



Article

Implementasi dan Perbandingan Kinerja Algoritma Fuzzy Tsukamoto dan Mamdani pada Sistem Exhaust Fan Berbasis IoT

Nadia Putri¹, Lindawati^{2*}, Aryanti³^{1, 2, 3} Politeknik Negeri Sriwijaya, Jurusan Teknik Elektro, Sumatera Selatan, Indonesia

SUBMISSION TRACK

Received: 06, 15, 2024
 Final Revision: 07, 25, 2024
 Available Online: 08, 08, 2024

KEYWORD

Exhaust Fan, Fuzzy Tsukamoto, Fuzzy Mamdani, Smoke Control, Fish Cracker Production

CORRESPONDENCE

E-mail:
lindawati@polstri.ac.id

A B S T R A C T

Dalam produksi kerupuk, proses penggorengan sering menghasilkan asap dan panas berlebih yang dapat berdampak buruk pada kesehatan pekerja. Asap dapur mengandung senyawa berbahaya seperti sulfur oksida, nitrogen dioksida, dan karbon monoksida. Diperlukan kipas pembuangan untuk mengeluarkan asap dan menstabilkan suhu, namun kontrol manual kurang efektif. Sistem kontrol otomatis, termasuk mikrokontroler, *set points*, PID, dan logika fuzzy, telah dikembangkan. Kontrol berbasis fuzzy dianggap paling baik untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan. Penelitian ini mengevaluasi perbedaan antara metode fuzzy Mamdani dan fuzzy Tsukamoto dalam mengontrol kipas pembuangan. Pengujian dilakukan dengan 100 titik data selama 5 kali percobaan untuk masing-masing metode. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode logika fuzzy Tsukamoto mencapai akurasi lebih baik yaitu 99,35%, dibandingkan dengan logika fuzzy Mamdani yang hanya mencapai 95,45%. Oleh karena itu, sistem kontrol kipas pembuangan lebih efektif menggunakan metode logika fuzzy Tsukamoto. Metode fuzzy Tsukamoto memberikan respon yang lebih cepat dan tepat dalam menyesuaikan kecepatan kipas terhadap perubahan kondisi asap dan suhu di dapur. Hal ini dikarenakan metode Tsukamoto mampu menangani perubahan input yang lebih kompleks dan menghasilkan output yang lebih halus. Di sisi lain, metode fuzzy Mamdani memiliki kelebihan dalam hal kesederhanaan dan kemudahan implementasi, namun kurang responsif terhadap perubahan kondisi yang cepat.

I. PENDAHULUAN

Menggoreng menjadi aktivitas yang pasti dilakukan oleh UMKM yang memproduksi kerupuk, seperti UMKM kerupuk kemplang ikan Palembang. Kegiatan menggoreng memproduksi asap dan uap panas yang tinggi sehingga kualitas udara di ruang produksi menjadi tidak baik. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) menggambarkan tingkat pencemaran udara dan dampak pada kesehatan jangka panjang. Sulfur dioksida, nitrogen dioksida, karbon monoksida adalah senyawa yang berbahaya jika terpapar dalam jangka Panjang [1].

Oleh karena itu, untuk meningkatkan kualitas udara yang baik pada ruangan produksi kerupuk, ruangan harus didukung oleh sistem ventilasi yang sesuai standar [2]. Kipas angin atau *exhaust fan* adalah alat yang umum digunakan untuk memperbaiki sirkulasi udara. Alat ini berfungsi sebagai sistem sirkulasi udara yang bekerja dengan cara menghisap udara dari dalam ruangan, membuangnya ke luar, dan menarik udara segar dari luar untuk didistribusikan kembali menggantikan udara yang sebelumnya [2]. *Exhaust fan* konvensional biasanya dikendalikan manual secara fisik dengan kecepatan putar yang konstan. Hal ini sangat kurang efektif, apalagi jika digunakan dalam skala besar pada ruangan produksi.

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan sistem kendali otomatis *exhaust fan* menggunakan control berbasis set poin, mikrokontroller PID, hingga fuzzy. Dengan *set point*, pengendali *exhaust fan* menggunakan PLC dan HMI menghasilkan kadar asap 141 dengan tegangan 4,11 V, dan kecepatan *exhaust fan* adalah 1000 Rpm [1]. Pada sistem dengan mikrokontroller arduino uno yang mengontrol kipas exhaust akan menyala ketika suhu terdeteksi melebihi 29°C dan mati ketika suhu turun di bawah 28°C [2]. Namun sistem ini masih kurang responsif terhadap kondisi lingkungan jika digunakan pada ruangan produksi kerupuk. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan saat ini, diperlukan metode yang lebih efisien untuk mengontrol kecepatan *exhaust fan*. Sistem kendali dengan metode fuzzy menjadi salah satu metode yang baik dalam menentukan output terhadap kondisi lingkungan ruangan produksi kerupuk.

Sistem pengontrol suhu dan kelembaban udara di dalam ruang pengering biji kopi menghasilkan keluaran fuzzy mamdani rata-rata 0,03500 dan keluaran kipas rata-rata 0,01225 [3]. Pada sistem menggunakan fuzzy mamdani untuk mengontrol suhu dan pH air pada *aquascape* ikan guppy, sistem akan berhasil jika suhu dan pH air tidak sesuai dengan titik yang telah ditentukan. Dengan persentase *error* thermometer raksa sebesar 1.4136%, pH meter digital sebesar 0.6813%, dan pembacaan nilai fuzzy sebesar 0.7246%, sistem tidak menyala [4]. Dalam studi yang menggunakan metode fuzzy tsukamoto untuk mengontrol kecepatan ayunan bayi, ditemukan bahwa saat tidak ada beban respon terbaik diberikan pada titik 60 dengan presentase *error* sebesar 2,28% dan jika beban 3 kg, respon terbaik di titik 80 dengan presentase *error* sebesar 3,2% [5].

Sebagai bahan evaluasi dari penelitian sebelumnya, pada penelitian ini dirancang dengan mengimplementasikan metode fuzzy dengan melakukan perbandingan antara fuzzy tsukamoto dan fuzzy mamdani agar mendapatkan hasil akurasi yang terbaik pada sistem kendali *exhaust fan* ruang produksi kerupuk berbasis IoT dengan sistem pemantauan asap, suhu, dan gas. Integrasi sistem IoT dapat mendeteksi kualitas udara yang ada di ruangan produksi secara real-time [6]. Prinsip dasar IoT adalah menggabungkan input sensor, mikrokontroller, dan internet untuk menyediakan data kepada user [7]. Penerapan IoT dapat memberikan kemudahan dalam memantau kualitas udara yang ada di ruangan produksi sehingga dapat meningkatkan aktivitas didalam ruangan produksi [8].

Pada sistem kendali *exhaust fan* ini, sensor DHT11, sensor MQ135, dan MQ7 akan terhubung dengan mikrokontroller NodeMCU untuk mengimplementasikan metode fuzzy tsukamoto dan fuzzy mamdani. Output yang dihasilkan ialah kecepatan putar *exhaust fan* berdasarkan metode fuzzy yang digunakan. Sistem ini akan membandingkan tingkat akurasi dari metode fuzzy tsukamoto dan mamdani untuk mengetahui metode yang lebih akurat pada sistem kendali *exhaust fan*.

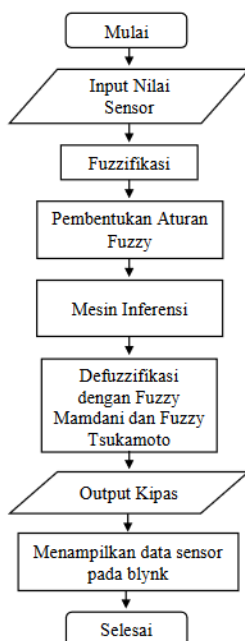
II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian yang melakukan perbandingan akurasi terhadap prediksi harga mobil Toyota Avanza bekas menunjukkan metode fuzzy tsukamoto menghasilkan tingkat *error* yang lebih kecil yaitu sebesar 8% dan metode fuzzy sugeno menunjukkan tingkat *error* sebesar 38% [9]. Dalam studi perbandingan metode fuzzy tsukamoto dan fuzzy mamdani terhadap rekomendasi nilai simpanan tabungan ditemukan bahwa dengan pembatasan output, metode tsukamoto lebih cocok daripada fuzzy mamdani jika digunakan dalam merekomendasikan nilai simpanan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa nilai rekomendasi meningkat seiring dengan tanggal yang semakin besar atau mendekati akhir bulan [10].

Pada studi [11] menyelidiki perbandingan metode fuzzy logic, fuzzy tsukamoto dan fuzzy mamdani dalam mendeteksi kondisi tubuh berdasarkan suhu tubuh. Hasil menunjukkan bahwa fuzzy mamdani memiliki akurasi sebesar 100,00% dalam mendeteksi kondisi tubuh berdasarkan standar *error* dan uji hipotesis tes, sedangkan fuzzy tsukamoto memiliki akurasi sebesar 75,00%. Berdasarkan latar belakang dan tinjauan pustaka, sistem *exhaust fan* ini dirancang dengan menggunakan algoritma fuzzy tsukamoto dan fuzzy mamdani sebagai pengendali kipas dan melakukan perbandingan performa dari kedua metode fuzzy yang digunakan guna mengetahui metode yang lebih akurat dalam pengimplementasian pada sistem kendali *exhaust fan*.

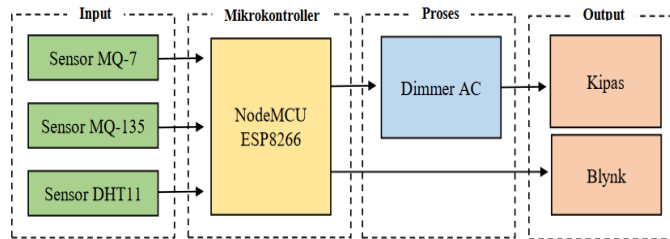
III. KERANGKA KERJA

Pada sistem kendali *exhaust fan* ini disusun untuk mengendalikan *exhaust fan* berdasarkan fuzzy logic control dengan metode mamdani dan tsukamoto. Sistem ini dirancang dengan input asap, gas, dan suhu. Output yang dihasilkan fuzzy logic berupa kecepatan kipas. Tahapan proses pada sistem kendali kipas exhaust dapat dilihat pada Gambar berikut ini:



Gambar 1. Alur Proses Sistem Kendali Exhaust Fan

Pada perancangan perangkat keras, sistem ini dirancang dengan perangkat keras yang terdiri dari empat bagian yaitu perangkat sensor, mikrokontroller, perangkat pemroses, dan perangkat output. Pada perangkat sensor digunakan sensor DHT11, MQ7, dan MQ135. Hasil pembacaan sensor akan diproses oleh mikrokontroller NodeMCU dan dimmer AC untuk mengatur tegangan yang diberikan kepada kipas exhaust. Pemrosesan ini dilakukan menggunakan algoritma fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto secara bergantian. Kecepatan putar kipas exhaust akan ditentukan berdasarkan hasil defuzzifikasi dari setiap metode fuzzy yang digunakan. Perancangan alat pada sistem kendali exhaust ini dijelaskan pada Gambar berikut ini:



Gambar 2. Diagram Perangkat Keras Sistem Kendali Exhaust Fan

Perangkat lunak pada sistem kendali *exhaust fan* ini disusun dari pemrograman sistem pada software arduino IDE yang diprogram berdasarkan algoritma fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto berdasarkan hasil pembacaan sensor dalam mendeteksi asap, gas CO, dan suhu guna untuk mengendalikan secara otomatis kecepatan putar kipas exhaust. Sistem ini juga terintegrasi pada website blynk untuk memudahkan dalam memantau kepekatan asap, CO, dan suhu ruangan produksi kerupuk.

IV. METHODS

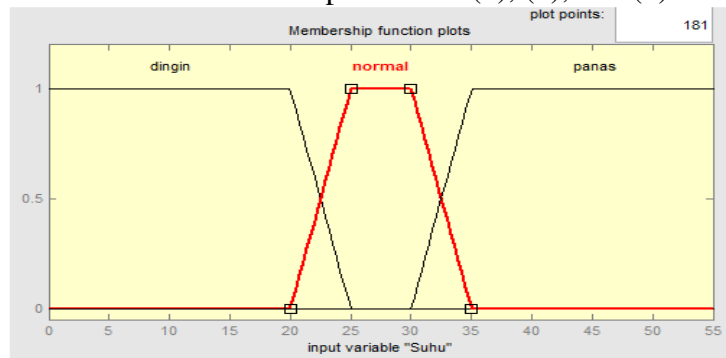
Sistem kendali *exhaust fan* ini menggunakan 2 metode algoritma yaitu fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto yang dimana kedua metode ini dijalankan dengan variabel input, himpunan fuzzy, rule base, hingga variabel output yang sama sehingga akan menghasilkan perbandingan yang obyektif. Pengumpulan data pengujian juga dilakukan pada kondisi lingkungan yang sama dan realistis di ruang produksi yang sama agar mendapatkan data hasil uji yang serupa dengan hasil output dari masing-masing logika fuzzy yang digunakan. Kedua metode ini akan dibandingkan tingkat akurasi guna untuk mengetahui metode yang tepat untuk diimplementasikan pada sistem kendali *exhaust fan* pada ruang produksi kerupuk.

Pada sistem ini, metode fuzzy mamdani memiliki beberapa tahapan proses yaitu fuzzifikasi, fuzzy rule (fungsi implikasi dan komposisi aturan MIN-MAX), dan defuzzifikasi dengan metode centroid [12]. Pada metode fuzzy tsukamoto, tahap pertama adalah fuzzifikasi. Ini dilakukan dengan mengubah nilai input variabel crisp menjadi bentuk fuzzy berdasarkan derajat keanggotaannya. Kemudian, rule base yang telah ditetapkan digunakan untuk pengambilan keputusan. Tahap inferensi akan menemukan nilai α -predikat dari setiap rule yang ada dan mengambil nilai keanggotaan terkecil (MIN) [13]. Proses defuzzifikasi akan mengubah kembali menjadi nilai tegas menggunakan metode rata-rata terpusat (Center Average) [14]. Fungsi keanggotaan untuk setiap variabel input dan output selama tahap fuzzifikasi di jelaskan pada Tabel berikut ini:

Tabel 1. Fuzzy Set yang digunakan

Proses	Fungsi	Variabel	Himpunan	Domain
Kendali Exhaust Fan	Input	Suhu	Dingin	0-25
			Normal	20-35
			Panas	30-55
		Asap	Sedikit	0-200
			Sedang	150-350
			Banyak	300-500
		CO	Rendah	0-100
			Sedang	75-225
			Tinggi	200-300
		Output	Pelan	50-60
			Medium	57-71
			Sedang	68-78

Fungsi keanggotaan suhu dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy input dengan rentang yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4 dan rumus persamaan (1), (2), dan (3).



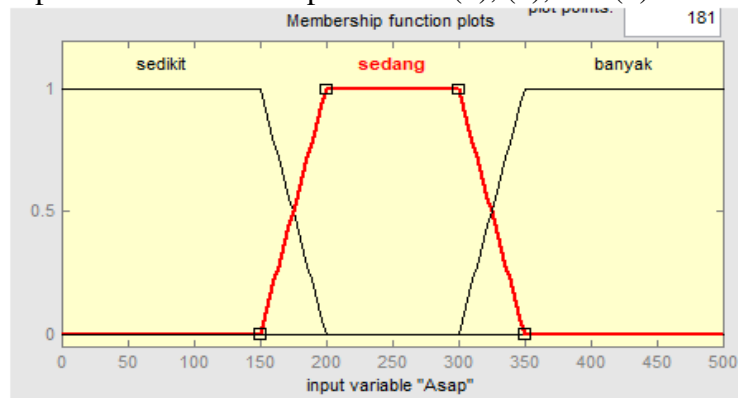
Gambar 3. Himpunan Fuzzy Variabel Suhu

$$\mu_{\text{dingin}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 20 \\ \frac{25-x}{25-20}, & 20 \leq x \leq 25 \\ 0, & x \geq 25 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{\text{normal}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 35 \\ \frac{x-20}{25-20}, & 20 \leq x \leq 25 \\ 1, & 25 \leq x \leq 30 \\ \frac{35-x}{35-30}, & 30 \leq x \leq 35 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{\text{panas}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{35-30}, & 30 \leq x \leq 35 \\ 1, & x \geq 35 \end{cases} \quad (3)$$

Fungsi keanggotaan asap dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy input dengan rentang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 serta persamaan (4), (5), dan (6).



Gambar 4. Himpunan Fuzzy Variabel Asap

$$\mu_{\text{sedikit}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 150 \\ \frac{200-x}{200-150}, & 150 \leq x \leq 200 \\ 0, & x \geq 200 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 150 \text{ atau } x \geq 350 \\ \frac{x-150}{200-150}, & 150 \leq x \leq 200 \\ 1, & 200 \leq x \leq 300 \\ \frac{350-x}{350-300}, & 300 \leq x \leq 350 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{banyak}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 300 \\ \frac{x-300}{350-300}, & 300 \leq x \leq 350 \\ 1, & x \geq 350 \end{cases} \quad (6)$$

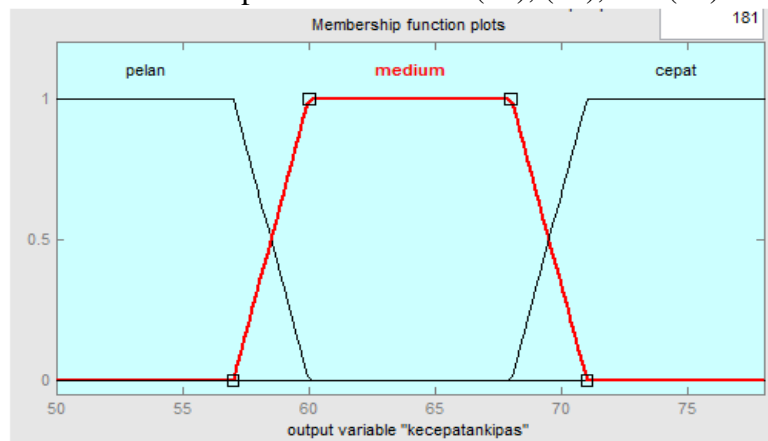
Fungsi keanggotaan gas CO dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy input dengan rentang berbeda pada Gambar 6 dan persamaan matematis (7), (8), dan (9).

$$\mu_{\text{rendah}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 75 \\ \frac{100-x}{100-75}, & 75 \leq x \leq 100 \\ 0, & x \geq 100 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 75 \text{ atau } x \geq 225 \\ \frac{x-75}{100-75}, & 75 \leq x \leq 100 \\ 1, & 100 \leq x \leq 200 \\ \frac{225-x}{225-200}, & 200 \leq x \leq 225 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{tinggi}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 200 \\ \frac{x-200}{225-200}, & 200 \leq x \leq 225 \\ 1, & x \geq 225 \end{cases} \quad (9)$$

Fungsi keanggotaan gas CO dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy input dengan rentang yang berbeda bisa dilihat pada Gambar 7 dan persamaan rumus (10), (11), dan (12).



Gambar 5. Himpunan Fuzzy Variabel Kipas

$$\mu_{\text{pelan}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 57 \\ \frac{60-x}{60-57}, & 57 \leq x \leq 60 \\ 0, & x \geq 60 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{medium}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 57 \text{ atau } x \geq 71 \\ \frac{x-57}{60-57}, & 57 \leq x \leq 60 \\ 1, & 60 \leq x \leq 68 \\ \frac{71-x}{71-68}, & 68 \leq x \leq 71 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{\text{cepat}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 68 \\ \frac{x-68}{71-68}, & 68 \leq x \leq 71 \\ 1, & x \geq 71 \end{cases} \quad (12)$$

Pada tahap inferensi, rule base yang dijadikan dasar aturan pada sistem ini akan digunakan untuk menentukan nilai α -predikat [15] yang ditampilkan pada Tabel berikut ini:

Tabel 2. Rule Base Fuzzy

No	Rule Base
1	jika suhu dingin AND asap sedikit AND gas_rendah THEN kipas_pelan
2	jika suhu dingin AND asap sedikit AND gas_sedang THEN kipas pelan
3	jika suhu dingin AND asap sedikit AND gas_tinggi THEN kipas_medium
4	jika suhu dingin AND asap sedang AND gas rendah THEN kipas pelan
5	jika suhu dingin AND asap sedang AND gas_sedang THEN kipas_medium
6	jika suhu dingin AND asap sedang AND gas_tinggi THEN kipas cepat
7	jika suhu dingin AND asap banyak AND gas rendah THEN kipas sedang
8	jika suhu dingin AND asap banyak AND gas_sedang THEN kipas_cepat
9	jika suhu dingin AND asap banyak AND gas tinggi THEN kipas cepat

- 10 jika suhu normal AND asap sedikit AND gas rendah THEN kipas pelan
- 11 jika suhu normal AND asap sedikit AND gas_sedang THEN kipas medium
- 12 jika suhu normal AND asap sedikit AND gas tinggi THEN kipas cepat
- 13 jika suhu normal AND asap sedang AND gas rendah THEN kipas medium
- 14 jika suhu normal AND asap sedang AND gas sedang THEN kipas medium
- 15 jika suhu normal AND asap sedang AND gas tinggi THEN kipas cepat
- 16 jika suhu normal AND asap banyak AND gas_rendah THEN kipas_cepat
- 17 jika suhu normal AND asap banyak AND gas sedang THEN kipas cepat
- 18 jika suhu normal AND asap banyak AND gas tinggi THEN kipas cepat
- 19 jika suhu panas AND asap sedikit AND gas rendah THEN kipas medium
- 20 jika suhu panas AND asap sedikit AND gas sedang THEN kipas cepat
- 21 Jika suhu panas AND asap sedikit AND gas_tinggi THEN kipas cepat
- 22 jika suhu panas AND asap sedang AND gas rendah THEN kipas cepat
- 23 jika suhu panas AND asap sedang AND gas sedang THEN kipas cepat
- 24 jika suhu panas AND asap sedang AND gas_tinggi THEN kipas cepat
- 25 jika suhu panas AND asap banyak AND gas rendah THEN kipas cepat
- 26 jika suhu panas AND asap banyak AND gas sedang THEN kipas cepat
- 27 jika suhu panas AND asap banyak AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

Tahap terakhir dalam implementasi metode fuzzy ialah defuzzifikasi. Pada metode fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto memiliki metode defuzzifikasi yang berbeda. Metode mamdani menggunakan defuzzifikasi dengan metode centroid dengan operator MIN yang ditunjukkan pada persamaan (13) [16].

$$z = \frac{\int_b^a \mu(z).z \, dz}{\int_b^a \mu(z) \, dz} \quad (13)$$

Pada fuzzy tsukamoto, metode defuzzifikasi menggunakan weight average dengan operator MIN yang ditunjukkan pada persamaan (14) [17].

$$z = \frac{\sum z_i \cdot \alpha_i}{\sum \alpha_i} \quad (14)$$

Analisa data pada sistem ini dengan melakukan perbandingan akurasi dari setiap metode logika fuzzy yang digunakan dengan evaluasi persentase *error* dan MAPE yang menghitung rata-rata persentase kesalahan mutlak [18] yang ditunjukkan pada persamaan (15) dan (16).

$$PE = \left(\frac{P_i - P_x}{P_i} \right) \times 100 \quad (15)$$

$$MAPE = \frac{|\sum PE|}{n} \quad (16)$$

V. HASIL

Pengujian sistem kendali *exhaust fan* ini dilakukan untuk mengetahui hasil kecepatan putar kipas berdasarkan metode fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto guna untuk mengetahui metode yang lebih tepat dan terbaik. Perangkat keras diintegrasikan dengan perangkat lunak sebagai media dalam pemantauan hasil data sensor kepekatan asap, gas CO, dan suhu pada ruangan produksi kerupuk. Hasil pengujian dengan masing-masing metode fuzzy ditampilkan pada Tabel berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem dengan Fuzzy Mamdani

Suhu	Asap	CO	Hasil Matlab	Hasil Pengujian	PE (%)
------	------	----	-----------------	--------------------	-----------

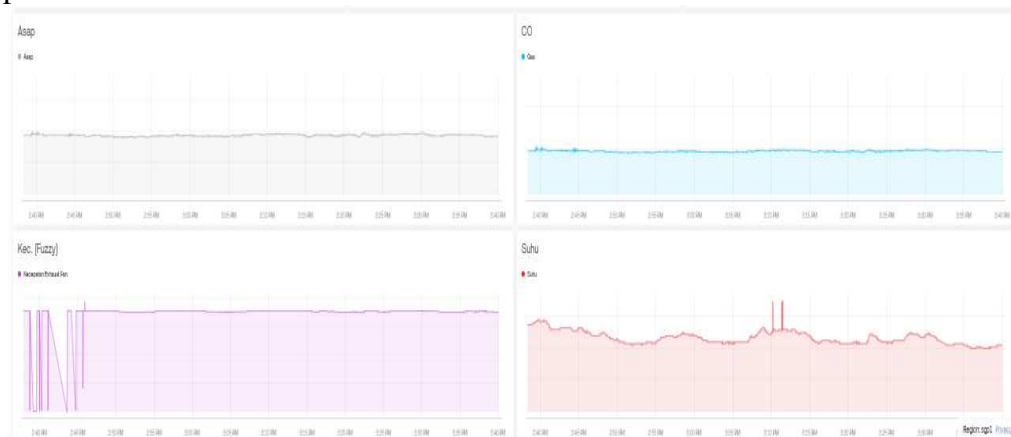
54	435	174	73,8	70,04	5,09
55	436	181	73,9	70,24	4,95
56	434	214	73,9	70,34	4,82
56	416	211	74	70,68	4,49
56	416	219	74	70,68	4,49
55	387	229	74	71	4,05
55	414	207	74	70,72	4,43
55	409	211	74	70,82	4,30
56	416	218	74	70,68	4,49
56	398	209	74	71	4,05
57	409	197	74	70,82	4,30
57	375	206	74	71	4,05
57	470	264	73,9	70,4	4,74
57	436	277	73,9	70,28	4,90
58	393	224	74	71	4,05
58	391	224	74	71	4,05
60	456	229	73,8	70,12	4,99
60	434	200	73,9	70,32	4,84
60	454	213	73,8	70,08	5,04
60	437	288	73,9	70,26	4,93
MAPE Mamdani					4,55
Akurasi Mamdani					95,45

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem dengan Fuzzy Tsukamoto

Suhu	Asap	CO	Hasil Hitung	Hasil Pengujian	PE (%)
54	435	174	69,88	71,1	1,75
55	436	181	69,92	71,1	1,69
56	434	214	70,12	70,59	0,68
56	416	211	70,46	70,63	0,24
56	416	219	70,46	70,45	0,02
55	387	229	71,00	70,24	1,07
55	414	207	70,52	70,78	0,37
55	409	211	70,67	70,63	0,06
56	416	218	70,46	70,47	0,01
56	398	209	71,00	70,75	0,35
57	409	197	70,51	71,1	0,84
57	375	206	71,00	70,8	0,28
57	470	264	70,16	70,12	0,06
57	436	277	70,08	70,35	0,39
58	393	224	71,00	70,34	0,93
58	391	224	71,00	70,34	0,93

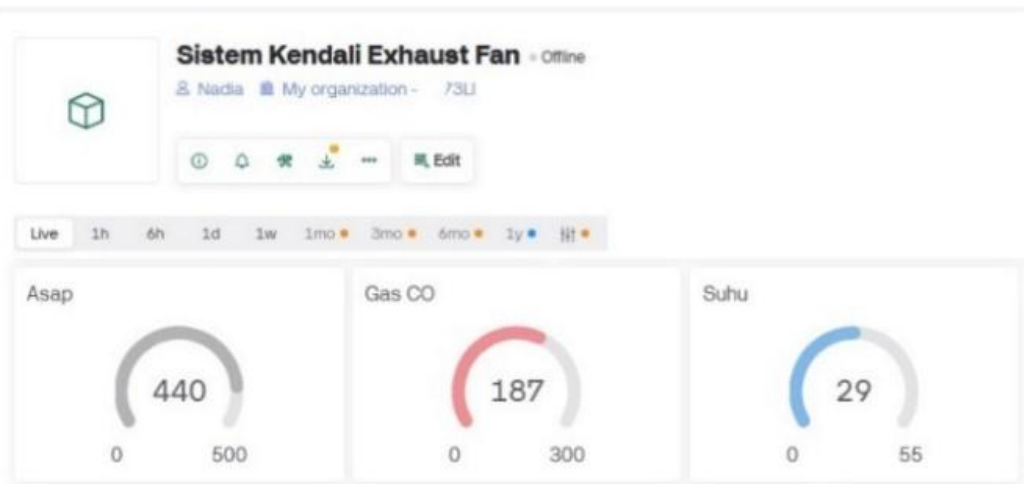
60	456	229	70,01	70,24	0,32
60	434	200	70,10	71,1	1,42
60	454	213	70,01	70,6	0,85
60	437	288	70,07	70,62	0,79
MAPE Tsukamoto					0,65
Akurasi Tsukamoto					99,35

Dengan menggunakan metode fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto pada sistem kendali *exhaust fan* ini dapat mengendalikan kecepatan kipas berdasarkan nilai input hasil pembacaan sensor. Melalui proses fuzzifikasi, inference, implikasi rule base, hingga defuzzifikasi memperoleh nilai kecepatan putar kipas yang responsif terhadap perubahan suhu, asap, dan CO yang ada di ruang produksi kerupuk. Hasil pembacaan sensor dapat dimonitoring melalui website blynk yang ditunjukkan pada Gambar berikut ini:



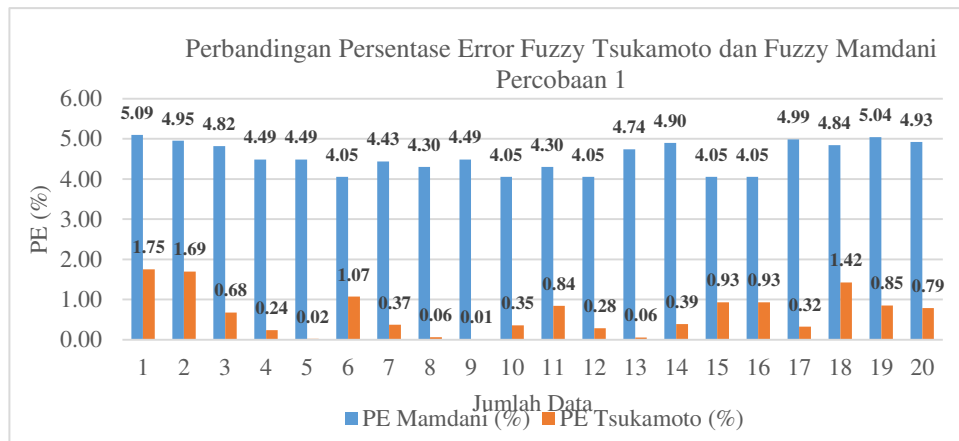
Gambar 6. Sistem Pemantauan Data Sensor pada Website Blynk

Pengujian sistem kendali *exhaust fan* ini dilakukan 5 kali percobaan pada saat aktivitas penggorengan kerupuk dilakukan dengan jumlah data keseluruhan ialah 100 data. Data hasil pembacaan sensor dan data kecepatan kipas hasil dari metode fuzzy yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut ini:

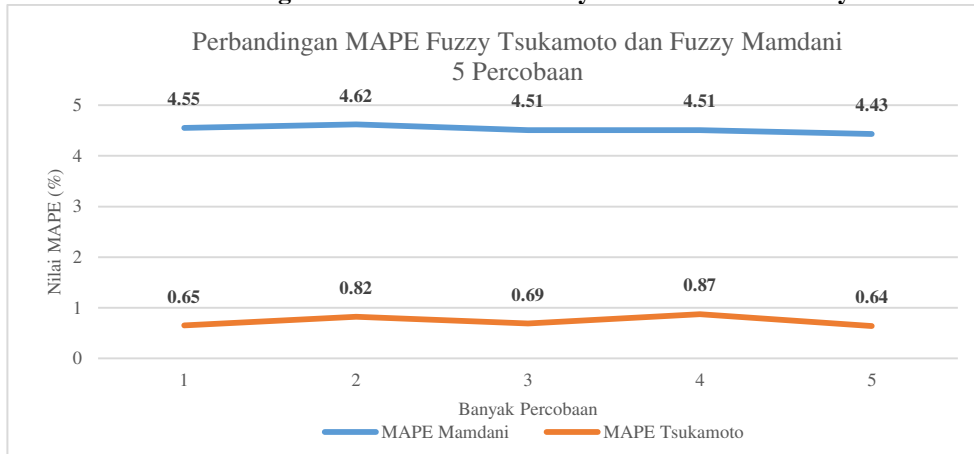


Gambar 7. Pembacaan Sensor dan Data Kecepatan Kipas Hasil dari Metode Fuzzy

Pengujian performa sistem ini dilakukan dengan menghitung nilai persentase *error* dan MAPE dari setiap data pada masing-masing metode fuzzy yang digunakan sehingga dapat memperoleh nilai akurasi dari sistem kendali *exhaust fan* berdasarkan algoritma yang digunakan. Nilai persentase *error* data dan MAPE dari sistem kendali kecepatan kipas exhaust ini dapat dilihat pada Gambar berikut ini:



Gambar 8. Perbandingan Persentase Error Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Mamdani



Gambar 9. Perbandingan MAPE Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Mamdani

VI. PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian kendali kipas exhaust menggunakan metode fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto dengan masing-masing 100 data dalam 5 kali percobaan didapatkan bahwa logika fuzzy dengan metode tsukamoto memiliki persentase *error* dan MAPE yang lebih rendah dari persentase *error* dan MAPE yang dimiliki oleh fuzzy mamdani. Sistem kendali *exhaust fan* menggunakan metode fuzzy tsukamoto memiliki tingkat akurasi lebih baik yaitu sebesar 99,35% dibandingkan dengan sistem kendali dengan metode fuzzy mamdani yang memiliki akurasi sistem sebesar 95,45%.

Hasil akurasi sistem dengan metode tsukamoto pada percobaan 1 dengan 20 data percobaan menunjukkan nilai MAPE 0,65% yang lebih rendah daripada MAPE fuzzy mamdani yaitu 4,55% yang dapat diartikan bahwa sistem kendali *exhaust fan* ini berjalan dengan baik dan lebih responsif menggunakan metode pengendali fuzzy tsukamoto.

VII. CONCLUSION

Dalam sistem kendali menggunakan metode fuzzy mamdani dan fuzzy tsukamoto diperoleh bahwa fuzzy tsukamoto lebih efektif dan responsif dalam mengendalikan kecepatan exhaust berdasarkan input asap, CO, dan suhu secara real-time. Sistem kendali *exhaust fan* menggunakan fuzzy tsukamoto memiliki nilai persentase *error* dan MAPE yang lebih kecil daripada sistem yang menggunakan metode fuzzy mamdani. Hal ini dikarenakan hasil output dari fuzzy tsukamoto berupa nilai crisp yang tegas sehingga dapat lebih responsif terhadap perubahan suhu, asap, dan gas CO secara real-time pada ruang produksi kerupuk.

REFERENCES

- [1] R. J. K. Haryo, A. A. Permana, and Y. Prasetyo, "Pengaturan Kecepatan Exhaust Fan Berdasarkan Tingkat Polusi Asap Menggunakan VSD Berbasis PLC Dan HMI," *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng. 15 JEECAE*, vol. 7, no. 1, pp. 15–19, 2022.
- [2] B. Setiono, U. Sutisna, and T. D. Pamungkas, "Sistem Kendali Kipas Angin dan Exhaust Menggunakan Mikrokontroler Aduino Uno Iteks," *ITEKS*, vol. 14, no. 2, pp. 83–90, 2022.
- [3] B. Fatkhurrozi and H. T. Setiawan, "Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kendali Suhu Dan Kelembaban Udara Ruangan Pengereng Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler," *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 50–59, 2024, doi: 10.20895/jtece.v6i1.1319.
- [4] A. N. Salim and A. Rahman, "Implementasi Fuzzy-Mamdani untuk Pengendalian Suhu dan Kekeruhan Air Aquascape Berbasis IoT," *J. Algoritma*, vol. 2, no. 2, pp. 159–169, 2022.
- [5] A. Septian Dwisaputra, F. Yumono, and D. Efytra Yuliana, "Kontrol Kecepatan Motor Dc Menggunakan Fuzzy Logic Controller Pada Ayunan Bayi," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 01, pp. 1–14, 2021, doi: 10.31328/jasee.v2i01.62.
- [6] M. Fajar B, F. D. Lestary, A. Hidayat, D. Fadhilatunisa, and A. Eka, "Prototype Sistem Monitoring Pendeteksi dan Penyaringan Udara pada Ruangan Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Mediat.*, vol. 6, no. 2, p. 1, 2023, doi: 10.26858/jmtik.v6i2.45943.
- [7] M. A. Permana, A. Suhendi, and Suprayogi, "Pengembangan Sistem Kontrol Dan Pemantauan Suhu Dan Kelembapan Berbasis Iot Pada Prototipe Peternakan Ayam Close-House," *e-Proceeding Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 119–126, 2023.
- [8] B. F. Alwaaritsi, T. Tohir, and D. Aming, "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Pemantauan Serikultur Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Internet-of-Things," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 12, pp. 41–46, 2021, doi: 10.35313/irwns.v12i0.2654.
- [9] R. Reynaldi, W. Syafrizal, and M. F. Al Hakim, "Analisis Perbandingan Akurasi Metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno Dalam Prediksi Penentuan Harga Mobil Bekas," *Indones. J. Math. Nat. Sci.*, vol. 44, no. 2, pp. 73–80, 2021, doi: 10.15294/ijmns.v44i2.32967.
- [10] S. Omara, A. S. Honggowibowo, and H. Wintolo, "Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto Dan Mamdani Untuk Merekomendasi Nilai Simpanan Tabungan Berdasarkan Saldo Rata-Rata Harian Pada Koperasi Jasa Keuangan Syariah (Studi Kasus Di Bmt Bina Ihsanul Fikri)," *Compiler*, vol. 1, no. 1, pp. 117–131, 2012, doi: 10.28989/compiler.v1i1.10.
- [11] E. D. G. Pamungkas, C. N. Wibowo, B. A. P. Hakim, and A. P. Sari, "Implementasi Fuzzy Logic Tsukamoto dan Mamdani pada Deteksi Kondisi Badan Berdasarkan Suhu Tubuh," *Sci. Student J. Information, Technol. Sci.*, vol. IV, no. 1, p. 57, 2023.
- [12] D. Aztisyah, T. Yuniati, and Y. Adi Setyoko, "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Pada pH Air dalam Sistem Otomatisasi Suhu dan pH Air Aquascape Ikan Guppy," *J. Informatics, Inf. Syst. Softw. Eng. Appl.*, vol. 4, no. 1, pp. 58–070, 2021.
- [13] M. Husaini, H. Sutejo, and R. H. Kiswanto, "Perancangan Sistem Kendali Gate Valve Dengan Logika Fuzzy Tsukamoto Berbasis Arduino (Studi Kasus Pada Perusahaan Daerah Air Minum Jayapura)," *Jutisi J. Ilm. Tek. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 13, no. 1, p. 636, 2024, doi: 10.35889/jutisi.v13i1.1901.
- [14] S. Suhendri, Deffy Susanti, and Reyza Reantino Hanggara, "Implementasi Algoritma Fuzzy Tsukamoto Pada Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Penerima Bantuan Program Keluarga Harapan (Pkh) Di Kabupaten Majalengka," *INFOTECH J.*, vol. 8, no. 2, pp. 84–93, 2022, doi: 10.31949/infotech.v8i2.3312.
- [15] S. D. Syahuda and B. Hariadi, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Kualitas Kondisi Ruangan Ideal Berbasis Arduino Uno Dengan Metode Fuzzy logic," *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 6, no. 1, pp. 36–47, 2024, doi: 10.32528/elkom.v6i1.20086.
- [16] D. Wicaksono, "Pemodelan Kendali Temperatur Menggunakan Fuzzy Mamdani Inference

- System pada Dispenser Air,” *J. Komtika*, vol. 7, no. 1, 2023.
- [17] E. Nurraharjo, Z. Budiarmo, and M. Sukur, “Pendekatan Logika Fuzzy Tsukamoto Untuk Model Sistem Kendali Ruang Budidaya Adaptif,” *Sendiu*, pp. 9–15, 2020.
- [18] A. M. Putra, T. Rismawan, and S. Bahri, “Implementasi Metode Fuzzy Tsukamoto Pada Sistem Prediksi Pembelian Barang Toko Abila Collection Berbasis Website,” *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 9, no. 1, 2021.

BIOGRAFI

Nadia Putri, Lahir di Palembang, 28 Januari 2001, sedang menempuh Pendidikan sarjana terapan teknik telekomunikasi di Politeknik Negeri Sriwijaya

Lindawati., S.T.,M.T.I. Lulusan S2 dari Universitas Indonesia dengan bidang keahlian Data Modeling, Matematika, dan Medan Elektromagnetik. Saat ini bekerja sebagai dosen di Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

Aryanti., S.T., M.Kom. Lulusan S2 dari Universitas Diponegoro dengan bidang keahlian Sistem Telekomunikasi dan Praktikum Digital. Saat ini bekerja sebagai dosen di Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang