah	Normal	Hujanterdeteksi	Berputar
R11	Basah	Panas	Tidakhujan	Berputar
R12	Basah	Panas	Hujanterdeteksi	Berputar

Untuk pengujian, metode fuzzy Tsukamoto diimplementasikan pada sistem *IoT* kontrol otomatis. Perangkat ini terdiri dari sensor *input* kelembaban tanah, suhu udara, dan curah hujan. Implementasi perangkat *IoT* pada tanaman bayam, dapat dilihat pada gambar 6, 7, dan 8 dalam kondisi lingkungan yang berbeda, suhu udara dan kelembaban tanah memiliki masukan nilai yang berbeda-beda di tiap kondisinya, sehingga akan mempengaruhi *output* pergerakan terpal yang dijalankan motor servo.



Gambar 6. Kondisi Perangkat IoT pada Siang Hari



Gambar 7. Kondisi Perangkat IoT pada Saat Hujan



Gambar 8. Kondisi Perangkat IoT pada Malam Hari

4. Pembahasan

Tanaman bayam (*Amaranthus spp.*) umumnya dapat dipanen dalam waktu 3-4 minggu atau sekitar 25-30 hari setelah penanaman, tergantung pada kondisi lingkungan dan perawatan yang diberikan [19]. Namun dalam penelitian ini, pengamatan dilakukan selama 7 hari untuk memastikan bahwa implementasi metode fuzzy Tsukamoto dapat berfungsi pada sistem IoT sesuai dengan aturan-aturan yang tercantum pada Tabel 2. Berikut ini adalah hasil pengamatan kondisi tanaman bayam yang dipantau menggunakan sensor selama 7 hari, yang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Penerapan Sistem IoT Selama 7 Hari

Hari Ke-	Suhu Udara	Kelembaban Tanah	Curah Hujan
1	32.5	68	1
2	33	65	1
3	32	67	1
4	24	70	7
5	33	69	1
6	34	63	1
7	32	64	1

Sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan, dilakukan perhitungan proses inferensi fuzzy dengan menentukan a-predikat terlebih dahulu. Setelah a-predikat ditentukan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai Z, yang merupakan hasil akhir dari proses inferensi fuzzy pada tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Nilai a-predikat dan Nilai z pada Setiap Aturan Fuzzy

Hari Ke-1	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
a-predikat	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0.8	0
z hasil	30	30	90	30	90	30	42	30	90	30	78	30
Hari Ke-2												
a-predikat	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0
z hasil	30	30	90	30	90	30	60	30	90	30	60	30
Hari Ke-3												
a-predikat	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0.7	0
z hasil	30	30	90	30	90	30	48	30	90	30	72	30
Hari Ke-4												
a-predikat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0.4
z hasil	30	30	90	30	90	30	30	30	90	66	30	54
Hari Ke-5												
a-predikat	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.9	0
z hasil	30	30	90	30	90	30	36	30	90	30	84	30
Hari Ke-6												
a-predikat	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0.3	0
z hasil	30	30	90	30	90	30	72	30	90	30	48	30
Hari Ke-7												
a-predikat	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0.4	0
z hasil	30	30	90	30	90	30	66	30	90	30	54	30

Setelah mendapatkan nilai Z dan nilai a-predikat untuk setiap aturan hingga hari ke-7, langkah berikutnya adalah melakukan defuzzifikasi. Defuzzifikasi dilakukan dengan menghitung rata-rata dari nilai Z menggunakan rumus berikut:

$$Z = \frac{(\alpha\text{-predikat}_1 * Z_1) + (\alpha\text{-predikat}_2 * Z_2 + \dots + (\alpha\text{-predikat}_n * Z_n)}{\alpha\text{-predikat}_1 + \alpha\text{-predikat}_2 \dots + (\alpha\text{-predikat}_n)} \tag{1}$$

Tabel 4. Hasil Nilai Defuzzifikasi dari Hari ke-1 Hingga Hari ke-7

Hari Ke	Nilai Defuzzifikasi
1	70.8
2	60
3	64.8
4	61.2
5	79.2
6	64.8
7	61.2

Berdasarkan pengujian, hasil defuzzifikasi merupakan nilai *output* yang menentukan derajat lengkung pergerakan motor servo, dipengaruhi oleh suhu udara, kelembaban tanah dan adanya curah hujan. Jika suhu tinggi, kelembaban tinggi dan tidak ada hujan maupun dalam keadaan hujan, maka servo akan bergerak mendekati posisi 90°. Pada beberapa kondisi selama 7 hari pengamatan, arah derajat pergerakan motor servo mendekati posisi lurus di hari ke-5 dalam kondisi tidak hujan, suhu panas 33° celsius dan kelembaban tanah 69%, servo bergerak 79,2° menutupi area pot. Sedangkan pada hari ke-4 motor servo bergerak 60,3° berbeda dengan hasil penghitungan pada tabel yaitu 61,2°. Dengan demikian, logika fuzzy dan *IoT* dapat diimplementasikan untuk meningkatkan akurasi dalam pergerakan terpal serta efisiensi konsumsi daya dalam sistem pertanian.

5. Penutup

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada sistem *IoT* pada alat kontrol otomatis pergerakan terpal pada budidaya tanaman bayam menggunakan arduino uno R3 adalah sebagai berikut. Berdasarkan hasil pengujian, nilai defuzzifikasi sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu udara, kelembaban tanah, dan tingginya curah hujan. Dari pengamatan yang dilakukan dari hari ke-1 hingga hari ke-7, terlihat bahwa hanya pada hari ke-4 hasil output motor servo tidak sesuai dengan perhitungan aturan fuzzy yang telah ditetapkan. Setiap komponen telah menunjukkan bahwa sistem alat budidaya tanaman bayam dapat berfungsi sesuai dengan program yang mengimplementasikan logika fuzzy Tsukamoto. Sistem ini dilengkapi dengan sensor DHT 11 untuk mendeteksi suhu udara, sensor kelembaban tanah untuk mendeteksi kelembaban tanah, modul sensor hujan untuk mendeteksi air hujan, dan Blynk untuk menampilkan informasi data sensor. Sistem *IoT* dalam penelitian ini digunakan untuk memantau suhu udara, kelembaban tanah, curah hujan, kondisi water pump, dan memberikan kontrol otomatis pada putaran motor servo.

Hasil implementasi metode *fuzzy logic* Tsukamoto dalam penelitian ini berkontribusi pada pengembangan model matematis dan pengambilan keputusan dalam sistem pertanian, seperti manajemen tanaman berbasis sensor atau prediksi hasil panen. Penelitian selanjutnya dapat menerapkan metode *fuzzy logic* yang sesuai dengan kebutuhan khusus dalam konteks *IoT* pada bidang-bidang lain yang juga memerlukan pengambilan keputusan berbasis data yang tidak pasti.

6. Referensi

- [1] V. B. Kusnandar, "Sekitar 40 Juta Penduduk Indonesia Bekerja di Sektor Pertanian pada Februari 2022." Accessed: Feb. 14, 2024. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/11/09/sekitar-40-juta-penduduk-indonesia-bekerja-di-sektor-pertanian-pada-februari-2022>
- [2] M. Dhanaraju, P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan, and R. Kaliaperumal, "Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture," *Agriculture*, vol. 12, no. 10, p. 1745, Oct. 2022, doi: 10.3390/agriculture12101745.

- [3] R. Junianto, "Mahal, Harga Bayam di Batam Dibanderol Rp 30 Ribu Per Kilogram." Accessed: Feb. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.batamnews.co.id/berita-96518-mahal-harga-bayam-di-batam-dibanderol-rp-30-ribu-per-kilogram.html>
- [4] N. Niswah, S. Suroso, and S. Soim, "Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Bencana Hidrometeorologi Berbasis Internet of Thing (IoT) Di BMKG," *SMATIKA JURNAL*, vol. 11, no. 02, pp. 153–159, Dec. 2021, doi: 10.32664/smatika.v11i02.593.
- [5] I. Dwi Antoni and Y. Findawati, "Implementasi Logika Fuzzy Untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Menggunakan Metode Tsukamoto," *SMATIKA JURNAL*, vol. 14, no. 01, pp. 61–70, Jun. 2024, doi: 10.32664/smatika.v14i01.1168.
- [6] C. C. Citra, T. M. S. Mulyana, H. Agung, D. Bhisetya, Rarasati, and E. M. Sipayung, "Implementasi Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Menentukan Supply BBM pada Pertashop," *SKANIKA: Sistem Komputer dan Teknik Informatika*, vol. 5, no. 2, pp. 157–166, 2022.
- [7] V. M. Nasution and G. Prakarsa, "Optimasi Produksi Barang Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 4, no. 1, p. 129, Jan. 2020, doi: 10.30865/mib.v4i1.1719.
- [8] A. Mardiana, D. Zalilludin, and D. Fitriani, "Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Keluarga Miskin Menggunakan Logika Fuzzy Tsukamoto," *infotech*, vol. 6, no. 2, pp. 24–29, 2020.
- [9] M. D. Udin, I. Istiadi, and F. Rofii, "Aquascape Dengan Kontrol Fotosintesis Buatan Pada Tanaman Air Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy," *Transmisi*, vol. 23, no. 3, pp. 103–111, Jul. 2021, doi: 10.14710/transmisi.23.3.103-111.
- [10] G. Hartono and R. Hadun, "Kajian Karakteristik Tanah Berdasarkan Toposekuen yang Berbeda di Kelurahan Foradiahi Kecamatan Pulau Ternate," *PROSIDING SEMINAR NASIONAL PERTANIAN*, vol. 1, no. 1, pp. 103–107, 2021.
- [11] L. A. Y. Merbawani, M. Rivai, and H. Pirngadi, "Sistem Monitoring Profil Kedalaman Tingkat Kelembapan Tanah Berbasis IoT dan LoRa," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 285–291, 2021.
- [12] N. Herlina and A. Prasetyorini, "Pengaruh Perubahan Iklim pada Musim Tanam dan Produktivitas Jagung (*Zea mays* L.) di Kabupaten Malang," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 25, no. 1, pp. 118–128, 2020.
- [13] Rahmawati and G. Pranata, "Intensitas Curah Hujan Harian Berdasarkan Data Stasiun Meteorologi Sultan Mahmud Badaruddin II," *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (Jupiter)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2022.
- [14] Abdullah, Cholish, and Moh. Z. Haq, "Pemanfaatan IoT (Internet of Things) Dalam Monitoring Kadar Kepekatan Asap dan Kendali Camera Tracking," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 86–92, Feb. 2021.
- [15] A. D. Boursianis *et al.*, "Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review," *Internet of Things*, vol. 18, p. 100187, May 2022, doi: 10.1016/j.iot.2020.100187.
- [16] Okpatrioka, "Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan," *Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, vol. 1, no. 1, pp. 86–100, 2023.
- [17] S. Auliana and U. Mansyuri, "Penggunaan Metoda Fuzzy Tsukamoto Untuk Menentukan Produksi Barang Elektronik," *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, vol. 2, no. 2, pp. 123–129, 2022.
- [18] D. Giawa and M. Marbun, "Implementasi Logika Fuzzy Tsukamoto Dalam Menentukan Harga Coating Mobil di Prime Coating Medan," *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2022.
- [19] Ibrahim, Rubiah, N. Akmal, and Nuriizzatun, "Pengaruh Penggunaan EM4 dan Sayur Segar Sebagai Bahan Kompos Cair Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Bayam (*Amaranthu* sp.)," *Jurnal Biology Education*, vol. 9, no. 2, pp. 151–166, 2021.