

Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis IoT Dengan Metode *Fuzzy Logic*

Diono¹, Zaenal Fanani¹

¹Politeknik Negeri Batam

Jurusan Teknik Elektro

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

E-mail: diono@polibatam.ac.id

Abstrak

Kualitas udara dalam ruangan memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan manusia, mengingat sebagian besar waktu dihabiskan di dalam ruangan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan metode *Fuzzy Logic*. Sistem ini menggunakan sensor MQ-135 untuk mendeteksi kadar CO₂, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, dan mikrokontroler ESP8266 sebagai pusat pengolahan data. Hasil pembacaan sensor dikirim secara *real-time* ke aplikasi smartphone berbasis MIT App Inventor dan dilengkapi fitur notifikasi peringatan melalui *WhatsApp*. Pengujian sistem dilakukan di dua ruangan, yaitu kamar dan dapur untuk memastikan keakuratan sensor dan respons aplikasi. Analisis statistik menunjukkan kadar CO₂ lebih tinggi di dapur akibat aktivitas memasak, sedangkan kamar lebih stabil. Validasi metode *Fuzzy Mamdani* dengan *Matlab* menunjukkan akurasi tinggi, yaitu 99.73% untuk output *fuzzy* kualitas udara dan 99.97% untuk output *fuzzy* kenyamanan. Secara keseluruhan, sistem yang dirancang mampu memantau kualitas udara secara *real-time* dan memberikan peringatan dini.

Kata kunci: *Fuzzy Logic*, *Internet of Things*, Sensor DHT22, Sensor MQ-135

Abstract

Indoor air quality has a significant impact on human health, considering that most of the time is spent indoors. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based air quality monitoring system with the Fuzzy Logic method. This system uses an MQ-135 sensor to detect CO₂ levels, a DHT22 sensor to measure temperature and humidity, and an ESP8266 microcontroller as a data processing center. The sensor readings are sent in real-time to a smartphone application based on MIT App Inventor and are equipped with a notification alert feature via WhatsApp. System testing was carried out in two rooms, namely the bedroom and the kitchen to ensure sensor accuracy and application response. Statistical analysis showed that CO₂ levels were higher in the kitchen due to cooking activities, while the bedroom was more stable. Validation of the Fuzzy Mamdani method with Matlab showed high accuracy, namely 99.73% for air quality fuzzy output and 99.97% for comfort fuzzy output. Overall, the designed system is able to monitor air quality in real-time and provide early warnings.

Keywords : *Fuzzy Logic*, *Internet of Things*, DHT22 Sensor, MQ135 Sensor

1. Pendahuluan

Kualitas udara dalam ruangan merupakan aspek yang sangat penting dalam menjaga kesehatan, terutama karena sebagian besar waktu kita dihabiskan di dalam ruangan seperti di dalam rumah, kantor, sekolah, rumah sakit dan tempat lainnya [1]. *World Health Organization (WHO)* menyatakan bahwa paparan zat berbahaya yang berasal dari struktur bangunan, material bangunan, dan aktivitas manusia di dalam ruangan, seperti pembakaran bahan bakar untuk

memasak atau memanaskan ruangan, dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan dan bahkan dapat menyebabkan kematian [2]. WHO juga menyatakan bahwa polusi udara dalam ruangan dapat mencapai paru-paru bisa 1000 kali lebih cepat dibandingkan polusi udara luar ruangan. Diperkirakan sekitar 3 juta orang meninggal setiap tahun akibat polusi udara dengan 2,8 juta di antaranya disebabkan oleh polusi udara dalam ruangan dan sisanya karena polusi udara luar ruangan [3].

Penelitian *Environmental Protection Agency (EPA)* menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi dalam ruangan bisa 2-5 kali lipat lebih tinggi dan bahkan bisa mencapai 100 kali lebih tinggi dibandingkan dengan udara di luar. Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu pencemar udara di dalam ruangan yang sebagian besar berasal dari proses pernapasan manusia. Tingkat konsentrasi CO₂ dalam ruangan mencerminkan kualitas udara dalam ruangan. Di Indonesia, pada tahun 2004 emisi CO₂ tertinggi berasal dari konsumsi energi (62%) dengan 10% diantaranya berasal dari respirasi manusia [4]. Salah satu kasus di Indonesia menunjukkan adanya keracunan CO₂ akibat penggunaan genset di dalam rumah. Diduga penghuni rumah lupa membuka jendela sehingga gas CO₂ terakumulasi di dalam ruangan [5].

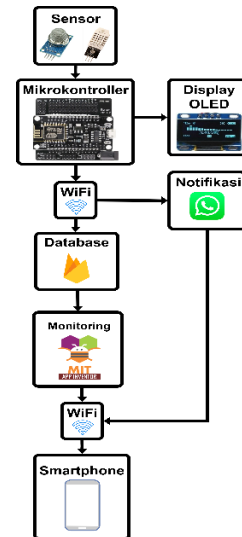
Untuk mengatasi permasalahan tersebut agar tidak terjadi kasus atau kejadian yang serupa, penelitian ini akan merancang prototipe sistem monitoring kualitas udara secara real-time yang dilengkapi notifikasi peringatan ke smartphone sehingga pengguna dapat segera mengambil tindakan saat terdeteksi kondisi udara yang tidak sehat. Selain itu, metode *fuzzy* juga akan digunakan untuk mengatasi ketidakpastian pada data sensor dengan memperhitungkan tingkat kesamaran (keabu-abuan) dalam pengambilan keputusan sehingga menghasilkan informasi yang lebih akurat [6]. Dengan penerapan metode *fuzzy*, sistem dapat memberikan peringatan lebih awal.

Dengan demikian, pengembangan sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi efektif dalam memantau dan menjaga kualitas udara dalam ruangan sehingga pengguna dapat mencegah dan menghindari risiko kesehatan akibat polusi udara dalam ruangan, serta dapat meningkatkan kenyamanan di dalam ruangan.

2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Topologi Jaringan IoT

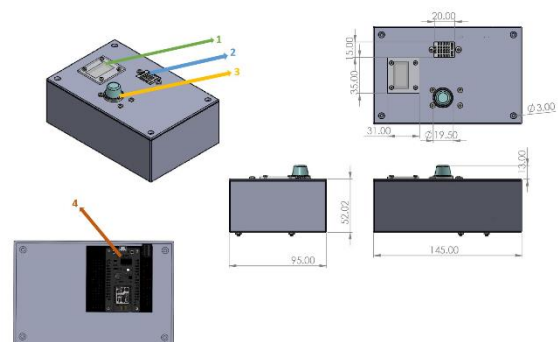
Pada gambar 1 menunjukkan alur proses sistem yang digunakan pada penelitian ini untuk mempermudah gambaran awal sistem sebelum perancangan dilakukan. Sensor MQ-135 dan DHT22 mengirimkan data ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266 kemudian mengolahnya menggunakan metode *fuzzy Mamdani* untuk menentukan tingkat kualitas udara dan kenyamanan. Melalui koneksi *WiFi*, hasil perhitungan dikirimkan ke aplikasi monitoring berbasis MIT App Inventor dan ditampilkan juga pada layar OLED. Data sensor disimpan di *Firebase Realtime Database* dan notifikasi akan dikirim melalui *Whats.App* jika kualitas udara terdeteksi tidak sehat.



Gambar 1. Perancangan Topologi Jaringan IoT

2.2. Perancangan Mekanikal

Pada perancangan mekanikal, desain kotak terbuat dari bahan plastik yang akan digunakan sebagai wadah untuk menempatkan komponen. Gambar 2 menunjukkan susunan komponen dengan nomor 1 hingga 4. Komponen bernomor 1 sampai 3 dipasang pada bagian tutup kotak agar mudah diakses dan sensor dapat langsung terpapar udara sekitar. Sedangkan nomor 4 adalah mikrokontroler Nodemcu ESP8266 yang dipasang pada bagian dalam kotak untuk melindunginya dari gangguan fisik lain dan menjaga kestabilan rangkaian elektrikal.

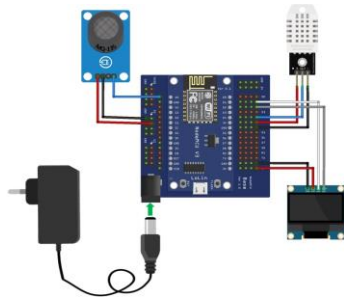


Gambar 2. Desain Mekanikal

2.3. Perancangan Elektrikal

Perancangan elektrikal merupakan tahap penting dalam pengembangan sistem elektronik, di mana komponen elektronik dihubungkan sesuai dengan kebutuhan fungsional sistem. Dalam penelitian ini, adaptor 12V digunakan sebagai sumber daya utama untuk menghidupkan mikrokontroler ESP8266 yang berfungsi sebagai pusat kendali. ESP8266 ini mengatur sensor MQ-135 untuk mendeteksi kadar CO₂, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, dan layar OLED untuk menampilkan hasil pembacaan.

Gambar 3 menunjukkan desain elektrikal yang dirancang.



Gambar 3. Desain Elektrikal

2.4. Kualitas Udara

Kualitas udara merupakan ukuran seberapa bersih atau tercemarnya udara yang kita hirup, salah satu faktor penyebab tidak sehatnya kualitas udara dalam ruangan berupa polutan kimia, fisik dan biologis seperti karbon dioksida (CO₂) yang dapat berdampak pada kesehatan tubuh sehingga mengurangi kenyamanan ruangan [7]. Karbon dioksida (CO₂) adalah senyawa gas yang tidak berwarna dan jika sering terhirup akan menyebabkan gejala seperti mual, kesulitan bernafas, sakit kepala, dan lain-lain [8]. Berdasarkan standar dari *Wisconsin Department of Health Services*, klasifikasi kadar CO₂ dalam ruangan dapat dilihat pada Tabel 1 [9]:

Tabel 1. Standar Kadar CO₂

Rentang	Keterangan
400 ppm	Tingkat rata-rata udara luar ruangan.
400 – 1.000 ppm	Tingkat tipikal yang ditemukan di ruang-ruang yang dihuni dengan sirkulasi udara yang baik
1.000 – 2.000 ppm	Tingkat yang diasosiasikan dengan keluhan mengantuk dan udara yang tidak sehat.
2.000 – 5.000 ppm	Tingkat yang diasosiasikan dengan sakit kepala, rasa mengantuk, dan udara yang stagnan, pengap, serta tidak segar. Konsentrasi yang buruk, kehilangan perhatian, kenaikan detak jantung dan mual ringan juga dapat hadir.
5.000 ppm	Tingkat ini menunjukkan kondisi udara yang tidak biasa dimana tingkat gas berbahaya lainnya juga dapat hadir. Toksisitas atau kekurangan oksigen dapat terjadi.
40.000 ppm	Tingkat ini segera membahayakan akibat kekurangan oksigen.

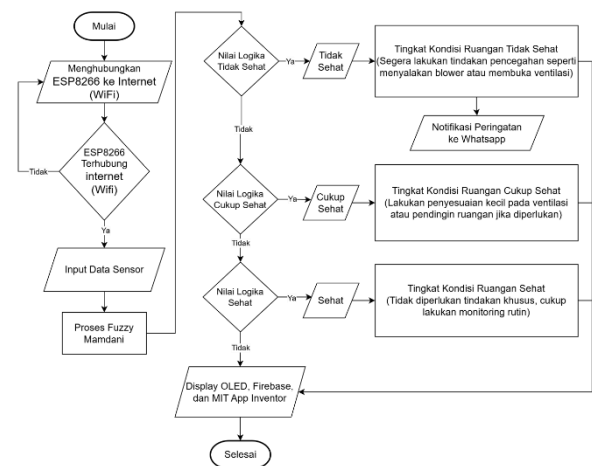
Berdasarkan Tabel 2, kadar CO₂ di bawah 1.000 ppm dikategorikan baik karena mencerminkan sirkulasi udara yang baik. Sebaliknya, kadar di atas ambang tersebut mulai berdampak negatif, seperti rasa mengantuk, sakit kepala, kurang fokus, hingga peningkatan detak jantung. Oleh karena itu, ambang

batas ini digunakan dalam penelitian ini sebagai acuan dalam menentukan sehat atau tidaknya kadar CO₂ dalam ruangan.

Selain polutan, terdapat faktor lain yang mempengaruhi kenyamanan pada ruangan yaitu suhu dan kelembaban [10]. Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002, suhu ideal ruangan berkisar antara 18°C hingga 30°C dan kelembaban antara 40% RH hingga 60% RH. Suhu atau kelembaban di luar rentang ini dapat menimbulkan ketidaknyamanan, seperti udara kering atau pertumbuhan jamur dan bakteri. Rentang ini dijadikan acuan dalam penelitian karena merupakan standar resmi yang relevan untuk menentukan kenyamanan suhu dan kelembaban dalam ruangan.

2.5. Perancangan Flowchart Sistem

Pada gambar 4 merupakan flowchart sistem pada penelitian ini. Proses dimulai dari koneksi ESP8266 ke internet, jika berhasil maka sensor akan membaca data. jika koneksi gagal, ESP8266 akan mencoba menghubungkan ulang. Data sensor kemudian diproses menggunakan metode *Fuzzy Mamdani*. Jika output *fuzzy* tidak sehat menandakan kadar CO₂ yang tinggi di ruangan sehingga sistem mengirimkan notifikasi ke *Whatsapp* dan merekomendasikan tindakan seperti membuka ventilasi atau menyalakan blower untuk meningkatkan sirkulasi udara. Hal ini sesuai dengan penelitian yang menyebutkan bahwa ventilasi melalui pintu, jendela, dan penggunaan kipas ekstrasi secara signifikan dapat menurunkan kadar CO₂ dalam ruangan [12]. Output *fuzzy* juga dapat menunjukkan kondisi cukup sehat atau sehat berdasarkan tingkat CO₂. Hasil pembacaan sensor dan konversi *fuzzy* ditampilkan di layar OLED dan aplikasi monitoring berbasis *Mit App Inventor*, serta disimpan secara otomatis ke *Firestore Realtime Database*.



Gambar 4. Flowchart Sistem

2.4. Perancangan Sistem Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan suatu metodologi untuk

menyelesaikan masalah dalam sistem kontrol yang dapat diterapkan pada berbagai jenis sistem mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks. Metodologi ini bisa digunakan pada perangkat keras, perangkat lunak, atau gabungan keduanya. Dalam membangun sebuah sistem *fuzzy* terdapat beberapa metode umum yang digunakan, yaitu metode Tsukamoto, metode *Mamdani* dan metode Sugeno. [13]. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode *Mamdani*.

Metode *Mamdani* merupakan salah satu jenis dari metode inferensi *fuzzy*. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh *Ebrahim Mamdani* pada tahun 1975 dan dikenal sebagai metode *min-max*. Tahap pertama dari metode *Mamdani* adalah pembentukan himpunan *fuzzy* atau dikenal dengan istilah fuzzifikasi. Hal ini dilakukan untuk mengubah nilai input yang awalnya himpunan tegas (*crisp*) menjadi himpunan *fuzzy*. Pada tahap ini, baik variabel input dan variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy* [14].

Dalam penelitian ini, fungsi keanggotaan direpresentasikan menggunakan kurva berbentuk trapesium yang terdiri dari 3 variabel input yaitu CO2, suhu, dan kelembaban serta 2 variabel output, yaitu kualitas udara dan kenyamanan. Setelah variabel input dan output ditentukan, tahap kedua dari metode *fuzzy Mamdani* ini adalah penerapan fungsi implikasi. Fungsi implikasi berguna mengetahui hubungan antara premis-premis dan konklusinya. Secara umum aturan *fuzzy* memiliki bentuk sebagai berikut:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \text{ AND } (x_2 \text{ is } A_2) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } y \text{ is } B. \quad (1)$$

Dimana, banyaknya n ditentukan berdasarkan jumlah dari variabel input *fuzzy* yang digunakan. Suatu proposisi ini digunakan untuk pembentukan keputusan atau menghasilkan output dari proposisi yang telah ditentukan. Setelah terbentuknya proposisi, selanjutnya adalah menentukan nilai keanggotaan berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah dibentuk menggunakan fungsi implikasi Min. Pada fungsi implikasi min, digunakan operator AND (interseksi). Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan atau lebih pada fungsi implikasi Min didefinisikan sebagai berikut [15]:

$$\begin{aligned} \alpha - \text{predikat}_i &= \mu_{A_1}[x_1] \cap \dots \cap \mu_{A_n}[x_n] \\ &= \min(\mu_{A_1}[x_1], \dots, \mu_{A_n}[x_n]) \end{aligned} \quad (2)$$

Setelah penerapan fungsi implikasi, tahap ketiga dari metode *fuzzy Mamdani* adalah komposisi aturan. Pada tahap ini bertujuan untuk menentukan inferensi dari kumpulan dan korelasi antar aturan menggunakan Metode Max, dengan kata lain yaitu tahap menggabungkan fungsi keanggotaan dari aturan aplikasi fungsi implikasi. Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke

dalam output (keputusan akhir) dengan menggunakan operator OR (union). Proses penggabungan fungsi keanggotaan dengan menggunakan Metode Max dilakukan dengan menggunakan perumusan berikut ini [15]:

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (3)$$

Dengan:

$\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke- i

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke- i

Tahap terakhir dari prosedur metode *fuzzy Mamdani* adalah defuzzifikasi. Terdapat beberapa metode defuzzifikasi dalam aturan *Mamdani*, yaitu *Centroid*, *bisektor*, *Mean of Maximun*, *Largest of Maximun*, dan *Smallest of Maximun*. Pada penelitian ini metode defuzzifikasi yang akan digunakan adalah metode *centroid*. Dalam metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut [16]:

$$z^* = \frac{\int_a^b z \mu(z) dz}{\int_a^b \mu(z) dz} \quad (4)$$

Dengan:

z^* = nilai hasil defuzzifikasi

z = nilai *output* pada aturan ke- i

$\mu(z)$ = derajat keanggotaan nilai *output* pada aturan ke- i

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian yaitu pengujian aplikasi, pengujian notifikasi, pengujian *Fuzzy Mamdani*, pengujian delay data ke database, pengujian alat di berbagai ruangan, dan pengujian statistik.

3.1. Pengujian Aplikasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bahwa aplikasi yang dirancang dapat secara akurat menampilkan nilai sensor secara *real-time* serta membandingkannya dengan nilai sensor yang ditampilkan pada layar OLED. Data yang diuji meliputi nilai kadar CO2 (ppm), suhu (°C), kelembaban (%RH), serta kategori kualitas udara yang diklasifikasikan menjadi Sehat, Cukup Sehat, dan Tidak Sehat. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dengan kondisi lingkungan yang berbeda dan hasil dari setiap percobaan ditampilkan dalam bentuk gambar. Percobaan pertama dilakukan di kamar sedangkan percobaan kedua dan ketiga dilakukan di dapur saat aktivitas memasak, masing-masing dengan

kondisi ventilasi terbuka dan tertutup. Salah satu hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 5 yang menunjukkan tampilan nilai sensor pada layar OLED untuk percobaan 1 dan Gambar 6 yang menunjukkan nilai sensor yang di tampilkan pada aplikasi monitoring untuk percobaan 1..



Gambar 5. Tampilan OLED Percobaan 1



Gambar 6. Tampilan Aplikasi Monitoring Percobaan 1

Setelah semua percobaan dilakukan, nilai sensor dari setiap percobaan dirangkum dalam Tabel 2. Tabel ini menunjukkan perbandingan antara nilai sensor yang ditampilkan pada layar OLED dan nilai yang diterima di aplikasi monitoring. Hasil pengujian dari ketiga percobaan menunjukkan kesamaan nilai sensor yang menandakan sistem mampu memantau kualitas udara secara akurat dan andal dalam mendeteksi perubahan kualitas udara di berbagai kondisi.

Tabel 2. Hasil Pengujian Aplikasi

No.	Nilai di Tampilan layar OLED			Nilai yang Ditampilkan di Aplikasi		
	CO2 (ppm)	Suhu (°C)	Kelembaban (%RH)	CO2 (ppm)	Suhu (°C)	Kelembaban (%RH)
1	322.30	30.30	57.50	322.3	30.3	57.5
2	545.10	30.40	56.80	545.1	30.4	56.8
3	760.66	30.50	56.40	760.66	30.5	56.4

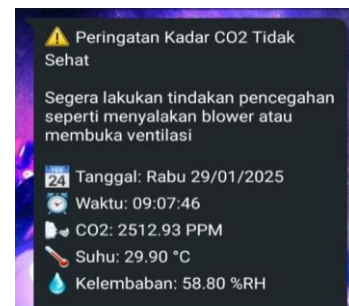
3.2. Pengujian Notifikasi

Pengujian notifikasi peringatan dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu mengirimkan pesan peringatan ketika kualitas udara tidak sehat ke *Whatsapp* melalui layanan chat bot dari *CallMeBot*.

Simulasi peningkatan konsentrasi CO2 dilakukan dengan menyemprotkan gas dari korek api ke sensor MQ-135 hingga melebihi ambang batas. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan melalui gambar tangkapan layar notifikasi pada Gambar 7 dan isi pesan notifikasi pada Gambar 8.



Gambar 7. Tampilan Notifikasi Peringatan di Whatsapp



Gambar 8. Isi Pesan Notifikasi Whatsapp

3.3. Pengujian Fuzzy Mamdani

Pengujian *fuzzy mamdani* memaparkan hasil perhitungan sistem yang dirancang, beserta perbandingannya dengan hasil perhitungan *Matlab* untuk untuk mengetahui selisih yang terjadi. Sistem *fuzzy* ini memiliki dua output, yaitu Kualitas Udara dan Kenyamanan. Tabel 3 menampilkan hasil *fuzzy* untuk output kualitas udara sedangkan Tabel 4 hasil *fuzzy* untuk output kenyamanan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Fuzzy Mamdani (Output Kualitas

Udara)					
CO2 (ppm)	Suhu (°C)	Kelembaban (%RH)	Sistem Fuzzy (kualitas Udara)	<i>Matlab</i>	Selisih (<i>Error</i>)
295.75	29.1	64.7	86.82	87.1	0.28
309.86	30.8	60.9	79.35	79.7	0.35
324.43	28.8	73.9	74.36	74.7	0.34
358.15	27.1	67	63.98	64.2	0.22
395.07	27.9	64.3	56.12	56.1	0.02
309.86	29.4	69.2	78.71	79.1	0.39
354.33	29.7	70.5	65.22	65.5	0.28
324.43	29.5	69.9	71.75	72.1	0.35
384.41	30.7	62.7	58.59	58.7	0.11
309.86	29.5	68.6	79.04	79.4	0.36

Tabel 4. Hasil Pengujian Fuzzy Mamdani (Output Kenyamanan)

CO2 (ppm)	Suhu (°C)	Kelembaban (%RH)	Sistem Fuzzy (kualitas Udara)	Matlab	Selisih (Error)
295.75	29.1	64.7	7.54	7.58	0.04
309.86	30.8	60.9	6.93	6.96	0.03
324.43	28.8	73.9	6.12	6.13	0.01
358.15	27.1	67	7.01	7.04	0.03
395.07	27.9	64.3	7.62	7.66	0.04
309.86	29.4	69.2	6.74	6.77	0.03
354.33	29.7	70.5	6.55	6.58	0.03
324.43	29.5	69.9	6.64	6.66	0.02
384.41	30.7	62.7	7.10	7.13	0.03
309.86	29.5	68.6	6.84	6.86	0.04

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh rata-rata selisih error sebesar 0.27% dan tingkat akurasi 99.73% sedangkan untuk Tabel 4 rata-rata selisih error sebesar 0.03% dan tingkat akurasi 99.97%. Penyebab selisih nilai yang terjadi karena adanya pembulatan nilai input dalam *Matlab*. Ketika nilai input dimasukkan ke dalam *Matlab*, sistem secara otomatis melakukan pembulatan hingga jumlah angka desimal tertentu sehingga nilai input yang digunakan pada *Matlab* menjadi sedikit berbeda dibandingkan dengan nilai input yang digunakan dalam sistem *fuzzy* yang dirancang. Meskipun demikian, perbedaan yang terjadi sangat kecil sehingga sistem *fuzzy* yang dirancang tetap memiliki akurasi yang cukup tinggi.

3.5. Pengujian Alat di Berbagai Ruangan

Pengujian dilakukan untuk memastikan sensor MQ-135 dan DHT22 mampu mendeteksi perubahan kadar CO2, suhu, dan kelembaban di ruangan berbeda. Alat ditempatkan di kamar dari pukul 08.00-12.00 dan di dapur dari pukul 12.00-16.00. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengujian Alat di Berbagai Ruangan

Kamar					
Waktu	CO2 (ppm)	Suhu (°C)	Kelembaban (%RH)	Kualitas Udara	Kenyamanan
08:00 - 09:00	309.06	29.19	69.32	Cukup Sehat	Cukup nyaman
09:00 - 10:00	312.37	29.1	70.28	Cukup Sehat	Cukup nyaman
10:00 - 11:00	309.94	29.19	69.62	Cukup Sehat	Cukup nyaman
11:00 - 12:00	310.41	29.15	69.86	Cukup Sehat	Cukup nyaman
Dapur					
Waktu	CO2 (ppm)	Suhu (°C)	Kelembaban	Kualitas Udara	Kenyamanan

			(%RH)		
12:00 - 13:00	482.13	30.84	62.03	Cukup Sehat	Cukup nyaman
13:00 - 14:00	469.30	30.72	62.56	Cukup Sehat	Cukup nyaman
14:00 - 15:00	471.04	30.80	62.28	Cukup Sehat	Cukup nyaman
15:00 - 16:00	469.08	30.78	62.44	Cukup Sehat	Cukup nyaman

Berdasarkan Tabel 6, kadar CO2 lebih rendah dibandingkan dapur. Suhu di dapur sedikit lebih tinggi dibandingkan kamar sedangkan kelembaban di kamar lebih tinggi daripada di dapur. Perbedaan ini disebabkan aktivitas memasak di dapur yang menghasilkan emisi CO2 lebih tinggi dan meningkatkan suhu sedangkan kamar memiliki kondisi lebih stabil. Meski demikian, tingkat kualitas udara dan kenyamanan pada kedua ruangan tetap tergolong cukup sehat dan cukup nyaman.

3.6. Pengujian Statistik

Pengujian statistik ini menganalisis data kadar CO2, suhu, dan kelembaban di kamar dan dapur. Pengujian ini untuk memastikan bahwa sistem dapat memberikan data yang konsisten dan akurat pada lingkungan berbeda. Analisis ini mencakup rata-rata, simpangan baku, variansi, nilai minimum, dan nilai maksimum dari setiap parameter. Hasil pengujian statistik untuk ruangan kamar disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Pengujian Statistik Ruangan Kamar

Parameter	Mean	Standard Deviation	Variance	Minimum	Maximum
CO2 (ppm)	310.45	22.77	518.53	282.10	440.07
Suhu (°C)	29.16	0.86	0.74	27.30	30.90
Kelembaban (%RH)	69.77	5.00	24.96	59.70	78.90

Berdasarkan Tabel 7, rata-rata kadar CO2 di dalam kamar adalah 310.45 ppm dengan standar deviasi 22.77 yang menunjukkan adanya variasi konsentrasi gas dalam ruangan. Nilai minimum CO2 tercatat sebesar 282.10 ppm dan nilai maksimum mencapai 440.07 ppm. Suhu ruangan relatif stabil dengan rata-rata 29.16°C, standar deviasi 0.86, nilai minimum 27.30°C, dan maksimum 30.90°C. Meskipun suhu ini masih dalam batas kenyamanan termal, nilai yang mendekati 30°C dapat dirasakan cukup panas, terutama jika ventilasi udara kurang optimal. Untuk kelembaban udara dalam ruangan memiliki rata-rata 69.77% RH dengan standar deviasi 5, nilai minimum 59.70%, dan nilai maksimum 78.90% RH. Dari hasil pengujian statistik untuk ruangan kamar, dapat disimpulkan bahwa kondisi

udara dalam ruangan cenderung stabil, namun tetap perlu dilakukan pemantauan untuk memastikan bahwa suhu dan kelembaban tetap dalam rentang yang nyaman. Selain pengujian di ruangan kamar, analisis statistik juga dilakukan di ruangan dapur untuk memahami kondisi udara dalam dengan karakteristik berbeda. Data hasil pengujian statistik di dapur disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 7. Hasil Pengujian Statistik Ruangan Dapur

Parameter	Mean	Standard Deviation	Variance	Minimum	Maximum
CO2 (ppm)	472.15	176.61	3831.56	309.86	757.96
Suhu (°C)	30.78	1.03	1.06	28.5	32.3
Kelembaban (%RH)	62.4	3.10	9.59	58.3	72.4

Berdasarkan Tabel 8, kadar CO2 di dapur memiliki rata-rata 472.15 ppm yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kadar CO2 di kamar 310.45 ppm. Selain itu, standar deviasi yang cukup besar 176.61 dan variansi yang tinggi 3831.56 menunjukkan bahwa kadar CO2 di dapur memiliki fluktuasi yang cukup signifikan. Nilai minimum yang tercatat adalah 309,86 ppm sedangkan nilai maksimum mencapai 757.96 ppm yang mengindikasikan kemungkinan peningkatan kadar CO2 akibat aktivitas memasak. Suhu di dapur rata-rata 30.78°C sedikit lebih panas dibandingkan kamar yang hanya 29.16°C. suhu terendah yang tercatat adalah 28.5°C dan tertinggi 32.3°C. Peningkatan suhu ini terjadi karena aktivitas memasak menghasilkan panas tambahan dalam ruangan. Kelembaban di dapur memiliki rata-rata 62.4%RH yang lebih rendah dibandingkan dengan kelembaban di kamar. Standar deviasi 3.10 dan variansi 9.59 menunjukkan bahwa perubahan kelembaban di dapur tidak terlalu besar. Nilai kelembaban minimum tercatat 58.3% RH sedangkan maksimum mencapai 72.4% RH. Kelembaban yang lebih rendah ini disebabkan oleh panas dari aktivitas memasak yang membuat udara di dapur lebih kering. Dari hasil analisis ini, dapat disimpulkan bahwa dapur memiliki kadar CO2 yang lebih tinggi dan suhu yang lebih panas dibandingkan kamar. Perbedaan ini disebabkan oleh pengaruh panas dari aktivitas memasak. Oleh karena itu, penting untuk memastikan ventilasi yang baik di dapur agar kualitas udara tetap terjaga dan lingkungan menjadi lebih nyaman.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem monitoring kualitas udara berhasil dirancang menggunakan sensor MQ-135 dan DHT22 yang mampu mendeteksi kadar CO2, suhu, dan kelembaban udara dalam ruangan secara real-time. Sistem ini menghasilkan output berupa peringatan dini dalam

bentuk notifikasi pesan ke aplikasi *WhatsApp* apabila kualitas udara dalam ruangan tidak sehat. Selain itu, data sensor juga dapat dipantau melalui aplikasi berbasis *MIT App Inventor* yang telah dirancang. Tingkat akurasi pengujian metode *Fuzzy Mamdani* menunjukkan hasil yang cukup baik dengan akurasi output kualitas udara sebesar 99.73% dan kenyamanan sebesar 99.97% dibandingkan dengan hasil dari *Matlab*. Selisih yang terjadi akibat pembulatan nilai input dalam *Matlab*. Hasil analisis statistik juga menunjukkan bahwa dapur memiliki tingkat CO2 yang lebih tinggi dan suhu yang lebih panas dibandingkan kamar yang dipengaruhi oleh panas dari aktivitas memasak. Oleh karena itu, penting untuk memastikan ventilasi yang baik di dapur agar kualitas udara tetap terjaga dan menciptakan lingkungan yang lebih nyaman.

Daftar Pustaka

- [1] Endang Purnawati Rahayu, Zulfan Saam, Sukendi, dan Dedi Afandi, "Kualitas Udara Dalam Ruang Rawat Inap Di Rumah Sakit Swasta Tipe C Kota Pekanbaru Ditinjau Dari Kualitas Fisik," *Dinamika Lingkungan Indonesia*, vol. 6, hlm. 55–59, 2019.
- [2] *World Health Organization Regional Office for Europe SELECTED POLLUTANTS*. 2010. [Daring]. Tersedia pada: www.euro.who.int
- [3] Laila Zulaiha Amalia Rahmawati dkk., "Perbandingan Kualitas Udara dalam Ruang Gedung D1 FMIPA Berdasarkan Arah Sinar Matahari," *Proceeding Seminar Nasional IPA XII*, hlm. 134–141, 2022.
- [4] Najah Syamiyah dan Sri Wahyuni, "Pencemaran Udara Dalam Ruang (Karbon Dioksida Dan Total Senyawa Organik Volatile) Serta Gangguan Paru Pada Siswa SD di Depok," *Jurnal JOUBAHS*, vol. 1, hlm. 126–140, 2021.
- [5] "Sekeluarga Tewas Diduga Keracunan CO2." [Daring]. Tersedia pada: <https://news.republika.co.id/berita/nm4jccq/sekeluarga-tewas-diduga-keracunan-co2>
- [6] Jaka Prayudha, Ardianto Pranata, dan Afdal Al Hafiz, "Implementasi Metode *Fuzzy Logic* untuk Sistem Pengukuran Kualitas Udara di Kota Medan Berbasis Internet of Things (IoT)," *JURTEKSI (Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi)*, vol. IV, no. 2, hlm. 141–148, 2018.

- [7] Grace C. Rumampuk, Vecky C. Poekoel, dan Arthur M. Rumagit, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruang Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 17, hlm. 11–18, 2021.
- [8] Slamet Widodo, M. Miftakhul Amin, Adi Sutrisman, dan Aldo Aziiz Putra, "Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih dan Gas Berbahaya CO, CO₂, dan CH₄ di Dalam Ruang Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Pseudocode*, vol. 4, hlm. 105–119, 2017.
- [9] "Wisconsin Department of Health Services," 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://bit.ly/372XySj>
- [10] Nogar Silitonga, Yuniman Telaumbanua, dan Harlen Gilbert Simanullang, "Pengembangan Perangkat IoT Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruang Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Android," *METHOMIKA: Jurnal Manajemen Informatika & Komputerisasi Akuntansi*, vol. 5, no. 1, hlm. 81–85, Apr 2021, doi: 10.46880/jmika.Vol5No1.pp81-85.
- [11] "Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Menkes/SK/XI/2002 Tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri," *Menteri Kesehatan Republik Indonesia*, hlm. 1–35, [Daring]. Tersedia pada: <https://bikinpabrik.id/wp-content/uploads/2019/02/2-KMK-No.-1405-ttg-Persyaratan-Kesehatan-Lingkungan-Kerja-Perkantoran-Dan-Industri.pdf>
- [12] Prashant Kumar, Sarkawt Hama, Rana Alaa Abbass, dan Thiago Nogueira, "CO₂ exposure, ventilation, thermal comfort and health risks in low-income home kitchens of twelve global cities," *Journal of Building Engineering*, vol. 61, hlm. 1–26, Sep 2022, doi: 10.1016/j.job.2022.105254.
- [13] Muhammad Dedi Irawan dan Herviana, "Implementasi Logika Fuzzy Dalam Menentukan Jurusan Bagi Siswa Baru Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Negeri 1 Air Putih," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 2, hlm. 129–137, 2018.
- [14] Setyoningsih Wibowo, "Penerapan Logika Fuzzy Dalam Penjadwalan Waktu Kuliah," *Jurnal Informatika UPGRIS*, vol. 1, hlm. 59–77, 2015.
- [15] N. Febriany, A. Fitriani, dan R. Marwati, "Aplikasi Metode Fuzzy Mamdani dalam Penentuan Status Gizi dan Kebutuhan Kalori Harian Balita Menggunakan Software MATLAB," *EurekaMatika*, vol. 5, 2017.
- [16] Sansela Neonbenia, Grandianus Seda Madab, dan Fried Markus Allung Blegur, "Analisis Perbandingan Metode Defuzzifikasi Fuzzy Inference System Mamdani Dalam Penentuan Produksi Tua Kolo (Sopi Timor) 45% Pada Pabrik Sane Up-Ana Kefamenanu," *Jurnal Saintek Lahan Kering*, vol. 5, hlm. 34–39, Jan 2022, doi: 10.32938/slk.v5i2.1994.