

Implementasi Sistem Monitoring Kebakaran Dengan Menggunakan Fuzzy Tsukamoto Berbasis IoT

^{1*}Muhammad Resandi Sholahuddin, ²Julian Sahertian, ³Rony Hery Irawan

^{1,2,3} Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹mresandis@gmail.com, ²juliansahertian@unpkediri.ac.id, ³rony@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Muhammad Resandi Sholahuddin

Abstrak— Salah satu bencana yang tidak dapat diprediksi adalah kebakaran. Kebakaran memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan jiwa dan kerugian materiil. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi dini kebakaran berbasis logika fuzzy yang diimplementasikan pada mikrokontroler dengan koneksi internet. Sistem ini memberikan peringatan dini secara real-time untuk meminimalkan dampak kebakaran. Data dari sensor suhu dan asap diproses menggunakan inferensi fuzzy untuk menentukan tingkat risiko. Hasilnya dikirim ke Firebase dan jika terdeteksi kondisi berisiko, sistem akan mengirimkan koordinat lokasi kejadian secara otomatis. Pengujian sistem dilakukan berdasarkan latensi dan throughput. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja responsif dan akurat dalam mengidentifikasi potensi kebakaran. Penelitian ini diharapkan menjadi solusi praktis untuk pemantauan kebakaran berbasis Internet of Things (IoT), serta berkontribusi dalam peningkatan keselamatan dan mitigasi risiko bencana.

Kata Kunci— *Firestore, Fuzzy, IoT, Kebakaran*

Abstract— *One of the unpredictable disasters is fire. Fires pose a high risk to human safety and cause significant material losses. This study aims to develop an early fire detection system based on fuzzy logic, implemented on a microcontroller with internet connectivity. The system provides real-time early warnings to minimize the impact of fires. Data from temperature and smoke sensors are processed using fuzzy inference to determine the risk level. The results are sent to Firestore, and if a hazardous condition is detected, the system automatically transmits the event's GPS coordinates. System testing is based on latency and throughput metrics. The test results show that the system operates responsively and accurately in identifying potential fires. This research is expected to serve as a practical solution for fire monitoring based on the Internet of Things (IoT), contributing to improved safety and disaster risk mitigation.*

Keywords— *Firestore, Fuzzy, IoT, Fire*

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan peristiwa yang tidak diinginkan dan ditandai dengan munculnya api. Bagi penghuni atau pemilik rumah, kejadian ini dapat menjadi bencana besar yang merugikan, karena berpotensi menimbulkan trauma, luka fisik, kerugian finansial maupun material, serta bahkan mengakibatkan hilangnya mata pencaharian[1]. Umumnya kebakaran sering kali baru disadari oleh pemilik atau masyarakat ketika api sudah mulai meluas, asap gelap keluar dari suatu bangunan, atau bahkan saat terjadi ledakan. Kondisi ini biasanya menimbulkan kerugian besar serta dampak psikologis yang mendalam bagi para korban[2].

Pada saat terjadi kebakaran, masyarakat setempat umumnya melakukan upaya pemadaman secara bersama-sama sebelum petugas pemadam kebakaran tiba di lokasi. Namun, permasalahan yang sering dijumpai adalah keterlambatan kedatangan petugas pemadam ke tempat kejadian. Keterlambatan ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kemacetan lalu lintas yang padat, kurangnya kesiapan petugas, serta keterlambatan dalam penerimaan laporan kebakaran dari pemilik bangunan atau masyarakat sekitar yang berada di lokasi kejadian. Situasi tersebut mengindikasikan perlunya peningkatan sistem deteksi dan pelaporan kebakaran agar respons penanganan dapat dilakukan secara lebih cepat dan efektif[3].

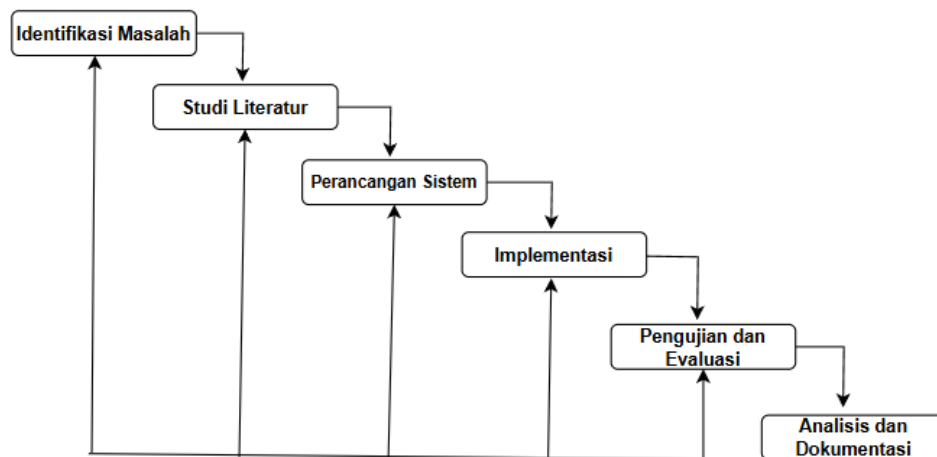
Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem deteksi dini kebakaran berbasis sensor. Misalnya, penelitian oleh Dedi Satria (2023) mengembangkan sistem pendeteksi kebakaran menggunakan sensor MQ-2 dan sensor suhu dengan notifikasi berbasis SMS. Namun, sistem tersebut belum menggunakan kecerdasan buatan jadi keputusannya masih berdasarkan nilai batas yang sudah ditentukan

Berdasarkan permasalahan tersebut untuk membantu petugas dalam memberikan respons yang lebih cepat dan tepat, dikembangkan sistem deteksi dini kebakaran berbasis logika fuzzy. Metode fuzzy mampu mengolah data dengan ketidakpastian dan memberikan keputusan yang fleksibel secara real-time[4]. Sistem ini mengintegrasikan sensor suhu dan asap dengan platform Firebase untuk mengirimkan data dan lokasi secara cepat, sehingga dapat mempercepat penanganan kebakaran dan mengurangi dampak kerugian.

II. METODE

A. Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode waterfall dengan logika fuzzy untuk mengembangkan alat deteksi dini kebakaran. Sistem memanfaatkan sensor DHT-22 untuk mendeteksi suhu dan MQ-135 untuk mengukur konsentrasi asap. Data dari kedua sensor diproses menggunakan inferensi fuzzy untuk menentukan tingkat status kebakaran. Berikut ini beberapa tahapan dalam penelitian yang dilakukan :



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Keterangan gambar 1 sebagai berikut:

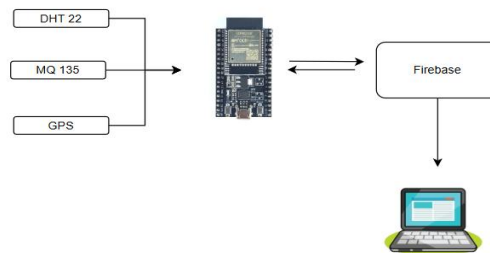
1. Identifikasi Masalah

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan yang sering terjadi dalam kasus kebakaran, khususnya keterlambatan deteksi dan pelaporan kejadian.

2. Studi Literatur

Pengumpulan referensi dan kajian teori terkait sistem deteksi kebakaran, sensor suhu dan asap, Internet of Things (IoT), serta metode logika fuzzy, khususnya fuzzy Tsukamoto.

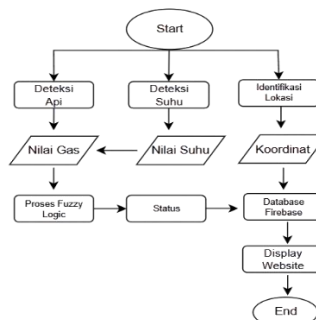
3. Perancangan Sistem



Gambar 2. Perancangan Sistem

Merancang arsitektur sistem yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen utama meliputi mikrokontroler ESP32 sensor suhu (DHT-22), sensor asap (MQ-135), serta modul GPS dan koneksi ke Firebase. Kemudian menentukan variabel input (suhu dan kepadatan asap), membangun himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan, serta merancang aturan inferensi fuzzy menggunakan metode Tsukamoto untuk menghasilkan output berupa kategori "safe" atau "danger".

4. Implementasi Sistem



Gambar 3. Implementasi Sistem

Prototipe sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE dan terhubung ke Firebase untuk mengirim data sensor secara *real-time*. Data tersebut ditampilkan pada halaman web guna memudahkan pemantauan status kebakaran dari jarak jauh.

5. Pengujian dan Evaluasi

Sistem diuji dengan mensimulasikan kondisi kebakaran dalam skala kecil untuk mengevaluasi respons sensor, kecepatan pengiriman data, dan performa sistem berdasarkan parameter latensi dan *throughput*.

6. Analisis dan Dokumentasi

Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif dan deskriptif untuk menilai efektivitas sistem. Hasil kemudian didokumentasikan dalam bentuk laporan penelitian.

B. Metode Fuzzy Tsukamoto

Metode ini dipilih karena mampu menangani ketidakpastian data dari sensor dan mudah dalam penerapan aturan serta fungsi keanggotaannya[8]. Metode Tsukamoto sesuai sistem deteksi dini kebakaran yang membutuhkan pemrosesan cepat dan akurat terhadap data suhu dan asap [9]. Secara umum, tahapan dalam metode logika fuzzy terdiri dari pembentukan himpunan fuzzy, proses fuzzifikasi, inferensi aturan (*rule base*), dan proses defuzzifikasi. Pada metode Tsukamoto, proses defuzzifikasi adalah tahap akhir dalam sistem inferensi fuzzy dimana output fuzzy diubah menjadi nilai tegas. Dalam metode Tsukamoto, nilai Z (*output crisp*) diperoleh melalui proses defuzzifikasi dengan menggunakan metode rata-rata dari hasil inferensi yang dinyatakan dalam bentuk α -predikat [6].

Aturan dalam logika fuzzy dirumuskan dalam bentuk IF–THEN, dengan konsekuensi yang direpresentasikan oleh himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan[7]. Nilai akhir dari sistem diperoleh dengan menghitung rata-rata dari seluruh nilai crisp yang dihasilkan oleh setiap aturan fuzzy[6]. Metode Fuzzy Tsukamoto terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Input seperti suhu dan asap diubah menjadi nilai derajat keanggotaan berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah didefinisikan.

2. Pembuatan Aturan (*Rule Base*)

Aturan ditulis dalam bentuk logika IF–THEN, yang menggabungkan kondisi-kondisi dari variabel input untuk menghasilkan keputusan.

3. Inferensi

Menggunakan operator MIN untuk menghitung nilai α -predikat dari setiap aturan. Setiap nilai α -predikat digunakan untuk menghasilkan output nilai crisp (z) dari masing-masing aturan[10].

4. Defuzzifikasi

Nilai akhir dihitung menggunakan metode rata-rata terbobot, dirumuskan sebagai:

$$z^* = \frac{\sum \alpha_i z_i}{\sum \alpha_i} \quad (1)$$

Keterangan :

Z : Variabel hasil output

α_i : Nilai derajat kebenaran dari aturan ke- i

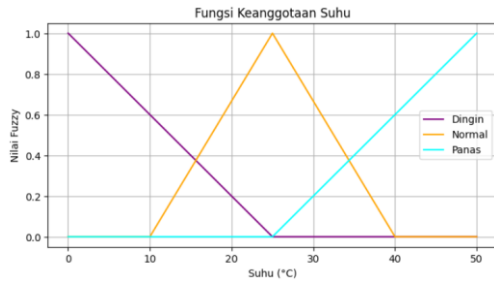
z_i : Nilai output dengan aturan ke- i

Fungsi implementasi MIN dan proses defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya.

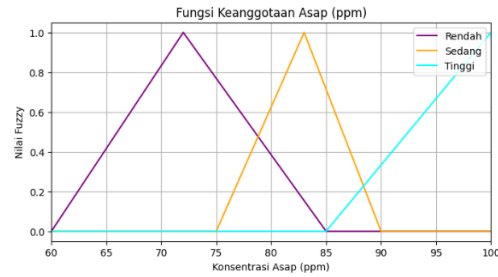
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Fuzzifikasi

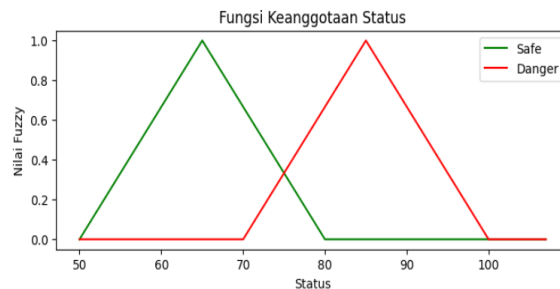
Fuzzifikasi merupakan tahap awal dalam metode Fuzzy Tsukamoto yang mengubah data suhu dan asap dari sensor menjadi nilai linguistik berdasarkan derajat keanggotaan.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Suhu



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Asap



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Status

Suhu dikategorikan menjadi dingin (0–25°C), normal (10–40°C), dan panas (25–50°C). Sementara itu, kepekatan asap dibagi menjadi rendah (60–85 ppm), sedang (75–90 ppm), dan tinggi (85–100 ppm). Nilai dari kedua sensor diolah menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy untuk menentukan kondisi kebakaran. Hasilnya berupa status “Safe” atau “Danger”, yang ditampilkan di sistem monitoring dan dikirim ke Firebase secara real-time.

B. Inferensi Fuzzy

Proses inferensi fuzzy dilakukan untuk mengolah data input berupa suhu dan kadar asap yang diperoleh dari sensor. Berdasarkan nilai-nilai input tersebut, sistem menentukan status kondisi kebakaran dengan kategori *Safe* atau *Danger*. Penentuan ini dilakukan menggunakan rule base yang terdiri dari kombinasi nilai linguistik suhu dan kadar asap. Rule base ini dirancang untuk menghubungkan antara kondisi lingkungan dengan potensi risiko kebakaran. Berikut adalah rule base yang telah dibuat :

Tabel 1. Rule base logika fuzzy

No	Rule Base				Status
1	<i>if</i>	Suhu = Dingin	Asap = Rendah	<i>then</i>	<i>Safe</i>
2	<i>if</i>	Suhu = Normal	Asap = Rendah	<i>then</i>	<i>Safe</i>
3	<i>if</i>	Suhu = Panas	Asap = Rendah	<i>then</i>	<i>Safe</i>
4	<i>if</i>	Suhu = Dingin	Asap = Sedang	<i>then</i>	<i>Safe</i>
5	<i>if</i>	Suhu = Normal	Asap = Sedang	<i>then</i>	<i>Danger</i>
6	<i>if</i>	Suhu = Panas	Asap = Sedang	<i>then</i>	<i>Danger</i>
7	<i>if</i>	Suhu = Dingin	Asap = Tinggi	<i>then</i>	<i>Safe</i>
8	<i>if</i>	Suhu = Normal	Asap = Tinggi	<i>then</i>	<i>Danger</i>
9	<i>if</i>	Suhu = Panas	Asap = Tinggi	<i>then</i>	<i>Danger</i>

Pada pengujian suhu sebesar 32°C dan nilai kepekatan asap sebesar 63 ppm. Berdasarkan fungsi keanggotaan suhu dan asap, nilai-nilai input tersebut memiliki derajat keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Suhu :} \quad \mu_{Rendah}(32) &= 0 \\ \mu_{Normal}(32) &= \frac{40 - 32}{40 - 25} = 0,533 \\ \mu_{Panas}(32) &= \frac{32 - 25}{50 - 25} = 0,28\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Asap :} \quad \mu_{Rendah}(63) &= \frac{85 - 63}{85 - 60} = 0,88 \\ \mu_{Sedang}(63) &= 0 \\ \mu_{Tinggi}(63) &= 0\end{aligned}$$

Dicari nilai minimal (α) dari aturan, kemudian nilai α ini digunakan untuk menghitung output fuzzy (z) dengan fungsi linear sesuai metode Tsukamoto berdasarkan aturan yang berlaku, sehingga diperoleh nilai output sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Suhu :} \quad \mu(z1) &= 80 - 30 \times 0,533 \\ &= 80 - 15,99 \\ &= 64,01\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Asap :} \quad \mu(z2) &= 80 - 30 \times 0,28 \\ &= 80 - 8,4 \\ &= 71,6\end{aligned}$$

C. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam sistem inferensi fuzzy yang berfungsi untuk mengubah nilai fuzzy (derajat keanggotaan) menjadi nilai crisp yang dapat digunakan sebagai penentuan status dari kebakaran. Pada penelitian ini, metode defuzzifikasi yang digunakan adalah Weighted Average (rata-rata terbobot), yang umum diterapkan pada metode fuzzy Tsukamoto [6].

Disini dapat dihitung suatu nilai dalam semesta pembicaraan pada Status sebagai berikut :

$$Z = \frac{(0,533 * 64,01) + (0,28 * 71,6)}{0,533 + 0,28} = 66,62$$

Sehingga didapat nilai crisp adalah 66,62 dan status yang ditampilkan adalah “Safe”.

D. Pengujian performa

Pengujian performa dilakukan untuk mengukur kecepatan transfer data (*throughput*) dan waktu keterlambatan pengiriman data (*latency*) pada sistem yang dikembangkan. Data *throughput* diukur dalam satuan bit per detik (bps), sedangkan latensi diukur dalam milidetik (ms). Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Pengujian *Latency* dan *Throughput*

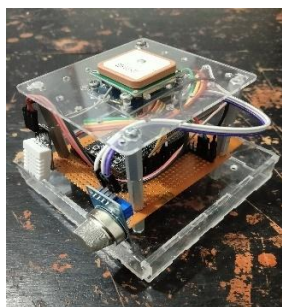
No	<i>Throughput (bits per second))</i>	<i>Latency (ms)</i>
1	9272	216
2	13384	527
3	18528	436
4	9016	377
5	9200	566
6	23744	406
7	18656	387
8	17240	731
9	17336	556
10	19528	388
rata-rata	14690.4	459

Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh rata-rata *throughput* sebesar 14.690,4 bps dan rata-rata latensi sebesar 459 ms. Nilai *throughput* yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data dengan kecepatan yang cukup baik untuk aplikasi yang membutuhkan pengiriman data secara *real-time*. Sedangkan nilai latensi yang berada pada kisaran ratusan milidetik masih dalam batas yang dapat diterima untuk aplikasi monitoring.

E. Implementasi

Implementasi adalah proses penerapan dari rencana yang telah disusun secara rinci. Pada tahap ini, dilakukan pembangunan aplikasi dengan merealisasikan setiap langkah dalam logika fuzzy[5].

1. Tampilan Perangkat lunak



Gambar 7. Prototipe Hasil

Gambar diatas menunjukkan perangkat yang dirancang untuk mendeteksi potensi kebakaran berdasarkan sensor suhu dan sensor asap. Pada prototipe ini terdapat beberapa komponen utama seperti sensor DHT-22, sensor MQ-135, mikrokontroler ESP32, dan modul GPS.

Tabel 3. Perancangan elektronik prototipe

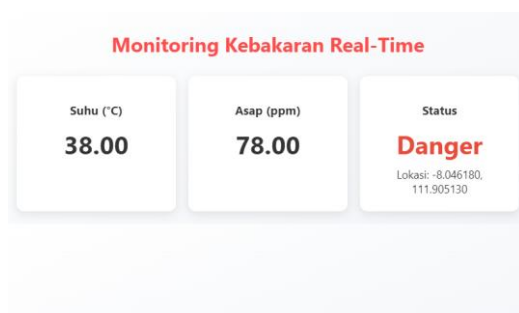
No	Pin	Fungsi
1	3V3	Sumber daya DC positif 3.3 volt
2	GND	Sumber daya DC negatif
3	GPIO4	Input data dari sensor DHT22
4	GPIO16	Mengirim data ke GPS
5	GPIO17	Menerima data dari GPS
6	GPIO19	Input data dari sensor MQ135

Adapun perancangan elektronik yang dilakukan dalam penelitian ini :

- a. Pin GPIO 16 yang dihubungkan dengan pin TX dari GPS digunakan untuk mengirimkan data.
- b. Pin GPIO 17 yang dihubungkan dengan pin RX dari GPS digunakan untuk menerima data.
- c. Pin GPIO19 yang dihubungkan dengan pin output pada MQ-135.
- d. PinGPIO4 yang dihubungkan dengan pin output pada DHT 22.
- e. 3V3 yang dihubungkan dengan pin VCC yang berfungsi sebagai sumber daya DC positif 3.3 volt.
- f. GND yang dihubungkan dengan pin GND yang berfungsi sebagai sumber daya DC negatif.

2. Tampilan *Website*

Pada tahap ini dilakukan perancangan antarmuka pengguna dari sistem aplikasi yang dikembangkan. Antarmuka tersebut dirancang agar informatif dan mudah dipahami, serta mampu menampilkan data penting secara *real-time*. Tampilan pada *website* dalam penelitian ini memuat informasi hasil pembacaan sensor suhu dan asap, hasil perhitungan menggunakan logika fuzzy Tsukamoto, serta status akhir sistem berupa "*Safe*" atau "*Danger*". Selain itu, *website* juga menampilkan koordinat lokasi GPS yang dikirim oleh mikrokontroler ESP32 ke Firebase apabila kondisi berstatus "*Danger*", sehingga pengguna dapat segera mengetahui lokasi potensi kebakaran.



Gambar 8. Tampilan *Website Danger*



Gambar 9. Tampilan *Website Safe*

Pada gambar 8 dan 9 website menampilkan data sensor suhu, asap, serta status sistem berdasarkan perhitungan logika fuzzy yang telah dilakukan. Saat status "*Danger*", koordinat GPS ditampilkan karena data dikirim ke Firebase. Pada status "*Safe*", hanya data sensor yang ditampilkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan fuzzy Tsukamoto, diperoleh nilai crisp sebesar 66,62, yang menunjukkan bahwa status sistem berada dalam kondisi “Safe”. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi tidak berbahaya secara tepat berdasarkan input suhu dan asap yang diberikan. Selain itu, pengujian performa sistem dilakukan untuk mengevaluasi kualitas komunikasi data, khususnya pada parameter throughput dan latency. Dari sepuluh kali pengujian, diperoleh rata-rata throughput sebesar 14.690,4 bps dan rata-rata latency sebesar 459 ms. Nilai throughput tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mentransmisikan data dengan kecepatan yang cukup baik untuk kebutuhan aplikasi Internet of Things (IoT) yang bersifat real-time. Meskipun terdapat jeda waktu pengiriman data dalam rentang ratusan milidetik, hal tersebut tidak berdampak signifikan terhadap kinerja sistem deteksi kebakaran secara real-time.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nento, Novaldiyanto K., Bambang Panji Asmara, and Iskandar Zulkarnain Nasibu. "Rancang Bangun Alat Peringatan Dini Dan Informasi Lokasi Kebakaran Berbasis Arduino Uno." *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering* 3.1 (2021): 13-18. <https://doi.org/10.37905/jjee.v3i1.8339>
- [2] Sudarta, A., Ferdiansyah, F., Siahaan, R. R., & Maruloh, M. (2022). Rancang Bangun Pendeteksi Kebakaran Dan Monitoring Berbasis IoT Dengan Microcontroller NodeMCU. *Bina Insani ICT Journal*, 9(1), 22-32. <https://doi.org/10.51211/biict.v9i1.1704>
- [3] Yulistia, A., & Rusdi, M. (2021). Rancang Bangun Peringatan Dini Kebakaran Rumah Berbasis Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Tenaga Listrik*, 1(1), 36-46. <https://doi.org/10.51510/jitl.v1i1.215>
- [4] Sakir, M., Ihsan, I. P., & Yusuf, F. (2021). INTERNET OF THINGS UNTUK MONITORING GEJALA KECEMASAN PADA PASIEN MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 15(3), 356-366. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v15i3.23733>
- [5] Gloria, P., & Sedyono, E. (2022). Perancangan Sistem Rekomendasi Pemberian Beasiswa dengan Metode Fuzzy Tsukamoto. *Journal of Information Technology Ampera*, 3(2), 124-147. <https://journal-computing.org/index.php/journal-ita/article/view/224>.
- [6] Akib, F., & Faisal, F. (2024). Penerapan Fuzzy Tsukamoto pada Perancangan Sistem Kontrol dan Monitoring Nutrsi Aquaponic Berbasis Internet Of Things. *AGENTS: Journal of Artificial Intelligence and Data Science*, 4(2), 29-36. <https://doi.org/10.24252/jagti.v4i2.84>
- [7] Setyono, A., & Aeni, S. N. (2018). Development of decision support system for ordering goods using fuzzy Tsukamoto. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(2), 1182. <https://doi.org/10.11591/ijece.v8i2.pp1182-1193>
- [8] Berlian, H. R., Hasbi, M., & Kustanto, K. (2020). Optimasi Stok Ayam Potong Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto Di Rumah Makan Boyolali. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIKomSiN)*, 8(1).

<http://dx.doi.org/10.30646/tikomsin.v8i1.489>

- [9] Antoni, I. D., & Findawati, Y. (2024). Implementasi Logika Fuzzy Untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Menggunakan Metode Tsukamoto. *SMATIKA JURNAL: STIKI Informatika Jurnal*, 14(01), 61-70. <https://doi.org/10.32664/smatika.v14i01.1168>
- [10] JB, S. N., Huzaeni, H., & Salahuddin, S. (2024). Air Temperature and Humidity Monitoring System for Server Rooms and Data Centers Using the Fuzzy Tsukamoto Method with IoT. *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering*, 4(2), 104-115. <http://dx.doi.org/10.30811/jaise.v4i2.6132>
- [11] Satria, D. (2023). Sistem Peringatan Dini Kebakaran Dan Kebocoran Gas LPG Berbasis Notifikasi SMS Gateway. *Jurnal Informatika*, 2(2), 9-13. <https://doi.org/10.57094/ji.v2i2.1025>