

IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY MAMDANI UNTUK MONITORING KUALITAS UDARA DALAM RUANGAN

Ageng Arya Khryсна Dwipangga, Muh. Abdillah, Muhammad Fiqih Apriansyah, Rizal Adi Saputra

Teknik Informatika, Universitas Halu Oleo
Jalan H.E.A Mokodompit, Kendari, Indonesia
agengaryakhrysnadp@gmail.com

ABSTRAK

Kualitas udara adalah aspek vital yang mempengaruhi kesehatan manusia dan lingkungan. Polusi udara, seperti karbon monoksida (CO), menjadi ancaman serius yang memerlukan pemantauan terus-menerus. Penelitian ini memanfaatkan data dari indek kualitas udara (AQI). Penelitian ini mengimplementasikan logika fuzzy mamdani yang dapat mengatasi data input dan output yang samara atau tidak pasti. Terdapat 1 variabel output yang digunakan yaitu Kualitas Udara dan 3 variabel input yaitu karbon monoksida (CO), suhu, dan kelembapan. Dan terdapat 27 aturan fuzzy yang digunakan sebagai penghubung antara variabel input dan output. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi logika fuzzy mamdani dalam memonitoring kualitas udara dalam ruangan dapat digunakan dan berhasil dengan rata error sebesar 5,31 %, yang berarti tingkat keberhasilan alat yang dibuat sebesar 94,69 %.

Kata kunci : Fuzzy Mamdani, Matlab, ESP8266, Kualitas Udara, CO

1. PENDAHULUAN

Kualitas udara adalah faktor penting yang mempengaruhi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Udara yang seimbang memiliki konsentrasi gas-gas yang normal dan tidak berbahaya. Suhu udara juga mempengaruhi kualitas udara, karena perubahan suhu dapat mempengaruhi distribusi gas-gas di atmosfer. Kualitas udara yang buruk dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk polusi, perubahan iklim, dan aktivitas manusia. Di antara gas-gas berbahaya tersebut, karbon monoksida (CO) merupakan ancaman yang signifikan, sering kali disebabkan oleh kebocoran bahan bakar atau kesalahan manajemen pengendalian suhu di lingkungan tertutup.[1]

Gas karbon monoksida (CO) adalah contoh gas yang berbahaya dan dapat menyebabkan kematian jika tidak diatasi. CO tidak dapat dirasakan melalui indera penglihatan maupun penciuman, sehingga penting untuk memiliki alat yang dapat mendeteksi konsentrasi CO di atmosfer.

Untuk melacak dan memperoleh informasi secara langsung mengenai kadar gas karbon monoksida di atmosfer secara efektif, dimungkinkan melakukan monitoring secara terus-menerus. Monitoring dapat dilakukan dengan membangun perangkat yang terintegrasi dengan implementasi logika fuzzy Mamdani untuk menguji kualitas udara.

Dengan menggunakan sensor yang dapat mendeteksi konsentrasi gas-gas di atmosfer, sehingga data yang dikumpulkan dari sensor kemudian dapat dianalisis menggunakan logika fuzzy untuk menentukan kualitas udara.[2]

Logika fuzzy Mamdani adalah metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan kualitas udara. Metode ini melibatkan identifikasi nilai minimum untuk setiap aturan dan nilai maksimum untuk konsekuensi gabungan dari semua aturan. Fuzzy Mamdani memungkinkan analisis data yang lebih

akurat dan dapat membantu dalam mengambil keputusan yang lebih baik.[3]

Dengan menggabungkan logika fuzzy dan alat monitoring sebagai penentu kualitas udara, maka penelitian ini dengan judul **Implementasi Logika Fuzzy Untuk Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan** diharapkan dapat menjadi solusi dalam membantu meningkatkan kualitas udara dan mengurangi risiko kesehatan yang disebabkan oleh polusi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fuzzy Mamdani

Logika Fuzzy Mamdani adalah teknik penalaran fuzzy yang menarik kesimpulan dari data yang samar atau tidak pasti dengan menerapkan prinsip kebahasaan. Pengumpulan data, pembentukan himpunan fuzzy, pembentukan aturan fuzzy, evaluasi aturan fuzzy, dan defuzzifikasi merupakan lima langkah logika fuzzy Mamdani.[4]

Metode fuzzy Mamdani, yang digunakan dalam sistem inferensi fuzzy, memungkinkan pengambilan keputusan melalui pemanfaatan aturan linguistik yang berasal dari pengetahuan manusia. Metode ini terdiri dari beberapa tahapan berbeda, antara lain:[5]

- Pembuatan himpunan fuzzy melibatkan identifikasi variabel masukan dan keluaran, serta penetapan fungsi keanggotaan untuk setiap variabel.
- Penerapan fungsi implikasi melibatkan penghitungan nilai keluaran fuzzy untuk setiap aturan fuzzy, menggunakan metode implikasi seperti min atau hasil kali.
- Proses komposisi aturan melibatkan agregasi nilai keluaran fuzzy dari semua aturan fuzzy, dengan menggunakan metode seperti max atau sum.
- Metode defuzzifikasi, seperti pusat massa atau rata-rata maksimum, digunakan untuk mengubah nilai keluaran fuzzy menjadi nilai pasti.

Selain itu, pendekatan ini dapat digunakan secara efektif dalam aplikasi sistem pakar atau sistem pendukung keputusan yang mengandalkan keahlian manusia, termasuk diagnostik medis dan kendali otomatis.[1][6]

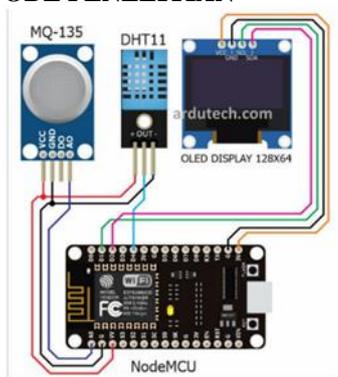
2.2. Matlab

Digunakan oleh banyak insinyur dan ilmuwan, Matlab adalah platform komputasi dan pemrograman numerik yang banyak digunakan untuk pemeriksaan data, perumusan algoritma, dan konstruksi model. Menawarkan lingkungan desktop yang ramah pengguna yang memfasilitasi analisis dan desain berulang, Matlab juga menawarkan kotak peralatan komprehensif yang dilengkapi dengan fungsi khusus yang disesuaikan dengan beragam domain aplikasi. Selain itu, aplikasi interaktif memungkinkan eksplorasi algoritme, sementara antarmuka bahasa eksternal memungkinkan integrasi tanpa batas dengan bahasa pemrograman lain. Selain itu, Matlab mendukung koneksi perangkat keras, komputasi paralel, serta penerapan web dan desktop. Dengan keserbagunaannya, Matlab dapat diterapkan di berbagai bidang termasuk kontrol sistem, pembelajaran mendalam, pemrosesan gambar, pembelajaran mesin, pemeliharaan prediktif, robotika, dan pemrosesan sinyal.[5]

2.3. Kualitas Udara

Untuk menilai kualitas udara, diperlukan indikator khusus yang dapat mengukur tingkat pencemaran udara. Parameter tersebut dapat diukur dengan menggunakan alat pemantau kualitas udara yang ditempatkan secara strategis di berbagai lokasi. Selain parameter konsentrasi, kualitas udara dapat ditunjukkan dengan memanfaatkan indeks yang menggabungkan beberapa parameter menjadi satu nilai. Dua indeks yang umum digunakan untuk tujuan ini adalah Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) dan Indeks Kualitas Udara (AQI).[7][4]

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Perangkat IoT

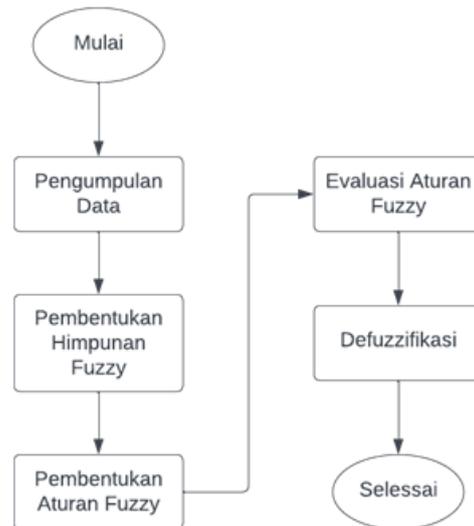
Metode pengujian secara langsung dengan menggunakan data kualitas udara yang diperoleh dari Peraturan Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi Republik Indonesia, Indeks Kualitas Udara. Data tersebut kemudian diolah dengan menggunakan logika

fuzzy Mamdani untuk menentukan kualitas udara dalam ruangan.

Penelitian ini menggunakan 4 (empat) input, sensor DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan pada ruangan, sedangkan sensor MQ-135 mengukur kadar karbon monoksida (CO) pada ruangan dan kualitas udara menurut AQI. Sebelum melakukan pengolahan data pada ESP8266, dilakukan terlebih dahulu pengujian menggunakan logika fuzzy pada aplikasi Matlab untuk menentukan logika yang diprogram pada perangkat. Data dari sensor kemudian diproses secara bersamaan, setelah diproses oleh ESP8266 data akan ditampilkan pada OLED LCD 128x64 melalui aplikasi Blynk.[8][9][10]

3.1. Alur Penelitian

Logika fuzzy Mamadani terdiri dari 5 (lima) tahapan, yaitu pengumpulan Data, Pembentukan Himpunan Fuzzy, Pembentukan Aturan Fuzzy, Evaluasi Aturan Fuzzy, dan Defuzzifikasi. Berikut adalah Langkah-langkah metodologi yang digunakan, yaitu:[4]



Gambar 2. Flowchart Penelitian

- a. Pengumpulan Data : data kadar karbon monoksida (CO), suhu, dan kelembapan. Data ini merupakan *input* untuk model fuzzy.
- b. Pembentukan Himpunan Fuzzy : setiap variabel *input* (kadar karbon monoksida (CO), suhu, dan kelembapan), himpunan fuzzy dibentuk berdasarkan kategori yang relevan.
- c. Pembentukan Aturan Fuzzy : aturan fuzzy dibuat berdasarkan pengetahuan ahli dan data yang ada.
- d. Evaluasi Aturan Fuzzy : setelah aturan fuzzy dibuat, system mengevaluasi aturan tersebut berdasarkan data *input*.
- e. Defuzzifikasi : *output fuzzy* diubah menjadi nilai tegas yang hasilnya adalah kualitas udara dalam ruangan.

Metode ini memberikan fleksibilitas dalam menangani berbagai kondisi dalam ruangan dan mudah diperbarui dengan data baru.

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan 2 cara yaitu observasi dan dokumen. Data kualitas udara yang digunakan diukur dalam bentuk Aman, Hati-Hati, dan Bahaya yang dicatat setiap hari. Data ini digunakan sebagai penguji kinerja logika fuzzy Mamdani yang dibangun dalam penelitian ini[11]. Satuan yang digunakan untuk pengukuran data ini adalah karbon monoksida (PPM), suhu (°C), dan kelembapan (%).

Perangkat IoT digunakan sebagai pengumpul data dan Matlab menggunakan data tersebut sebagai masukan untuk inferensi fuzzy (FIS). Tiap kesalahan pada aturan yang digunakan diperiksa menggunakan *output* dari FSZ matlab, sehingga didapatkan total 135 data.

Tujuan pengumpulan data ini adalah untuk mengumpulkan data yang secara akurat mewakili dan berkaitan dengan permasalahan yang diselidiki. Memperoleh data yang komprehensif dan andal akan meningkatkan presisi dan keandalan model logika fuzzy Mamdani dalam perannya menguji kualitas udara dalam ruangan. Selanjutnya, data ini akan digunakan untuk melakukan analisis statistik dan grafis, sehingga memungkinkan dilakukannya pemeriksaan korelasi antara variabel masukan dan keluaran.

3.3. Pembentukan Himpunan Fuzzy

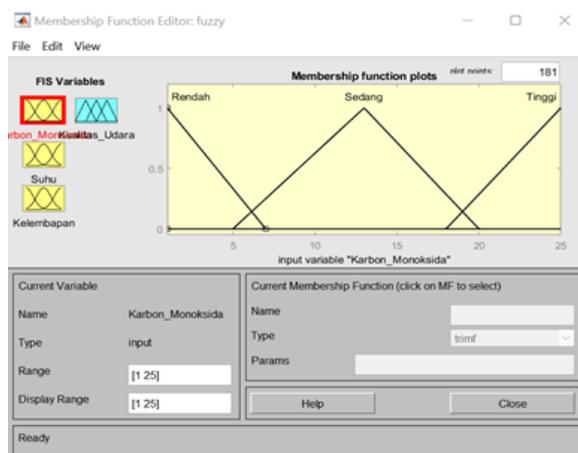
Pembentukan himpunan fuzzy adalah proses variabel input dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan nilai-nilai tertentu.

3.4. Himpunan Karbon Monoksida

Himpunan fuzzifikasi untuk variabel karbon monoksida adalah rendah, sedang, dan tinggi dengan rentang nilai PPM sebagai berikut.

Tabel 1. Himpunan Karbon Monoksida

Variabel	Himpunan Fuzzy	Rentang
Karbon Monoksida (PPM)	Rendah	[1, 1, 7]
	Sedang	[5, 13, 20]
	Tinggi	[18, 25, 25]



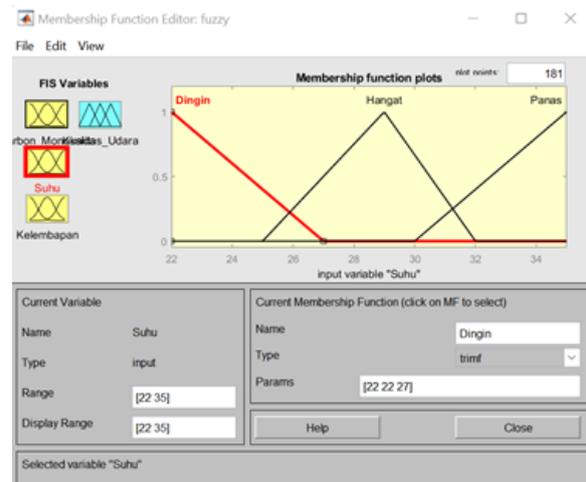
Gambar 3. Variabel Karbon Monoksida Matlab

3.5. Himpunan Suhu

Himpunan fuzzyfikasi untuk variabel suhu adalah dingin, hangat, dan panas dengan rentang nilai celcius (°C) sebagai berikut.

Tabel 2. Himpunan Suhu

Variabel	Himpunan Fuzzy	Rentang
Suhu (°C)	Dingin	[22, 22, 27]
	Hangat	[25, 29, 32]
	Panas	[30, 35, 35]



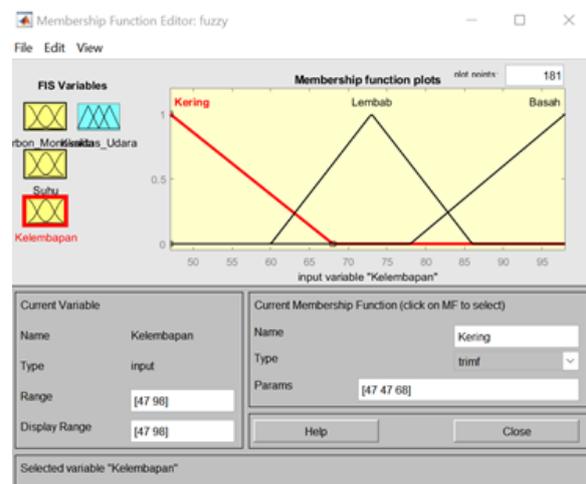
Gambar 4. Variabel Himpunan Suhu Matlab

3.6. Himpunan Kelembapan

Himpunan fuzzifikasi untuk variabel kelembapan adalah kering, lembab, dan basah dengan rentang nilai relative humidity (%) sebagai berikut.

Tabel 3. Himpunan Kelembapan

Variabel	Himpunan Fuzzy	Rentang
Kelembapan (%)	Kering	[47, 47, 68]
	Lembab	[69, 73, 86]
	Basah	[78, 98, 98]



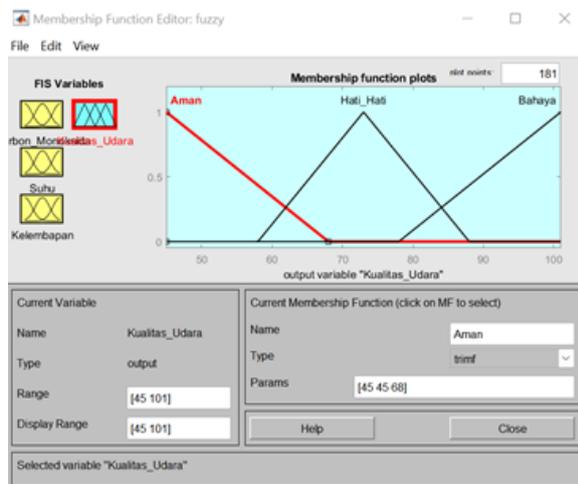
Gambar 5. Variabel Himpunan kelembapan Matlab

3.7. Himpunan Kualitas Udara

Himpunan fuzzifikasi untuk variabel kualitas udara adalah aman, hati-hati, dan bahaya dengan rentang nilai sebagai berikut.

Tabel 4. Himpunan Kualitas Udara

Variabel	Himpunan Fuzzy	Rentang
Kualitas Udara	Aman	[47, 47, 68]
	Hati-Hati	[69, 73, 86]
	Bahaya	[78, 101, 101]



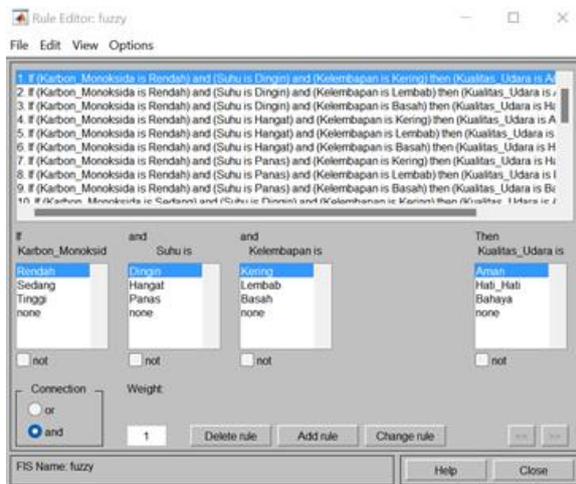
Gambar 6. Variabel Himpunan Kualitas Udara Matlab

3.8. Pembentukan Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy adalah bagian penting dari sistem logika fuzzy. Aturan-aturan ini dibuat berdasarkan pengetahuan ahli dan data yang ada. Dalam konteks penelitian ini, aturan fuzzy dibuat berdasarkan hubungan antara kadar karbon monoksida, suhu, dan kelembapan dengan kualitas udara pada ruangan.

Aturan fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- [Rule 1] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Aman
- [Rule 2] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Aman
- [Rule 3] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 4] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Aman
- [Rule 5] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Aman
- [Rule 6] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 7] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 8] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 9] JIKA Karbon Monoksida = Rendah DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 10] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Aman
- [Rule 11] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 12] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 13] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 14] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 15] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 16] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 17] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 18] JIKA Karbon Monoksida = Sedang DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 19] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Hati-Hati
- [Rule 20] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 21] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Dingin DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 22] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 23] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 24] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Hangat DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 25] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Kering MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 26] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Lembab MAKA Kualitas Udara = Bahaya
- [Rule 27] JIKA Karbon Monoksida = Tinggi DAN Suhu = Panas DAN Kelembapan = Basah MAKA Kualitas Udara = Bahaya



Gambar 7. Rule Matlab

Aturan-aturan ini digunakan dalam proses inferensi *fuzzy* untuk menghasilkan *output* berupa estimasi kualitas udara dalam ruangan. Proses ini melibatkan fuzzyfikasi data *input*, penerepan aturan *fuzzy*, dan agregasi *output*.

3.9. Evaluasi Aturan Fuzzy

Evaluasi aturan *fuzzy* adalah proses system mengevaluasi aturan *fuzzy* yang telah dibuat berdasarkan data input. Adapun Langkah-langkahnya sebagai berikut :

- Fuzzyfikasi Data Input : Kadar karbon monoksida, suhu, dan kelembapan sebagai data input diubah menjadi nilai *fuzzy* berdasarkan himpunan *fuzzy* yang telah dibentuk.
- Penerapan Aturan Fuzzy : Aturan fuzzy yang dibuat kemudian diterapkan pada data input yang telah difuzzyfikasi.
- Agregasi Output Fuzzy : Output dari setiap aturan fuzzy digabungkan agar menghasilkan output fuzzy secara keseluruhan.

Evaluasi aturan *fuzzy* sangat penting untuk memastikan bahwa aturan yang dibuat akurat dan menghasilkan keluaran yang konsisten dan relevan berdasarkan data masukan. Pada proses evaluasi ini dapat melakukan perubahan atau perbaikan pada aturan *fuzzy* jika diperlukan.

3.10. Defuzzyfikasi

Dalam konteks penelitian ini, output *fuzzy* adalah kualitas udara pada ruangan, dan proses defuzzyfikasi akan mengubah estimasi tersebut menjadi nilai konkret. Metode defuzzyfikasi centroid adalah metode yang dapat mengubah nilai fuzzy menjadi nilai tegas. Metode ini menggunakan rumus berikut:

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_A(z_i)z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_A(z_i)} \quad (1)$$

Di mana z^* adalah nilai tegas yang dihasilkan, $\mu_A(z_i)$ adalah nilai keanggotaan fuzzy dari himpunan fuzzy A pada titik z_i , dan n adalah jumlah titik yang dipertimbangkan. Untuk menerapkan metode ini pada

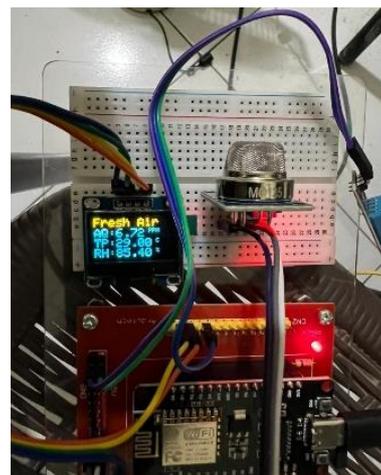
menentukan kualitas udara, Anda perlu melakukan langkah-langkah berikut:

- Tentukan nilai-nilai *input*, yaitu kadar karbon monoksida, suhu, dan kelembapan.
- Lakukan fuzzyfikasi, yaitu tentukan nilai keanggotaan fuzzy dari setiap *input* pada himpunan fuzzy yang telah ditentukan.
- Lakukan inferensi, yaitu gunakan aturan fuzzy yang telah ditentukan untuk menentukan nilai keanggotaan *fuzzy* dari *output*, yaitu kualitas udara, pada setiap himpunan *fuzzy* yang ada.
- Lakukan defuzzyfikasi, yaitu gunakan rumus centroid untuk menghitung nilai dari kualitas udara.

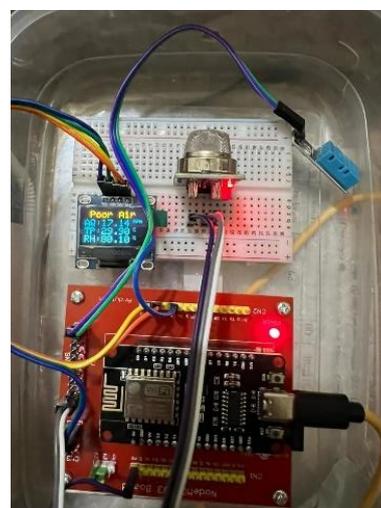
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

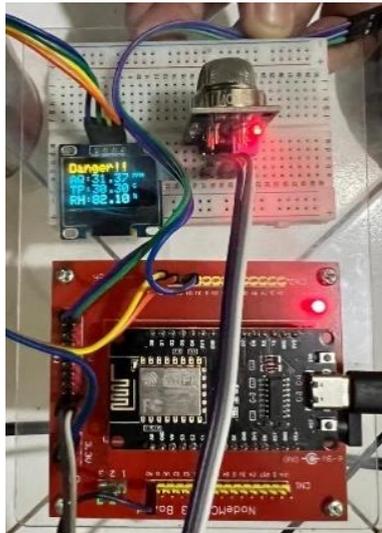
Pada penelitian ini metode logika *fuzzy* Mamdani yang digunakan untuk menguji kualitas udara. Terdapat 4 (empat) variable inputan yaitu, kadar karbon monoksida, suhu, dan kelembapan serta 1 (satu) variabel output yaitu, kualitas udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode logika *Fuzzy* Mamdani dapat menentukan kualitas udara pada ruangan.



Gambar 8. Tampilan Kualitas Udara Aman



Gambar 9. Tampilan Kualitas Udara Hati-Hati



Gambar 10. Tampilan Kualitas Udara Bahaya

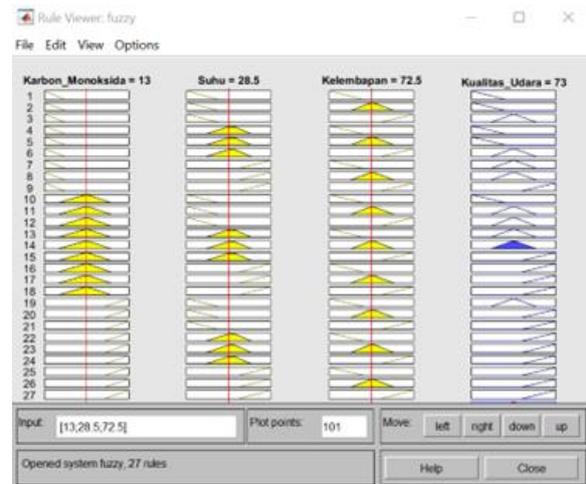
4.2. Pembahasan

Metode penelitian yang digunakan adalah observasi dan dokumen yang didapatkan dari indeks kualitas udara, nilai ambang batas PPM dan pengujian secara langsung pada alat. Kemudian data diolah dengan menggunakan logika fuzzy Mamdani untuk menentukan kualitas udara dalam ruangan. Penelitian ini menggunakan 4 (empat) input, Sensor DHT11 untuk kelembapan dan suhu, sensor MQ-135 untuk karbon monoksida (CO). Sensor DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan pada ruangan, sedangkan sensor MQ-135 mengukur kadar karbon monoksida (CO) pada ruangan.

Data indeks kualitas udara digunakan sebagai data menentukan rentang nilai variabel nilai himpunan. Dengan menghitung nilai keanggotaan fuzzy setiap variabel input dan output dengan fungsi keanggotaan trapezium. Penulis juga menghitung nilai output fuzzy setiap aturan dengan menggunakan MIN sebagai fungsi implikasi. Penulis menggunakan metode centroid sebagai metode defuzzifikasi untuk menghitung nilai output defuzzifikasi.[12]

Setelah data yang yang didapatkan, diolah, dan di seeuaiakan untuk program pada perangkat IoT. Sensor-sensor dihubungkan menggunakan kabel jumper dan breadboard untuk dihubungkan pada NODEMCU ESP8266. Pada tampilan OLED LCD 128x64 terdapat detail terkait dengan susunan kualitas udara, karbon monoksida, suhu, dan kelembapan.

Dapat dilihat pada gambar 8, 9, dan 10. Pada perangkat IoT, yang menggunakan ESP8266, Sensor DHT11, dan MQ-135 dapat berhasil dengan menggunakan fuzzy mamdani dan matlab sebagai pengolah datanya.



Gambar 11. Aturan Fuzzy Matlab

Dengan mencari persentase error yang digunakan untuk mengukur kesalahan prediksi dan mengukur tingkat keakurasian pengujian. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut :

$$Presentase\ Error = \frac{Nilai\ Defuzzyfikasi - Nilai\ Fuzzy}{Nilai\ Fuzzy} \times 100\% \quad (2)$$

Adapun nilai fuzzy dari hasil perhitungan, output kualitas udara, dan error pada setiap aturan fuzzy adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Tabel Hasil Penelitian Pengujian kualitas Udara

Rule Fuzzy	Nilai Prediksi		Kualitas Udara Dalam Ruangan Matlab					Error (%)
	Min	Max	1	2	3	4	5	
Rule 1	45	68	53,4	54,5	52,7	55	55,4	3,53 %
Rule 2	45	68	54,2	52,8	54,6	53,8	64,4	0,95%
Rule 3	58	88	58,5	52,8	54,6	73	65,7	7,82 %
Rule 4	45	68	55	53,9	54,6	54,3	64,4	0,10 %
Rule 5	45	68	53,2	53,8	54,6	55	64,4	0,53 %
Rule 6	58	88	58,5	53,8	70,6	64,5	78,9	10,60 %
Rule 7	58	88	73	63	73	53,8	78,9	6,38 %
Rule 8	58	88	73	63	73	58,5	78,9	5,09 %
Rule 9	78	101	75,5	53,3	78,7	77	74,6	19,75 %
Rule 10	45	68	54,4	55,4	66,5	55	53,8	0,92 %
Rule 11	58	88	73	73	73	73	73	0 %
Rule 12	58	88	81,5	79,5	92,2	92,6	81,5	17,06 %
Rule 13	58	88	66,7	66,5	78,5	54,2	66,5	8,93 %
Rule 14	58	88	80,9	75,5	74,2	78,5	87,2	8,57 %

Rule Fuzzy	Nilai Prediksi		Kualitas Udara Dalam Ruangan Matlab					Error (%)
	Min	Max	1	2	3	4	5	
Rule 15	78	101	75,5	87,2	73	81,5	75,5	12,24 %
Rule 16	78	101	91,8	93,5	73	78,5	92,6	4,04 %
Rule 17	78	101	92,7	93,2	93	91,8	92,5	3,50 %
Rule 18	78	101	92,7	93,2	92,7	91,8	75,5	0,35 %
Rule 19	58	88	65,8	73	77,9	54,8	81,5	3,28 %
Rule 20	78	101	91,2	92,5	92,7	91,9	92,6	2,99 %
Rule 21	78	101	91,8	91,2	80,2	91,8	93,4	0,20 %
Rule 22	78	101	91,2	92,1	81,5	91,2	91,9	0,08 %
Rule 23	78	101	91,9	93,3	91	92,2	92,8	3,06 %
Rule 24	78	101	92	91,3	91	92,2	91,2	2,63 %
Rule 25	78	101	91,2	92,5	93,4	92,8	91,9	3,19 %
Rule 26	78	101	93	92,5	93,3	91,8	92,6	3,50 %
Rule 27	78	101	92,5	93,2	93,5	91,2	91,4	3,19 %
Rata-Rata Error								5,31 %

Rata-rata error untuk seluruh aturan *fuzzy* adalah 5,31%, yang menunjukkan bahwa pengujian kualitas udara dengan menggunakan logika *fuzzy* Mamdani memiliki tingkat keakuratan yang cukup baik. Aturan *fuzzy* yang memiliki error terkecil adalah aturan *fuzzy* ke-11, yaitu jika karbon monoksida sedang, suhu dingin, dan kelembapan lembab, maka kualitas udara hati-hati. Error untuk aturan *fuzzy* ini adalah 0% yang berarti output defuzzifikasi sama dengan nilai kualitas udara. Aturan *fuzzy* yang memiliki error terbesar adalah aturan *fuzzy* ke-9, yaitu jika karbon monoksida rendah, suhu panas, dan kelembapan basah, maka kualitas udara bahaya. Error untuk aturan *fuzzy* ini adalah 19,75% yang berarti output defuzzifikasi lebih rendah dari nilai kualitas udara.[13]

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Logika Fuzzy Mamdani dapat digunakan sebagai Metode untuk monitoring kualitas udara dalam ruangan dengan hasil akurasi yang cukup baik, yaitu sebesar 94.69 %. Aturan *fuzzy* yang terakurat adalah aturan ke-11, yaitu karbon moksida sedang, suhu dingin, dan kelembapan basah. Dan yang paling tidak akurat adalah aturan ke-9, yaitu karbon monoksida rendah, suhu panas, dan kelembapan basah. Penelitian ini masih minim dalam hal menetapkan estimasi nilai, fungsi keanggotaan, dan aturan *fuzzy* yang lebih akurat dan relevan dengan kondisi sebenarnya di suatu ruangan. Penelitian ini juga dimungkinkan dengan menggunakan pendekatan logika *fuzzy* yang lain seperti Tsukamoto, untuk menilai efektivitas dan keakuratan metode Logika *fuzzy* yang digunakan. Penelitian ini juga dapat dilakukan dengan menggunakan data terkini mengenai kualitas udara dalam sebuah ruangan, serta variabel penting lainnya yang mempengaruhi hasil pada kualitas udara dalam suatu ruangan, seperti aliran udara dan polusi internal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] 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.

- [2] B. Dafa, M. Yulianto, A. Desy, N. Utomo, and A. Wijayanto, "LEDGER: Journal Informatic and Information Technology Perancangan Alat Monitoring Suhu dan Polusi Karbon Monoksida (Co) di Udara Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Open Access Ledger*, vol. 1, no. 4, pp. 194–206, 2022.
- [3] 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.
- [4] A. F. Choiri, E. Setyati, and F. H. Chandra, "Sistem IoT Berbasis Fuzzy Inference Engine Untuk Penilaian Kualitas Udara," *J. Teknol. Inf. dan Terap.*, vol. 9, no. 2, pp. 101–110, 2022, doi: 10.25047/jtit.v9i2.293.
- [5] N. Alifah, A. Susilo, and Y. Irawan, "Implementasi Sistem Pendeteksi Asap Kebakaran dengan Mikrokontroler Arduino Dengan Metode Fuzzy Mamdani," *J. Sains Komput. Inform. (J-SAKTI)*, vol. 7, no. 1, pp. 299–307, 2023.
- [6] A. Tenriawaru, R. A. Saputra, and M. Yusril, "Sistem Kendali Lampu Otomatis Multisensor Menggunakan Metode Fuzzy Logic Control Inferensi Sugeno Berbasis Mikrokontroler," *J. Eksplora Inform.*, vol. 13, no. 1, pp. 12–23, 2023, doi: 10.30864/eksplora.v13i1.812.
- [7] Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik, "Tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Kimiaa di Tempat Kerja," *Peratur. Menteri Tenaga Kerja dan Transm. Republik Indones. Nomor PER.13/MEN/X/2011*, pp. 1–40, 2011.
- [8] M. Mustafa, Supriadi, and M. Ainun, "Pengembangan Alat Monitoring Kadar Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis Internet Of Things," *Jetc*, vol. 15, no. 2, pp. 151–156, 2020.
- [9] I. Adam and S. W. Sidehabi, "Prototype Pendeteksi Dan Penyaring Polusi Karbon Monoksida Pada Asap Berbasis Mikrokontroler

- Arduino Uno (Studi Kasus Pada Pt. Industri Kapal Indonesia),” *Pros. Semin. Nas. Teknol. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 33–38, 2021.
- [10] N. W. Santoso *et al.*, “Rancang Bangun Monitoring Suhu , Kelembaban , Dan Ph,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 1, pp. 98–104, 2021.
- [11] S. Amalia, R. Andari, and R. Syukriansyah, “Studi Pemodelan Sistem Pengontrolan Suhu Ruang Berbasis Logika Fuzzy Sugeno,” *J. Sains dan Teknol. J. Keilmuan dan Apl. Teknol. Ind.*, vol. 20, no. 2, p. 175, 2020, doi: 10.36275/stsp.v20i2.287.
- [12] A. Anantama, A. Wantoro, I. Ahmad, A. S. Puspaningrum, L. P. Deviana, and M. B. Maharani, “Implementasi Metode Fuzzy Pada Sistem Sirkulasi Udara Berbasis Internet of Things,” *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 3, no. 2, pp. 56–66, 2023, doi: 10.33365/jtikom.v3i2.2346.
- [13] R. Pratama, M. Z. Siambaton, and T. Haramaini, “Implementasi Internet of Things pada Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Rak Server Berbasis Mikrokontroler,” *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 1, no. 4, pp. 145–153, 2022, doi: 10.56211/sudo.v1i4.129.