



Sistem Monitoring Kualitas Udara Perpustakaan Sekolah Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic Berbasis *Internet of things*

Syarifah Nurhafni Ahmad ^{1*}, L.M. Fid Aksara ², Asa Hari Wibowo ³

^{1,2,3} Universitas Halu Oleo, Indonesia

*Penulis Korespondensi: syarifah.nurhafni2904@gmail.com

Abstract. In the modern era, air quality has become a significant environmental concern, especially in indoor public facilities such as school libraries where students and staff spend considerable time. Poor indoor air quality can negatively affect health, concentration, and overall comfort, highlighting the need for a reliable monitoring solution. This study proposes the design and implementation of an Internet of Things (IoT)-based air quality monitoring system integrated with a Fuzzy Logic algorithm. The system utilizes a DHT-11 sensor to measure temperature and humidity and an MQ-135 sensor to detect harmful gases. Data are transmitted in real time using the WEMOS D1 Mini microcontroller and processed through the Mamdani Fuzzy Logic method, producing intuitive linguistic outputs such as “good,” “moderate,” and “poor.” Testing results demonstrate that the system can effectively monitor temperature, humidity, and toxic gas concentrations simultaneously with acceptable accuracy. The air quality assessments generated are simple to interpret and useful for decision-making, enabling schools to maintain a healthy and comfortable learning environment. Moreover, the system provides a low-cost and scalable solution that can be further expanded to other public facilities. Its combination of Internet of Things and Fuzzy Logic ensures adaptability, accuracy, and practicality for small-scale environmental monitoring applications in libraries.

Keywords: Air Quality; Fuzzy Logic; Internet of Things; Monitoring; School Library.

Abstrak. Pada era modern, kualitas udara menjadi isu lingkungan penting, terutama di ruang publik seperti perpustakaan sekolah. Kualitas udara yang buruk dapat memengaruhi kesehatan dan kenyamanan pengguna perpustakaan. Permasalahan ini mendorong perlunya sistem pemantauan kualitas udara yang efisien dan mudah dipahami. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of things* (IoT) menggunakan algoritma *Fuzzy Logic*. Sistem ini memanfaatkan sensor DHT-11 untuk mengukur suhu dan kelembapan, serta sensor MQ-135 untuk mendeteksi keberadaan gas beracun. Data dikirim secara real-time melalui WEMOS D1 Mini dan diolah menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk menghasilkan *output* linguistik seperti “baik”, “sedang”, atau “buruk”. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu memantau suhu, kelembapan, dan keberadaan gas beracun secara akurat dan simultan. Penilaian kualitas udara yang dihasilkan bersifat informatif dan mudah dipahami, sehingga mendukung pengambilan keputusan dalam menjaga kenyamanan dan kesehatan di lingkungan perpustakaan. Sistem ini efektif digunakan sebagai solusi monitoring lingkungan dalam skala kecil dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk penerapan di ruang publik lainnya.

Kata kunci: *Internet of things*; Kualitas Udara; Logika Fuzzy; Monitoring; Perpustakaan Sekolah.

1. LATAR BELAKANG

Pada era modern, kualitas udara telah menjadi salah satu isu lingkungan yang mendesak. Peningkatan polusi udara dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan dan menurunkan kenyamanan lingkungan. Lingkungan yang sehat sangat bergantung pada kualitas udara yang memenuhi standar kesehatan karena udara mengandung oksigen yang vital bagi kehidupan. Namun, udara juga dapat tercemar oleh berbagai zat berbahaya misalnya partikel debu yang dalam konsentrasi tinggi berpotensi membahayakan kesehatan. Menurut *World Health Organization* (WHO), banyak bahan bangunan, material konstruksi, dan peralatan di dalam ruangan yang dapat melepaskan zat berbahaya dan memicu masalah kesehatan (Anantama dkk., 2021).

Dalam konteks pendidikan, kualitas udara menjadi hal krusial, terutama di perpustakaan sekolah yang merupakan ruang publik dengan tingkat aktivitas tinggi. Siswa dan staf yang beraktivitas dalam waktu lama berpotensi meningkatkan polusi udara di dalam ruangan. Manusia menghasilkan panas, kelembapan, dan berbagai zat pencemar seperti karbondioksida, bakteri, dan virus melalui pernapasan maupun keringat (Yang, 2017). Kadar CO₂ di ruang dalam sebaiknya tidak melebihi 1000 ppm karena kadar yang lebih tinggi dapat menyebabkan ruangan terasa pengap, menurunkan konsentrasi, dan memicu gejala seperti pusing atau sakit kepala (Talarosha, 2017).

Standar ISO/IEC juga menekankan bahwa ruangan dengan aktivitas pengujian harus menjaga kebersihan dan sirkulasi udara yang baik untuk menghindari akumulasi polutan yang dapat memengaruhi kinerja (ISO/IEC, 2020). Penelitian (Kencanasari, Surahman, Permana, & Nugraha, 2020) menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruangan permukiman yang buruk dapat meningkatkan risiko gangguan pernapasan, sementara (Vinola & Rakhman, 2020) melaporkan bahwa kualitas udara yang buruk berpengaruh langsung terhadap penurunan produktivitas dan konsentrasi penghuni ruangan.

Selain itu, kualitas udara di dalam ruangan seperti perpustakaan sangat dipengaruhi oleh sirkulasi dan pertukaran udara yang efektif. Ruangan dengan ventilasi yang buruk cenderung menumpuk polutan udara dalam ruangan seperti karbon dioksida (CO₂), senyawa organik volatil (VOC), dan kelembapan berlebih, yang secara kumulatif dapat menurunkan indeks kenyamanan termal (Fajriah, 2025). Ventilasi alami atau sistem mekanik yang dirancang dengan baik tidak hanya membantu menjaga kadar CO₂ tetap rendah, tetapi juga berkontribusi terhadap pengendalian suhu dan kelembapan yang lebih stabil. Oleh karena itu, desain tata udara yang memadai menjadi elemen penting dalam memastikan lingkungan perpustakaan tetap sehat, nyaman, dan sesuai dengan standar kenyamanan ruang publik. Beberapa studi menyebutkan bahwa standar kenyamanan di ruang perpustakaan yang ideal mencakup temperatur udara sekitar 20°C - 24°C dan kelembapan relatif 45 - 60% (Shafa & Sari, 2022). Stabilitas suhu dan kelembapan ini penting untuk menciptakan suasana yang nyaman dan mendukung kegiatan akademik siswa di dalam perpustakaan.

Pendekatan logika *Fuzzy* yang dikombinasikan dengan teknologi *Internet of things* (IoT) dapat menjadi cara yang layak untuk memantau kualitas udara guna mengatasi permasalahan udara, suhu dan kelembapan di perpustakaan sekolah. Dengan menghubungkan sensor MQ-135 dan DHT11 ke WEMOS D1 Mini dan mengirimkan data secara *real-time* ke website, *Internet of things* memungkinkan analisis dan pemrosesan data yang memanfaatkan pendekatan *Fuzzy Logic* agar mendapatkan hasil perhitungan yang lebih presisi tentang kondisi

udara, suhu dan kelembapan. Melalui integrasi ini, pihak sekolah dapat memantau kondisi lingkungan perpustakaan secara langsung dan mengambil keputusan yang cepat apabila terjadi perubahan kualitas udara yang signifikan. Sistem ini juga dapat diatur untuk memberikan notifikasi atau rekomendasi tindakan otomatis, seperti menyalakan ventilasi atau pendingin udara, sehingga lingkungan belajar tetap nyaman dan mendukung aktivitas akademik siswa.

Penelitian ini berhasil membawa inovasi dengan mengintegrasikan sistem pemantau gas CO₂, suhu, dan kelembapan menggunakan metode *Fuzzy* untuk meningkatkan akurasi waktu respon sistem. Pendekatan *Fuzzy Logic* menyediakan mekanisme untuk menganalisis data dari sensor secara lebih mendalam dan menyeluruh.. Metode ini mengubah data numerik yang diperoleh dari sensor menjadi representasi dalam bentuk variabel linguistik ("baik", "sedang", atau "buruk") menjadikannya lebih sederhana untuk dipahami oleh pengguna. Dengan demikian, pemantauan kualitas lingkungan perpustakaan dapat dilakukan secara lebih efektif, sehingga menciptakan suasana yang nyaman, sehat, dan mendukung proses belajar siswa secara optimal.

2. KAJIAN TEORITIS

Studi dengan judul “Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis *Fuzzy Logic*” menjadikan Arduino UNO R3 unit pengendali utama. Untuk menilai kualitas udara, perangkat ini menggunakan sensor CO (MQ-7), sensor debu (GP2Y1010AU0F), dan sensor CO₂ (MQ-135) sebagai komponen *input*. Untuk memaksimalkan kinerja sensor, metode Sugeno dan logika *fuzzy* digunakan untuk memproses data yang dikumpulkan dari sensor-sensor tersebut. Data yang diperoleh dapat diubah menjadi satuan *fuzzy* melalui proses ini. Selain itu, perangkat ini mampu mengkategorikan tingkat kualitas udara dan menampilkan kondisi tersebut pada layar Dot Matrix P10, dengan opsi kategori baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, dan berbahaya (Hidayati, Zaini Rachman, & Rimbawan, 2020).

Studi lain dengan judul “Rancangan Bangun *Prototype* Monitoring Kualitas Udara dalam Ruang” menunjukkan bahwa sistem *monitoring* kualitas udara dalam ruangan berfungsi dengan baik menggunakan tiga sensor gas: MQ-4 untuk mendeteksi metana (CH₄), MQ-135 untuk alkohol dan karbon dioksida (CO₂), serta MQ-7 untuk karbon monoksida (CO). Data dari sensor dikirim secara real-time ke platform *ThingsBoard* dan ditampilkan melalui LCD. Sensor menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan konsentrasi gas (Zafira, Ghozali, & Sabilla, 2022).

Selain itu, studi “Implementasi Logika *Fuzzy* Mamdani Untuk *Monitoring* Kualitas Udara Dalam Ruangan” menunjukkan bahwa implementasi logika *fuzzy* Mamdani mencapai

akurasi 94,69% dengan rata-rata error 5,31%. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-135 untuk kadar CO serta sensor DHT11 untuk suhu dan kelembapan, yang kemudian diproses menggunakan 27 aturan *fuzzy* (Dwipangga, Abdillah, Apriansyah, & Saputra, 2024).

Metode Mamdani dipilih karena kemampuannya menghasilkan keluaran linguistik yang mudah dipahami pengguna, melalui tiga tahap utama: *fuzzifikasi*, inferensi, dan *defuzzifikasi*. Kajian literatur terbaru mengenai pembelajaran adaptif pada sistem *fuzzy* menyoroti perkembangan metode pembelajaran otomatis yang memungkinkan penyesuaian struktur dan parameter sistem *fuzzy* berdasarkan data (Gu, Han, Shen, & Angelov, 2023). Untuk perbandingan antara Mamdani dan Sugeno secara aplikatif, studi komprehensif menyediakan analisis empiris yang menekankan trade-off antara interpretabilitas (Mamdani) dan efisiensi komputasi/output numerik (Sugeno) (Pop, Pescaru, & Micea, 2023).

Dalam konteks implementasi IoT untuk pemantauan kualitas udara, penelitian-penelitian terkini menyarankan kombinasi sensor murah seperti DHT11 dan MQ-135 dengan kalibrasi yang tepat serta pemrosesan data pada board ESP32/ESP8266 untuk memperoleh hasil yang andal pada aplikasi non-kritis. Studi implementasi low-cost IoT air quality monitoring menunjukkan bahwa integrasi MQ-135 dan DHT11 dengan algoritma klasifikasi (termasuk FIS) dapat menghasilkan sistem monitoring real-time yang layak untuk aplikasi lingkungan skala kecil (Hassan, Saraya, Ali-Eldin, & Abdelsalam, 2024). Tinjauan terbaru tentang monitoring lingkungan real-time juga menegaskan bahwa MQ-135 banyak digunakan pada solusi biaya-rendah, namun akurasi dan presisinya sangat bergantung pada kalibrasi, kondisi lingkungan, dan teknik komputasi pendukung (Narayana dkk., 2024).

3. METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

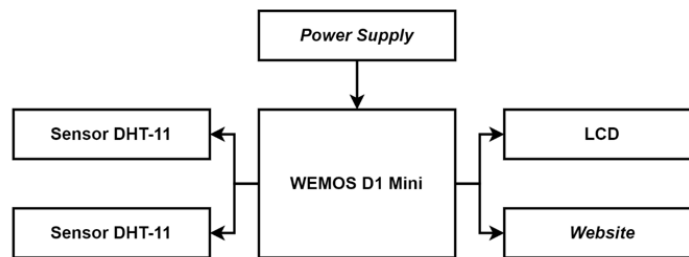
Tahap ini meliputi studi literatur yang memungkinkan analisis mendalam terhadap teori dan perspektif ilmiah yang relevan, serta survei lapangan yang melibatkan observasi langsung dan interaksi dengan petugas sekolah untuk memahami persepsi terhadap kualitas udara dan dampaknya terhadap kenyamanan proses ajar mengajar. Survei lapangan bertujuan untuk mendukung pengembangan sistem monitoring yang efektif bagi kondisi lingkungan sekolah.

Analisis dan Perancangan Sistem

Perancangan Blok Diagram

Fungsi diagram dari sistem ini adalah untuk menunjukkan hubungan *input output* dan proses. Blok diagram ini bisa memberikan solusi pertahap untuk mengatasi kendala yang ada

(Y. P. Putra, Ishak, & Elfitriani, 2022). Adapun blok diagram dari rangkaian alat yang akan dirancang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram.

Adapun penjelasannya mengenai gambar yang ditunjukkan oleh Gambar 1 adalah sebagai berikut:

a) Input dari WEMOS D1 Mini

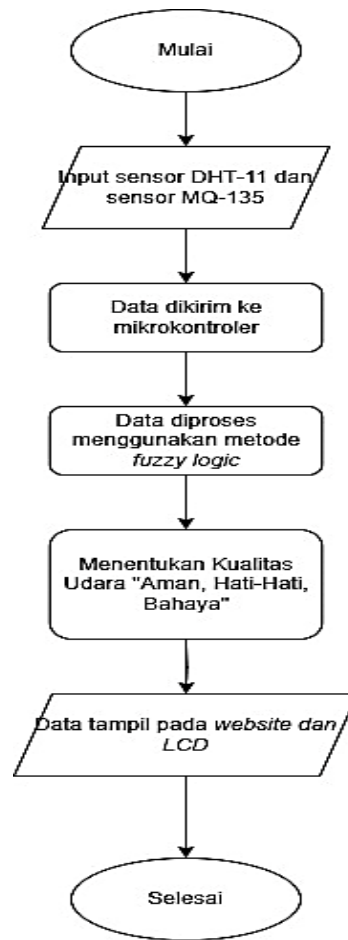
Input dari WEMOS D1 Mini diperoleh melalui dua jenis sensor, yaitu sensor DHT-11 dan sensor MQ-135. Sensor DHT-11 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di dalam ruangan perpustakaan sekolah, sedangkan sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi kandungan gas beracun yang ada di lingkungan tersebut (Muttaqin, Prayitno, Setyaningsih, & Nurbaiti, 2024). Kedua sensor ini berperan penting dalam menyediakan data lingkungan yang dibutuhkan sistem untuk proses monitoring kualitas udara secara *real time*.

b) Output dari WEMOS D1 Mini

Output dari WEMOS D1 Mini ditampilkan melalui dua media, yaitu LCD dan website. LCD digunakan untuk menampilkan secara langsung data suhu, kelembapan, dan kandungan gas beracun di lokasi perpustakaan. Sementara itu, website berfungsi sebagai media *output* berbasis internet yang juga menampilkan informasi yang sama, sehingga memungkinkan pemantauan kualitas udara secara jarak jauh dan lebih fleksibel.

Perancangan Alur Sistem

Perancangan sistem adalah fase awal dalam penelitian ini yang mencakup serangkaian langkah sistematis yang dijadikan pijakan untuk memperoleh hasil yang optimal dan memastikan bahwa alur kerja dibangun dengan struktur yang jelas dan logis. Dalam literatur terkini, proses semacam ini sering disebut sebagai “*system design stages*” atau “*design process framework*”, yang mencakup tahap-tahap dari identifikasi komponen, pengolahan data masuk, hingga presentasi atau keluaran sistem (Deniziak, Płaza, & Arcab, 2022).



Gambar 2. Flowchart Sistem.

Berdasarkan *flowchart* sistem pada Gambar 2 dapat dijelaskan sebagai berikut:

a) Mulai

Pada awal mulai mempersiapkan semua komponen seperti sensor suhu, sensor kelembapan, sensor gas CO₂, LCD, dan komponen lainnya.

b) Input Sensor DH-11 dan Sensor MQ-135

Input berasal dari beberapa buah komponen yaitu sensor suhu, sensor kelembapan, dan sensor gas CO₂.

c) Data Dikirim Ke Mikrokontroler

Setelah *input* diterima, data akan diproses pada mikrokontroler.

d) Penerapan Fuzzy Logic

Selanjutnya data akan diproses menggunakan metode *Fuzzy Logic*. Data yang diproses menggunakan metode *Fuzzy Logic* yaitu data suhu, kelembapan, dan gas CO₂.

e) Menampilkan Output

Fase terakhir pada sistem ini adalah menampilkan kualitas udara aman, hati-hati, atau buruk pada layar LCD dan website.

Penerapan Fuzzy Logic

Untuk mengklasifikasikan nilai *input* ke dalam himpunan *fuzzy* yang sesuai, langkah awal dari metode *fuzzy*, yaitu fuzzifikasi, melibatkan pengambilan nilai *input* dalam bentuk data crisp dan menentukan derajat keanggotaannya (A. P. Putra & Suwarno, 2022). Ada tiga indikator *input* yang akan digunakan untuk mengubah nilai tegas menjadi nilai *fuzzy* yaitu suhu, kelembapan dan gas beracun.

Fungsi keanggotaan adalah fungsi matematis yang menentukan seberapa kuat sebuah elemen atau variabel tergantung pada sebuah himpunan *fuzzy* (Syahputri, Chiuloto, & Harahap, 2022). Dalam konteks sistem kontrol *fuzzy*, fungsi keanggotaan digunakan untuk menghubungkan masukan dan keluaran dengan variabel linguistik, sehingga memungkinkan model matematis yang lebih fleksibel dan dapat menangani ketidakpastian serta ambiguitas dalam data masukan. Adapun fungsi keanggotaan tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

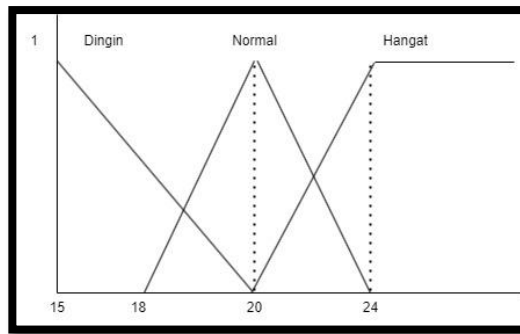
Tabel 1. Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*.

No.	Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	Parameter
1.	Suhu	Dingin	15°C – 20°C
		Normal	18°C – 24°C
		Hangat	> 20°C
2.	Kelembapan	Kering	30% – 47,5%
		Ideal	40% – 55%
		Lembap	> 47,5%
3.	Gas Beracun	Baik	0 – 1200 ppm
		Sedang	1100 – 1600 ppm
		Buruk	≥ 1700 ppm
4.	Kualitas Udara	Aman	38 – 58
		Hati-Hati	59 – 77
		Bahaya	78 – 101

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* pada Tabel 1, dapat dijelaskan sebagai berikut:

a) Fungsi Keanggotaan Suhu

Variabel dari fungsi keanggotaan suhu terdiri dari tiga himpunan yaitu dingin, normal, dan hangat. Pada himpunan dingin nilai parameter yang ditentukan yaitu 15 °C – 20°C, himpunan normal yaitu 18°C – 24°C dan himpunan hangat yaitu $\geq 20^\circ\text{C}$. Adapun fungsi keanggotan suhu dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Fungsi Keanggotaan Suhu.

Berdasarkan pada Gambar 3, adapun persamaan yang didapatkan berdasarkan kurva fungsi keanggotaan suhu sebagai berikut:

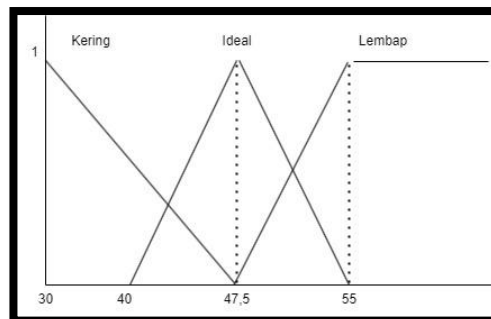
$$\mu_{Dingin}[x] = \begin{cases} 0, & x \geq 20 \text{ atau } x < 15 \\ \frac{20-x}{20-15}, & 15 \leq x \leq 20 \\ 1, & x = 15 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Normal}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 18 \text{ atau } x \geq 24 \\ \frac{x-18}{20-18}, & 18 \leq x \leq 20 \\ \frac{24-x}{24-20}, & 20 \leq x \leq 24 \\ 1, & x = 20 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Hangat}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 20 \\ \frac{x-20}{24-20}, & 20 \leq x \leq 24 \\ 1, & x \geq 24 \end{cases} \quad (3)$$

b) Fungsi Keanggotaan Kelembapan

Variabel dari fungsi keanggotaan kelembapan terdiri dari tiga himpunan yaitu rendah, normal, dan tinggi. Pada himpunan kering nilai parameter yang ditentukan yaitu 30% – 47,5 %, himpunan ideal yaitu 40% – 55 % dan himpunan lembap yaitu $\geq 47,5$ %. Adapun fungsi keanggotaan kelembapan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Fungsi Keanggotaan Kelembapan.

Berdasarkan pada Gambar 4, adapun persamaan yang didapatkan berdasarkan kurva fungsi keanggotaan kelembapan sebagai berikut.

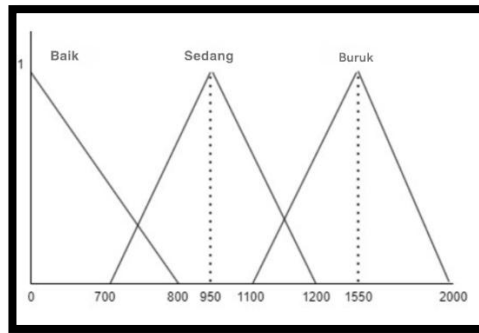
$$\mu_{\text{Kering}}[x] = \begin{cases} 0, & x \geq 47,5 \text{ atau } x < 30 \\ \frac{47,5-x}{47,5-30}, & 30 \leq x \leq 47,5 \\ 1, & x = 30 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{Ideal}}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 40 \text{ atau } x \geq 55 \\ \frac{x-40}{47,5-40}, & 40 \leq x \leq 47,5 \\ \frac{55-x}{55-47,5}, & 47,5 \leq x \leq 55 \\ 1, & x = 47,5 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{Lembap}}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 47,5 \\ \frac{x-47,5}{55-47,5}, & 47,5 \leq x \leq 55 \\ 1, & x \geq 55 \end{cases} \quad (6)$$

c) Fungsi Keanggotaan Gas Beracun

Variabel dari fungsi keanggotaan kelembapan terdiri dari tiga himpunan yaitu rendah, normal, dan tinggi. Pada himpunan baik nilai parameter yang ditentukan yaitu 0 – 1200 Ppm, himpunan sedang yaitu 1100 - 1600 Ppm dan himpunan buruk yaitu >1200 Ppm. Adapun fungsi keanggotaan gas beracun dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Fungsi Keanggotaan Gas Beracun.

Berdasarkan pada Gambar 5, adapun persamaan yang didapatkan berdasarkan kurva fungsi keanggotaan gas beracun sebagai berikut:

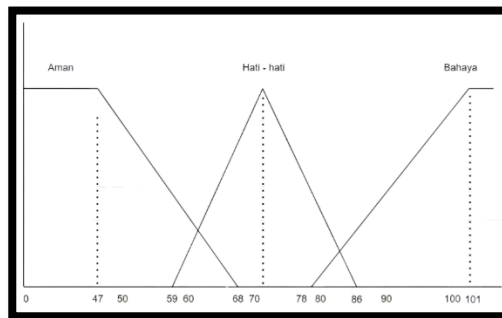
$$\mu_{\text{Baik}}[x] = \begin{cases} 0, & x > 1200 \\ \frac{1200-x}{1200}, & 0 < x \leq 1200 \\ 1, & x = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{Sedang}}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 1100 \text{ atau } x \geq 1600 \\ \frac{x-1100}{250}, & 1100 < x \leq 1350 \\ \frac{1600-x}{250}, & 1350 < x < 1600 \\ 1, & x = 1350 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{Buruk}}[x] = \begin{cases} 0, & x < 1700 \\ \frac{x-1700}{300}, & 1700 \leq x < 2000 \\ 1, & x \geq 2000 \end{cases} \quad (9)$$

d) Fungsi Keanggotaan Kualitas Udara

Variabel dari fungsi keanggotaan kualitas udara terdiri dari tiga himpunan yaitu aman, hati-hati, dan bahaya. Pada himpunan aman nilai parameter yang ditentukan yaitu 45 – 68, himpunan hati-hati yaitu 59 – 86 dan himpunan bahaya yaitu 78 – 101. Adapun fungsi keanggotaan kualitas udara dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Fungsi Keanggotaan Kualitas Udara.

Berdasarkan pada Gambar 6, adapun persamaan yang didapatkan berdasarkan kurva fungsi keanggotaan kualitas udara sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Aman}}|x| = \begin{cases} 0, & x \leq 38 \\ \frac{x-38}{10}, & 38 < x \leq 48 \\ \frac{68-x}{10}, & 58 \leq x < 68 \\ 0, & x \geq 68 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{Hati - hati}}|x| = \begin{cases} 0, & x \leq 59 \text{ atau } x \geq 77 \\ \frac{x-59}{9}, & 59 < x \leq 68 \\ 1, & x = 58 \\ \frac{77-x}{9}, & 68 < x < 77 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{\text{Bahaya}}|x| = \begin{cases} 0, & x \leq 78 \\ \frac{x-78}{12}, & 78 < x \leq 90 \\ 1, & x \geq 90 \end{cases} \quad (12)$$

Inferensi (Implikasi)

Basis aturan atau implikasi *fuzzy* yang menyediakan aturan yang menggambarkan hubungan antara variabel *input* dan *output*. Hubungan antara variabel - variabel yang menjadi *input* dan *output*. Aturan *fuzzy* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Variabel *Fuzzy*.

No.	Suhu	Kelembapan	CO2	Kualitas Udara
1.	Dingin	Kering	Baik	Bahaya
2.	Dingin	Kering	Sedang	Bahaya
3.	Dingin	Kering	Buruk	Bahaya
4.	Dingin	Ideal	Baik	Aman
5.	Dingin	Ideal	Sedang	Hati-Hati
6.	Dingin	Ideal	Buruk	Bahaya
7.	Dingin	Lembab	Baik	Hati-Hati
8.	Dingin	Lembab	Sedang	Bahaya
9.	Dingin	Lembab	Buruk	Aman
10.	Normal	Kering	Baik	Aman
11.	Normal	Kering	Sedang	Hati-Hati
12.	Normal	Kering	Buruk	Bahaya
13.	Normal	Ideal	Baik	Aman
14.	Normal	Ideal	Sedang	Aman
15.	Normal	Ideal	Buruk	Hati-Hati
16.	Normal	Lembab	Baik	Hati-Hati
17.	Normal	Lembab	Sedang	Hati-Hati
18.	Normal	Lembab	Buruk	Bahaya
19.	Hangat	Kering	Baik	Hati-Hati
20.	Hangat	Kering	Sedang	Bahaya
21.	Hangat	Kering	Buruk	Bahaya
22.	Hangat	Ideal	Baik	Hati-Hati
23.	Hangat	Ideal	Sedang	Hati-Hati
24.	Hangat	Ideal	Buruk	Bahaya
25.	Hangat	Lembab	Baik	Bahaya
26.	Hangat	Lembab	Sedang	Bahaya
27.	Hangat	Lembab	Buruk	Bahaya

Tabel 2 memberikan gambaran tentang hubungan antara suhu, kelembapan udara, konsentrasi CO₂, dan kualitas udara dalam ruangan. Setiap kombinasi kondisi seperti suhu dingin, ideal, atau hangat dengan kelembapan kering atau lembab, serta tingkat CO₂ yang baik, sedang, atau buruk, menghasilkan penilaian terhadap kualitas udara sebagai aman, hati-hati, atau bahaya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of things* dengan penerapan logika *Fuzzy Mamdani* dapat diimplementasikan secara efektif untuk memantau kondisi udara di perpustakaan sekolah. Sistem yang dirancang mampu mengintegrasikan sensor DHT-11 untuk membaca suhu dan kelembapan, serta sensor MQ-135 untuk mendeteksi konsentrasi gas CO₂. Data dari sensor kemudian diproses menggunakan mikrokontroler WEMOS D1 Mini dan ditampilkan secara real-time melalui tampilan LCD serta dashboard website. Keluaran dari sistem berupa kategori kualitas udara dalam bentuk linguistik seperti “Aman”, “Hati-Hati”, dan “Bahaya” dihasilkan berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan sebelumnya. Implementasi sistem juga mencakup pengembangan antarmuka web yang terdiri dari halaman login, dashboard monitoring, serta histori data suhu, kelembapan, dan gas beracun yang memudahkan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan perpustakaan.

Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam memantau dan mengolah data kualitas udara, serta kemampuan logika *fuzzy* dalam memberikan keputusan yang tepat berdasarkan data yang diperoleh. Adapun pengujian-pengujian tersebut dapat dijelaskan melalui tabel berikut.

Pengujian sensor DHT-11 bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam mengukur suhu dan kelembapan dengan akurasi yang sesuai untuk aplikasi lingkungan.

Tabel 3. Pengujian Sensor DHT-11 (Suhu).

No	Nilai Input		Selisih	Error (%)
	Suhu Sensor (°C)	Suhu Aktual (°C)		
1.	31.0	29.0	2.0	6.90
2.	31.0	29.0	2.0	6.90
3.	32.0	29.0	3.0	10.34
4.	31.0	29.3	1.7	5.80
5.	32.0	30.0	2.0	6.67
6.	32.0	30.0	2.0	6.67
7.	32.0	30.0	2.0	6.67
Rata-Rata Error (%)				7.14

Berdasarkan data pengujian suhu yang ditunjukkan pada Tabel 3, nilai rata-rata *error* yang dihitung dari perbandingan suhu sensor DHT-11 dengan suhu aktual adalah sebesar 7.14%. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum, akurasi pengukuran suhu yang dilakukan

oleh sensor DHT-11 memiliki tingkat *error* yang relatif kecil, dengan variasi antara 5.80% hingga 10.34% untuk setiap pengukuran. Sementara itu adapun hasil pengujian berdasarkan nilai kelembapan sensor dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Sensor DHT-11 (Kelembapan).

No	Nilai Input		Selisih	Error (%)
	Kelembapan Sensor (%)	Kelembapan Aktual (%)		
1.	68.0	73.0	5.0	6.85
2.	69.0	73.0	4.0	5.48
3.	68.0	75.0	7.0	9.33
4.	72.0	75.0	3.0	4.00
5.	69.0	70.0	1.0	1.43
6.	68.0	71.0	3.0	4.23
7.	68.0	70.0	2.0	2.86
Rata-Rata Error (%)				4.88

Berdasarkan data pengujian kelembapan yang ditunjukkan pada Tabel 4, nilai rata-rata *error* yang dihitung dari perbandingan antara kelembapan sensor DHT-11 dengan kelembapan aktual adalah sebesar 4.88%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor DHT-11 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur kelembapan, dengan nilai *error* yang bervariasi antara 1.43% hingga 9.33% pada setiap pengukuran.

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan untuk menguji sensitivitas dan keandalannya dalam mendeteksi gas-gas berbahaya, khususnya dalam memantau kualitas udara.

Tabel 5. Pengujian Sensor MQ-135.

No	Nilai Input		Selisih	Error (%)
	Gas Beracun Sensor (ppm)	Gas Beracun Aktual (ppm)		
1.	551.0	444.0	107.0	24.10%
2.	1117.0	970.0	147.0	15.15%
3.	875.0	750.0	125.0	16.67%
4.	1255.0	1053.0	202.0	19.18%
5.	2233.0	2274.0	-41.0	1.80%
6.	2431.0	2384.0	47.0	1.97%
7.	2854.0	2692.0	162.0	6.02%
Rata-Rata Error (%)				12,70

Berdasarkan data pengujian gas beracun yang ditunjukkan pada Tabel 5, nilai rata-rata *error* yang dihitung dari perbandingan antara nilai sensor MQ-135 dan nilai beracun aktual adalah sebesar 12.70%. Hal ini memiliki makna bahwa MQ-135 berhasil mendapatkan akurasi

yang cukup baik dalam mendeteksi gas beracun, dengan variasi *error* antara 1.80% hingga 24.10% pada setiap pengukuran.

Pengujian *fuzzy* manual dan sistem dilakukan untuk menganalisis perbandingan antara perhitungan manual dengan sistem berbasis logika *fuzzy* dalam menyelesaikan masalah yang melibatkan ketidakpastian dan variabel linguistik.

Tabel 6. Pengujian *Fuzzy* Manual Dan *Fuzzy* Sistem.

Suhu	Kelembapan	CO2	Nilai Output		Selisih	Error (%)
			Manual	Sistem		
Hangat	Lembab	Aman	0	0	0	0
Hangat	Lembap	Sedang	0	1	1	100
Hangat	Lembap	Aman	0	0	0	0
Hangat	Lembap	Sedang	0	0	0	0
Hangat	Lembap	Berbahaya	1	1	0	0
Hangat	Lembap	Berbahaya	1	1	0	0
Hangat	Lembap	Berbahaya	1	1	0	0
Rata-Rata Error (%)						14.29

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada Tabel 6, dapat dilihat bahwa hasil perbandingan antara *fuzzy* manual dan *fuzzy* sistem menghasilkan selisih yang bervariasi antara 0 dan 1 pada setiap baris data. Pada beberapa baris, nilai *fuzzy* manual dan *fuzzy* sistem identik, menghasilkan selisih 0 dan error 0%, seperti yang terlihat pada baris ke-2, ke-4, ke-5, ke-6, dan ke-7. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* bekerja dengan baik pada kondisi-kondisi tersebut, dengan hasil yang sesuai dengan perhitungan manual.

Namun, pada baris ke-1 dan ke-3, terjadi perbedaan antara *fuzzy* manual dan *fuzzy* sistem, dengan selisih 1 dan error 100%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* belum sepenuhnya mencocokkan hasil perhitungan manual pada kondisi tersebut, yang mungkin disebabkan oleh ketidakpastian atau variasi dalam *input* atau aturan yang digunakan.

Dengan rata-rata error sebesar 14.29%, hasil ini mengindikasikan bahwa sistem *fuzzy* secara keseluruhan memberikan hasil yang cukup akurat, meskipun masih ada beberapa kasus dengan error yang cukup besar. Rata-rata error ini menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar hasil sesuai dengan perhitungan manual, sistem *fuzzy* masih memiliki ruang untuk perbaikan pada beberapa kasus untuk mencapai hasil yang lebih konsisten dan mendekati *fuzzy* manual.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa sistem yang telah dirancang dan diuji berhasil memenuhi tujuan penelitian. Sistem ini mampu memantau kondisi kualitas udara secara *real-time* dengan menggunakan sensor DHT-11 untuk suhu dan kelembapan, serta sensor MQ-135 untuk gas beracun. Penggunaan *Fuzzy Logic*, khususnya metode *Fuzzy Mamdani*, memungkinkan sistem untuk mengklasifikasikan kondisi udara ke dalam kategori linguistik seperti "baik", "sedang", atau "buruk", yang lebih mudah dipahami oleh pengguna. Dengan demikian, sistem ini dapat memberikan informasi yang akurat mengenai kualitas udara di perpustakaan sekolah dan meningkatkan kenyamanan penghuni perpustakaan.

DAFTAR REFERENSI

- Anantama, A., Wantoro, A., Ahmad, I., Puspaningrum, A. S., Deviana, L. P., & Maharani, M. B. (2021). Implementasi metode fuzzy pada sistem sirkulasi udara berbasis Internet of Things. *Kodifikasia: Jurnal Penelitian Islam*, 15(1), 133–158.
- Deniziak, S., Plaza, M., & Arcab, L. (2022). Approach for designing real-time IoT systems. *Electronics*, 11(24), 4120. <https://doi.org/10.3390/electronics11244120>
- Dwipangga, A. A. K., Abdillah, M., Apriansyah, M. F., & Saputra, R. A. (2024). Implementasi logika fuzzy Mamdani untuk monitoring kualitas udara dalam ruangan. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(3), 3967–3974. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i3.9851>
- Fajriah, I. (2025). Pengaruh kualitas udara di tempat kerja terhadap kesehatan dan produktivitas pekerja. *Termometer: Jurnal Ilmiah Ilmu Kesehatan dan Kedokteran*, 3(1), 272–2853. <https://doi.org/10.55606/termometer.v3i1.4869>
- Gu, X., Han, J., Shen, Q., & Angelov, P. P. (2023). Autonomous learning for fuzzy systems: A review. *Artificial Intelligence Review*, 56(5), 4311–4348. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10355-6>
- Hassan, A. K., Saraya, M. S., Ali-Eldin, A. M. T., & Abdelsalam, M. M. (2024). Low-cost IoT air quality monitoring station using cloud platform and blockchain technology. *Applied Sciences*, 14(13), 5774. <https://doi.org/10.3390/app14135774>
- Hidayati, Q., Zaini Rachman, F., & Rimbawan, M. A. S. (2020). Sistem monitoring kualitas udara berbasis fuzzy logic. *ISAS Publishing*, 6(1), 260–267.
- International Organization for Standardization. (2020). *International standard ISO/IEC competence of testing and calibration* (pp. 1–38). <https://www.iso.org/fr/standard/39883.html>
- Kencanasari, R. V., Surahman, U., Permana, A. Y., & Nugraha, H. D. (2020). Kondisi kualitas udara di dalam ruangan pemukiman non-kumuh Kota Bandung. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 3(3), 235–245. <https://doi.org/10.17509/jaz.v3i3.28134>
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang bangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT (Internet of Things) dengan sensor

- DHT11 dan sensor MQ135. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(2), 102–115. <https://doi.org/10.14710/jplp.6.2.102-115>
- Narayana, T. L., Venkatesh, C., Kiran, A., J. C. B., Kumar, A., Khan, S. B., & Quasim, M. T. (2024). Advances in real time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensors. *Heliyon*, 10(7), e28195. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28195>
- Pop, M. D., Pescaru, D., & Micea, M. V. (2023). Mamdani vs. Takagi-Sugeno fuzzy inference systems in the calibration of continuous-time car-following models. *Sensors*, 23(21), 8791. <https://doi.org/10.3390/s23218791>
- Putra, A. P., & Suwarno, J. (2022). Sistem monitoring suhu dan kelembaban untuk kandang reptil berbasis IoT dengan platform Blynk. *Scientia Sacra: Jurnal Sains*, 2(4). <http://pijarpemikiran.com/index.php/Scientia>
- Putra, Y. P., Ishak, I., & Elfitriani, E. (2022). Rancang bangun papan informasi cuaca berbasis Arduino dan Visual Basic menggunakan teknik simplex. *Jurnal Cyber Tech*, 11(2), 1–9. <http://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jct/article/view/702>
- Shafa, A., & Sari, S. R. (2022). Penilaian kenyamanan termal pada ruang baca perpustakaan umum Kota Pekalongan. *Review of Urbanism and Architectural Studies*, 20(1), 23–32. <https://doi.org/10.21776/ub.ruas.2022.020.01.3>
- Syahputri, N. I., Chiuloto, K., & Harahap, N. N. A. (2022). Analisa perbandingan membership function fuzzy Tsukamoto dalam menentukan dosen berprestasi. *Blend Sains*, 1(2), 134–142. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v1i2.134>
- Talarosha, B. (2017). Jendela dan dampaknya terhadap konsentrasi CO₂ di dalam ruang kelas: Kajian literatur. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 6(4), 188–195. <https://doi.org/10.32315/jlbi.7.1.46>
- Vinola, F., & Rakhman, A. (2020). Sistem monitoring dan controlling suhu ruangan berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 9(2), 117–126.
- Yang, Z. (2017). Indoor air pollution and preventions in college libraries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 64(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/64/1/012076>
- Zafira, M. U., Ghazali, K., & Sabilla, I. A. (2022). Rancangan bangun prototype monitoring kualitas udara dalam ruangan. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), 91–96. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.86341>