



Analisis Kondisi Polusi Udara Berdasarkan Perubahan Waktu Menggunakan IoT dan Logika Fuzzy: Solusi Mencegah Dampak Polusi Terhadap Kesehatan

Air Pollution Condition Analysis Based on Time Change Using IoT and Fuzzy logic: a Solution to Prevent The Impact of Pollution on Health

Muhammad Yudha & Susilawati*

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Indonesia

Diterima: 21 April 2025; Direview: 22 April 2025; Disetujui: 24 April 2025

*Corresponding Email: susilawati@staff.uma.ac.id

Abstrak

Mengidentifikasi Polusi udara menjadi masalah serius di berbagai kota termasuk kota Medan. Dalam artikel ini, membahas penggunaan aturan inferensi fuzzy mamdani berbasis sensor IoT untuk mengidentifikasi kualitas udara di kota Medan. Pengumpulan data dilakukan melalui perangkat dan sistem yang dibangun menggunakan perangkat sensor IoT. Perangkat IoT dipasang pada tiga lokasi yang berbeda yaitu di jalan Sei Deli, Tembung dan KIM untuk memantau dan mengumpulkan data polusi udara secara real-time. Aturan inferensi fuzzy kemudian digunakan untuk memproses data sensor dan melakukan identifikasi polusi udara berdasarkan nilai ambang yang telah ditetapkan. Selain faktor polusi, penentuan skala waktu yaitu dini hari, pagi, siang, sore dan malam juga menjadi variabel untuk mengidentifikasi polusi udara berdasarkan waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem SIMPU yang dibangun dapat melakukan identifikasi polusi udara berdasarkan data yang diperoleh melalui 3 perangkat dengan nilai rata-rata polusi dalam kategori "Sedang".

Kata Kunci: Polusi Udara; Algoritma Fuzzy Mamdani; Kualitas Udara; IoT.

Abstract

Identifying air pollution is a serious problem in various cities including Medan city. In this article, the use of IoT sensor-based mamdani fuzzy inference rules to identify air pollution in Medan city is discussed. Data collection is done through devices and systems built using IoT sensor devices. The IoT devices are installed in three different locations namely on Sei Deli, Tembung and KIM roads to monitor and collect air pollution data in real-time. Fuzzy inference rules are then used to process the sensor data and identify air pollution based on predefined threshold values. In addition to pollution factors, the determination of the time scale, namely early morning, morning, afternoon, evening and night is also a variable to identify air pollution based on time. The results show that the system built can identify air pollution based on data obtained through 3 devices with an average value of pollution in the "Medium" category.

Keywords: Air pollution; Mamdani Fuzzy Algorithm; Air Quality

PENDAHULUAN

Polusi udara saat ini dianggap sebagai risiko lingkungan yang paling berdampak untuk kesehatan masyarakat, dengan adanya angka kematian sebanyak tujuh juta jiwa setiap tahunnya yang didalangi oleh buruknya kualitas udara [1]. Polusi udara ditandai dengan tingginya tingkat carbon monoksida (CO), partikulat (PM), nitrogen dioksida (NO₂), dan ozon (O₃) [1]. Polutan ini dihasilkan dari berbagai sumber, termasuk emisi kendaraan, kegiatan industri, pembakaran biomassa, dan praktik pertanian. Konsekuensi dari polusi udara terhadap kesehatan manusia sangat parah, mulai dari masalah pernapasan hingga penyakit kardiovaskular, kanker, dan bahkan kematian dini. Dalam batas yang telah ditentukan kadar zat-zat tersebut masih bisa diminimalisir namun bila telah melampaui batas normal maka dapat membahayakan kesehatan.[2][3][4][5].

Menurut Ketetapan Kepala Bapedal Nomor 107 Tahun 1997, ditemukan zat yang berbahaya untuk pernafasan manusia contohnya Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂), Particulate Matter (PM₁₀), Nitrogen dioksida (NO₂), Ozon (O₃). Zat-zat tersebut akan sangat berbahaya untuk pernafasan manusia apabila nilai dari zat tersebut telah melampaui batas kadar yang berlebihan dari batasan rata – rata tubuh manusia yang dapat menerimanya. Indeks Standar Pencemar Udara menurut Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997 sesuai dengan tabel 1 berikut [6].

Tabel 1. Rentang Indeks Standar Pencemar Udara Menurut Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997

No	Kategori	Nilai ISPU
1	Baik	1-50
2	Sedang	51-100
3	Tidak Sehat	101 – 199
4	Sangat Tidak Sehat	200-299
5	Berbahaya	>300

Kebanyakan sumber polusi udara yang ada di perkotaan bersumber dari emisi gas buang kendaraan sekitar 25% dari total polusi partikulat halus dan memberikan efek buruk bagi penduduk perkotaan [7]. Kota Medan merupakan kota terbesar ketiga di Indonesia setelah Jakarta dan Surabaya. Peningkatan aktivitas masyarakat melalui kegiatan pembakaran yang bersumber dari kendaraan roda dua yang terus berkembang. Hal ini bisa dilihat dari banyaknya jumlah transportasi roda dua yang terus meningkat pada setiap tahunnya berdasarkan data yang bersumber dari badan pusat statistik tahun 2020 banyaknya kendaraan yng ada di kota Medan berjumlah 288.378 dengan rincian



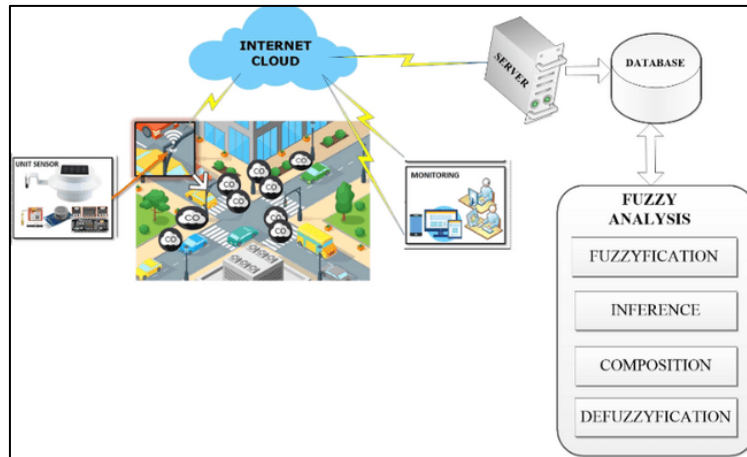
detail sebanyak 42.397 mobil penumpang, 978 mobil bus, 12.474 mobil barang, 232.529 sepeda motor [8]. Dampak dari meningkatnya jumlah kendaraan tersebut mengakibatkan terjadinya kemacetan di jalan raya pada waktu tertentu. Kemacetan biasa terjadi pada waktu di mana masyarakat akan beraktivitas pada pagi dan sore hari. Dengan adanya situasi tersebut perkiraan terjadinya masalah polusi udara yang bisa mengganggu kesehatan masyarakat di kota Medan. Meskipun pemerintah telah mengambil beberapa langkah untuk mengurangi polusi udara, seperti dengan menerapkan standar emisi kendaraan bermotor yang lebih ketat dan meningkatkan penggunaan transportasi publik. Namun, langkah-langkah ini belum cukup efektif untuk mengurangi tingkat polusi udara. Untuk menangani masalah tersebut dan menetralkan dampak negatif yang dapat terjadi pada kesehatan, dibutuhkan jalan keluar yang memungkinkan terhadap pemantauan rutin untuk kualitas udara [12].

Penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) telah menunjukkan potensi besar dalam mendeteksi dan mencegah polusi udara. Sensor IoT yang digunakan pada penelitian ini adalah MQ-7 [9] Sensor ini digunakan untuk mengumpulkan data polusi udara dari berbagai lokasi, sehingga dapat membantu analisis tren dan pattern polusi udara [10], mendeteksi kualitas udara secara real-time sehingga dapat membantu masyarakat dalam memperoleh informasi dan membuat keputusan yang lebih baik terkait dengan pencegahan polusi udara [11] dan membantu untuk monitoring kualitas udara secara kontinu, sehingga dapat segera mengidentifikasi perubahan kualitas udara yang tidak baik [12][13]. Untuk menghasilkan informasi kualitas polusi udara yang akurat diperlukan suatu algoritma yang dapat memproses data dari sensor IoT tersebut [14].

Fuzzy Inference Rules adalah salah satu metode yang paling populer digunakan dalam pengolahan data IoT [15][16][17][18]. Metode ini berbasis pada teori fuzzy set theory yang menggabungkan nilai numerik dengan kemampuan untuk menunjukkan keterbatasan dan ambiguitas dalam data. Dengan menggunakan Fuzzy Inference Rules, pemrosesan data dari sensor IoT dapat dilakukan secara lebih akurat [19][20].

METODE PENELITIAN

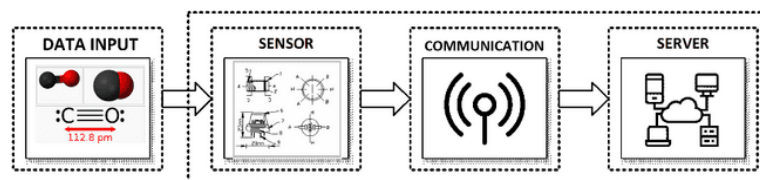
Tiga tahapan yang dilakukan dalam pengembangan SIMPU yaitu perancangan perangkat SIMPU, pengumpulan data menggunakan perangkat SIMPU dan analisis data dengan menerapkan fuzzy inference system.



Gambar 1. Tahapan pengembangan SIMPU

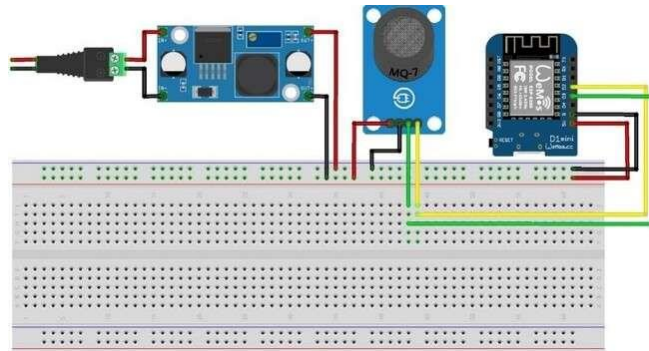
Perancangan perangkat IoT SIMPU

Perangkat IoT SIMPU dirancang untuk mengumpulkan data polusi secara realtime berbasis IoT. Mekanisme kerja Perangkat IoT SIMPU terdiri atas 3 (tiga) bagian yaitu (1) bagian sensor, (2) bagian komunikasi dan (3) bagian server. Bagian sensor berfungsi mendeteksi perubahan nilai indeks polusi secara terus menerus. Bagian komunikasi berfungsi untuk membawa data polusi ke server. Sedangkan bagian server berfungsi menerima data, menyimpan, mengolah dan menampilkan data polusi. Cara kerja perangkat IoT SIMPU dapat digambarkan sebagai berikut.



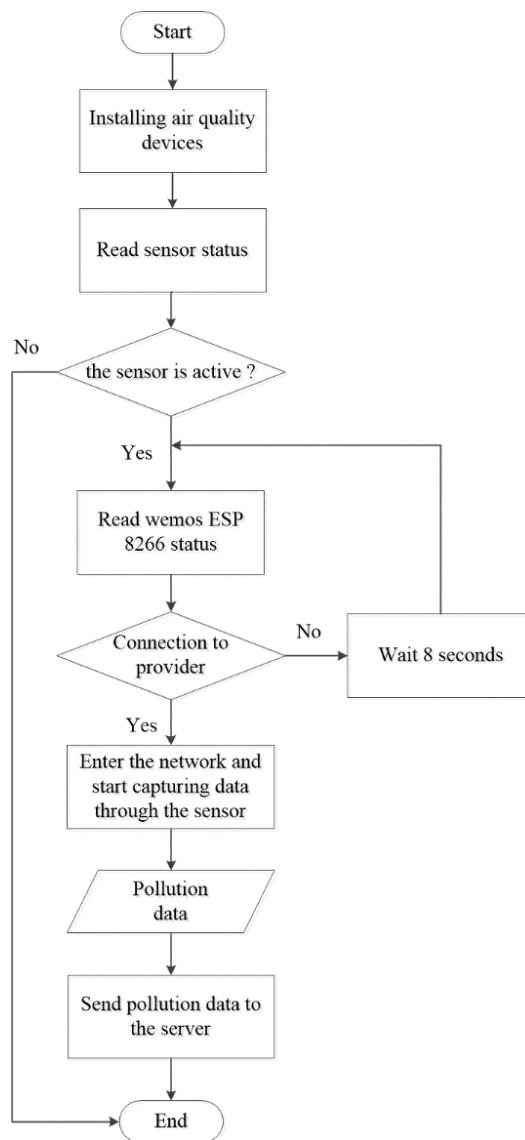
Gambar 2. Air Pollution Monitoring Block Diagram

Perangkat IoT SIMPU terdiri dari Wemos ESP 8266 memiliki fungsi sebagai *Controller* dan konektivitas pada Wi-Fi, Sensor MQ-7 memiliki fungsi untuk mendeteksi gas CO yang telah diintegrasikan dengan Wemos, Adaptor sebagai penyuplai daya 12 volt. *Step Down Module* sebagai penurun dan stabilisasi tegangan yang berasal dari adaptor. Wiring diagram perangkat IoT SIMPU dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Wiring diagram Perangkat IoT SIMPU

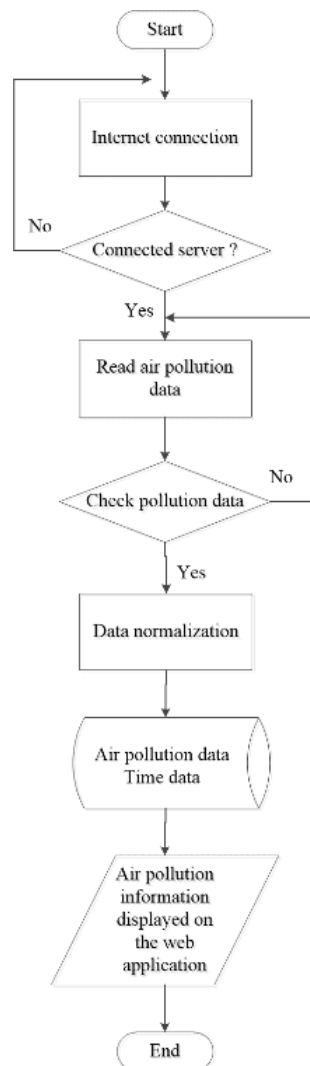
Mekanisme kerja perangkat IoT SIMPU dapat dilihat pada diagram alur berikut.



Gambar 4. Mekanisme kerja Perangkat IoT SIMPU

Pengumpulan Data Polusi

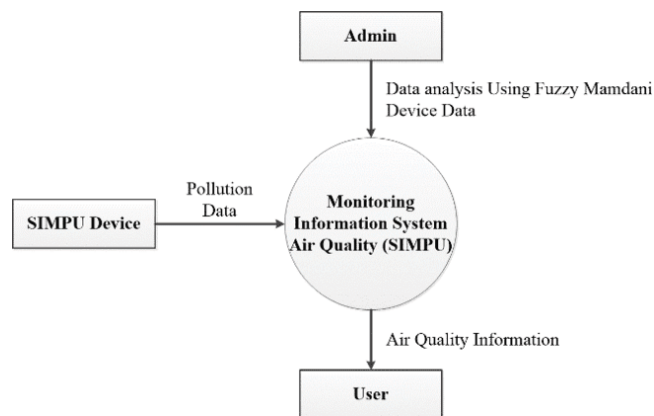
Mekanisme pengumpulan data polusi dapat dilihat pada diagram alur berikut.



Gambar 5. Mekanisme pengumpulan data menggunakan Perangkat IoT SIMPU

Alur pengumpulan data dimulai dari proses pembacaan data polusi pada lokasi melalui perangkat SIMPU, kemudian data polusi akan dikirimkan ke server. Data yang dikirimkan melalui Perangkat SIMPU akan berhasil disimpan bila server dalam status terkoneksi. Data polusi dan waktu akan dinormalisasi terlebih dahulu, diseleksi sesuai dengan id perangkat dikarenakan perangkat IoT SIMPU terpasang pada 3 lokasi yang berbeda. Kemudian data polusi akan disimpan ke dalam database pada server. Antarmuka berbasis web dirancang untuk interaksi user dengan perangkat lunak SIMPU. Perancangan perangkat lunak SIMPU dibangun untuk menampilkan visualisasi data polusi, analisis data polusi untuk mengidentifikasi polusi udara dengan menerapkan fuzzy

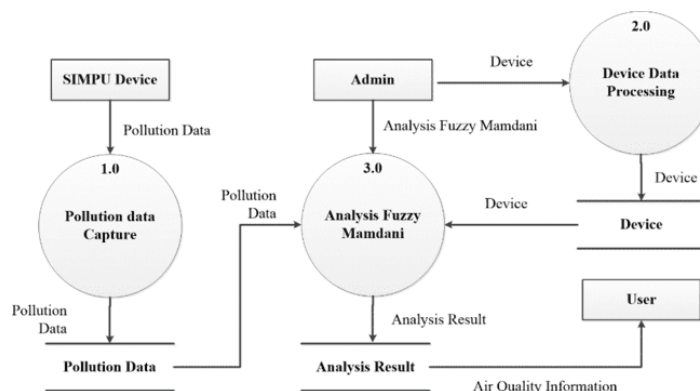
inference rules. Perancangan SIMPU dilakukan mulai perancangan sistem, perancangan database dan perancangan antarmuka. Perancang sistem SIMPU digambarkan melalui diagram konteks dan diagram alur data berikut.



Gambar 6. Context Diagram SIMPU

Diagram konteks SIMPU menunjukkan bahwa:

1. SIMPU memiliki 3 terminator yaitu Perangkat SIMPU untuk menangkap data polusi lalu mengirimkan data polusi dan waktu ke server, Admin bertugas untuk menganalisis data polusi udara dan waktu dengan menerapkan perhitungan fuzzy mamdani dan User memiliki akses untuk melihat informasi kualitas udara
2. SIMPU memiliki data *input* berupa Data polusi dan data waktu yang diperoleh dari perangkat SIMPU dan data perangkat untuk mendata perangkat SIMPU berdasarkan lokasi.
3. SIMPU memiliki 1 proses yaitu proses analisis menerapkan metode fuzzy mamdani dalam mengidentifikasi kualitas udara.
4. SIMPU memiliki output berupa informasi tingkat polusi udara dengan skala waktu.



Gambar 7. Data Flow Diagram (DFD) SIMPU

DFD SIMPU menunjukkan alur proses pengelolaan data yang berasal dari perangkat kemudian disimpan pada database untuk dianalisis oleh admin menggunakan metode Fuzzy Mamdani sehingga diperoleh hasil berupa informasi kualitas udara berdasarkan lokasi.

Tabel 2. pollution table

Field Name	Type	Size
id	int	11
Id_device	varchar	5
Index pollution	Int	11
Date_stamp	timestamp	-

Tabel 2 pollution tabel terdapat beberapa field yang terdiri dari id dengan type int, id_perangkat type varchar, nilai dengan type int dan tanggal dengan type timestamp.

Tabel 3. Login table

Field Name	Type	Size
id user	int	11
username	varchar	40
password	varchar	40
description	varchar	500

Tabel 3 Login table terdapat beberapa field yang terdiri dari id_user dengan type int, username dengan type varchar, password dengan type varchar, ket dengan type varchar.

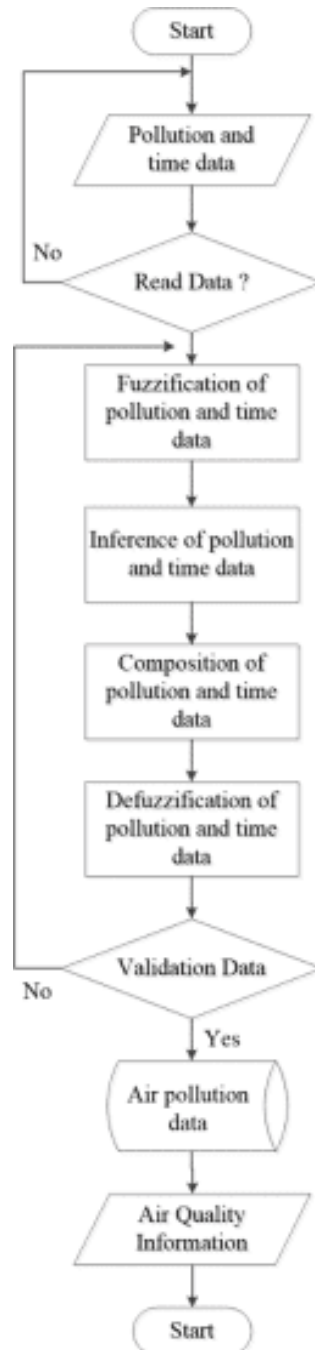
Tabel 4. Fuzzy table

Field Name	Type	Size
id_fuzzy	int	11
id_device	int	11
date_stamp	date	0
fuzzy_early_morning	int	11
keterangan_early_morning	varchar	20
fuzzy_morning	int	11
keterangan_morning	varchar	20
fuzzy_noon	int	11
keterangan_noon	varchar	20
fuzzy_afternoon	int	11
keterangan_afternoon	varchar	20
fuzzy_night	int	11
keterangan_night	varchar	20

Tabel 4 Fuzzy table memiliki total 13 field di antaranya Id_fuzzy dengan type int, id_peraangkat dengan type int, tanggal dengan type date, fuzzy_dini_hari dengan type int, keterangan dini_hari dengan type varchar, fuzzy_pagi dengan type int, keterangan_pagi type varchar, fuzzy_siang dengan type int, keterangan_siang dengan type varchar, fuzzy_sore dengan type int, keterangan_sore dengan type varchar, fuzzy_malam dengan type int, keterangan_malam dengan type varchar.

Analisis Fuzzy Inference System

Fuzzy Inference System yang diterapkan pada penelitian ini adalah fuzzy mamdani. Terdapat beberapa tahapan analisis menggunakan fuzzy mamdani yaitu proses Fuzzifikasi, Inferensi, Komposisi, dan Defuzzifikasi. Proses pembacaan data polusi dan mekanisme analisis fuzzy mamdani dapat digambarkan pada flowchart berikut:



Gambar 8. Flowchart Analisis Fuzzy Mamdani

Pada Gambar 8 menerangkan bahwa sistem akan membaca data polusi dan data waktu kemudian data tersebut akan dilakukan pengecekan. Apabila data terbaca maka data akan diproses dengan melalui tahap fuzzifikasi, inferensi, komposisi, defuzzifikasi. Hasil dari pengolahan data akan dilakukan pengecekan ulang, apabila data memiliki hasil maka data tersebut akan tersimpan ke Database dan data tentang kualitas udara akan ditunjukkan pada tampilan web. Tahapan penerapan analisis fuzzy mamdani dimulai dari proses fuzzifikasi yaitu menentukan nilai keanggotaan menggunakan kurva Linier naik. Proses inferensi yaitu mendapatkan nilai MIN agar dapat dikomposisikan dengan aturan MAX sehingga nantinya nilai polusi dapat di-defuzzifikasi menjadi nilai fuzzy. Tahapan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 4. Membership Functions of Air Quality

Parameter	Membership Function	Graphical Representation of Membership Function
Pollution	Low $\mu(x) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \frac{50-x}{50} & 0 < x < 50 \\ 0 & x \geq 50 \end{cases}$ Normal $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{100-50} & 50 < x < 100 \\ 1 & x \geq 100 \end{cases}$ Bit High $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 100 \\ \frac{x-100}{190-100} & 100 < x < 190 \\ 1 & x \geq 190 \end{cases}$ High $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 190 \\ \frac{x-190}{300-190} & 190 < x < 300 \\ 1 & x \geq 300 \end{cases}$ Very High $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 300 \\ \frac{x-300}{1000-300} & 300 < x < 1000 \\ 1 & x \geq 1000 \end{cases}$	
Time	Early Morning $\mu(x) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \frac{5-x}{5} & 0 < x < 5 \\ 0 & x \geq 5 \end{cases}$ Morning $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 5 \\ \frac{x-5}{11-5} & 5 < x < 11 \\ 1 & x \geq 11 \end{cases}$ Noon $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 11 \\ \frac{x-11}{15-11} & 11 < x < 15 \\ 1 & x \geq 15 \end{cases}$ Afternoon $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 15 \\ \frac{x-15}{18-15} & 15 < x < 18 \\ 1 & x \geq 18 \end{cases}$ Night $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 18 \\ \frac{x-18}{24-18} & 18 < x < 24 \\ 1 & x \geq 24 \end{cases}$	
Air Quality	Very Healthy $\mu(x) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \frac{50-x}{50} & 0 < x < 50 \\ 0 & x \geq 50 \end{cases}$ Healthy $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{100-50} & 50 < x < 100 \\ 1 & x \geq 100 \end{cases}$ Unhealthy $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 100 \\ \frac{x-100}{190-100} & 100 < x < 190 \\ 1 & x \geq 190 \end{cases}$ Very unhealthy $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 190 \\ \frac{x-190}{300-190} & 190 < x < 300 \\ 1 & x \geq 300 \end{cases}$ Dangerous $\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 300 \\ \frac{x-300}{400-300} & 300 < x < 400 \\ 1 & x \geq 400 \end{cases}$	

Berikutnya adalah menentukan rules untuk memetakan suatu peluang kejadian yang akan diolah menggunakan system fuzzy mamdani sehingga mendapatkan kemungkinan yang terjadi. Berikut ini merupakan rules pada fuzzy mamdani untuk SIMPU:

Tabel 5. Rules Fuzzy mamdani

Rules	Condition	Pollution paramaters	Condition	Time parameters	Condition	Air Quality
[R1]	IF	Low	And	Early day	THEN	Good
[R2]	IF	Normal	And	Early day	THEN	Medium
[R3]	IF	A little high	And	Early day	THEN	Unhealthy
[R4]	IF	High	And	Early day	THEN	Absolutely not healthy
[R5]	IF	Very high	And	Early day	THEN	Dengerous
[R6]	IF	Low	And	Morning	THEN	Good
[R7]	IF	Normal	And	Morning	THEN	Medium
[R8]	IF	A little high	And	Morning	THEN	Unhealthy
[R9]	IF	High	And	Morning	THEN	Absolutely not healthy
[R10]	IF	Very high	And	Morning	THEN	Dengerous
[R11]	IF	Low	And	Noon	THEN	Good
[R12]	IF	Normal	And	Noon	THEN	Medium
[R13]	IF	A little high	And	Noon	THEN	Unhealthy
[R14]	IF	High	And	Noon	THEN	Absolutely not healthy
[R15]	IF	Very high	And	Noon	THEN	Dengerous
[R16]	IF	Low	And	Afternoon	THEN	Good
[R17]	IF	Normal	And	Afternoon	THEN	Medium
[R18]	IF	A little high	And	Afternoon	THEN	Unhealthy
[R19]	IF	High	And	Afternoon	THEN	Absolutely not healthy
[R20]	IF	Very high	And	Afternoon	THEN	Dengerous
[R21]	IF	Low	And	Night	THEN	Good
[R22]	IF	Normal	And	Night	THEN	Medium
[R23]	IF	A little high	And	Night	THEN	Unhealthy
[R24]	IF	High	And	Night	THEN	Absolutely not healthy
[R25]	IF	Very high	And	Night	THEN	Dengerous

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan kualitas udara merujuk pada keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997 dengan ketentuan indeks kualitas udara dikatakan baik ketika indeks bernilai 1 sampai dengan 50, sedang ketika bernilai 51 sampai dengan 100, tidak sehat ketika bernilai 101 sampai 199, sangat tidak sehat ketika nilai 200 sampai dengan 299 dan berbahaya ketika bernilai lebih besar sama dengan 300. Ujicoba perangkat IoT SIMPU untuk

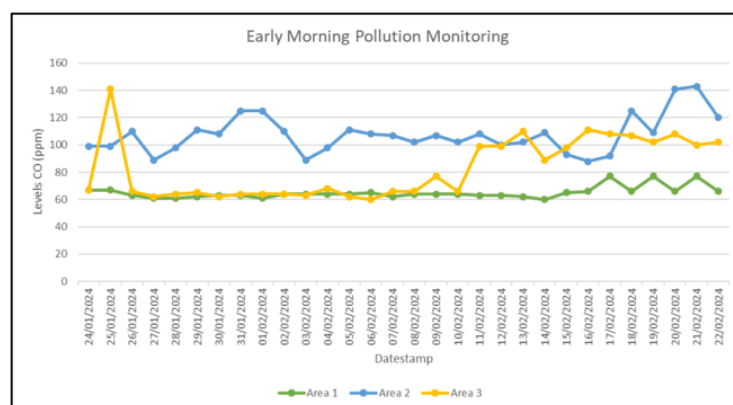


mengumpulkan polusi udara di kota Medan dilakukan selama satu bulan. Sampel data diambil melalui pemasangan perangkat IoT SIMPU pada tiga lokasi berbeda dalam waktu yang sama. Tiga lokasi tersebut dipilih untuk mewakili kondisi polusi yang terjadi di kawasan industri dan kawasan banyak penduduk. Lokasi pertama yaitu di jalan Sei Deli, lokasi kedua di jalan Tembung dan lokasi ketiga di area KIM (Kasawan Industri Medan). Pemasangan perangkat SIMPU dilakukan selama tiga puluh hari untuk memonitoring indeks kualitas udara setiap hari selama dua puluh empat jam. Data polusi yang diambil hanya CO (Carbon Monoksida). Pengambilan data dikategorikan berdasarkan parameter waktu yaitu dini hari, pagi, siang, sore dan malam untuk mengidentifikasi polusi udara berdasarkan waktu tersebut.

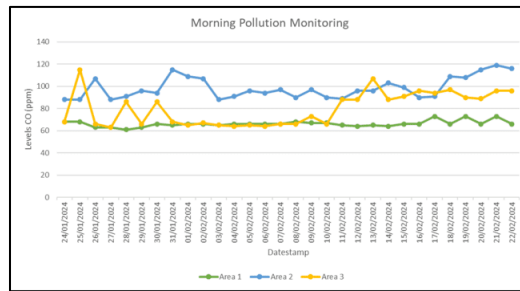
Tabel 6. Parameter

Parameter	Kategori	Nilai
Polusi	Lokasi 1	82.160
	Lokasi 2	85.153
	Lokasi 3	82.051
Waktu	Dini Hari	00.00 - 04.59 WIB
	Pagi	05.00 - 10.59 WIB
	Siang	11.00 - 14.59 WIB
	Sore	15.00 - 17.59 WIB
	Malam	18.00 - 24.00 WIB
Kualitas udara	Baik	1-50
	Sedang	51-100
	Tidak Sehat	101-199
	Sangat Tidak Sehat	200-299
	Berbahaya	>300

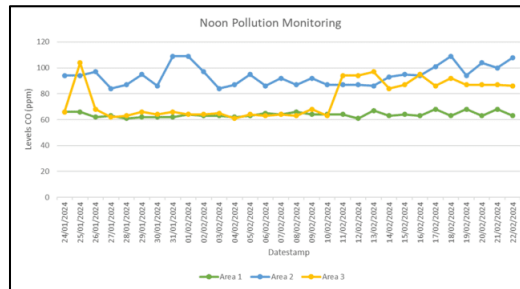
Berikut hasil pemantauan polusi udara berdasarkan parameter waktu yaitu dini hari, pagi, siang, sore dan malam.



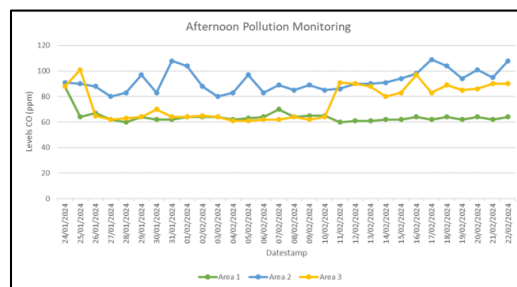
Gambar 9. (a). Graphical Air Pollution on Early Morning



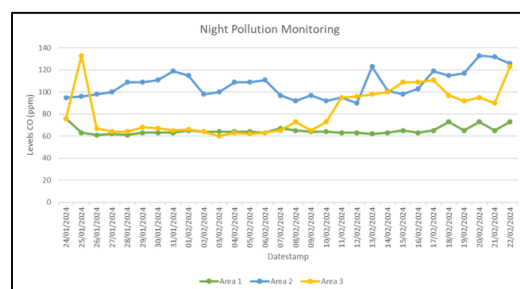
Gambar 9. (b). Graphical Air Pollution on Morning



Gambar 9. (c). Graphical Air Pollution on Noon



Gambar 9. (d). Graphical Air Pollution on Afternoon



Gambar 9. (e). Graphical Air Pollution on Night

Gambar 9. Graphical monitoring Air Pollution berdasarkan parameter waktu.

Gambar 9, dapat ditunjukkan bahwa dari ketiga lokasi, kondisi polusi pada lokasi kedua yaitu jalan tembung menunjukkan index CO mencapai 90 – 133 ppm, hal ini lebih tinggi dari lokasi pertama yaitu jalan Sei Deli dan lokasi ketiga yaitu area KIM. Hal ini

terjadi setiap waktu baik dini hari, pagi, siang, sore dan malam hari. Sedangkan index CO pada lokasi pertama cenderung stabil antara 60-80 ppm setiap waktu. Index CO pada lokasi ketiga mencapai 60-133 ppm, cenderung meningkat pada pertengahan sampai akhir bulan, sedangkan cenderung stabil di awal bulan.

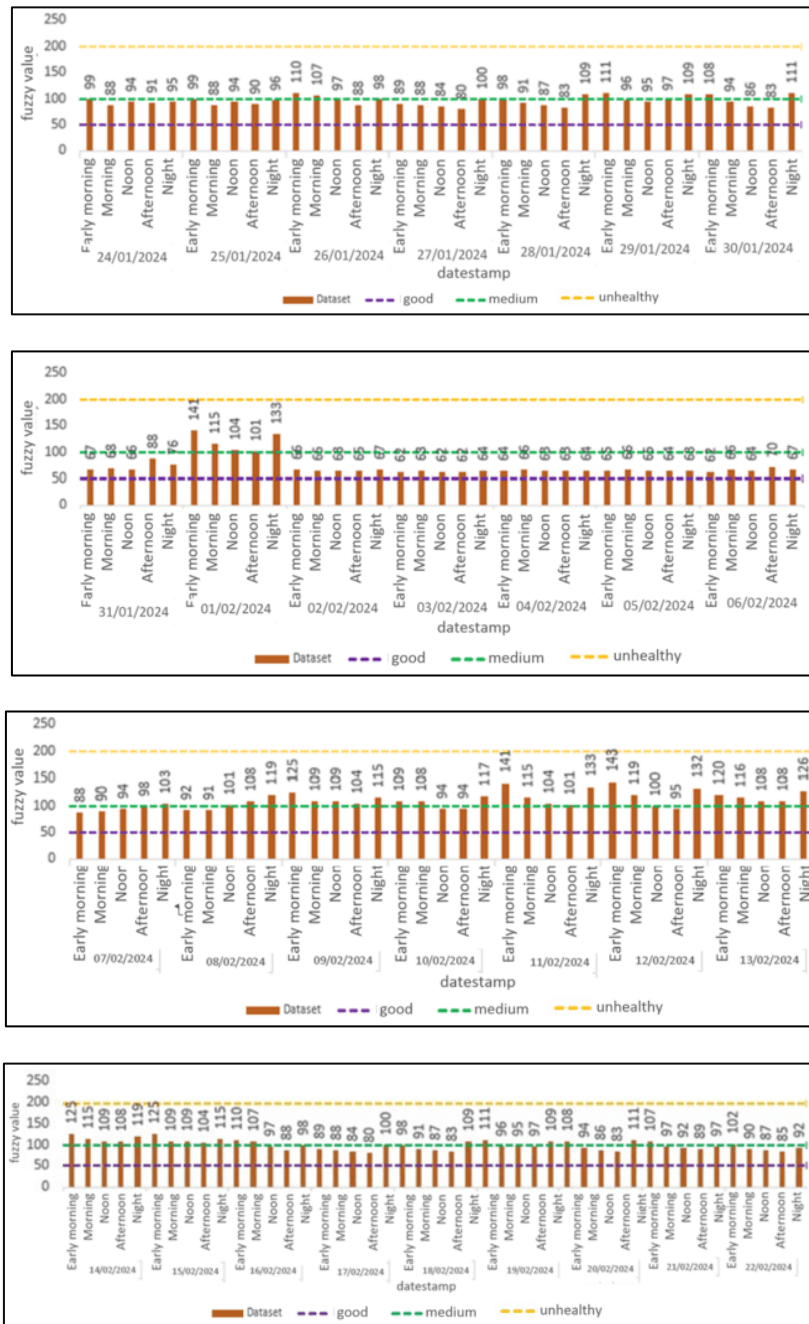
Berikut hasil monitoring kualitas udara pada lokasi 1 berdasarkan parameter waktu.



Gambar 10. Graphical monitoring Air Pollution pada lokasi 1

Gambar 10, merupakan hasil analisis fuzzy mamdani terhadap nilai CO untuk menentukan tingkat kualitas udara per periode waktu pada lokasi 1. Index CO menunjukkan kualitas udara dalam kategori baik sampai medium dengan nilai index 60 – 88 ppm pada setiap periode waktu.

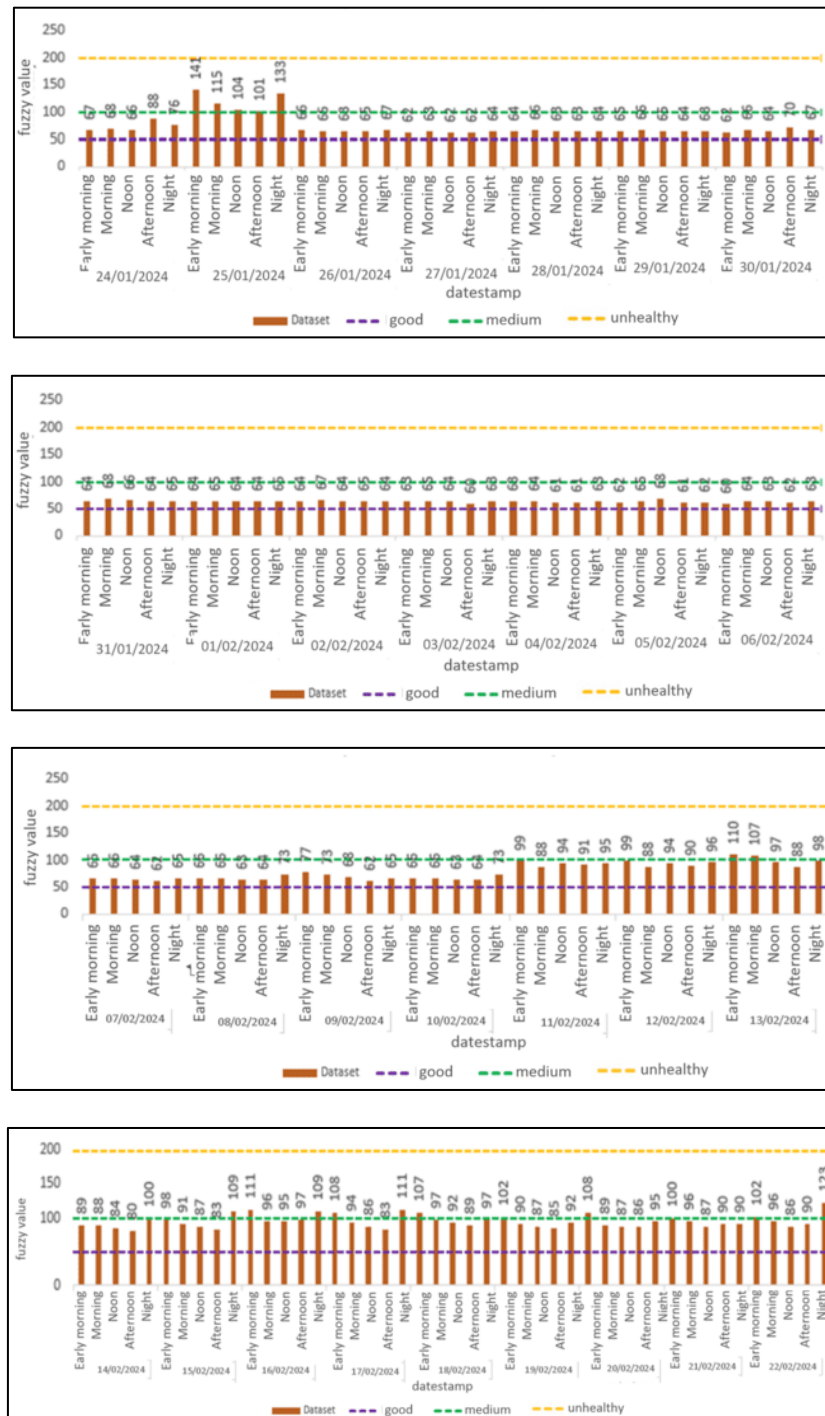
Berikut hasil monitoring kualitas udara pada lokasi 2 berdasarkan parameter waktu.



Gambar 11. Graphical monitoring Air Pollution pada lokasi 2

Gambar 11, merupakan hasil analisis fuzzy mamdani terhadap nilai CO untuk menentukan tingkat kualitas udara per periode waktu pada lokasi 2. Index CO menunjukkan kualitas udara dalam kategori baik, medium dan tidak sehat dengan nilai index 88 – 143 ppm pada setiap periode waktu.

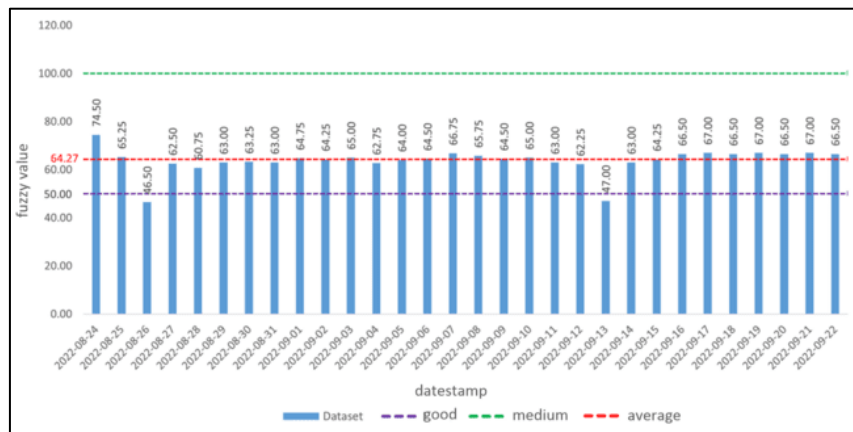
Berikut hasil monitoring kualitas udara pada lokasi 3 berdasarkan parameter waktu.



Gambar 12. Graphical monitoring Air Pollution pada lokasi 3

Gambar 12, merupakan hasil analisis fuzzy mamdani terhadap nilai CO untuk menentukan tingkat kualitas udara per periode waktu pada lokasi 3. Index CO menunjukkan kualitas udara dalam kategori baik, medium dan tidak sehat dengan nilai index 60 – 141 ppm pada setiap periode waktu.

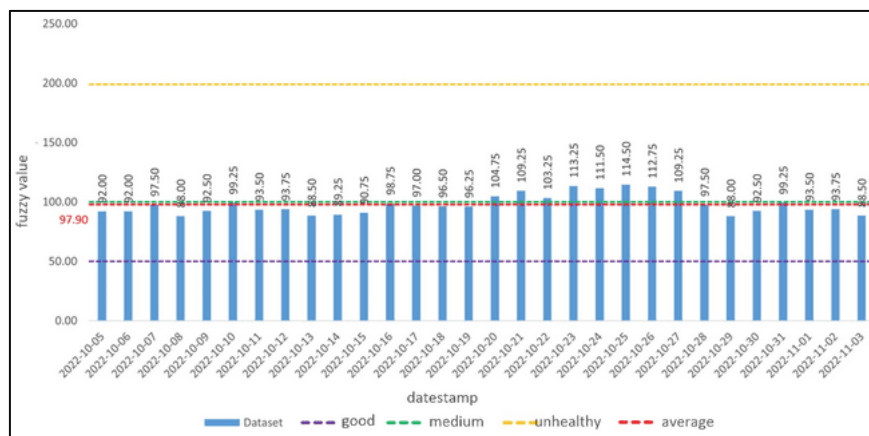
Berikut rata-rata kualitas udara pada lokasi 1 selama satu bulan atau tiga puluh hari



Gambar 13. Graphical rata-rata Air Pollution pada lokasi 1

Gambar 13 merupakan hasil rata-rata analisis Fuzzy mamdani pada lokasi 1 mencapai 64 ppm yaitu dalam kategori sedang,

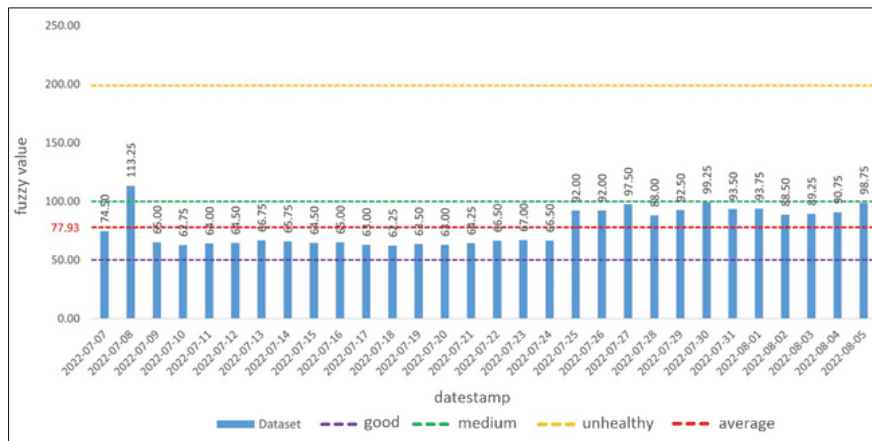
Berikut rata-rata kualitas udara pada lokasi 2 selama satu bulan atau tiga puluh hari



Gambar 14. Graphical rata-rata Air Pollution pada lokasi 2

Gambar 14 merupakan hasil rata-rata analisis Fuzzy mamdani pada lokasi 2 mencapai 97 ppm yaitu dalam kategori sedang

Berikut rata-rata kualitas udara pada lokasi 3 selama satu bulan atau tiga puluh hari



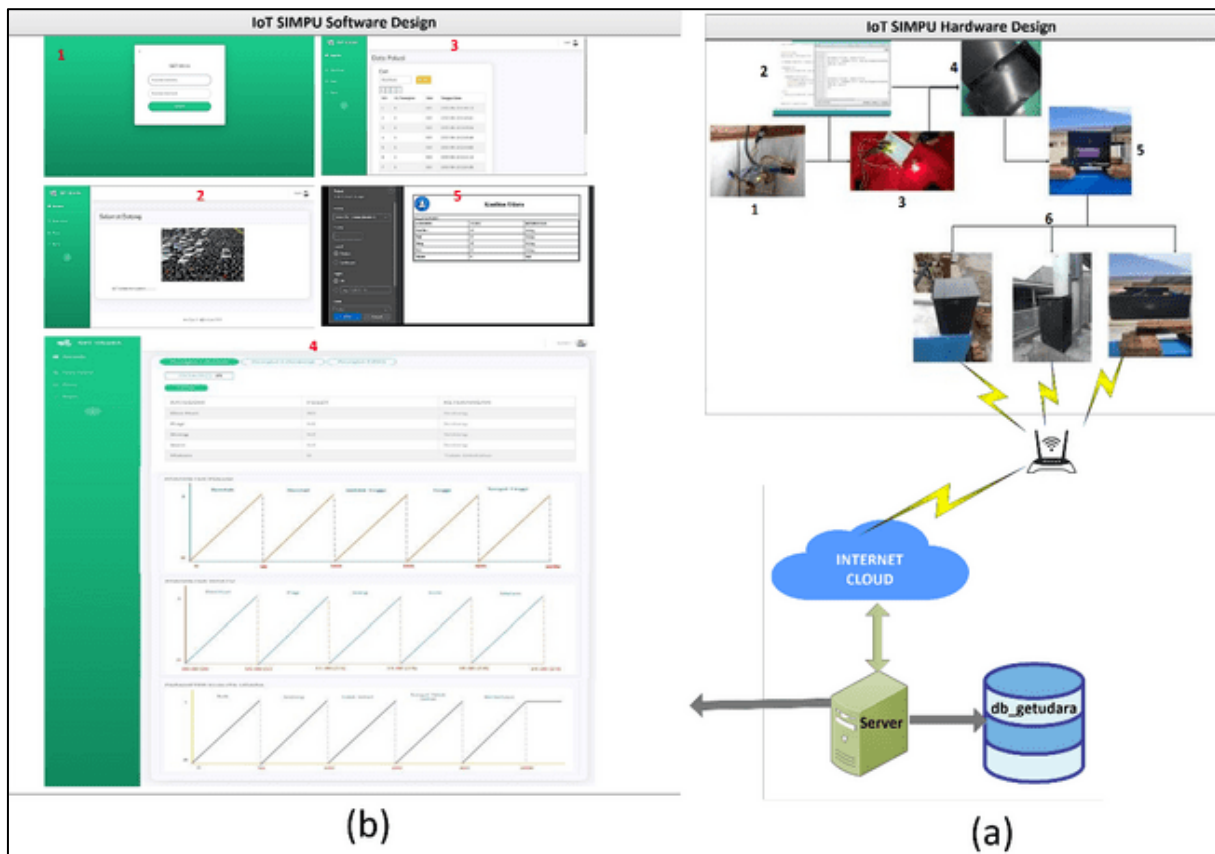
Gambar 14. Graphical rata-rata Air Pollution pada lokasi 3

Gambar 15 merupakan hasil rata-rata analisis Fuzzy mamdani pada lokasi 3 mencapai 77 ppm yaitu dalam kategori sedang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas polusi udara berdasarkan ketiga lokasi tersebut secara keseluruhan tergolong dalam kategori **“Sedang”**, dan belum mencapai level tidak sehat atau berbahaya.

Gambar 16 bagian a merupakan tahapan implementasi perancangan perangkat IoT SIMPU. Pada bagian 1 dan 2 adalah tahapan ujicoba pemasangan bahan seperti dari Wemos ESP 8266 berfungsi sebagai pengendali dan konektivitas Wi-Fi, Sensor MQ-7 berfungsi sebagai pendeteksi gas CO yang telah diintegrasikan dengan Wemos, Adaptor sebagai pemberi daya 12 volt. Kemudian menanamkan kode program pada perangkat tersebut. Perangkat yang telah siap dirancang akan dipasang pada lokasi 1 yaitu jalan Sei Deli, lokasi 2 yaitu jalan Tembung dan lokasi 3 yaitu area KIM. Pengiriman data CO menggunakan teknologi WiFi berbasis chip ESP-12E dari AI-Thinker Team dengan core processor ESP-8266. ESP-12E mendukung kecepatan clock 80 MHz, 160 MHz, terintegrasi dengan Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA dan dilengkapi dengan antena onboard. Komunikasi data menggunakan modem wifi untuk mengirimkan data ke server dan kemudian data akan disimpan pada basis data. Proses penyimpanan data terdiri atas aplikasi penerima data CO dengan protokol UDP, listening di port 11000 yang diprogram menggunakan bahasa pemrograman Python. Data yang diterima selanjutnya disimpan ke dalam basis data untuk diolah lebih lanjut. Basis data dibangun menggunakan DBMS MySQL. Berikut hasil penyimpanan data CO pada basis data.

id_perangkat	tanggal	fuzzy_dkt_hari	keterangan_dkt_hari	fuzzy_pagi	keterangan_pagi	fuzzy_siang	keterangan_siang	fuzzy_sore	keterangan_sore	fuzzy_malam	keterangan_malam
1	2022-08-27	61	Sedang	63	Sedang	63	Sedang	62	Sedang	62	Sedang
1	2022-08-28	61	Sedang	61	Sedang	61	Sedang	60	Sedang	61	Sedang
1	2022-08-29	62	Sedang	63	Sedang	62	Sedang	64	Sedang	63	Sedang
1	2022-08-30	63	Sedang	66	Sedang	62	Sedang	62	Sedang	63	Sedang
1	2022-08-31	63	Sedang	65	Sedang	62	Sedang	62	Sedang	63	Sedang
1	2022-09-01	61	Sedang	66	Sedang	64	Sedang	64	Sedang	65	Sedang
1	2022-09-02	64	Sedang	66	Sedang	63	Sedang	64	Sedang	64	Sedang
1	2022-09-03	64	Sedang	65	Sedang	63	Sedang	65	Sedang	67	Sedang
1	2022-09-04	62	Sedang	63	Sedang	62	Sedang	62	Sedang	64	Sedang
1	2022-09-05	64	Sedang	66	Sedang	63	Sedang	63	Sedang	64	Sedang
1	2022-09-06	65	Sedang	66	Sedang	65	Sedang	64	Sedang	63	Sedang
1	2022-09-07	62	Sedang	66	Sedang	64	Sedang	70	Sedang	67	Sedang
1	2022-09-08	64	Sedang	68	Sedang	66	Sedang	64	Sedang	65	Sedang
1	2022-09-09	64	Sedang	65	Sedang	64	Sedang	64	Sedang	65	Sedang
1	2022-09-10	64	Sedang	67	Sedang	64	Sedang	65	Sedang	64	Sedang
1	2022-09-11	63	Sedang	65	Sedang	64	Sedang	60	Sedang	63	Sedang
1	2022-09-12	63	Sedang	64	Sedang	61	Sedang	61	Sedang	63	Sedang
1	2022-09-13	62	Sedang	65	Sedang	0	Rak	61	Sedang	62	Sedang
1	2022-09-14	60	Sedang	64	Sedang	63	Sedang	62	Sedang	63	Sedang
1	2022-09-15	65	Sedang	66	Sedang	64	Sedang	62	Sedang	65	Sedang
1	2022-09-16	66	Sedang	66	Sedang	63	Sedang	64	Sedang	73	Sedang
1	2022-09-17	77	Sedang	73	Sedang	68	Sedang	62	Sedang	65	Sedang
1	2022-09-18	66	Sedang	66	Sedang	63	Sedang	64	Sedang	73	Sedang
1	2022-09-19	77	Sedang	73	Sedang	68	Sedang	62	Sedang	65	Sedang
1	2022-09-20	66	Sedang	66	Sedang	63	Sedang	64	Sedang	73	Sedang

Gambar 15. Visualisasi data polusi pada Basis data



Gambar 16. IoT SIMPU Hardware and Software Design.

Gambar 16 bagian b merupakan antarmuka SIMPU yang dibangun sebagai alat bantu untuk menampilkan data polusi secara visual tampak seperti bagian 3, mengolah data dengan menerapkan algoritma fuzzy mamdani tampak seperti bagian 4 dan menghasilkan informasi berupa informasi kualitas udara tampak seperti bagian 5. Bagian 1 tampilan

antarmuka untuk login pada sistem, dan bagian 2 tampilan dashboard untuk menampilkan informasi statistik.

SIMPULAN

Metode *fuzzy mamdani* dapat dipakai pada sistem informasi kualitas udara (SIMPU) pada 3 perangkat yang dipasang di 3 lokasi dan jumlah data polusi yang diuji sebanyak “249.364” dengan parameter waktu yaitu dini hari, pagi, siang, sore dan malam. Metode *fuzzy mamdani* mendapatkan hasil dari jumlah data yang diolah dengan jumlah rata-rata perangkat 1 bernilai 64 dalam kategori Sedang, perangkat 2 bernilai 97 dalam kategori Sedang, dan perangkat 3 bernilai 77 dalam kategori Sedang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas polusi udara berdasarkan ketiga lokasi tersebut secara keseluruhan tergolong dalam kategori “**Sedang**”, dan belum mencapai level tidak sehat atau berbahaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] WHO. (2021). Global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [2] Ginting, A., & Marpaung, B. (2018). Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat di daerah perkotaan. In Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan (pp. 123-135). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [3] Rosyidah, M. (2016). Polusi Udara dan Kesehatan. Jurnal Teknik Industri, 1(11), 5–8.
- [4]. Phalen, Robert F, et al. 2013, Introduction to Air Pollution Science a Public Health Perspective, University of California, Irvive, California
- [5]. Charlesworth, Susanne M, et al 2019, Urban Pollution Science and Management, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, United Kingdom
- [6] Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 107 Tahun 1997 Tanggal 21 November 1997.
- [7] UNEP. 2021. Actions on Air Quality: A Global Summary of Policies and Programmes to Reduce Air Pollution. Nairobi.
- [8] https://sumut.bps.go.id/static_table/2015/03/31/69/jumlah-kendaraan-bermotor-yang-terdaftar-unit-2004---2013.html (accessed on 07 January 2024)
- [9] Hanwei Electronics, MQ-7 Gas Sensor Technical Data, Hanwei Electronics Co., China
- [10] McEwen, A, et al. 2014, Designing the Internet of Things, John Wiley & Sons, West Sussex, United Kingdom
- [11] K. Saravanan, E. Anusuya, R. Kumar, L.H. Son, Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA. Environ. Monit. Assess. 2018, 190, 556, doi:10.1007/s10661-018-6914-x.
- [12] Setiawan, F.N, Kustiawan, I. IoT based Air Quality Monitoring. In Proceedings of the 2018 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Bandung, Indonesia, 16 November 2017; Volume 384, pp.012008, doi:10.1088/1757-899X/384/1/012008.
- [13] Waleign, A.T, Rutvik, M. Air pollution monitoring and prediction using IoT. In Proceedings of the 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), Coimbatore, India, 20–21 April 2018; pp. 1741–1745.
- [14] Zakaria, N.A.; Abidin, Z.Z.; Harum, N.; Hau, L.C.; Ali, N.S.; Jafar, F.A. Wireless Internet of Things-Based Air Quality Device for Smart Pollution Monitoring. Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl. 2018, 9, 65–69, doi:10.14569/IJACSA.2018.091110.



- [15] Iqbal, K., Khan, M.A., Abbas, S., Hasan, Z. and Fatima, A., 2018. Intelligent transportation system (ITS) for smart-cities using Mamdani fuzzy inference system. *International journal of advanced computer science and applications*, 9(2)
- [16] D. Arifianto, A. Sulistyono, and A. Nilogiri, "Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Ruangan Server Berbasis Arduino Menggunakan Metode Fuzzy Logic Dengan Buzzer Dan Telegram Bot Sebagai Notifikasi," *JUSTINDO (Jurnal Sist. dan Teknol. Inf. Indones.*, vol. 7, no. 1, pp. 67–75, 2022, doi: 10.32528/justindo.v7i1.5135.
- [17] Q. Hidayati, F. Z. Rachman, and M. A. S. Rimbawan, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Fuzzy Logic," *ISAS Publ.*, vol. 6, no. 1, pp. 260–267, 2020.
- [18] Firga Deman Samudra, Miftachul Ulum, Koko Joni, and Diana Rahmawati, "Air Pullution Monitoring and Detection System Design Using Fuzzy Method Based on IoT," *JOINCS (Journal Informatics, Network, Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 13–18, 2021, doi: 10.21070/joincs.v4i1.1580.
- [19] R. Yuli Endra and G. Agus Saputra, "Implementasi Fuzzy Inference System (Fis) Metode Tsukamoto Untuk Monitoring Kualitas Udara," *J. Komputasi*, vol. 10, no. 1, 2022, doi: 10.23960/komputasi.v10i1.2962.
- [20] M. S. S. Virdaus and E. Ihsanto, "Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol Kualitas Udara Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Wemos," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 1, p. 22, 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i1.005

