

CESS

(Journal of Computer Engineering, System and Science)

Available online: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>

ISSN: 2502-714x (Print) | ISSN: 2502-7131 (Online)



Prototype Sistem Pemantauan Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-5 dan DHT11 dengan Metode Fuzzy Mamdani

IoT-Based Smart Gas Leakage Monitoring System Using MQ-5 and DHT11 Sensors with Fuzzy Mamdani Logic

Michellia Delphi Isfahan Pravda^{1*}, Rakhmat Kurniawan R²

^{1,2}Ilmu Komputer, Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara
Jl. Lap Golf No 120, Kp Tengah, Kec. Pancur Batu, Kab. Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara,
Indonesia

Email: ¹michellia.delphi@gmail.com, ²rakhmat.kr@uinsu.ac.id

*Corresponding Author

ABSTRAK

LPG merupakan sumber energi yang umum digunakan dan terjangkau, namun potensi kebocoran gas sering diabaikan. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem prototype pemantauan kebocoran gas LPG berbasis mikrokontroler ESP8266 dengan dua mode kerja, yaitu otomatis (default) dan manual. Sistem menggunakan sensor MQ-5 untuk mendeteksi gas (metana, propana, butana, dan LPG) serta sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Data diolah menggunakan logika fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat bahaya dan menghasilkan output dalam bentuk sinyal PWM (0–255) guna mengontrol buzzer dan *exhaust fan*. Karena ESP8266 tidak memiliki output analog, PWM digunakan untuk mensimulasikan sinyal analog. Hasil pengujian menunjukkan sistem berfungsi sesuai rancangan dengan tingkat akurasi 100% dalam mendeteksi kebocoran gas dan memberikan respons melalui aktuator secara otomatis. Data pembacaan sensor dan hasil inferensi fuzzy ditampilkan secara real-time melalui OLED display serta dikirim ke database MySQL menggunakan Node-RED dengan protokol MQTT. Sistem juga mampu mengirimkan notifikasi kepada pengguna dengan rata-rata waktu pengiriman ± 5 detik setelah deteksi. Sistem ini mendukung pemantauan berbasis IoT secara efisien dan mampu memberikan peringatan dini secara lokal maupun jarak jauh untuk meningkatkan keselamatan pengguna.

Kata Kunci: ESP8266; MQTT; Node-RED; MQ-5; DHT11; Fuzzy Mamdani

ABSTRACT

LPG is a commonly used and affordable energy source; however, the potential risk of gas leakage is often overlooked. This study designs and implements a prototype system for LPG gas leak monitoring based on the ESP8266 microcontroller with two operating modes:



automatic (default) and manual. The system utilizes the MQ-5 sensor to detect gases (methane, propane, butane, and LPG) and the DHT11 sensor to measure temperature and humidity. The data is processed using the Mamdani fuzzy logic method to determine the hazard level and generates output in the form of PWM signals (0–255) to control the buzzer and exhaust fan. Since the ESP8266 does not support analog output, PWM is used to simulate analog signals. Testing results show that the system operates as designed with 100% accuracy in detecting gas leaks and providing appropriate automatic responses via the actuators. Sensor readings and fuzzy outputs are displayed in real-time on the OLED display and sent to a MySQL database via Node-RED using the MQTT protocol. The system can also send notifications to users within an average duration of ± 5 seconds after detection. This system supports efficient IoT-based monitoring and is capable of providing early warnings both locally and remotely, enhancing user safety.

Keywords: *ESP8266; MQTT; Node-RED; MQ-5; DHT11; Fuzzy Mamdani Logic*

1. PENDAHULUAN

Minyak tanah pernah menjadi sumber energi utama di Indonesia sejak tahun 1883, namun keterbatasan pasokan mendorong pemerintah menginisiasi program konversi ke LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) pada 22 Mei 2007 melalui Keputusan Menteri ESDM No. 1971/26/MEM/2007[1]. Gas LPG kini telah menjadi sumber energi yang umum digunakan oleh berbagai lapisan masyarakat karena harganya yang relative terjangkau, penggunaannya yang praktis, serta dianggap lebih higienis dan ramah lingkungan.

Meskipun memiliki berbagai keunggulan penggunaan LPG juga menyimpan risiko terutama karena sifatnya yang mudah menguap dan mudah terbakar menjadikan LPG berisiko tinggi terhadap kebakaran, ledakan, dan keracunan apabila terjadi kebocoran[2]. Sering terjadi kesalahan prosedural dalam proses penggunaannya[3]. LPG merupakan gas alam yang tersusun dari senyawa propana dan butana yang mudah menguap pada suhu di atas 24°C. Dalam ruang tertutup, kebocoran LPG sangat berisiko, khususnya saat suhu lingkungan melebihi 30°C karena meningkatkan potensi akumulasi dan ledakan[4]. Pemerintah Indonesia bersama Pertamina menambahkan zat beraroma menyengat (*mercaptan*) ke dalam LPG guna mempermudah deteksi kebocoran. Namun, upaya ini belum sepenuhnya efektif, terutama saat kebocoran terjadi tanpa kehadiran penghuni atau saat bau gas tidak terdeteksi[5].

Berdasarkan laporan dari merdeka.com telah terjadi kebakaran hebat di Jalan Cilacap, Medan Belawan, yang disebabkan oleh kebocoran gas dan menewaskan empat orang serta menghancurkan enam rumah[6]. Maka dari itu sistem ini dirancang sebagai upaya preventif terhadap potensi kebakaran akibat kebocoran gas LPG. Logika fuzzy Mamdani dinilai cukup efektif dalam mengatasi ketidakpastian dan kompleksitas pada sistem tidak terstruktur, terlebih pada deteksi kebocoran gas LPG berbasis multi sensor[8].

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas sistem deteksi kebocoran gas dan pencegahan kebakaran berbasis IoT dengan menggunakan sensor gas, sensor suhu, dan flame detector. Penelitian oleh Fitriadi dkk[7] menggunakan sensor MQ-5, sensor api, dan DS18B20 untuk mendeteksi potensi kebakaran dengan output berupa exhaust fan, pompa air, serta notifikasi melalui aplikasi Telegram. Sementara itu penelitian oleh Wicaksana dan Hirzan [4] juga merancang sistem pendeteksi kebocoran gas dan suhu menggunakan sensor MQ-6, DHT22, dan sensor api dengan pengiriman data melalui Telegram dan pengaktifan aktuator

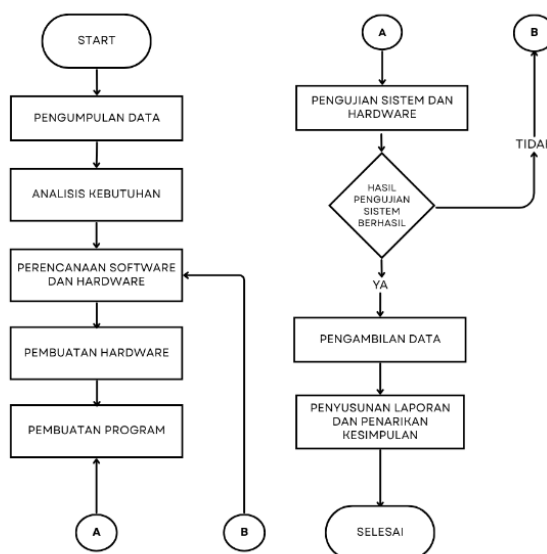
secara otomatis. Majidah, Bianto dan Saputra[8] telah memanfaatkan sistem deteksi gas LPG dan api menggunakan sensor MQ-2 dan flame detector yang dihubungkan dengan aplikasi Blynk sebagai media notifikasi.

Meskipun penelitian terdahulu telah menerapkan konsep IoT dan sebagian besar masih berfokus pada pengiriman notifikasi melalui aplikasi pihak ketiga seperti Telegram atau Blynk tanpa integrasi penuh dengan sistem monitoring berbasis database. Selain itu output aktuator umumnya hanya bersifat ON/OFF tanpa penyesuaian intensitas kerja berdasarkan tingkat bahaya.

Tujuan penelitian ini dibuat untuk merancang sistem alat pendeteksi kebocoran gas LPG dengan multi sensor yaitu sensor gas MQ-5 dan sensor temperature suhu DHT11. Data sensor diproses menggunakan logika fuzzy Mamdani untuk meningkatkan sensitivitas sistem agar potensi bahaya dapat terdeteksi lebih dini. Hasil pemrosesan data dari sensor ditampilkan pada OLED, dan sistem akan mengaktifkan buzzer serta exhaust fan sebagai respons otomatis. Pengembangan alat ini menerapkan konsep *Internet of Things* (IoT) yaitu pemanfaatan koneksi internet untuk memantau dan mengontrol sensor[9] dengan mengirim dan menyimpan data ke MySQL melalui Node-RED menggunakan protokol MQTT. Sistem dirancang berbasis ESP8266 dengan output PWM (0–255) untuk mengatur kecepatan exhaust fan dan buzzer secara proporsional. Data ditampilkan secara real-time melalui dashboard dan sistem dapat mengirim notifikasi email dengan rata-rata durasi pengiriman ± 5 detik, sehingga memberikan solusi pemantauan kebocoran gas LPG yang lebih komprehensif dan efisien.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif eksperimental yang bertujuan merancang dan menguji prototipe sistem pemantauan kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-5 dan DHT11. Data sensor diproses oleh mikrokontroler ESP8266 dengan logika fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat kebocoran secara otomatis. Hasil pemrosesan ditampilkan melalui OLED dan dikendalikan oleh buzzer serta exhaust fan. Seluruh data disimpan dalam database MySQL melalui Node-RED menggunakan protokol MQTT, serta dikirimkan sebagai notifikasi email dan ditampilkan secara real-time melalui dashboard web.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.1. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan beberapa komponen utama dalam perancangan sistem pemantauan kebocoran gas LPG berbasis IoT. Pada Tabel 1 dijelaskan mengenai Perangkat Keras yang digunakan untuk membangun sistem dalam Proyek Akhir ini.

Tabel 1. Alat dan Fungsi

No.	Nama Komponen	Fungsi Komponen
1	Sensor Gas MQ-5	Untuk mendeteksi keberadaan dan konsentrasi gas yang mudah terbakar seperti LPG, metana, butana, dan hidrogen dalam satuan PPM (<i>parts per million</i>)
2	Sensor DHT11	Untuk mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitar alat.
3	Mikrokontroler ESP8266	Pusat kendali system. berfungsi membaca input sensor, memprosesnya dengan fuzzy Mamdani, dan menghasilkan output dalam bentuk sinyal PWM.
4	OLED I2C 0,96 inch	Menampilkan informasi suhu, kelembaban, kadar gas, dan status sistem secara real-time.
5	Buzzer	Mengeluarkan peringatan suara dengan intensitas sesuai tingkat bahaya kebocoran gas.
6.	Exhaust Fan	Mengeluarkan udara dari ruangan, dengan kecepatan yang dikendalikan melalui sinyal PWM berdasarkan level bahaya.

2.2. Kebutuhan Perangkat Lunak

Pada Tabel 2 dijelaskan mengenai Perangkat Lunak yang digunakan untuk membangun sistem dalam Proyek Akhir ini.

Tabel 2. Perangkat Lunak dan Fungsi

No.	Kebutuhan Software	Fungsi Software
1	Arduino IDE	Untuk pemrograman mikrokontroler ESP8266 dan pengujian logika fuzzy.
2	Proteus 8 Professional	Mensimulasikan rangkaian elektronik sebelum implementasi perangkat keras.
3	Matlab R2024b Fuzzy Logic Toolbox	Untuk perancangan dan simulasi sistem fuzzy Mamdani.
4	MQTT dan Node-RED	Memfasilitasi komunikasi data IoT dan visualisasi dashboard monitoring secara real-time.
5	XAMPP / PhpMyAdmin	Menyediakan server lokal dan antarmuka pengelolaan database MySQL untuk penyimpanan data sensor dan output sistem.

2.3. Perancangan Logika Fuzzy

Penelitian ini bertujuan untuk memantau kebocoran gas LPG dengan Fuzzy Logic Control menggunakan metode Mamdani. Sistem inferensi fuzzy Mamdani, yang juga dikenal sebagai metode Max-Min, menggunakan aturan linguistik dalam proses pengambilan keputusan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Ebrahim H. Mamdani pada tahun 1975[11]. Adapun tahapan dalam perancangan kontrol logika fuzzy yaitu:

1. Pembentukan Himpunan fuzzy (*fuzzification*)

Fuzzifikasi adalah proses konversi variabel numerik menjadi bentuk linguistik melalui himpunan fuzzy. Dalam metode Mamdani, input dan output direpresentasikan dalam kategori linguistik berdasarkan nilai keanggotaannya[8]. Sistem menerima tiga variabel input, yaitu kadar gas (ppm), suhu (°C), dan kelembaban (%). Berikut merupakan tabel variable input pada system dalam penelitian ini.

Tabel 3. Kategori Fuzzy Variabel Input Sistem

No.	Variabel Input	Satuan	Kategori Linguistik (Fuzzy Set)
1	Kadar Gas	PPM	Low, Medium, High
2	Suhu	Celsius (°C)	Normal, Elevated, Critical
3	Kelembaban (<i>Humidity</i>)	Persen (%)	Dry, Moderate, Humid

2. Inferensi Rule

Setelah proses fuzzifikasi, tahap selanjutnya adalah penyusunan aturan fuzzy atau *fuzzy rule* yang merepresentasikan hubungan logis antara variabel input dan output. Aturan dirumuskan menggunakan bentuk IF–THEN, dengan operator AND untuk menggabungkan lebih dari satu variabel input[12]. Nilai fuzzy dari proses fuzzifikasi diolah berdasarkan aturan tersebut untuk memperoleh keluaran level fuzzy. Jumlah aturan fuzzy yang disusun sebanyak 27 aturan di mana setiap kombinasi dari tiga variabel input menghasilkan satu output. Seluruh aturan ditampilkan secara lengkap pada Gambar berikut ini.

	Rule	Weight	Name
1	If Gas is low and Temperature is normal and Humidity is dry then Buzzer is off, Fan is off	1	rule1
2	If Gas is low and Temperature is normal and Humidity is moderate then Buzzer is off, Fan is off	1	rule2
3	If Gas is low and Temperature is normal and Humidity is humid then Buzzer is off, Fan is off	1	rule3
4	If Gas is low and Temperature is elevated and Humidity is dry then Buzzer is low, Fan is off	1	rule4
5	If Gas is low and Temperature is elevated and Humidity is moderate then Buzzer is off, Fan is off	1	rule5
6	If Gas is low and Temperature is elevated and Humidity is humid then Buzzer is off, Fan is off	1	rule6
7	If Gas is low and Temperature is critical and Humidity is dry then Buzzer is low, Fan is slow	1	rule7
8	If Gas is low and Temperature is critical and Humidity is moderate then Buzzer is off, Fan is off	1	rule8
9	If Gas is low and Temperature is critical and Humidity is humid then Buzzer is off, Fan is off	1	rule9
10	If Gas is medium and Temperature is normal and Humidity is dry then Buzzer is low, Fan is slow	1	rule10
11	If Gas is medium and Temperature is normal and Humidity is moderate then Buzzer is off, Fan is off	1	rule11
12	If Gas is medium and Temperature is normal and Humidity is humid then Buzzer is off, Fan is off	1	rule12
13	If Gas is medium and Temperature is elevated and Humidity is dry then Buzzer is low, Fan is slow	1	rule13
14	If Gas is medium and Temperature is elevated and Humidity is moderate then Buzzer is off, Fan is off	1	rule14
15	If Gas is medium and Temperature is elevated and Humidity is humid then Buzzer is off, Fan is off	1	rule15
16	If Gas is medium and Temperature is critical and Humidity is dry then Buzzer is high, Fan is fast	1	rule16
17	If Gas is medium and Temperature is critical and Humidity is moderate then Buzzer is low, Fan is slow	1	rule17
18	If Gas is medium and Temperature is critical and Humidity is humid then Buzzer is low, Fan is slow	1	rule18
19	If Gas is high and Temperature is normal and Humidity is dry then Buzzer is high, Fan is fast	1	rule19
20	If Gas is high and Temperature is normal and Humidity is moderate then Buzzer is low, Fan is slow	1	rule20
21	If Gas is high and Temperature is normal and Humidity is humid then Buzzer is off, Fan is off	1	rule21
22	If Gas is high and Temperature is elevated and Humidity is dry then Buzzer is high, Fan is fast	1	rule22
23	If Gas is high and Temperature is elevated and Humidity is moderate then Buzzer is low, Fan is slow	1	rule23
24	If Gas is high and Temperature is elevated and Humidity is humid then Buzzer is off, Fan is off	1	rule24
25	If Gas is high and Temperature is critical and Humidity is dry then Buzzer is high, Fan is fast	1	rule25
26	If Gas is high and Temperature is critical and Humidity is moderate then Buzzer is high, Fan is fast	1	rule26
27	If Gas is high and Temperature is critical and Humidity is humid then Buzzer is low, Fan is slow	1	rule27

Gambar 3. Inferensi Rules dalam Matlab Fuzzy Mamdani Designer

3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam logika fuzzy yang mengubah himpunan fuzzy menjadi nilai tunggal (*crisp*) sebagai output numerik yang dapat digunakan oleh sistem kendali[13]. Output dari sistem adalah kontrol untuk dua aktuatur yaitu Buzzer dan Exhaust

Fan yang dihasilkan dalam bentuk derajat keanggotaan fuzzy. Nilai fuzzy ini kemudian diubah menjadi nilai tegas melalui proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid, dan dikonversi menjadi sinyal PWM (0–255) agar sesuai dengan karakteristik actuator. Pada proses defuzzifikasi dengan menggunakan metode centroid.

Metode centroid juga dikenal sebagai *Center of Gravity (CoG)*, merupakan teknik defuzzifikasi yang menghitung titik pusat dari himpunan fuzzy pada sumbu x[7]. Persamaan centroid dapat dituliskan sebagai berikut:

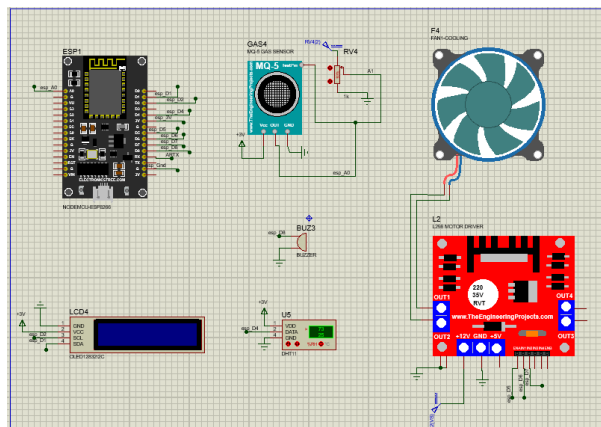
$$z = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx} \quad (1)$$

2.4. Perancangan Sistem

Perancangan sistem mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, mencakup perangkat keras dan perangkat lunak. Tujuannya adalah memastikan integrasi komponen berjalan optimal serta mendukung proses implementasi dan pengujian sistem.

1. Perancangan Proteus

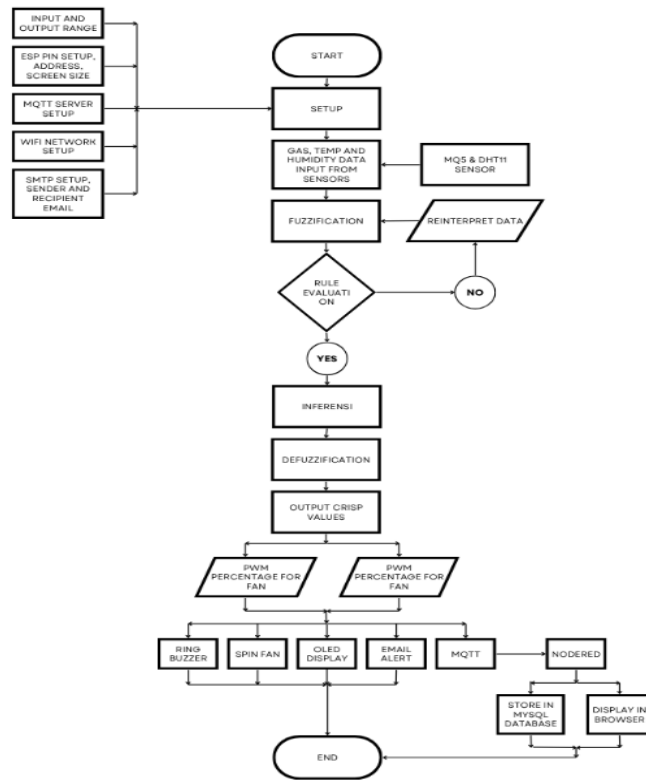
Skema rangkaian alat dibuat menggunakan software Proteus yang dibuat secara keseluruhan dari sistem pemantauan kebocoran gas LPG[14] dan disusun secara akurat agar sesuai dengan komponen yang digunakan.



Gambar 4. Skema Proteus

2. Flowchart System

Flowchart menggambarkan alur sistem otomatis, dimulai dari inialisasi hingga pengambilan keputusan[15]. ESP8266 membaca data sensor MQ-5 dan DHT11, lalu memrosesnya dengan logika fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat bahaya. Jika terdeteksi kondisi bahaya, buzzer dan kipas diaktifkan. Data ditampilkan pada OLED dan dikirim ke Node-RED melalui MQTT secara real-time.



Gambar 5. Flowchart System

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

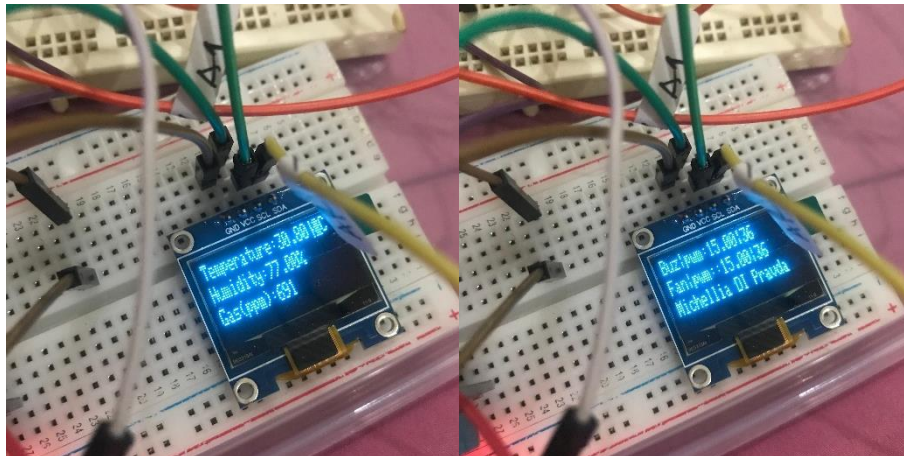
Hasil dari penelitian ini berupa alat monitoring kebocoran gas LPG yang terdiri dari beberapa komponen, seperti sensor MQ-5, sensor DHT11, buzzer, exhaust fan, dan OLED display. Sistem ini terhubung ke jaringan internet dan diintegrasikan dengan platform Node-RED untuk monitoring jarak jauh, serta dilengkapi notifikasi email sebagai antarmuka peringatan bagi User.

3.1. Pengujian Hardware

Seluruh komponen system dipasang sesuai dengan rancangan. Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsi sensor berjalan dengan baik dan data terbaca secara stabil.



Gambar 6. Pengujian Alat



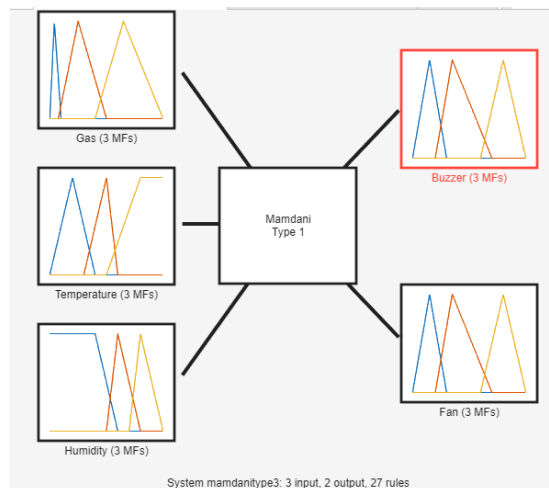
Gambar 7. Display Oled

3.2. Pengujian Perangkat Lunak (Software)

1. Pengujian Logic Fuzzy menggunakan Matlab

Pengujian menggunakan MATLAB dilakukan untuk memverifikasi bahwa proses inferensi logika fuzzy dapat berjalan sesuai dengan desain yang dirancang. MATLAB digunakan untuk mensimulasikan sistem logika fuzzy Mamdani berdasarkan input kadar gas, suhu, dan kelembaban, serta menghasilkan output berupa tingkat aktivasi aktuator.

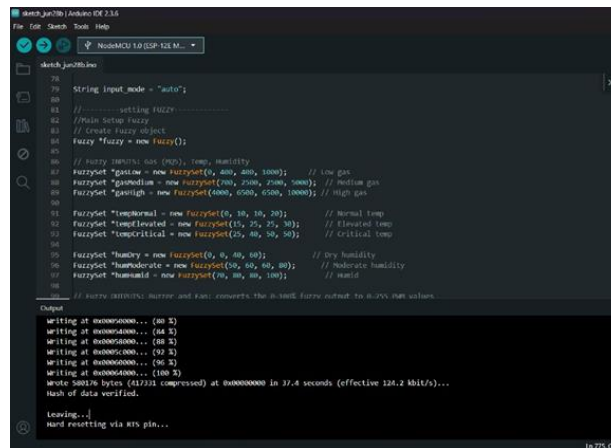
Penggunaan MATLAB juga memungkinkan visualisasi grafik dan analisis numerik terhadap hasil fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi, sehingga mendukung evaluasi terhadap akurasi dan respons sistem. Gambar 8 berikut menunjukkan contoh visualisasi hasil simulasi fuzzy pada MATLAB.



Gambar 8. System Membership Functions

2. Pengujian Arduino IDE

Arduino IDE digunakan sebagai platform utama untuk pemrograman mikrokontroler ESP8266 dalam penelitian ini. Perangkat lunak ini digunakan untuk mengimplementasikan logika fuzzy Mamdani, membaca data dari sensor MQ-5 dan DHT11, mengatur output buzzer dan exhaust fan, serta mengintegrasikan komunikasi data melalui protokol MQTT. Gambar 9 memperlihatkan antarmuka Arduino IDE yang digunakan dalam pengembangan sistem.



Gambar 9. Tampilan Arduino IDE

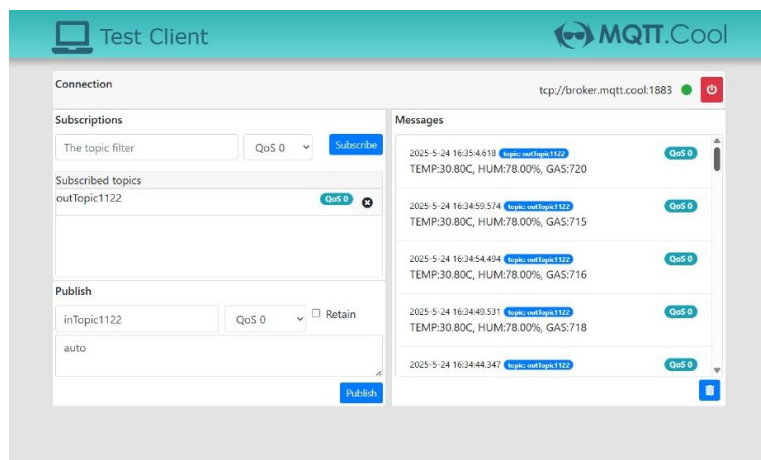
3. XAMPP dan phpMyAdmin

XAMPP digunakan sebagai server lokal untuk menjalankan Apache dan MySQL, yang berfungsi menghubungkan ESP8266, Node-RED, dan database dalam sistem monitoring gas LPG. Aktivasi layanan Apache dan MySQL diperlukan agar komunikasi antar komponen berjalan lancar. Seluruh sistem dijalankan pada satu komputer untuk efisiensi.

Pengelolaan database dilakukan melalui phpMyAdmin, yang digunakan untuk menyimpan data suhu, kelembaban, dan kadar gas, serta output dari logika fuzzy. Data ini ditampilkan secara real-time melalui dashboard web.

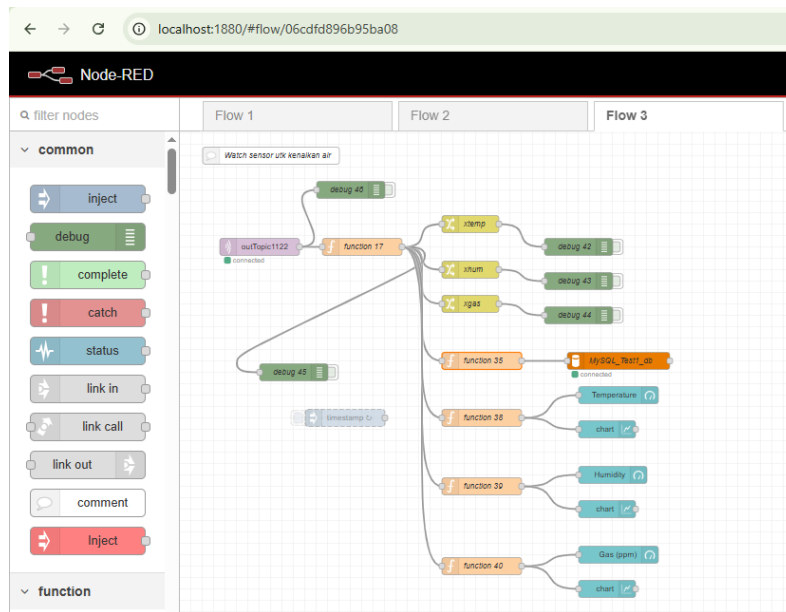
4. Tampilan MQTT dan Node-RED

Penelitian ini menggunakan protokol MQTT untuk komunikasi data secara ringan dan efisien dalam sistem IoT. ESP8266 berfungsi sebagai publisher yang mengirim data sensor (MQ-5 dan DHT11) ke broker MQTT pada topik tertentu. Node-RED bertindak sebagai subscriber, menerima dan memproses data tersebut, lalu menyimpannya ke database MySQL dan menampilkannya melalui dashboard secara real-time.



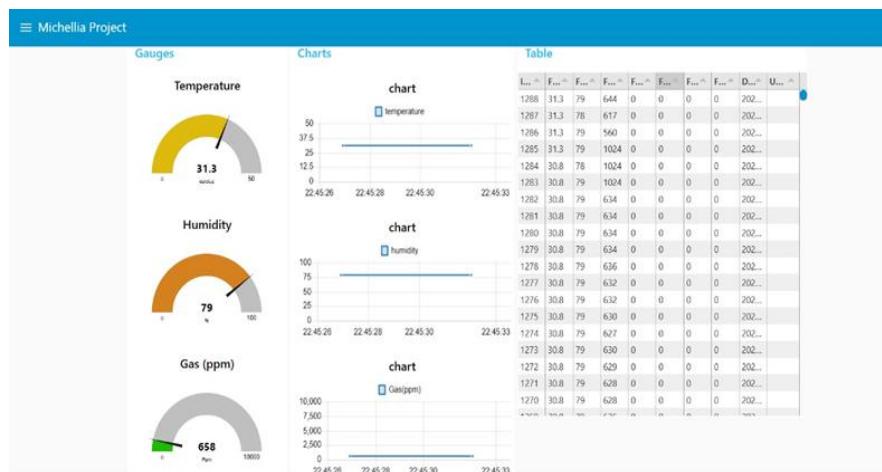
Gambar 10. Tampilan MQTT

Di alur ini node MQTT in digunakan untuk menerima data dari topik yang dipublikasikan oleh ESP8266. Data yang diterima dalam format JSON kemudian diproses melalui node function untuk mengekstrak masing-masing parameter, seperti suhu, kelembaban, dan kadar gas.



Gambar 11. Tampilan Flow MQTT pada Node-RED

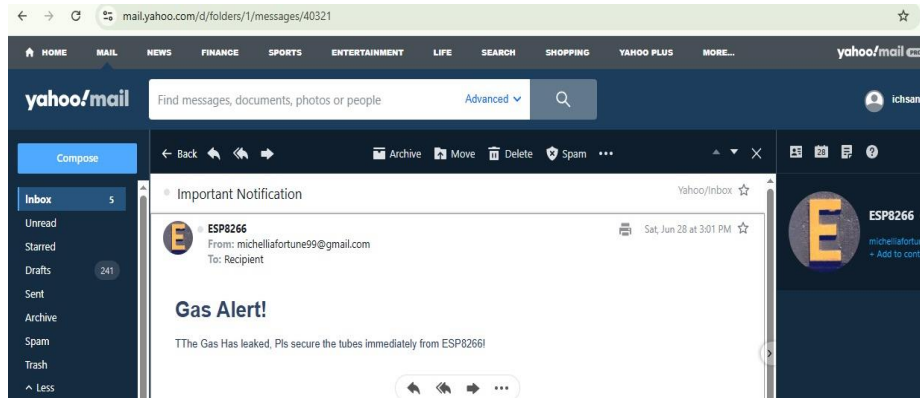
Dashboard menampilkan suhu, kelembaban, kadar gas, serta status buzzer dan fan dalam format grafik atau teks untuk memudahkan pemantauan visual. Integrasi MQTT dan Node-RED memungkinkan komunikasi data yang stabil dan efisien untuk monitoring jarak jauh.



Gambar 12. Tampilan dashboard Node-RED untuk monitoring data sensor secara real-time

5. Tampilan Notifikasi Email

Sistem ini dilengkapi fitur notifikasi email otomatis yang aktif saat terdeteksi kebocoran gas atau suhu melebihi ambang batas. Mekanisme ini berfungsi sebagai peringatan dini jarak jauh agar pengguna dapat segera melakukan tindakan pencegahan.



Gambar 15. Tampilan Notifikasi Email yang Dikirim oleh Sistem

3.3. Hasil keseluruhan

Penelitian ini memanfaatkan dua sensor sebagai input, yaitu untuk mendeteksi kadar gas, suhu, dan kelembaban lingkungan, serta dua aktuator sebagai output kendali. Sistem akan mengaktifkan exhaust fan dan buzzer sebagai respons apabila kadar gas melebihi ambang batas 300 ppm. Sebaliknya, saat kondisi lingkungan berada dalam batas aman (kadar gas < 300 ppm, suhu rendah, dan kelembaban tinggi), aktuator tidak diaktifkan karena tidak diperlukan tindakan korektif.

Tabel berikut menyajikan hasil pengujian sistem dalam berbagai kondisi lingkungan. Respons sistem kemudian dibandingkan dengan hasil inferensi yang diperoleh dari desain logika fuzzy menggunakan Fuzzy Logic Designer pada perangkat lunak MATLAB.

Tabel 3. Overall System Functional Test Data

Sample No	Gas Reading (PPM)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Expected Action	Actual Action	Remarks
1	291	28	85	Buzzer: Off Fan: Off	Buzzer: Off Fan: Off	Match
2	585	29.8	78	Buzzer: Off Fan: Off	Buzzer: Off Fan: Off	Match
3	634	31.3	79	Buzzer: Low Fan: Off	Buzzer: Low Fan: Off	Match
4	713	30.2	77	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
5	1024	31.3	79	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
6	1760	31.2	83	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
7	2130	32.5	85	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
8	2640	33.5	87	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
9	3160	35	89	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
10	3780	36.2	90	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
11	4350	37.5	92	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match

12	4920	38.8	94	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
13	5280	39	95	Buzzer: High Fan: Fast	Buzzer: High Fan: Fast	Match
14	4790	38.2	93	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
15	4210	37	91	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
16	3650	36	88	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
17	3100	34.8	86	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
18	2550	33	84	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
19	2000	31.2	79	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
20	1480	31	78	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
21	960	30.8	76	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
22	720	30.8	78	Buzzer: Low Fan: Slow	Buzzer: Low Fan: Slow	Match
23	380	27.2	73	Buzzer: Off Fan: Off	Buzzer: Off Fan: Off	Match
24	210	26.8	71	Buzzer: Off Fan: Off	Buzzer: Off Fan: Off	Match
25	691	30	77	Buzzer: Off Fan: Off	Buzzer: Off Fan: Off	Match

Dari 25 skenario pengujian diatas seluruh respons sistem sesuai dengan hasil inferensi fuzzy yang telah dirancang. Sistem mampu memberikan respons yang akurat terhadap variasi kadar gas, suhu, dan kelembaban sesuai kondisi pengujian. Aktuator berupa buzzer dan exhaust fan aktif secara proporsional berdasarkan output PWM, serta notifikasi email berhasil dikirim dengan rata-rata waktu pengiriman ± 5 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja secara optimal dalam mendeteksi kebocoran gas LPG dan memberikan peringatan dini, baik secara lokal maupun jarak jauh.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem prototipe pemantauan kebocoran gas LPG berbasis mikrokontroler ESP8266 dengan metode logika fuzzy Mamdani. Sistem menggunakan sensor MQ-5 dan DHT11 sebagai input, serta buzzer dan exhaust fan sebagai aktuator output yang dikendalikan melalui sinyal PWM. Pengolahan data dilakukan secara real-time dan ditampilkan melalui OLED serta dashboard Node-RED, dengan dukungan komunikasi MQTT dan penyimpanan data di MySQL.

Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mendeteksi kebocoran gas LPG dengan akurasi 100% berdasarkan 25 skenario pengujian, memberikan respons sesuai tingkat bahaya, dan mengirimkan notifikasi email rata-rata dalam waktu ± 5 detik. Sistem ini terbukti efektif sebagai solusi monitoring kebocoran gas LPG berbasis IoT yang memberikan peringatan dini secara lokal maupun jarak jauh.

Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem ini dengan menambahkan sensor pendukung seperti sensor api untuk meningkatkan akurasi deteksi dengan menggunakan aplikasi mobile berbasis Android atau iOS untuk mempermudah pemantauan bagi pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kristiyanto and A. F. Zulfikar, "Deteksi Kebocoran LPG Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy," vol. XVI, no. 6, pp. 17–26, 2021.
- [2] S. Tambunan and A. Stefanie, "Monitoring Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 Pada Rumah Dengan Notifikasi Bot Telegram," vol. 7, no. 2, pp. 1423–1428, 2023.
- [3] M. G. Ganesha, M. I. Sani, and L. Meisaroh, "IoT Alat Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis Blynk," vol. 6, no. 2, pp. 3279–3286, 2020.
- [4] D. Wicaksana and A. Hirzan, "Pemantauan Kebocoran Gas dan Panas Udara Dengan Metode Fuzzy Berbasis IoT," vol. 15, no. 1, pp. 125–132, 2024.
- [5] M. Nasichul, R. Z. Abidin, and A. T. Arsanto, "Implementasi Sistem Monitoring dan Kontrol Gas LPG Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Sensor Gas MQ-5," vol. 8, no. 5, pp. 10233–10239, 2024.
- [6] H. Purwanto, A. N. Putra, D. F. Shiddieq, and T. Wiharko, "Alat Deteksi Kebocoran Gas Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Arduino Uno Gas Leak Detection Tool Using MQ-2 Sensor Based on Arduino Uno," vol. 13, no. 105, pp. 9–17, 2024.
- [7] D. R. Fitriadi, A. R. Al Tahtawi, T. D. Hendrawati, and S. Rahayu, "Sistem pencegahan dini kebakaran gedung menggunakan logika fuzzy dengan inferensi Mamdani berbasis IoT," *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 2, no. 2, pp. 159–170, 2022, doi: 10.35313/jitel.v2.i2.2022.159-170.
- [8] Z. Majidah, M. A. Bianto, and B. D. Saputra, "Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi Implementasi Fuzzy Logic Mamdani Untuk Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT," vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.52060/juptik.v2i1.2091.
- [9] A. F. Daru, W. Adhiwibowo, and A. Prawoto, "Penerapan Sensor Mq2 Untuk Deteksi Kebocoran Gas Dan Sensor Bb02 Untuk Deteksi Api Dengan Pengendali Aplikasi BLYNK," vol. 12, no. September, pp. 37–43, 2021.
- [10] P. Laksana, *Ensiklopedia Bahan Bakar Non Minyak*. Alprin, 2020.
- [11] K. W. Suardika, G. K. Gandhiadi, and L. P. I. Harini, "Perbandingan Metode Tsukamoto, Metode Mamdani dan Metode Sugeno Untuk Menentukan Produksi Dupa (Studi Kasus : CV . Dewi Bulan)," vol. 7, no. 2, pp. 180–186, 2018.
- [12] S. U. Filla, R. Kurniawan, and Suhardi, "Prototype Alat Pengatur Temperatur Ruang Kerja Pada Rumah Menggunakan Logika Fuzzy Tsukamoto Berbasis IoT," vol. 4307, no. 1, pp. 68–77, 2024.
- [13] C. S. S. Pamungkas, D. J. Manehat, and S. D. B. Mau, "Jurnal Politeknik Caltex Riau Aplikasi Fuzzy Logic Memprediksi Intensitas Cahaya Lampu Pada," vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [14] A. F. Fathony, "Rancang Bangun Prototype ESP Untuk Pengendapan Debu Limbah Industri Dengan Menggunakan Transformator Flyback," vol. 4, no. 1, pp. 585–594, 2021.
- [15] I. Komang and S. D. Riskiono, "Rancang Bangun Sistem Pengunci Loker Otomatis Dengan Kendali Akses Menggunakan RFID Dan SIM 800L," vol. 1, no. 1, pp. 33–41, 2020.