

OPTIMASI KIPAS EXHAUST BERBASIS FUZZY MAMDANI UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA RUANG SOLDERING

Hery Wibowo¹, Satriyo², Mariana Syamsudin³, Medi Yuwono Tharam⁴, Hasan⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Politeknik Negeri Pontianak

Jl. Jendral Ahmad Yani – Pontianak 78124, Kalimantan Barat

¹heriwibowo592@gmail.com, ²satriyo.rbg@gmail.com, ³marianasyamsudin14@gmail.com,
⁴mediyuwonotharam@polnep.ac.id, ⁵indraelka@yahoo.co.id

Abstract

Conventional exhaust fans that operate continuously at maximum power tend to cause electrical energy waste, especially in laboratory rooms with intermittent usage patterns. This study aims to develop an automatic control system based on the Fuzzy Mamdani method to optimize exhaust fan speed according to real-time air quality in a soldering room. The main contributions of this research include the implementation of three integrated sensors (MQ-9, GP2Y1010AU0F, and DHT22) with 27 fuzzy rules based on trapezoidal membership functions to achieve adaptive speed control using the Arduino Mega 2560 R3, along with load control via an AC dimmer. The centroid defuzzification method was validated, showing high accuracy with an average error of 0.9% between program outputs and manual calculations. Quantitative evidence of energy efficiency is demonstrated through a comparison between standby power consumption (0.037 Watts) and full operation (82.9 Watts), resulting in energy savings of approximately 60–65% compared to conventional systems operating constantly at 86.1 Watts without considering environmental conditions. Testing was conducted repeatedly using two sensor boxes on two workbenches in an active soldering laboratory at Politeknik Negeri Pontianak. The results indicate that the system effectively responds to air quality changes within ranges of 9–16 PPM for smoke, 115–138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for dust, and 28–29°C for temperature, in accordance with the standards set by Kementerian Kesehatan Republik Indonesia Regulation No. 1077/2011. The core of this research lies in the real-world implementation of a Mamdani fuzzy-based fan control system in a campus environment, providing practical benefits for maintaining user health. These findings offer a reference for adopting intelligent control systems in educational laboratories to enhance energy efficiency and comply with occupational health and safety standards.

Keywords: Arduino Mega 2560, Soldering Smoke, AC Dimmer, Energy Efficiency, Fuzzy Mamdani, Soldering Room

Abstrak

Kipas exhaust konvensional yang beroperasi konstan pada daya maksimal menyebabkan pemborosan energi listrik, terutama pada ruang praktikum dengan pola penggunaan intermiten. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol otomatis berbasis fuzzy Mamdani untuk mengoptimalkan kecepatan kipas exhaust berdasarkan kualitas udara real-time pada ruang soldering. Kontribusi utama penelitian ini meliputi, Implementasi tiga sensor terintegrasi (MQ-9, GP2Y1010AU0F, DHT22) dengan 27 aturan fuzzy berbasis fungsi keanggotaan trapesium untuk kontrol kecepatan adaptif menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 R3 serta kontrol beban menggunakan Dimmer AC. Validasi metode defuzzifikasi centroid yang menghasilkan akurasi tinggi dengan error rata-rata 0,9% antara output program dan perhitungan manual. Bukti kuantitatif efisiensi energi melalui perbandingan konsumsi daya standby (0,037 Watt) dengan operasional penuh (82,9 Watt), menghasilkan penghematan energi 60-65% dibandingkan sistem konvensional yang beroperasi konstan pada 86,1 Watt tanpa mempertimbangkan lingkungan sekitar. Pengujian dilakukan berulang pada dua box sensor pada 2 meja praktikum di ruang soldering aktif Laboratorium Elektronika Politeknik Negeri Pontianak. Hasil menunjukkan sistem mampu merespons perubahan kualitas udara dalam rentang asap 9-16 PPM, debu 115-138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan suhu 28-29°C sesuai standar Menkes RI No. 1077/2011. Inti penelitian terletak pada implementasi kontrol kipas dengan sistem fuzzy Mamdani skala nyata di lingkungan kampus, sehingga penerapan ini bermanfaat bagi pengguna ruangan dalam mengatasi masalah kesehatan. Temuan ini memberikan contoh untuk adopsi

sistem kontrol cerdas di laboratorium pendidikan sebagai upaya efisiensi energi dan pemenuhan standar K3.

Kata kunci: Arduino Mega 2560, Asap solder, Dimmer AC, Efisiensi Energi, Fuzzy Mamdani, Ruang Soldering

1. PENDAHULUAN

Udara merupakan hal yang tidak bisa terlepas oleh makhluk hidup, keberadaannya sangat penting dalam kehidupan dan keberadaan benda lainnya [1]. Maka dari itu udara harus dijaga kualitasnya agar tidak terkontaminasi dengan material atau zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia [2]. Kualitas udara dalam ruangan sangat penting untuk dijaga karena dapat berdampak pada kenyamanan lingkungan dan kesehatan penghuninya [3]. Namun kualitas udara yang di hirup belum diketahui layak atau tidaknya, hal ini dapat mempengaruhi kesehatan maupun aktivitas manusia. Seseorang dapat merasa nyaman di suatu lingkungan jika udara sekitar bersih dari polusi, sebaliknya, jika udara tersebut kotor akibat pencemaran yang berasal dari minimnya sirkulasi maupun asap hasil pembakaran solder maka aktivitas yang dilakukan bisa terhambat bahkan dapat mengancam kesehatan.

Asap hasil pelelehan solder sering kali diabaikan oleh pengguna, jika di tinjau kandungan yang terdapat pada proses soldering memiliki kandungan timah sebanyak 60% dan timbal sebanyak 40% [4]. Paparan dalam jangka panjang dapat menyebabkan keracunan zat timbal, efek samping menghirup kadar timbal yaitu, perut terasa tidak nyaman, sembelit, dan diare [5]. Masalah ini perlu di atasi terutama di lingkungan kampus dalam upaya memenuhi standar Kesehatan Keselamatan Kerja (K3) dalam upaya menyediakan lingkungan yang sehat dan aman bagi mahasiswa maupun dosen/tenaga pengajar.

Merujuk pada peraturan yang ditetapkan oleh Menteri Kesehatan menyatakan bahwa ruangan tertutup harus memiliki pertukaran udara [6]. Maka dari itu agar udara dapat bertukar dengan udara segar pada ruang tertutup dapat memasang kipas pembuangan yang dapat menghisap udara kotor hasil dari aktivitas solder menuju keluar ruangan.

Dari penelitian sebelumnya terdapat kekurangan dalam membuat sistem kontrol kipas *exhaust*, diantaranya memanfaatkan teknologi Internet of Things digunakan untuk filter udara [7], asap solder disedot dan disaring dengan kecepatan kipas statis dalam skala kecil sehingga belum mempresentasikan keadaan

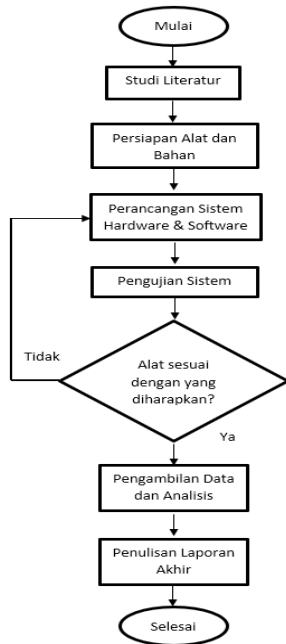
skala luas. selain itu, terdapat juga penelitian yang menerapkan metode Fuzzy Mamdani untuk mengendalikan suhu kandang ayam broiler secara otomatis [8], fokus penelitian ini berupa perhitungan dan analisis sehingga belum ada validasi terhadap sistem dalam menjaga kualitas udara secara langsung pada kondisi nyata lapangan. Namun pemanfaatan metode fuzzy dalam mengontrol kecepatan putar kipas *exhaust* pada ruangan nyata yang digunakan oleh mahasiswa dalam melakukan praktikum mata kuliah di lingkungan kampus Politeknik Negeri Pontianak masih terbatas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memasang kontrol kipas *exhaust* dengan menggunakan metode fuzzy Mamdani pada ruang soldering dengan menggunakan Arduino mega 2560 sebagai kontrol utama, Sensor GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi partikel kecil di udara, sensor MQ-9 untuk membaca kadar asap hasil pelelehan timah solder dan sensor DHT-22 untuk membaca suhu ruangan.

Dari sensor tersebut diterapkan ke metode fuzzy untuk kontrol kecepatan kipas *exhaust* yang mampu *merespons* secara *real-time* terhadap kondisi nyata yang digunakan oleh mahasiswa untuk melakukan praktikum menyolder, yang dimana sebelumnya kipas tersebut masih bekerja dengan sistem manual tanpa ada sistem kontrol sehingga penggunaan daya listrik terbuang sia-sia, alat ini memiliki keuntungan seperti kipas berputar berdasarkan banyaknya asap yang terdeteksi, semakin banyak partikel asap solder yang dideteksi maka kipas akan berputar cepat dan kipas akan berhenti saat tidak terdeteksi asap. diharapkan sistem ini dapat menjadi contoh dalam menyediakan udara yang ter-sirkulasi di lingkungan kampus, khususnya pada ruang Solder & Desoldering di Laboratorium Elektronika, Politeknik Negeri Pontianak.

2. METODOLOGI PENELITIAN

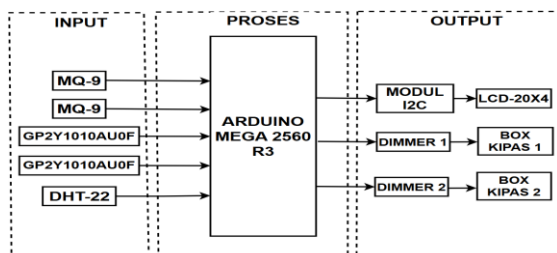
2.1 Skema Alur Penelitian



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian

Alur Penelitian dijalankan sesuai dengan langkah-langkah pada flowchart penelitian yang telah dibuat pada gambar 1. Langkah pertama dalam melakukan penelitian ini adalah dengan mengetahui permasalahan pada ruangan Solder & Desoldering yaitu tidak adanya fasilitas memadai untuk membuang asap hasil dari kegiatan menyolder ke luar ruangan, selain itu dilakukan studi literatur untuk menambah pengetahuan peneliti guna mengatasi permasalahan tersebut. Langkah selanjutnya mempersiapkan alat dan bahan guna menunjang proses perancangan sistem. Setelah melakukan perancangan maka dilakukan pengujian sistem dan pengambilan data yang didapat. Hasil yang didapat akan ditulis untuk memperoleh analisa dan kesimpulan serta saran atas penelitian yang dilakukan.

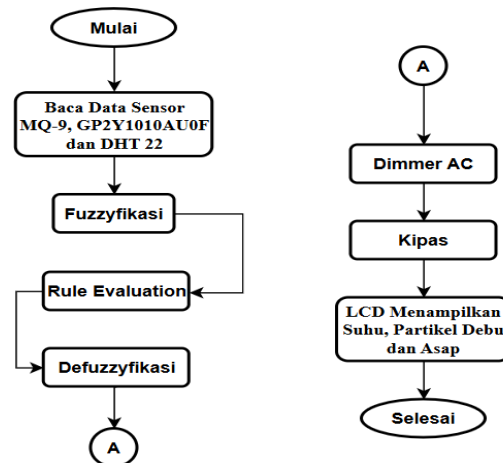
Berikut ini adalah diagram blok sistem yang digunakan untuk menyelesaikan proyek akhir, yaitu:



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Pada gambar 2 merupakan diagram blok sistem yang menjelaskan alur kerja sistem dimulai dari *input*, proses dan *output*. Pada tahap pertama *input* meliputi sensor MQ-9 sebagai pembaca kadar asap hasil pelelehan timah solder, sensor Gp2y2020au0f digunakan sebagai pengukur tingkat polutan debu halus (PM 10) dalam ruangan dan DHT 22 sebagai pembaca suhu ruangan. Pada proses menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 R3 sebagai otak dalam mengolah data dan mengambil keputusan dalam menggunakan metode fuzzy, serta terakhir bagian output meliputi LCD 20x4 yang digunakan sebagai tampilan pembacaan sensor asap, partikel asap dan suhu secara real-time serta dimmer digunakan untuk mengatur besaran tegangan AC yang dialirkan ke kipas melalui nilai PWM sebagai kontrol. Terakhir kipas digunakan untuk menyedot asap yang dihasilkan dari proses solder.

Berikut ini adalah *flowchart* yang menjelaskan tahapan proses secara terperinci mengenai gambaran lebih jelas alur kerja sistem :



Gambar 3. Flowchart Sistem

Pada gambar 3 merupakan diagram alir kerja keseluruhan sistem, proses dimulai dengan data sensor MQ-9, gp2y1010au0f dan DHT 22, selanjutnya data sensor akan masuk ke metode fuzzy dengan 3 langkah yaitu fuzzyfikasi mengubah nilai input sensor menjadi nilai keanggotaan, dilanjutkan dengan rule evaluation menentukan respon sistem berbentuk IF-THEN dan diakhiri dengan menghasilkan output sebagai kendali beban.

2.2 Metode Mamdani

Sebagai penentu dalam mengatur kecepatan kipas *exhaust*, metode Mamdani digunakan untuk menggambarkan hubungan antara parameter yang relevan dengan kualitas udara

[9]. Seperti data suhu dan partikel asap yang dapat di klasifikasi dalam tingkat polusi untuk menentukan fungsi keanggotaan pada setiap parameter dalam mengatur kecepatan kipas, karena menghasilkan *output* dalam bentuk linguistik seperti pelan, sedang dan cepat sesuai dengan kondisi sekitar serta dapat beradaptasi dengan ketidakpastian data sensor dengan pendekatan aturan fuzzy (*rule base*) dibuat dengan menghubungkan nilai input ke aturan fuzzy yang telah dirancang sebelumnya.

Dengan menggunakan metode mamdani, keputusan yang dihasilkan akan lebih fleksibel dalam pengaturan kecepatan kipas, karena menggunakan pendekatan yang dapat disesuaikan dengan tingkat polutan yang dihasilkan, Dibanding dengan alat sebelumnya yang tidak bisa menyesuaikan kecepatan kipas dengan lingkungan sekitar.

Peneliti menggunakan metode tersebut dan mengkaji hasilnya dalam menilai keakuratan dan efektifitas metode terhadap penggunaan daya listrik yang digunakan. Adapun penjelasan secara rinci tahapan metode Mamdani sebagai berikut, yaitu:

Fuzzifikasi Mengubah nilai numerik dari sensor menjadi nilai linguistik, untuk merepresentasikan konsep yang sulit diukur atau didefinisikan dengan tepat, memungkinkan adanya derajat keanggotaan dalam himpunan fuzzy [10], (misalnya, "rendah," "sedang," "tinggi"), nilai tersebut diambil dari ambang batas yang ditetapkan oleh menteri kesehatan seperti pada tabel dibawah.

TABEL I. PERSYARATAN KUALITAS UDARA DALAM RUMAH/BANGUNAN

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan
1.	Suhu	°C	18 - 30
2.	PM _{2,5}	µg/m ³	35 dalam 24 jam
3.	PM ₁₀	µg/m ³	70 dalam 24 jam
4.	Carbon monoksida (CO)	PPM	9,00 dalam 8 jam

Sumber: MenKes RI Nomor 1077/Menkes/Per/V/2011

Pada tabel 1 terdapat nilai kadar yang dipersyaratkan untuk diubah menjadi fungsi keanggotaan, fungsi keanggotaan trapesium untuk merepresentasikan himpunan fuzzy. Fungsi ini menggambarkan derajat keanggotaan suatu nilai dalam sebuah himpunan fuzzy dengan menggunakan bentuk geometris berupa trapesium.

$$\mu [x] \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} ; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} ; & x \geq d \end{cases}$$

Keterangan :

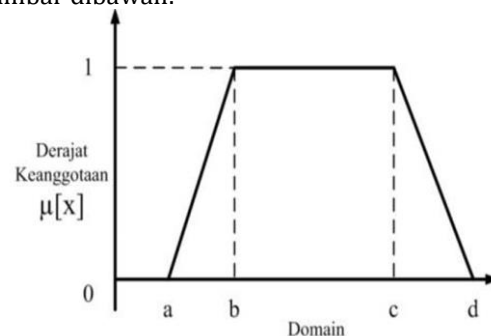
a : Batas bawah awal, di mana derajat keanggotaan mulai naik dari 0.

b : Batas atas awal, di mana derajat keanggotaan mencapai 1.

c : Batas bawah akhir, di mana derajat keanggotaan tetap 1.

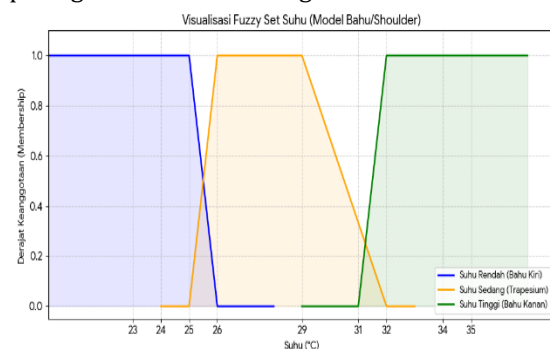
d : Batas atas akhir, di mana derajat keanggotaan mulai turun kembali ke 0.

Fungsi keanggotaan trapesium pada kontrol kecepatan kipas cocok digunakan untuk merepresentasikan linguistik seperti "rendah," "sedang," dan "tinggi" dengan rentan nilai yang jelas maka sistem dapat mengambil keputusan berdasarkan respon sensor terhadap input yang berpengaruh pada kecepatan kipas. Menentukan koordinat x dari 3 sudut fungsi keanggotaan trapesium dapat digambarkan seperti pada gambar dibawah:

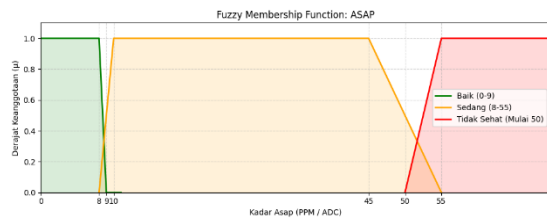


Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Trapesium

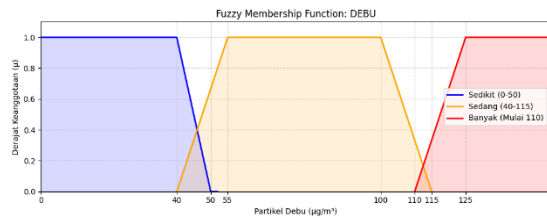
Dari grafik trapesium tersebut dapat digambarkan fungsi keanggotaan variabel suhu, asap, debu dan output PWM yang digambarkan pada grafik dibawah sebagai berikut:



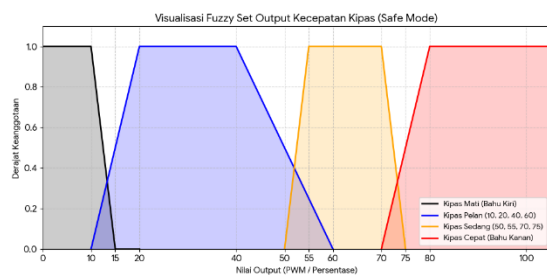
Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Suhu (C°)



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Asap (PPM)



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Debu (µg/m³)



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Output Kipas Exhaust (PWM)

selanjutnya *Rule Evaluation* (Aturan fuzzy) yaitu menyusun baris aturan yang menyatakan relasi antara variabel input dengan variabel output. implikasi yang digunakan adalah Min [11]. untuk menghubungkan *input* kadar asap, PM2.5, suhu dengan *output* linguistik, seperti yang dijelaskan pada tabel 2, sebagai berikut:

TABEL II. RULE EVALUATION

ASAP(PPM)	DEBU(µg/m³)	SUHU(C°)	KECEPATAN KIPAS(PWM)
	SEDIKIT	DINGIN	PELAN
		SEDANG	PELAN
		PANAS	SEDANG
BAIK	SEDANG	DINGIN	PELAN
		SEDANG	SEDANG
		PANAS	CEPAT
	BANYAK	DINGIN	SEDANG
		SEDANG	CEPAT
		PANAS	CEPAT
SEDIKIT	SEDANG	DINGIN	PELAN
		SEDANG	SEDANG
		PANAS	CEPAT
SEDANG	SEDANG	DINGIN	SEDANG
		SEDANG	SEDANG
		PANAS	CEPAT
	BANYAK	DINGIN	CEPAT
		SEDANG	CEPAT
		PANAS	CEPAT
SEDIKIT	SEDANG	DINGIN	SEDANG
		SEDANG	CEPAT
		PANAS	CEPAT
TIDAK SEHAT	SEDANG	DINGIN	CEPAT
		SEDANG	CEPAT
		PANAS	CEPAT
	BANYAK	DINGIN	CEPAT
		SEDANG	CEPAT
		PANAS	CEPAT

Defuzzifikasi proses perubahan bilangan fuzzy hasil dari sistem inferensi fuzzy ke dalam bilangan tegas [12]. Disebut juga tahap terakhir dalam metode fuzzy dengan mengonversi hasil fuzzy logic (output linguistik seperti "pelan," "sedang," "cepat") menjadi nilai numerik yang dapat digunakan untuk mengontrol dimmer AC berupa nilai PWM. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan kecepatan kipas berdasarkan banyaknya partikel asap yang dibaca oleh sensor yang diolah fuzzy Mamdani. Adapun perhitungan fuzzy out (Z) Yang ditunjukkan pada persamaan [2].

$$Z^* = \frac{\int_Z Z \mu(z) dz}{\int_Z \mu(z) dz} \quad [2]$$

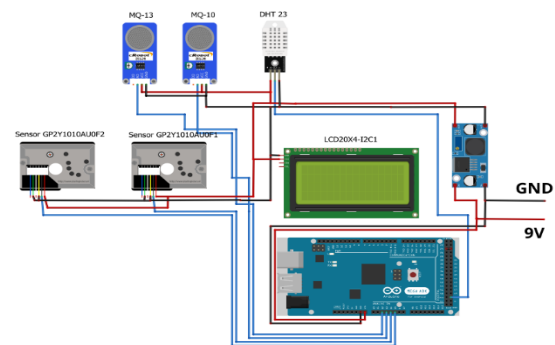
Analisa terhadap hasil dari metode mamdani dilakukan pencarian selisih error% antara hasil perhitungan dengan sistem yang dibuat untuk mengetahui selisih kesalahan ditunjukkan pada persamaan [2].

$$Error (\%) = \frac{FZpe - FZpr}{FZpe} \times 100\% \quad [3]$$

Dari dimmer AC akan dihubungkan ke kipas sebagai aktuator dalam membuang kadar polutan yang terbaca oleh sensor, Data dari sensor (suhu, partikel debu, dan kadar asap) ditampilkan pada LCD untuk memberikan informasi kondisi ruangan secara real-time.

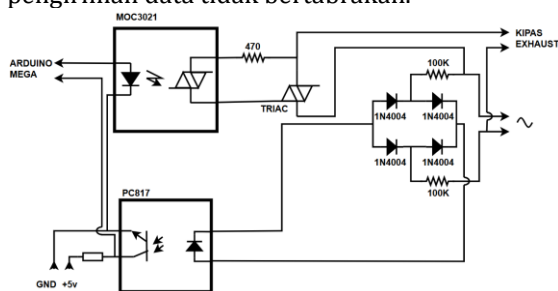
Untuk mengaktifkan rangkaian yang di buat maka dibutuhkan perancangan *wiring diagram*, *Wiring* merupakan penjelasan hubungan antara komponen yang digunakan seperti kabel, modul, sensor, dan mikrokontroler agar memudahkan pembaca dalam memahami koneksi yang terhubung, *wiring* juga berguna sebagai denah atau jalur untuk menghidupkan komponen yang digunakan saat diberi tegangan dan menjadi patokan saat proses pemasangan alat.

2.3 Rancangan Hardware



Gambar 9. Wiring Sistem

Pada gambar 8 merupakan rangkaian yang menghubungkan antara 3 jenis sensor berfungsi menjadi nilai numerik yang digunakan pada bagian fuzzifikasi yaitu bagian dari tahap awal metode fuzzy, sensor tersebut meliputi MQ-9 yang terhubung ke pin analog A0 dan A1 mengirim data pembacaan kadar asap. Adapun koneksi sensor Gp2y1010au0f yang terhubung ke pin A4 dan A5 untuk mengirim data pembacaan kadar partikel debu, dan DHT 22 yang terhubung ke pin digital D51 untuk mengirim pembacaan suhu. Adapun koneksi antara LCD dengan Arduino Mega2560 pada pin SDA yang berfungsi sebagai jalur data yang diolah oleh Arduino untuk ditampilkan pada LCD dan SCL yang berfungsi mengatur waktu agar pengiriman data tidak bertabrakan.



Gambar 10. Rangkaian Dimmer AC

Pada gambar 9 merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengatur kecepatan putar kipas. Yaitu rangkaian dimmer yang digunakan untuk penghematan energi, meteran listrik pada rumah menghitung arus yang dikonsumsi untuk setiap setengah gelombang (fase) gelombang sinus AC. Oleh karena itu, peredup yang mengontrol arus dalam fase dapat sepenuhnya mengontrol konsumsi daya, tidak seperti relay yang tidak dapat mengelola beban pada kecepatan yang tinggi [13]. Mengendalikan beban melalui optocoupler dan triac, Arduino mengirim sinyal ke optocoupler berupa nilai PWM dan diteruskan ke opto-triac sehingga memicu triac utama. Ketika opto-triac aktif, triac menghantarkan tegangan listrik sehingga beban AC menyala, dalam rangkaian tersebut opto-triac diaktifkan oleh Arduino dengan waktu cepat sehingga bisa mengatur jumlah sinyal AC yang diolah dan dapat diatur kapan waktu mati dan nyala.

2.4 Sumber Data

Sumber data yang menjadi fokus dari penelitian ini meliputi 2 bagian yaitu sebagai berikut:

1. Data primer merupakan hasil pemantauan langsung terhadap metode fuzzy terhadap aksi dari aktuator berupa kipas *exhaust* yang dirancang dan diuji oleh peneliti untuk

mendapatkan informasi faktual dan konseptual dari lapangan [14].

2. Data sekunder merupakan data yang membantu memperkuat dasar teori dalam penelitian [15]. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur, publikasi ilmiah, laporan resmi, atau sumber lainnya yang terpercaya dan dapat di per-tanggung jawabkan.

2.5 Pengumpulan Data

Data kontrol exhaust fan menggunakan metode :

1. Observasi dilakukan dengan mengamati secara langsung proses kerja dari sistem kontrol kipas *exhaust* selama implementasi dan pengujian, mencatat respon data sensor terhadap kecepatan kipas yang ditampilkan pada LCD, membantu peneliti dalam memahami proses kerja dari sistem yang dibuat [16].
2. Studi dokumentasi dilakukan untuk memperoleh datasheet modul Arduino mega2560, sensor MQ-9, DHT 22, dan Gp2y1010au0f serta kode program yang digunakan untuk data primer dan memperkuat analisa penelitian dengan data sumber yang terpercaya dan aktual [17].

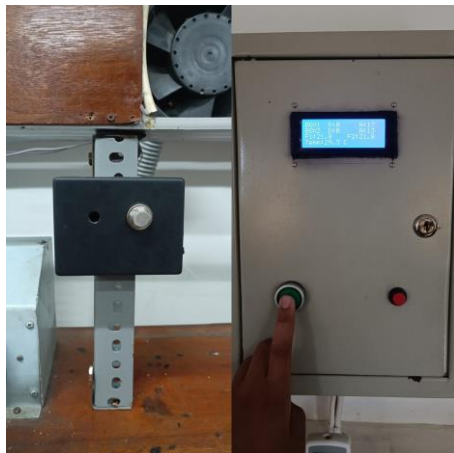
2.6 Analisa Data

Analisa data dalam penelitian ini menggunakan metode kualitatif, yaitu dengan mendeskripsikan hasil percobaan sistem kontrol kipas *exhaust* berdasarkan hasil observasi secara langsung dan selama proses dilakukan pengujian fungsional selama implementasi dilakukan. Adapun analisa yang mencakup 3 bagian yaitu sebagai berikut:

1. Kinerja perangkat keras seperti respon kecepatan putar kipas *exhaust* terhadap metode fuzzy mamdani yang digunakan dengan membandingkan nilai fuzzy out program dengan perhitungan manual.
2. Efisiensi energi dianalisa dengan membandingkan konsumsi daya sistem kontrol pada kondisi *standby* dan beroperasi saat ada *trigger* berupa asap.
3. Responsivitas sistem diukur dari kemampuan sensor mendeteksi perubahan kondisi dan kecepatan sistem *merespons* dengan jarak efektif dari sumber asap.

3. HASIL DAN PEMAHASAN

Berikut merupakan hasil implementasi kontrol kipas *exhaust* yang terpasang pada ruang praktek soldering.



Gambar 11. Hasil Implementasi

Hasil implementasi merupakan bentuk dari design yang telah dilakukan perakitan dan pemasangan dengan menyesuaikan perancangan elektronik dan *prototype*. Seperti pada gambar 10 merupakan bentuk dari box panel yang memuat sistem kontrol berupa Arduino mega 2560, *Power supply*, LCD, dan tombol untuk mengaktifkan sistem, serta bentuk dari box sensor yang diletakkan pada bagian terdekat sumber asap solder.

3.1. Pengujian Pada Box Sensor 1 Terhadap Box Kipas 1



Gambar 12. Pengujian Box Sensor dan Kipas 1

Pada gambar 13 merupakan percobaan pada box kipas 1 dengan melakukan uji coba menyolder, jumlah subjek dalam menyolder yaitu 2 orang ditentukan dengan jumlah ragam (tempat menyepit objek solder) yaitu 2 buah. Jarak solder dengan sensor haruslah dekat sekitar 50 cm agar sensor bisa membaca asap. adapun tabel hasil pengukuran tegangan, arus dan pembacaan sensor di setiap percobaan 1-5 pada tabel dibawah sebagai berikut:

TABEL III. KONDISI SAAT TERDETEKSI ASAP

Kondisi Ada Asap		Asap		
------------------	--	------	--	--

Percobaan	Tegangan (VAC)	Arus (mA)	Debu (ug/m ³)	(PP M)	Suhu (°C)	Fuzzy out
1.	221	443	138	11	28,7	80,1
2.	222	453	118	10	29,7	80,5
3.	223	446	122	11	29,3	80,4
4.	223	453	132	11	29,3	80,4
5.	223	450	121	11	29,3	80,4

TABEL IV. KONDISI SAAT TIDAK ADA ASAP

Percobaan	Kondisi tidak ada asap		Debu (ug/m ³)	Asap (PP M)	Suhu (°C)	Fuzzy out
	Tegangan (VAC)	Arus (mA)				
1.	2,4	12	11	10	28,8	7,5
2.	3,87	18	1	10	29,2	18,3
3.	0	0	0	11	29,3	21,8
4.	4,71	21	8	10	29,3	21,8
5.	1,41	9	6	10	29,3	21,8

Pada tabel 3 dan 4 merupakan kondisi box sensor 1 tidak terkena asap dan terkena asap. Pada kondisi sensor terkena asap fuzzy out menghasilkan nilai dengan selisih antara 80,1 – 80,5 dalam 5 kali percobaan menandakan penerapan metode mamdani berjalan baik ditunjukkan dengan tegangan dan arus yang mengalir pada kipas secara maksimal, serta pada kondisi tidak ada asap fuzzy out menghasilkan nilai 7,5 – 21,8 menandakan sistem bekerja sesuai dengan aturan fuzzy yang telah dirancang yaitu kipas akan mati saat tidak ada asap ditunjukkan dengan penggunaan tegangan dan arus yang kecil.

Terdapat data tegangan dan arus hasil pengukuran pada kipas *exhaust* dalam 5 kali percobaan, untuk mengetahui penggunaan daya pada masing-masing percobaan maka dapat dihitung menggunakan persamaan [4].

$$P = V \times I \times \cos\phi \quad [4]$$

Dimana P = penggunaan daya kipas dalam Watt, V = tegangan keluaran kipas *exhaust*, I = arus yang mengalir pada kipas *exhaust*, dan $\cos\phi$ = faktor daya pada beban induktif. Sehingga mendapatkan hasil seperti pada tabel dibawah sebagai berikut:

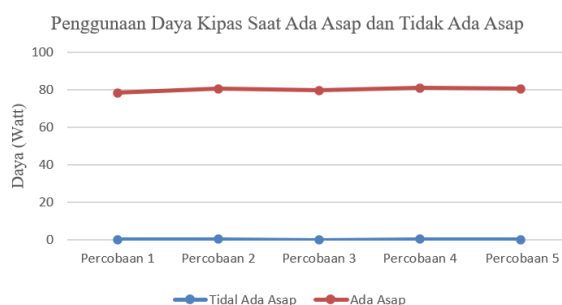
TABEL V. KONSUMSI DAYA PADA 5 KALI PERCOBAAN

No.	Kondisi Kipas Saat Tidak Ada Asap			Kondisi Kipas Saat Ada Asap		
	Tegangan (VAC)	Arus (mA)	Daya (Watt)	Tegangan (VAC)	Arus (mA)	Daya (Watt)
1.	2,4	12	0,02	221	443	78,32
2.	3,87	18	0,06	222	453	80,45
3.	0	0	0	223	446	79,57
4.	4,71	21	0,08	223	453	80,82

5.	1,41	9	0,01	223	450	80,28
Rat a- rata	2,48V	12m A	0,034 W	222,4V	449 mA	79,89 W

Tabel 5 merupakan hasil pengukuran tegangan dan arus kondisi kipas saat tidak ada asap dan kipas saat ada asap pada box kipas 1. Kondisi kipas tidak ada asap merupakan kondisi dimana kondisi sensor tidak mendapat *trigger* asap menyebabkan kipas tidak menyala dibuktikan dengan hasil pengukuran tegangan dan arus yang kecil (bahkan hampir tidak ada) sehingga dihitung juga daya yang digunakan mendapat nilai dibawah 1 watt, sedangkan pada kondisi kipas saat ada asap merupakan kondisi dimana sensor membaca partikel asap hasil dari aktivitas menyolder menyebabkan kipas berputar tergantung dengan seberapa banyak partikel asap yang dibaca serta pengaruh sensor lain dalam mengambil keputusan logika fuzzy. Kondisi diatas tegangan dan arus yang mengalir pada kipas merupakan nilai mendekati maksimal, dibuktikan dengan daya yang dihitung mendekati nilai kipas menyala secara konstan.

Adapun bentuk grafik dari perbandingan kondisi penggunaan daya kipas saat ada asap dan tidak ada asap dalam 5 kali percobaan sebagai berikut:



Gambar 13. Grafik Daya Box Kipas 1

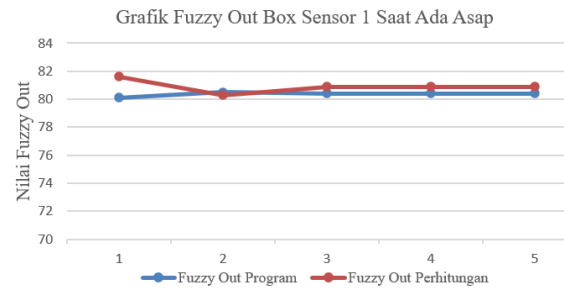
Adapun Perbandingan Fuzzy Out kondisi terdeteksi asap dengan seperti pada tabel dibawah sebagai berikut:

TABEL VI. PERBANDINGAN FUZZY OUT SAAT ADA ASAP

No.	Fuzzy Out Program	Fuzzy Out Perhitungan	Error %
1.	80,1	81,6	1,74
2.	80,5	80,3	0,24
3.	80,4	80,9	0,62
4.	80,4	80,9	0,62
5.	80,4	80,9	0,62
Error Rata-rata			0,77

Tabel 6 menunjukkan hasil *error* rata-rata fuzzy out antara sistem dengan perhitungan pada percobaan 1-5 mendapat *error* dengan rata-rata 0,77 %. Ini menunjukkan bahwa metode mamdani

konsisten dalam mengontrol kecepatan kipas berdasarkan input fuzzyfikasi pembacaan sensor.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Fuzzy Out Saat Ada Asap

3.2. Pengujian Pada Box Sensor 2 Terhadap Box Kipas 2



Gambar 15. Pengujian Box Sensor dan Kipas 1

Pada gambar 16 merupakan percobaan pada box kipas 1 dengan melakukan uji coba menyolder. Adapun tabel hasil pengukuran tegangan, arus dan pembacaan sensor di setiap percobaan 1-5 pada tabel dibawah sebagai berikut:

TABEL VII. KONDISI SAAT TERDETEKSI ASAP

Percobaan	Kondisi Ada Asap		Debu (ug/m ³)	Asap (PPM)	Suhu (°C)	Fuzzy out
	Tegangan (VAC)	Arus (mA)				
1.	226	474	115	9	28,6	80,2
2.	229	476	137	13	28,8	80,2
3.	228	471	132	12	28,8	80,6
4.	228	469	124	12	29,0	80,6
5.	228	470	120	11	29,0	80,6

TABEL VIII. KONDISI SAAT TIDAK ADA ASAP

Percobaan	Kondisi Ada Tidak Asap		Debu (ug/m ³)	Asap (PPM)	Suhu (°C)	Fuzzy out
	Tegangan (VAC)	Arus (mA)				
1.	1,58	10	0	11	28,8	7,5
2.	4,71	21	13	11	28,8	7,5
3.	2,79	15	9	10	28,8	7,5
4.	3,16	17	8	10	28,9	7,5

5.	1,98	11	8	10	28,9	7,5
----	------	----	---	----	------	-----

Pada tabel 7 dan 8 merupakan kondisi box sensor 1 tidak terkena asap dan terkena asap. Pada kondisi sensor terkena asap fuzzy out menghasilkan nilai dengan selisih antara 80,2 – 80,6 dalam 5 kali percobaan menandakan penerapan metode mamdani tetap berjalan baik ditunjukkan dengan tegangan dan arus yang mengalir pada kipas stabil, serta pada kondisi tidak ada asap fuzzy out menghasilkan nilai tetap berada pada nilai 7,5 menandakan sistem bekerja sesuai dengan aturan fuzzy yang telah dirancang yaitu kipas akan mati saat tidak ada asap ditunjukkan dengan penggunaan tegangan dan arus yang kecil.

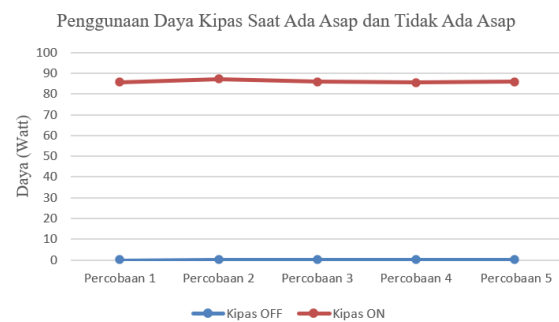
Terdapat data tegangan dan arus hasil pengukuran pada kipas *exhaust* dalam 5 kali percobaan sebagai berikut:

TABEL IX. KONSUMSI DAYA PADA 5 KALI PERCOBAAN

No.	Kondisi Kipas Saat Tidak Ada Asap			Kondisi Kipas Saat Ada Asap		
	Tegangan (VAC)	Arus (mA)	Daya (Watt)	Tegangan (VAC)	Arus (mA)	Daya (Watt)
1.	1,58	10	0,01	226	474	85,7
2.	4,71	21	0,08	229	476	87,2
3.	2,79	15	0,03	228	471	85,9
4.	3,16	17	0,04	228	469	85,5
5.	1,98	11	0,02	228	470	85,9
Rata-rata	2,84	14,80	0,04	227,8	472	86,04

Pada tabel 9 merupakan hasil pengukuran tegangan dan arus kondisi kipas saat tidak ada asap dan kipas saat ada asap pada box kipas. Kondisi kipas saat tidak ada asap merupakan kondisi dimana kondisi sensor tidak mendapat trigger asap menyebabkan kipas tidak menyala dibuktikan dengan hasil pengukuran tegangan dan arus yang kecil (bahkan hampir tidak ada) sehingga dihitung juga daya yang digunakan mendapat nilai dibawah 1 watt, sedangkan pada kondisi kipas ada asap merupakan kondisi dimana sensor membaca partikel asap hasil dari aktivitas menyolder menyebabkan kipas berputar cepat. Daya yang digunakan pada kondisi ini sama seperti kipas menyala secara konstan, namun penggunaan daya tersebut tidak seterusnya terjadi tetapi saat asap berhasil disedot oleh kipas maka sensor akan kembali ke kondisi normal dan kipas akan berhenti.

Berikut bentuk grafik dari perbandingan kondisi penggunaan daya kipas saat ada asap dan tidak ada asap dalam 5 kali percobaan sebagai berikut:



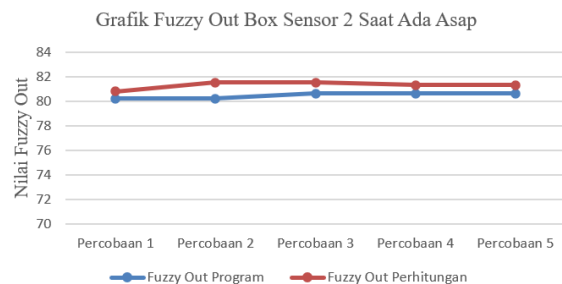
Gambar 16. Grafik Daya Box Kipas 2

Adapun Perbandingan Fuzzy *Out* kondisi terdeteksi asap dengan seperti pada tabel dibawah sebagai berikut:

TABEL X. PERBANDINGAN FUZZY OUT SAAT ADA ASAP

No.	Fuzzy Out Program	Fuzzy Out Perhitungan	Error %
1.	80,2	80,8	0,74
2.	80,2	81,5	1,59
3.	80,6	81,5	1,1
4.	80,6	81,3	0,86
5.	80,6	81,3	0,86
Rata-rata error			1,03

Tabel 10 menunjukkan hasil *error* rata-rata fuzzy *out* antara sistem dengan perhitungan pada percobaan 1-5 mendapat *error* dengan rata-rata 1,03 %.



Gambar 17. Grafik Perbandingan Fuzzy *Out* Saat Ada Asap

3.3. Pengujian Metode Fuzzy Mamdani

Pengujian Metode Mamdani bertujuan mengetahui validasi kesesuaian aturan fuzzy (*rule base*) yang dirancang berdasarkan nilai input sensor yang digunakan pada penelitian. Tahap awal dalam metode fuzzy yaitu menentukan nilai fuzzifikasi terhadap variable suhu ruang, asap hasil pelelehan timah solder dan partikel halus yang dihasilkan dengan melakukan validasi kondisi sensor membaca asap antara hasil keluaran fuzzy out program dengan perhitungan manual.

Pada box sensor 1 dilakukan penentuan garis potong tahap inferensi dengan operator minimum (MIN) didapat nilai derajat potong (α) sebesar 0,65, dengan keluaran konstanta dari keluaran rule aktif $z = 81,6$ menunjukkan output linguistik pada box kipas 1 secara maksimal. Hasil defuzzifikasi pada sistem dengan menggunakan metode centroid (COG) menghasilkan nilai output $y = 80,1$. Serta pada box sensor 2 garis potong inferensi dengan operator minimum didapat nilai derajat (α) sebesar 0,33, dengan keluaran konstanta dari rule aktif $z = 80,8$ menunjukkan output linguistik berupa putaran kipas pada box kipas 2 secara maksimal juga. Hasil defuzzifikasi pada sistem dengan menggunakan metode centroid juga menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda yaitu $y = 80,2$. Dari hasil perbandingan antara perhitungan dan sistem yang telah didapat menunjukkan hasil keputusan yang sesuai antara perhitungan dengan sistem yang telah dirancang.

Kecocokan metode Mamdani tampak dari selisih error yang sangat minim, antara perhitungan teoritis dengan sistem yang di rancang. Selisih nilai 1,74% pada box sensor 1 dan 0,74% pada box sensor 2 menunjukkan bahwa defuzzifikasi centroid bekerja secara konsisten dalam mengubah nilai fuzzy ke nilai sinyal kontrol PWM untuk mengatur kecepatan kipas secara presisi. Pemilihan metode centroid memiliki keunggulan karena menghitung titik tengah area dibawah kurva fungsi keanggotaan output, sehingga keseluruhan distribusi output keanggotaan menghasilkan nilai yang mewakili, daripada metode sugeno yang mewakili nilai tunggal weight average.

Kelebihan metode fuzzy Mamdani terhadap metode Sugeno dan Tsukamoto terdapat pada beberapa aspek yaitu, menghasilkan himpunan fuzzy lengkap kemudian di defuzzifikasi, hal ini memiliki kelebihan terhadap perubahan kipas yang bertahap dan halus tanpa lonjakan daya yang mendadak, ini cocok dengan sistem kontrol kipas yang menggunakan dimmer AC membutuhkan perubahan yang halus dalam memotong gelombang AC. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa metode fuzzy mamdani efektif dalam mengambil keputusan terkait pengaturan otomatis pada ventilasi, sehingga dapat menyesuaikan terhadap perubahan sekitar. Berbeda dengan Sugeno yang langsung menghasilkan nilai crisp melalui weight average sehingga perubahan cenderung kaku. Serta pada Tsukamoto menghasilkan nilai-nilai crisp tertentu lalu mengambil rata-rata dari setiap rule-nya, berbanding terbalik dengan

centroid yang mempertimbangkan nilai keseluruhan area keanggotaan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian kontrol kipas *exhaust* menggunakan metode fuzzy Mamdani di ruang soldering, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Penelitian ini berhasil mengimplementasikan metode fuzzy Mamdani dengan fungsi keanggotaan trapesium dan defuzzifikasi centroid untuk sistem kontrol kipas exhaust multi-sensor. Validasi menunjukkan tingkat akurasi sangat tinggi dengan error rata-rata 0,77% pada Box Sensor 1 dan 1,03% pada Box Sensor 2, membuktikan konsistensi metode dalam mengkonversi nilai linguistik menjadi sinyal kontrol Dimmer AC. Keunggulan metode centroid terletak pada kemampuannya menghasilkan transisi kecepatan yang halus dengan memperhitungkan seluruh area keanggotaan output, berbeda dengan metode Sugeno atau Tsukamoto yang hanya mempertimbangkan nilai diskrit.
2. Sistem berhasil menjaga kualitas udara ruang soldering sesuai standar Menkes RI No. 1077/2011 dengan merespons secara real-time terhadap perubahan kadar asap (9-16 PPM), debu (115-138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), dan suhu (28-29°C). Kemampuan sistem mengatur kecepatan kipas secara adaptif memastikan asap timbal dari aktivitas soldering terbuang dengan optimal, mengurangi risiko paparan jangka panjang yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Hal ini sejalan dengan upaya implementasi K3 di lingkungan pendidikan, khususnya laboratorium elektronika.
3. Terdapat peningkatan efisiensi penggunaan daya listrik yang signifikan pada sistem kontrol dibandingkan sistem konvensional. Pada kondisi *standby* (tidak ada asap), konsumsi daya Box Kipas 1 rata-rata hanya 0,034 Watt dan Box Kipas 2 sebesar 0,04 Watt. Sedangkan saat kipas beroperasi penuh, Box Kipas 1 menggunakan daya rata-rata 79,89 Watt dan Box Kipas 2 sebesar 86,04 Watt, lebih hemat dibanding sebelumnya yang terus beroperasi pada daya maksimal 86,1 Watt tanpa mempertimbangkan kondisi ruangan.

Berdasarkan hasil penelitian dan beberapa kendala yang ditemui selama proses perancangan hingga pengujian, peneliti

memberikan beberapa saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang:

1. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, yaitu Jarak efektif deteksi sensor ± 50 cm dari sumber asap, sehingga untuk penelitian lebih lanjut dapat menambahkan beberapa sensor tambahan agar kipas lebih responsif saat terdeteksi asap, Sistem cenderung beroperasi pada mode ON/OFF (maksimal atau standby) dengan modulasi kecepatan bertingkat yang terbatas, Fungsi keanggotaan dan rule base dirancang terbatas untuk kondisi ruang soldering Politeknik Negeri Pontianak sehingga memerlukan kalibrasi ulang untuk implementasi di lingkungan berbeda.
2. Pengujian menunjukkan keterbatasan jarak deteksi sensor akibat penggunaan kabel panjang yang berpotensi menyebabkan drop voltage. Disarankan menggunakan komunikasi LoRa atau protokol wireless lainnya untuk transmisi data sensor, memungkinkan penempatan sensor lebih fleksibel tanpa degradasi sinyal. Penelitian lanjutan dapat membandingkan performa berbagai protokol wireless dalam hal latency, konsumsi daya, dan reliabilitas.
3. Penggunaan kipas AC dengan dimmer menimbulkan noise harmonik dan efisiensi konversi yang tidak optimal pada kondisi kecepatan kipas rendah dan sedang. Sehingga rule base yang dibuat menjadi terbatas. Disarankan menggunakan kipas DC yang dapat dikontrol langsung melalui PWM tanpa menggunakan dimmer AC yang lemah terhadap sinyal *noise* terhadap sistem.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terselesaikan dengan baik berkat dukungan dari banyak pihak baik teknis, maupun dukungan moral dan semangat, untuk itu

Saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua yang telah memberikan dukungan, doa dan motivasi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan sebaik-baiknya.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada kampus Politeknik Negeri Pontianak yang sangat saya cintai atas fasilitas dan lingkungan belajar yang mendukung, serta bantuan dosen pembimbing dan dosen penguji yang telah memberikan masukan yang sangat berguna bagi saya dan untuk keberlangsungan program studi dalam penelitian ini.

Terakhir, saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang terlibat secara langsung dan mendukung selama proses penelitian. Semoga keterlibatan semuanya akan mendapatkan balasan dari Tuhan Yang Maha Esa.

Daftar pustaka :

- [1] M. K. Hery Suryantoro, "Sistem Monitoring Partikel (PM2.5) Air Purifier untuk Mengetahui Kualitas Udara Berbasis Sensor PMS5003 dan Arduino," *Indones. J. Lab. Ed.*, vol. 4887, pp. 88–96, 2023.
- [2] F. Hasyim and I. Suharjo, "SISTEM NOTIFIKASI MONITORING KUALITAS UDARA DALAM RUANGAN PRODUKSI BERBASIS Internet of Things (IoT) MENGGUNAKAN ESP8266," *J. Ilm. Komput. Graf.*, vol. 17, no. 1, pp. 149–158, 2024, doi: <https://doi.org/10.51903/pixel.v17i1.1990>.
- [3] B. S. Hendi Budianto, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis Internet of Things," *List. Instrumentasi, dan Elektron. Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 9–17, 2024.
- [4] E. H. S. Office and I. Aalaei, "EHS-0167 Soldering Safety and Health Guidelines," pp. 1–5, 2020.
- [5] M. Safaei, "Gastrointestinal Manifestations of Lead Poisoning : A Brief Report," vol. 48, no. 6, 2023, doi: 10.30476/IJMS.2023.95824.2749. Keywords.
- [6] M. K. R. INDONESIA, "PERSYARATAN DAN TATA CARA PENYELENGGARAAN KESEHATAN LINGKUNGAN KERJA PERKANTORAN," 1405, 2002
- [7] D. Ariyanto, "Prototype Alat Penghiasap Asap Solder Menggunakan Sensor Kualitas Udara dan Filter Udara Berbasis IoT PENDAHULUAN ISSN 2655 4887 (Print), ISSN 2655 1624 (Online) ISSN 2655 4887 (Print), ISSN 2655 1624 (Online)," vol. 5, no. 2, pp. 44–51, 2022.
- [8] A. A. Rizal, N. Afaf, N. H. Safitri, N. Mardiah, A. Ghazzi, and S. Irawan, "ANALISIS METODE FUZZY MAMDANI PADA SUHU DAN KECEPATAN EXHAUST SERTA ANALISIS HIERARCHY PROCESS TERHADAP BERAT AYAM," pp. 452–458, 2024.
- [9] A. N. Qorib, A. Putri, B. Saraswati, A. L. Devani, and A. P. Sari, "Prediksi Kualitas Udara Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani," vol. 3, pp. 113–116,

- 2023.
- [10] L. F. Narulita and Q. I. Ahmad, "Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Dalam Rancang Bangun Sistem Informasi Prediksi Produksi Barang," vol. 2, no. 1, pp. 1016–1026, 2024.
- [11] D. L. R. Rindyani Rumfot, Yopi Andry Lesnussa, "PERBANDINGAN METODE FUZZY MAMDANI, SUGENO DAN TSUKAMOTO UNTUK MENENTUKAN JUMLAH PRODUKSI BATU PECAH," vol. 12, no. 0, pp. 157–168, 2024.
- [12] C. P. S. Endang kartika and S. R. A. ,Divya Swastika, "Penerapan Algoritma Fuzzy Mamdani Untuk Menentukan Jumlah Produksi Pupuk Pada UD. Anugrah Tani," vol. 2, no. 1, 2024.
- [13] Administrator, "AC Dimmer Based on Zero-Cross Detector and TRIAC: Operating Principles and Applications," rbdimmer. Accessed: Apr. 22, 2026. [Online]. Available: <https://www.rbdimmer.com/blog/tech-articles-1/ac-dimmer-based-on-zero-cross-detector-and-triac-operating-principles-and-applications-5>
- [14] M. M. Undari Sulung, "MEMAHAMI SUMBER DATA PENELITIAN : PRIMER, SEKUNDER, DAN TERSIER," vol. 5, no. September, pp. 110–116, 2024.
- [15] M. R. F. Faradiba Jabnabillah, Aswin, "Efektivitas Situs Web Pemerintah Sebagai Sumber Data Sekunder Bahan Ajar Perkuliahan Statistika," *Sustainable*, vol. 6, no. 1, pp. 59–70, 2023.
- [16] D. A. N. Gusti lambang Wicaksono, Ivan Fadillah Achmad, Unang Sunarya, "SISTEM KONTROL DAN MONITORING KIPAS ANGIN PADA RUANG KELAS BERBASIS INTERNET OF THINGS," vol. 6, no. 1, pp. 721–733, 2019, doi: DOI: <https://doi.org/10.25124/jett.v6i1.1873>
- [17] A. Nadia Putri, Lindawati, "Tsukamoto Fuzzy In IoT-Based Automatic Control System Of Kitchen Smoke MSME Palembang Crackers," vol. 8, no. January, pp. 165–180, 2025, doi: DOI: 10.31289/jite.v8i2.13975 Received: