

Pemantauan dan pengendalian udara dalam ruangan berbasis IoT dengan metode *fuzzy logic*

Clarissa Elvina Delinda^{1*}, Dodi Budiman Margana², Indra Chandra Joseph Riadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

^{1*}clarissa.elvina.tele421@polban.ac.id, ²dodi.budiman@polban.ac.id, ³indra.riadi@polban.ac.id

ABSTRAK

Kualitas udara dalam ruangan, khususnya di lingkungan gudang elektronik, sangat memengaruhi kesehatan pekerja dan keandalan peralatan yang disimpan. Ruangan tertutup dengan ventilasi terbatas berisiko mengalami akumulasi polutan seperti karbon monoksida (CO), partikulat halus (PM2.5), dan total senyawa organik volatil (TVOC), yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan serta kerusakan pada perangkat elektronik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan dan pengendalian kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengimplementasikan logika *fuzzy* sebagai metode pengambilan keputusan. Sistem memantau lima parameter lingkungan, yaitu suhu, kelembapan, CO, PM2.5, dan TVOC, yang dikirim secara *real-time* ke antarmuka *web* dan divisualisasikan dalam bentuk teks, grafik, indikator status, serta histori data. Logika *fuzzy* digunakan untuk mengolah tiga parameter utama (CO, PM2.5, dan TVOC) dengan dua *output* berupa kecepatan kipas (Berhenti, Sedang, Cepat) dan kategori kualitas udara (Baik, Kurang Sehat, Buruk). Hasil pengujian sistem yang dilakukan selama 2 jam di ruang teknis Laboratorium Elektronika berukuran 12 meter persegi menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan kadar polutan dari kondisi buruk menjadi baik dalam waktu 1 jam 19 menit 38 detik saat terpapar asap rokok pertama kali. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan potensi untuk menjaga kualitas udara di gudang elektronik agar tetap aman dan sehat.

Kata kunci: kualitas udara dalam ruangan, gudang elektronik, *Internet of Things*, *fuzzy logic*

ABSTRACT

Indoor air quality, particularly in electronic warehouse environments, greatly affects both worker health and the reliability of stored equipment. Enclosed spaces with limited ventilation are at risk of accumulating pollutants such as carbon monoxide (CO), fine particulate matter (PM2.5), and total volatile organic compounds (TVOC), which can cause health issues and damage electronic devices. This study aims to design an air quality monitoring and control system based on the Internet of Things (IoT), implementing fuzzy logic as a decision-making method. The system monitors five environmental parameters—temperature, humidity, CO, PM2.5, and TVOC—which are transmitted in real-time to a web interface and visualized as text, graphs, status indicators, and data history. Fuzzy logic is used to process three key parameters (CO, PM2.5, and TVOC), with two outputs: fan speed (Off, Medium, High) and air quality category (Good, Unhealthy, Poor). System testing conducted over 2 hours in a 12 meter square technician room Electronics Laboratory showed that the system was able to reduce pollutant levels from poor to good within 1 hour, 19 minutes, and 38 seconds after first being exposed to cigarette smoke. Overall, this system demonstrates potential to maintain safe and healthy air quality in electronic warehouse environments.

Keywords: indoor air quality, electronic warehouse, *Internet of Things*, *fuzzy logic*

1. PENDAHULUAN

Udara merupakan campuran berbagai gas dengan komposisi yang tidak selalu konstan yang memenuhi ruang di atas bumi. Udara dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu udara luar ruangan (*outdoor air*) dan udara dalam ruangan (*indoor air*). Udara luar ruangan atau dikenal dengan udara ambien merupakan udara bebas yang berada di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya [1], sedangkan udara dalam ruangan (*indoor air*) menurut *National Health and Medical Research Council* (NHRMC) merupakan udara di dalam gedung yang dihuni manusia dengan status kesehatan yang bervariasi yang terperangkap minimal selama satu jam. Ruangan tersebut bisa berupa rumah hunian, ruang sekolah, kantor, rumah sakit,

fasilitas transportasi dan pusat perbelanjaan [2]. Kualitas udara di dalam ruangan memiliki peran penting terhadap kesehatan manusia, mengingat hampir 90% aktivitas manusia dilakukan di dalam ruangan. Di negara-negara berkembang, sekitar 400 hingga 500 juta orang masih menghadapi permasalahan polusi udara dalam ruang tertutup [3]. Salah satu jenis ruangan yang penting untuk diperhatikan adalah gudang, karena sifatnya yang tertutup dan minim ventilasi menjadikannya rentan terhadap akumulasi polutan udara yang dapat berdampak buruk terhadap kesehatan maupun kondisi barang yang disimpan. Pemantauan udara di gudang elektronik penting untuk dilakukan untuk menjaga kesehatan manusia serta menjaga kualitas barang elektronik yang disimpan [4]. Beberapa faktor lingkungan yang dapat menyebabkan kerusakan atau korosi pada peralatan elektronik antara lain adalah suhu dan kelembapan yang tinggi, keberadaan gas-gas korosif, serta akumulasi partikel debu [5]. Selain berdampak pada peralatan, faktor-faktor tersebut juga dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan bagi pekerja, seperti iritasi saluran pernapasan, reaksi alergi, hingga gangguan sistem pernapasan apabila terpapar dalam jangka waktu yang lama tanpa penanganan yang memadai [6].

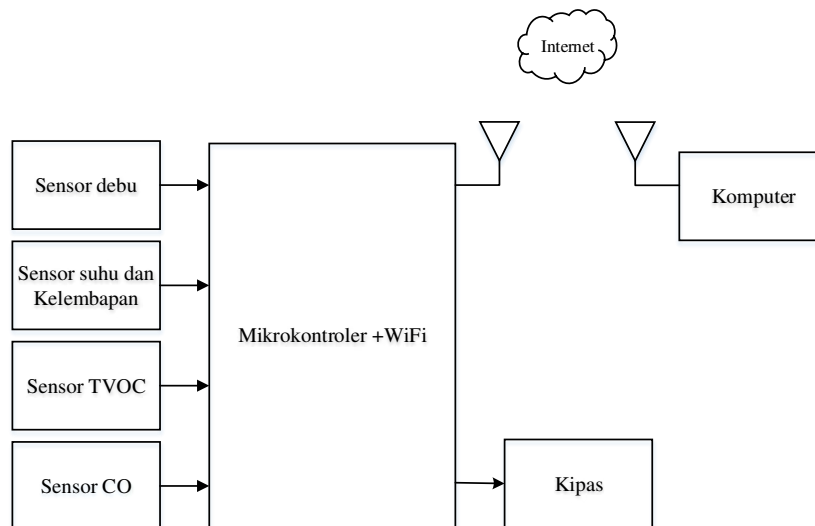
Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian kualitas udara dalam ruangan dengan pendekatan berbasis logika *fuzzy*. Pada tahun 2020, S. Rommy Zohara dkk. merealisasikan sistem pengendalian kualitas udara menggunakan algoritma logika *fuzzy* dengan mikrokontroler, memanfaatkan dua parameter utama yaitu suhu dan kelembapan untuk mengatur kecepatan kipas DC [7]. Di tahun yang sama, H. Qory dkk. mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara dengan tiga parameter utama yakni debu, karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO₂) sebagai *input* logika *fuzzy* [8]. Selanjutnya, pada tahun 2023, S. Hery dkk. merancang sistem monitoring partikel udara menggunakan satu parameter utama yaitu PM2.5 [9]. Masih di tahun yang sama, Y. Dalila Husna dkk. mengimplementasikan logika *fuzzy* pada sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis mikrokontroler dengan tiga parameter, yaitu suhu, kelembapan, dan gas VOC [10]. Terakhir, pada tahun 2024, D. Ageng Arya Khrysna dkk. mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis *fuzzy logic* dengan menggunakan tiga parameter utama, yaitu CO, suhu, dan kelembapan [11].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem pemantauan serta pengendalian kualitas udara dalam ruangan secara *real-time* dengan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan metode logika *fuzzy*. IoT adalah konsep di mana setiap perangkat yang terhubung terkoneksi menggunakan jaringan internet sehingga memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dan cepat. Teknologi ini juga memudahkan akses terhadap data melalui *platform* daring [12]. Sistem yang dikembangkan memantau tiga parameter pencemar udara, yaitu karbon monoksida (CO), partikulat halus (PM2.5), dan *total volatile organic compounds* (TVOC). Gap yang ditemukan dari penelitian-penelitian terdahulu adalah belum adanya sistem yang secara komprehensif memadukan ketiga parameter tersebut dengan kendali berbasis *fuzzy logic* untuk menghasilkan keputusan otomatis terhadap kecepatan kipas sebagai upaya perbaikan kualitas udara. Sistem yang dikembangkan dibatasi pada pemantauan parameter udara dalam ruangan yang mencakup suhu, kelembapan, CO, PM2.5, dan TVOC, dengan hasil ditampilkan melalui *antarmuka website*. Pengambilan keputusan menggunakan logika *fuzzy* dengan tiga parameter *input* utama (CO, PM2.5, dan TVOC) serta dua *output* berupa kendali kecepatan kipas melalui sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dan klasifikasi kualitas udara (IAQ). Ruang lingkup pengujian dilakukan di ruang teknis Laboratorium Elektronika berukuran 3×4 meter, yang memiliki ventilasi terbatas dan tidak dilengkapi sistem pendingin atau penyaring udara tambahan.

2. METODE PENELITIAN

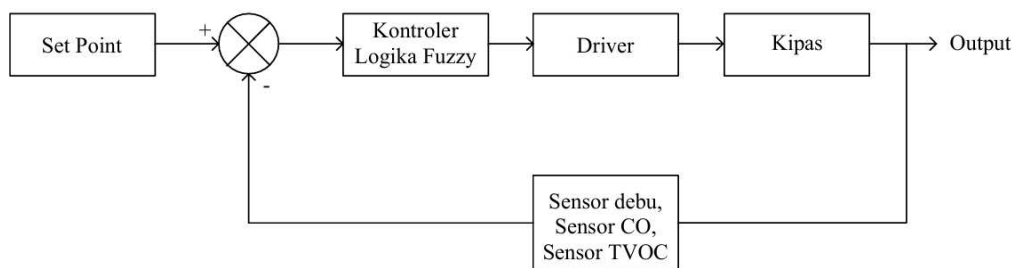
2.1 Perancangan Sistem

Sistem terdiri dari blok modul sensor, mikrokontroler dengan WiFi dan kipas DC seperti terlihat pada Gambar 1. Sistem pemantauan kualitas udara ini bekerja dengan mengumpulkan data dari berbagai sensor, termasuk sensor debu, suhu dan kelembapan, TVOC, dan CO. Sensor-sensor tersebut mendeteksi kondisi lingkungan dan mengirimkan data ke mikrokontroler yang dilengkapi dengan koneksi WiFi. Mikrokontroler kemudian mengolah data yang diterima dan menerapkan logika *fuzzy* untuk mengontrol kipas. Jika tingkat polutan udara melebihi ambang batas tertentu, kipas akan diaktifkan secara otomatis untuk membantu sirkulasi udara dan mengurangi polutan. Selanjutnya, data yang telah diproses dikirimkan ke server melalui internet sehingga dapat diakses oleh pengguna melalui komputer atau perangkat lain secara *real-time*.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Metode *fuzzy logic* digunakan untuk mengolah data sensor dan menghasilkan pengendalian kecepatan kipas *exhaust*. Sistem memiliki beberapa *input*, yaitu partikel debu PM2.5, kadar CO, dan kadar TVOC dengan masing-masing diklasifikasikan ke dalam himpunan *fuzzy* seperti “Baik”, “Sedang”, dan “Buruk”. *Output* dari *fuzzy logic* berupa pengaturan kecepatan kipas yang ditentukan melalui proses inferensi *fuzzy* dan defuzzifikasi.



Gambar 2. Diagram blok kendali

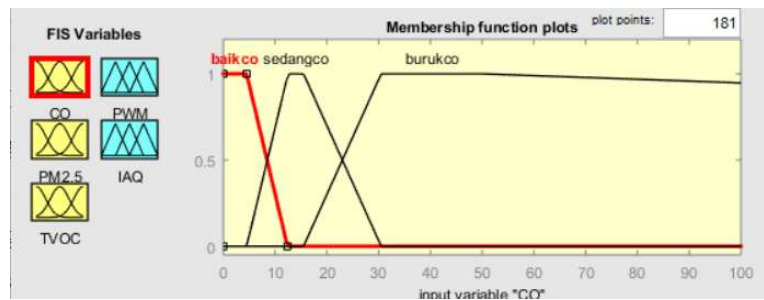
2.2 Perancangan Metode Fuzzy Logic

Logika *fuzzy* merupakan pengembangan dari logika boolean yang hanya memiliki nilai *true* (1) atau *false* (0). Sedangkan pada himpunan *fuzzy*, nilai keanggotaan tidak terletak pada rentang 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan diantaranya representasi linear, segitiga, trapesium, kurva bentuk bahu, kurva S, bentuk lonceng [13].

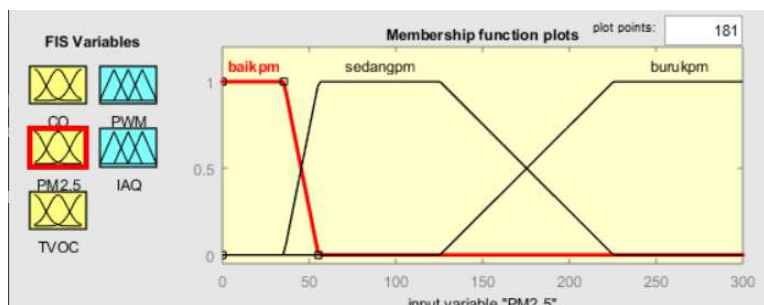
Sistem logika *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini mengadopsi Metode Inferensi Mamdani, yang dikenal pula sebagai Metode *Max-Min*. Pendekatan ini sangat sesuai untuk sistem kendali yang didasarkan pada aturan linguistik karena kemudahannya dalam divisualisasikan. Untuk menghasilkan *output* yang diinginkan, proses ini melibatkan empat tahapan utama. Pertama, fuzzifikasi, yaitu proses mengubah *input* numerik menjadi bentuk himpunan *fuzzy*. Kedua, fungsi implikasi, di mana fungsi “*min*” digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan berdasarkan setiap aturan yang ada. Ketiga, komposisi aturan, yang umumnya menggunakan metode “*max*” untuk menggabungkan hasil implikasi dari seluruh aturan, sehingga membentuk satu himpunan *fuzzy output*. Terakhir, defuzzifikasi, tahapan ini berfungsi untuk menegaskan atau mengubah kembali himpunan *fuzzy output* tersebut menjadi nilai numerik yang konkret dan dapat digunakan [14].

Sistem ini memproses tiga parameter utama kualitas udara sebagai variabel *input*, yaitu karbon monoksida (CO), partikel debu halus (PM2.5), dan total senyawa organik volatil (TVOC). Masing-

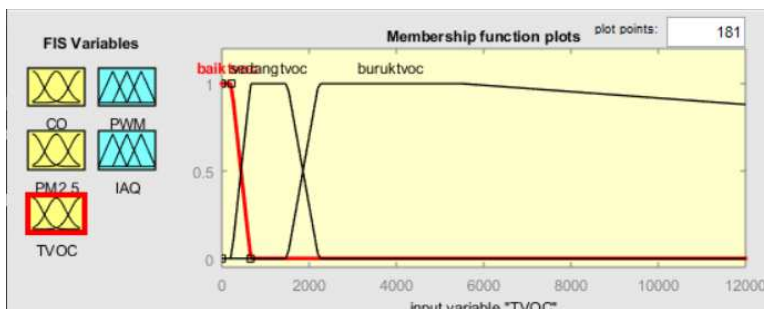
masing variabel *input* diklasifikasikan ke dalam tiga himpunan linguistik, yaitu Baik, Sedang, dan Buruk.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan parameter CO

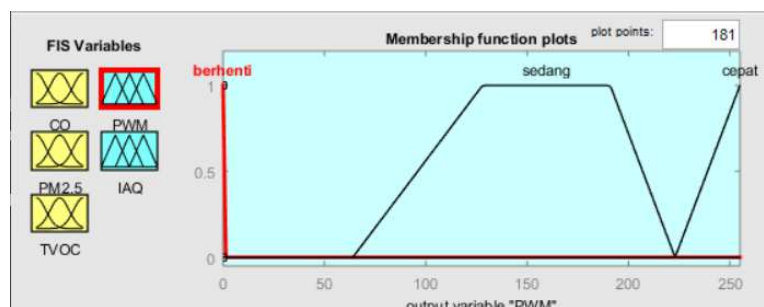


Gambar 4. Fungsi keanggotaan parameter PM2.5

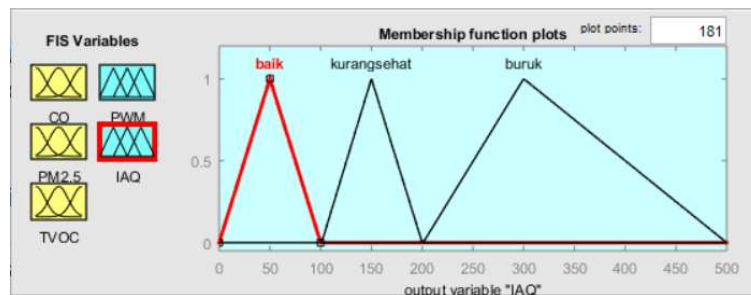


Gambar 5. Fungsi keanggotaan parameter TVOC

Sistem menghasilkan dua *output fuzzy*, yaitu nilai PWM (dalam rentang 0–255) untuk mengatur kecepatan kipas, serta kategori kualitas udara (*Indoor Air Quality/IAQ*) dalam rentang 0–500 yang dikategorikan menjadi Baik, Sedang, dan Buruk. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah bentuk segitiga dan trapesium, disesuaikan dengan rentang ambang batas masing-masing parameter.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan parameter PWM



Gambar 7. Fungsi keanggotaan parameter kategori kualitas udara

Sebanyak 27 aturan *fuzzy* ($3 \times 3 \times 3$ kombinasi *input*) digunakan sebagai basis pengetahuan sistem untuk menghasilkan keputusan kendali yang sesuai. Aturan-aturan ini disusun dalam bentuk aturan *if-then*, di mana setiap kombinasi kondisi *input* akan menghasilkan dua *output* sekaligus, yaitu: kecepatan kipas yang dikendalikan oleh (PWM) sebagai sinyal kendali dan kategori kualitas udara sebagai indikator kondisi lingkungan. Tabel 1 menunjukkan daftar 27 aturan *fuzzy* yang digunakan dalam sistem.

Tabel 1. Aturan fuzzy logic

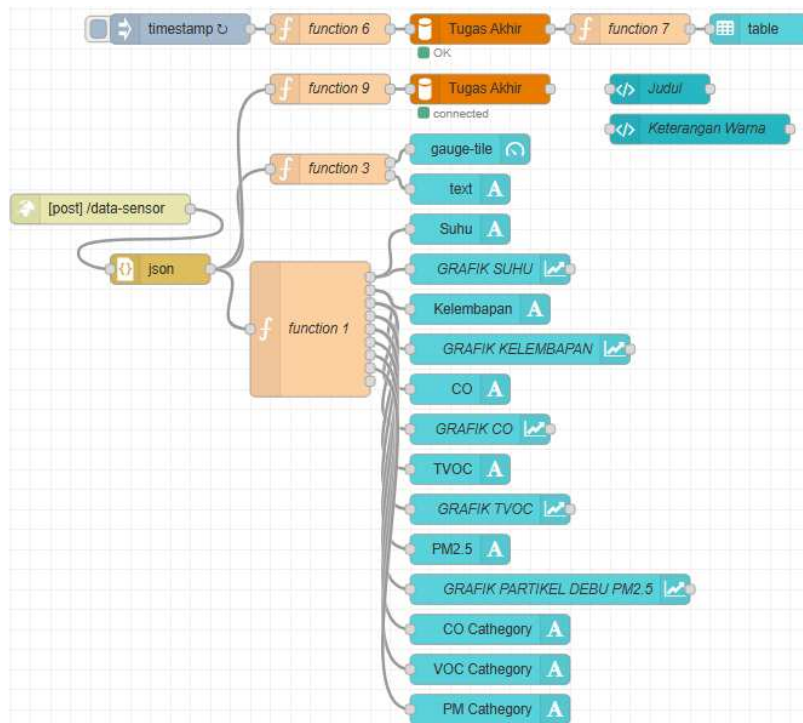
No	CO	PM2.5	TVOC	PWM	IAQ
1	baik	baik	baik	berhenti	baik
2	baik	baik	sedang	sedang	kurang sehat
3	baik	baik	buruk	cepat	buruk
4	baik	sedang	baik	sedang	kurang sehat
5	baik	sedang	sedang	sedang	kurang sehat
6	baik	sedang	buruk	cepat	buruk
7	baik	buruk	baik	cepat	buruk
8	baik	buruk	sedang	cepat	buruk
9	baik	buruk	buruk	cepat	buruk
10	sedang	baik	baik	sedang	kurang sehat
11	sedang	baik	sedang	sedang	kurang sehat
12	sedang	baik	buruk	cepat	buruk
13	sedang	sedang	baik	sedang	kurang sehat
14	sedang	sedang	sedang	sedang	kurang sehat
15	sedang	sedang	buruk	cepat	buruk
16	sedang	buruk	baik	cepat	buruk
17	sedang	buruk	sedang	cepat	buruk
18	sedang	buruk	buruk	cepat	buruk
19	buruk	baik	baik	cepat	buruk
20	buruk	baik	sedang	cepat	buruk
21	buruk	baik	buruk	cepat	buruk
22	buruk	sedang	baik	cepat	buruk
23	buruk	sedang	sedang	cepat	buruk
24	buruk	sedang	buruk	cepat	buruk
25	buruk	buruk	baik	cepat	buruk
26	buruk	buruk	sedang	cepat	buruk
27	buruk	buruk	buruk	cepat	buruk

Proses inferensi menggunakan metode minimum untuk menentukan derajat kebenaran tiap aturan dan metode maksimum untuk menggabungkan hasil semua aturan. Untuk menghasilkan nilai *crisp* yang digunakan sebagai kontrol aktual terhadap aktuator kipas dilakukan proses defuzzifikasi. Metode yang digunakan pada proses defuzzifikasi adalah metode *centroid* (pusat gravitasi). Pada metode ini, penyelesaian *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy*. Persamaan defuzzifikasi metode *centroid* adalah sebagai berikut [15].

$$Z^* = \frac{\int \mu(z)z \, dz}{\int \mu(z) \, dz} \quad (1)$$

2.3 Perancangan HMI

Antarmuka yang digunakan untuk menampilkan visualisasi data sensor dikembangkan menggunakan *platform* Node-RED. Gambar 8 menunjukkan tampilan *flow* Node-RED yang digunakan dalam sistem, yang merepresentasikan alur mulai dari penerimaan data dari sensor, pemrosesan data, hingga penyajian informasi melalui antarmuka pengguna berbasis *web*.



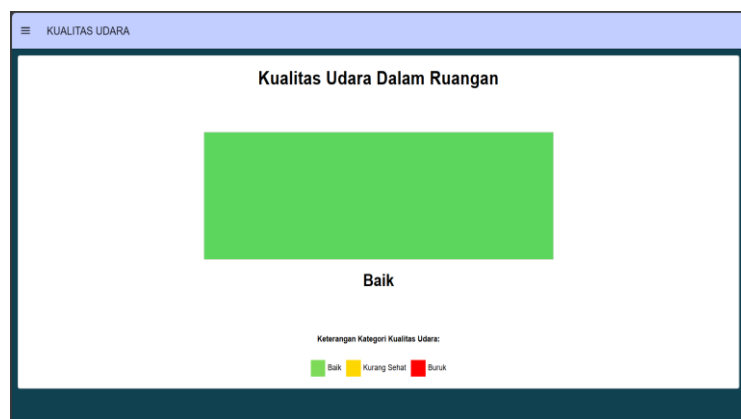
Gambar 8. *Flow* Node-RED

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem

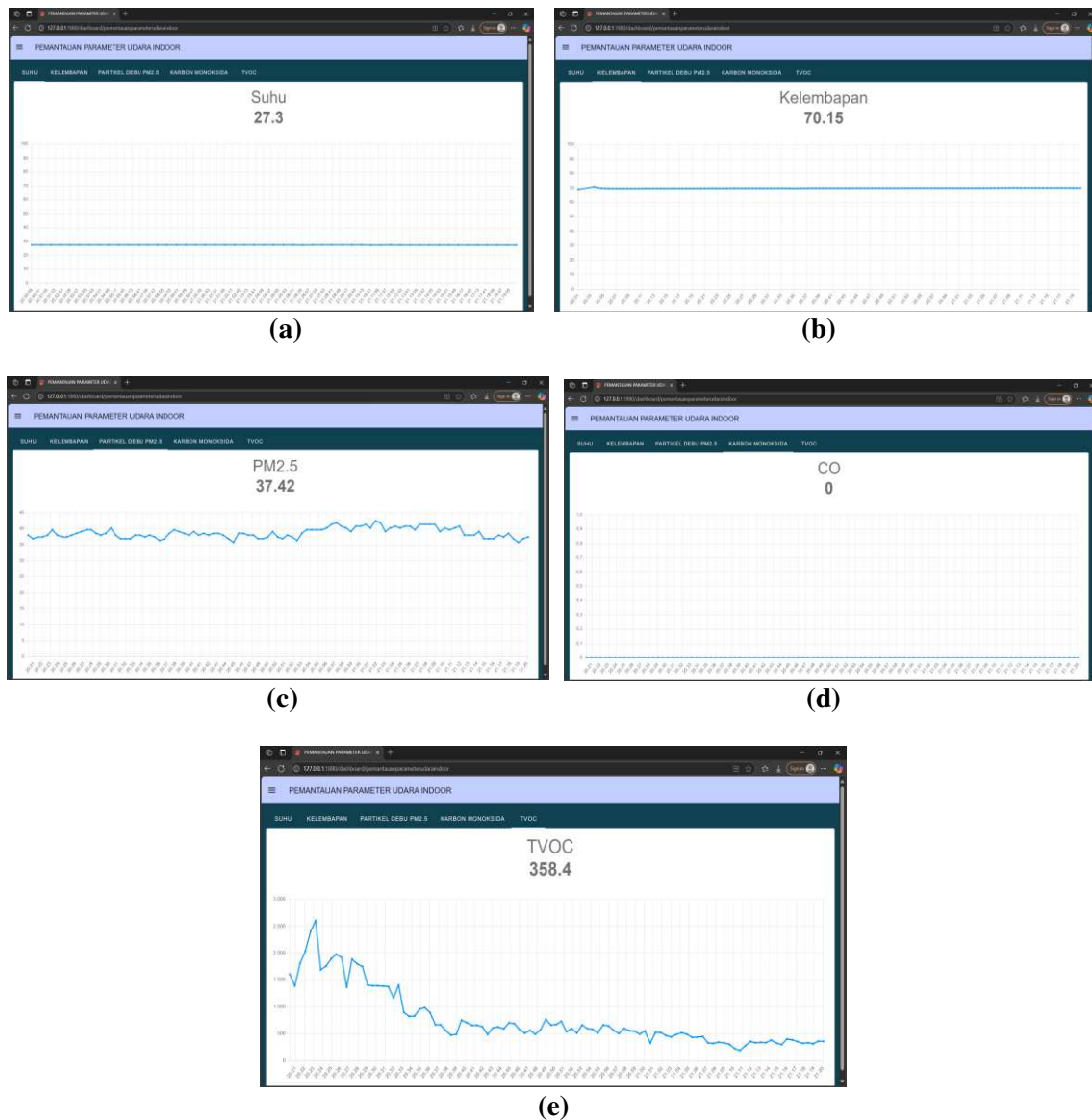
Antarmuka perangkat lunak diimplementasikan menggunakan Node-Red yang terbagi ke dalam tiga tab utama:

1. Tab Kualitas Udara: Menampilkan kategori kualitas udara secara *real-time* dengan warna: hijau untuk baik, kuning untuk kurang sehat, dan merah untuk buruk (ditunjukkan pada Gambar 9)



Gambar 9. Tab kualitas udara

2. Tab Pemantauan Parameter Udara: Menyajikan visualisasi grafik dan nilai aktual dari semua sensor (ditunjukkan pada Gambar 10)



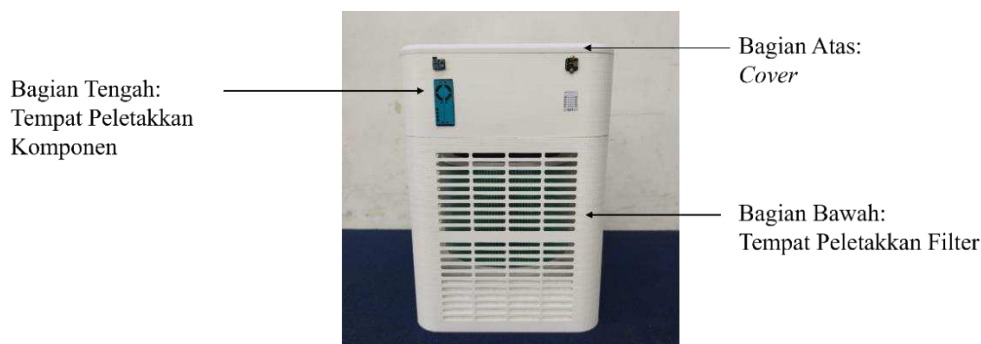
Gambar 10. Tab pemantauan parameter udara: (a) suhu, (b) kelembapan, (c) PM2.5, (d) CO, (e) TVOC

3. Tab *Database*: Berfungsi sebagai penyimpanan dan tampilan data historis pembacaan sensor sebelumnya (ditunjukkan pada Gambar 11)

Aspek mekanik sistem direalisasikan dengan menggunakan *casing* berbahan PLA+ yang dibuat melalui proses *3D Printing* dengan ukuran 25x25x35 cm, seperti ditunjukkan oleh Gambar 12. Mekanik yang digunakan terdiri dari 3 bagian utama, yaitu: bagian atas berupa *cover*, bagian tengah yang digunakan untuk peletakan komponen elektronik, dan bagian bawah yang berfungsi sebagai tempat peletakan *filter*.

DATABASE						
Q Search						
waktu	suhu	kelembapan	co	pm2_5	tvoc	kategori
2025-06-03 22:20:51	26.61	74.63	0	84.04	63.4	Kurang Sehat
2025-06-03 22:20:15	26.61	74.52	0	84.89	73.3	Kurang Sehat
2025-06-03 22:19:40	26.61	74.49	0	83.4	64.7	Kurang Sehat
2025-06-03 22:19:05	26.61	74.49	0	83.63	20.4	Kurang Sehat
2025-06-03 22:18:30	26.61	74.49	0	83.68	25.9	Kurang Sehat
2025-06-03 22:17:55	26.61	74.49	0	83.95	40.9	Kurang Sehat
2025-06-03 22:17:19	26.61	74.45	0	83.63	65.3	Kurang Sehat
2025-06-03 22:16:44	26.61	74.43	0	83.85	89.5	Kurang Sehat
2025-06-03 22:16:09	26.61	74.45	0	80.49	77.4	Kurang Sehat
2025-06-03 22:15:34	26.61	74.45	0	83.35	105.9	Kurang Sehat

Gambar 11. Tab database

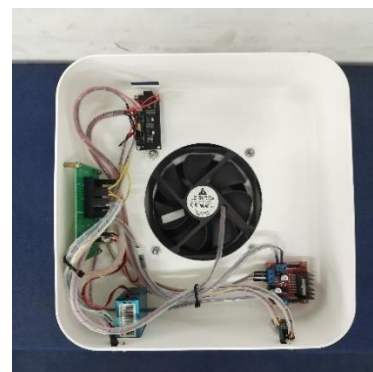


Gambar 12. Implementasi mekanik

Gambar 13 (a) menunjukkan bagian penutup atas dari sistem yang dibuat. Penutup ini berfungsi untuk melindungi seluruh komponen yang ada di dalamnya. Selain itu, lubang pada bagian atas penutup berfungsi sebagai jalur keluarnya udara bersih. Gambar 13 (b) menampilkan bagian dalam mekanik yang digunakan untuk menempatkan berbagai komponen seperti mikrokontroler, sensor-sensor, modul DC *step down*, *driver* motor, dan kipas DC. Gambar 13 (c) menampilkan bagian bawah dari mekanik yang berfungsi sebagai saluran masuk udara kotor dari lingkungan sekitar melalui ventilasi yang terdapat di setiap sisi *casing*. Udara kotor yang masuk akan dialirkan menuju bagian dalam untuk disaring menggunakan HEPA *filter* yang terpasang di dalam mekanik.



(a)



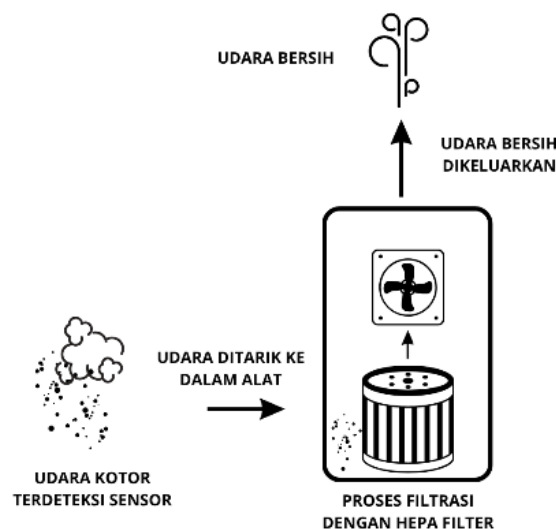
(b)



(c)

Gambar 13. Bagian-bagian mekanik: (a) penutup atas mekanik, (b) bagian dalam mekanik untuk penempatan komponen, (c) bagian dalam mekanik untuk penempatan *filter*

Gambar 14 menunjukkan alur aliran udara dimulai dari deteksi udara kotor oleh sensor hingga proses pelepasan udara bersih setelah melalui tahapan filtrasi.



Gambar 14. Alur aliran udara

Udara kotor yang terdeteksi akan dihisap masuk ke dalam alat menggunakan kipas DC yang dikendalikan oleh sistem berdasarkan hasil logika *fuzzy*. Udara ini kemudian melewati media penyaring HEPA *filter* yang bertugas menahan partikel dan polutan lainnya. Setelah melalui proses penyaringan, udara bersih dikeluarkan kembali ke lingkungan.

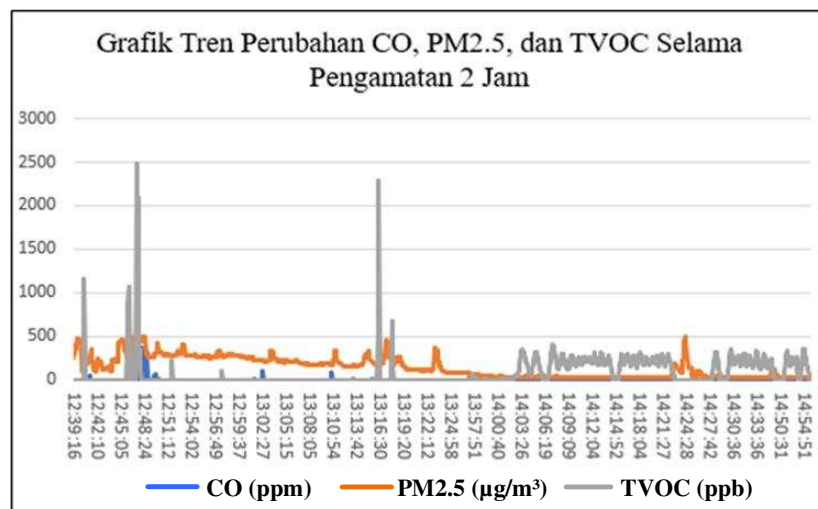
3.2 Pengujian Sistem Terintegrasi

Pengujian terintegrasi dilaksanakan di Ruang Teknisi Produksi pada Laboratorium Elektronika, Politeknik Negeri Bandung, dengan spesifikasi ukuran ruangan sebesar 3×4 meter. Pengujian dilakukan selama 2 jam. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil pengujian sistem pada Tabel 2 dapat diamati bahwa pemantauan dan pengendalian parameter udara selama durasi 1 jam 19 menit 38 detik berhasil meningkatkan kualitas udara dari kondisi buruk menjadi baik. Pengujian dilakukan dalam kondisi ruangan berpenghuni dengan adanya aktivitas merokok di dalam ruangan.

Tabel 2. Hasil pengujian sistem saat ruangan berpenghuni dan terpapar asap

Tanggal	Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	CO (ppm)	PM2,5 (µg/m³)	TVOC (ppb)	Kualitas Udara
20/06/2025	12:39:16	24,79	69,49	0	261,26	0	Buruk
20/06/2025	12:39:21	24,7	69,49	0	308,38	0	Buruk
20/06/2025	12:39:27	24,7	69,55	0	354,39	0	Buruk
20/06/2025	12:39:32	24,7	69,61	0	402,07	0	Buruk
20/06/2025	12:39:37	24,7	69,67	0	445,83	0	Buruk
20/06/2025	12:39:44	24,7	69,67	0	486,22	0	Buruk
20/06/2025	12:39:49	24,7	69,73	0	466,59	0	Buruk
20/06/2025	12:39:54	24,62	69,85	0	466,59	0	Buruk
20/06/2025	12:40:00	24,62	69,91	0	466,59	0	Buruk
20/06/2025	12:40:05	24,62	69,97	0	466,59	0	Buruk
...
20/06/2025	13:58:54	25,48	69,67	0	40,79	0	Baik
20/06/2025	13:58:59	25,48	69,67	0	40,79	5,30	Baik
20/06/2025	13:59:06	25,48	69,67	0	40,79	0	Baik
20/06/2025	13:59:10	25,48	69,67	0	40,79	3,60	Baik
20/06/2025	13:59:15	25,48	69,67	0	41,91	0	Baik
20/06/2025	13:59:21	25,48	69,73	0	41,91	0	Baik
20/06/2025	13:59:28	25,48	69,73	0	41,35	1,80	Baik
20/06/2025	13:59:31	25,48	69,67	0	40,23	0	Baik
20/06/2025	13:59:38	25,48	69,67	0	39,67	0	Baik
20/06/2025	13:59:42	25,48	69,67	0	39,67	0	Baik
...

**Gambar 15. Grafik Perubahan Kadar Polutan Pengamatan 2 Jam**

Gambar 15 menunjukkan perubahan konsentrasi gas CO (ppm), partikulat PM2.5 (µg/m³), dan TVOC (ppb) selama proses pengamatan selama 2 jam. Dari grafik terlihat bahwa pada awal pengamatan sekitar pukul 12:39, nilai PM2.5 dan TVOC cukup tinggi, menandakan bahwa kualitas udara berada dalam kondisi buruk. Hal ini sejalan dengan kondisi awal ruangan yang terpapar asap rokok saat terdapat aktivitas penghuni di dalam ruangan. Selanjutnya, grafik menunjukkan tren penurunan bertahap pada

konsentrasi PM2.5 dan CO hingga sekitar pukul 13:58, yang menandai bahwa sistem berhasil menurunkan kadar polutan dan memperbaiki kualitas udara menjadi baik.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang berhasil melakukan pemantauan dan pengendalian kualitas udara dalam ruangan secara *real-time* menggunakan teknologi IoT dan metode logika *fuzzy*. Sistem mampu mengukur parameter udara seperti suhu, kelembapan, konsentrasi karbon monoksida (CO), partikulat halus (PM2.5), dan *total volatile organic compounds* (TVOC), serta menampilkan data tersebut melalui *platform* Node-RED dalam bentuk teks, grafik, indikator status kualitas udara, dan histori data. Berdasarkan pengujian selama dua jam di ruang teknis dan ruang MR Laboratorium Elektronika Politeknik Negeri Bandung, sistem menunjukkan kemampuan untuk menurunkan kadar PM2.5, TVOC, dan CO hingga mencapai kategori kualitas udara baik dalam waktu 1 jam 19 menit, dengan pengambilan keputusan berbasis logika *fuzzy* yang mengendalikan kecepatan kipas secara otomatis. Sebagai pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan model prediksi berbasis *machine learning* guna meningkatkan akurasi dan adaptivitas terhadap pola pencemaran udara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung atas dukungan fasilitas dan kesempatan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga dalam penyusunan karya ilmiah ini.

REFERENSI

- [1] D. S. S. Sohilaui, M. F. Kaliy dan F. Tuharea, "Kualitas Fisik Dan Bakteriologi Udara Dalam Ruang Terhadap Gangguan Kesehatan Di Dinas Perpustakaan Dan Kearsipan Provinsi Maluku," *The Journal General Health and Pharmaceutical Sciences Research*, vol. 1, pp. 89-94, 2023.
- [2] World Health Organization, *Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*, WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, 2005.
- [3] W. C. Dewi, M. Raharjo dan N. E. Wahyuningsih, "Literatur Review: Hubungan Antara Kualitas Udara Ruang dengan Gangguan Kesehatan pada Pekerja," *An-Nadaa: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 8, no. 1, pp. 88-94, 2021.
- [4] A. K. Putri, A. Prakasa dan M. A. Afandi, "Sistem Pemantau Densitas Debu Gudang Elektronik: Perancangan dan Analisanya," *Journal Of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering(JTECE)*, vol. 03, pp. 83-88, 2021.
- [5] S. Dev, "Corrosion in Electronic Devices and Sensors to Prevent Corrosion," *Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, no. 2, pp. 598-600, 2014.
- [6] S. Vardoulakis, E. Giagloglou, S. Steinle, A. Davis, A. Sleuwenhoek, K. S. Galea, K. Dixon dan . J. O. Crawford, "Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, pp. 1-24, 2020.
- [7] R. Z. Shoma, S. Noertjahjono dan J. D. Irawan, "Penerapan Logika Fuzzy untuk Pengendalian Kualitas Udara pada Ruangan Smoking Area dengan Mikrokontroler," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 4, pp. 287-294, 2020.
- [8] Q. Hidayati, F. Z. Rachman dan M. A. S. Rimbawan, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Fuzzy Logic," *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, vol. 6, pp. 260-267, 2020.
- [9] H. Suryantoro dan M. Kusriyanto, "Sistem Monitoring Partikel (PM2.5) Air Purifier untuk Mengetahui Kualitas Udara Berbasis Sensor PMS5003 dan Arduino," *Indonesian Journal of Laboratory*, pp. 88-96, 2023.
- [10] D. H. Yunardi, A. Misbullah dan G. Gemilang, "Rancang Bangun Sistem Web Monitoring Kualitas Udara di Dalam Ruangan Menggunakan Logika Fuzzy," *Jurnal Pendidikan Teknologi informasi*, vol. 7, pp. 25-34, 2023.

- [11] A. A. K. Dwipangga, M. Abdillah, M. F. Apriansyah dan R. A. Saputra, "Implementasi Logika *Fuzzy* Mamdani untuk Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, pp. 3967-3974, 2024.
- [12] M. Hasanuddin dan H. , "Sistem Monitoring dan Deteksi Dini Pencemaran Udara Berbasis Internet of Things (IoT)," *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, vol. 4, pp. 976-984, 2023.
- [13] M. Kastina dan M. Silalahi, "Logika *Fuzzy* Metode Mamdani dalam Sistem Keputusan *Fuzzy* Produksi menggunakan Matlab," *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 171-181, 2016.
- [14] A. J. Rindengan dan Y. A. Langi, *Sistem Fuzzy*, CV. Patra Media Grafindo Bandung, 2019.
- [15] A. Setiawan, B. Yanto dan K. Yasdomi, *Logika Fuzzy dengan Matlab*, Bali: Jayapangus Press, 2018.