

Implementasi dan Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani Sugeno Deteksi Kebocoran Gas LPG Sensor MQ-2 dan MQ-6

Melany Yulistia, Ayu Wandira

Prodi Teknik Mekatronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Sejarah Artikel: Diterima: Juni 2025 Revisi: Juni 2025 Diterima: Juli 2025 Dipublikasi: Juli 2025</p> <p>Kata Kunci: kebocoran gas LPG, sensor MQ-2, sensor MQ-6, logika fuzzy</p> <p>*Penulis Korespondensi: yulistiamelany@gmail.com</p>	<p>Rumah sebagai tempat berlindung dapat menjadi berbahaya akibat kebocoran gas LPG yang berpotensi menimbulkan kebakaran. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-6, serta membandingkan efektivitas metode fuzzy Mamdani dan Sugeno. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor dan metode fuzzy dalam mendeteksi kebocoran gas. Hasil menunjukkan bahwa sistem berhasil memberikan peringatan melalui buzzer dan LED saat kebocoran terdeteksi. Sensor MQ-6 menunjukkan responsivitas yang lebih tinggi dibandingkan MQ-2. Metode fuzzy Sugeno dinilai lebih optimal karena menghasilkan grafik deteksi yang lebih stabil dan responsif dibandingkan Mamdani. Hasil evaluasi kuantitatif menunjukkan metode Sugeno dan metode mamdani mencapai akurasi klasifikasi 100% , tetapi untuk waktu respons sistem rata-rata 1,41 detik, secara signifikan lebih unggul dibandingkan metode Mamdani dan Kombinasi sensor terbukti meningkatkan akurasi dan keandalan sistem dalam mendeteksi kebocoran gas LPG.</p> <p>ABSTRACT <i>A house, as a place of shelter, can become hazardous due to LPG gas leaks that have the potential to cause fires. This study developed an LPG gas leak detection system using MQ-2 and MQ-6 sensors, and compared the effectiveness of Mamdani and Sugeno fuzzy logic methods. Testing was conducted to evaluate the performance of the sensors and fuzzy methods in detecting gas leaks. The results showed that the system successfully provided alerts through a buzzer and LED when a leak was detected. The MQ-6 sensor demonstrated higher responsiveness compared to the MQ-2. The Sugeno fuzzy method was considered more optimal, as it produced more stable and responsive detection graphs than the Mamdani method. The combination of sensors and the Sugeno method proved to enhance the accuracy and reliability of the system in detecting LPG gas leaks.</i></p>

PENDAHULUAN

Rumah merupakan tempat untuk bersinggah, beristirahat, berteduh, dan merasa aman serta nyaman dari segala aktivitas yang telah dilaksanakan setiap hari. Namun, rumah juga dapat menjadi tempat yang sangat berbahaya. Salah satu bahaya yang sering terjadi di rumah adalah kebocoran gas LPG [1]. Banyak berita yang menginformasikan bahwa tidak sedikit kebakaran rumah disebabkan oleh kebocoran gas. Penggunaan gas LPG tidak dapat dihindari karena merupakan kebutuhan masyarakat dan juga bagian dari program pemerintah dalam konversi minyak tanah ke gas LPG [2].

Liquefied Petroleum Gas (LPG) memiliki karakteristik berupa bau menyengat saat terjadi kebocoran, mudah menguap di udara pada suhu di atas 24°C, dan sangat mudah terbakar. Hal ini

menjadikannya sangat berbahaya jika terjadi kebocoran di ruang tertutup dengan suhu sekitar 30°C, karena berpotensi menyebabkan kebakaran apabila terdapat percikan api. LPG dalam tabung berwujud cair dan sebagian berwujud uap. Namun, saat dikeluarkan dari tabung, wujudnya berubah menjadi gas [3].

Sistem pendeteksi gas LPG dengan sensor gas menjadi solusi untuk memberikan peringatan dini dan membantu penanggulangan kebocoran gas. Penelitian [4] menggunakan sensor MQ-2 untuk mendeteksi kebocoran gas. Sensor MQ-2 mudah digunakan dan hemat dalam penggunaan pin digital mikrokontroler. Sensor ini menggunakan elemen pemanas kecil dan sensor elektrokimiawi yang bereaksi terhadap berbagai jenis gas, menghasilkan output berupa tingkat densitas gas yang terdeteksi. Berdasarkan perbandingan sensor, MQ-6 terbukti lebih responsif dalam mendeteksi kebocoran gas, sehingga dalam penelitian ini digunakan sebagai alat pendeteksi utama [5].

Dalam beberapa penelitian terkini, sistem deteksi kebocoran gas telah banyak dikembangkan menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan seperti deep learning untuk meningkatkan akurasi dan kemampuan pemantauan jarak jauh. Namun, pada penelitian ini, sistem dirancang secara sederhana tanpa menggunakan IoT, dengan fokus pada efektivitas metode logika fuzzy dalam pengambilan keputusan berbasis data sensor. Pendekatan ini dipilih untuk menjaga keterjangkauan biaya dan kemudahan implementasi di lingkungan rumah tangga [6].

Pengembangan sistem pendeteksi dengan logika fuzzy menjadi salah satu pendekatan yang mampu mengidentifikasi kebocoran gas LPG secara cerdas. Dalam logika fuzzy terdapat beberapa metode, yaitu metode Tsukamoto, Mamdani, dan Sugeno. Masing-masing metode memiliki pendekatan dan hasil perhitungan yang berbeda [7].

Berdasarkan penelitian yang ada, sebagian besar sistem pendeteksi gas masih menggunakan satu jenis sensor gas yang sama. Pada penelitian ini, sistem yang dirancang menggunakan dua jenis sensor gas yang berbeda, yaitu MQ-2 dan MQ-6. Penggunaan dua jenis sensor gas seperti MQ-2 dan MQ-6 sering kali diperlukan karena masing-masing memiliki sensitivitas terhadap jenis gas yang berbeda. Sensor MQ-2 dirancang untuk mendeteksi gas seperti LPG, metana, propana, dan asap secara umum, sedangkan sensor MQ-6 lebih spesifik terhadap LPG dan memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dalam mendeteksi gas ini dibandingkan dengan MQ-2.

Dengan menggabungkan kedua sensor ini, diharapkan sistem dapat mendeteksi gas dengan cakupan dan akurasi yang lebih baik. Selain itu, penggunaan dua sensor ini memungkinkan verifikasi silang antar pembacaan sensor, sehingga meningkatkan keandalan sistem. Jika salah satu sensor mengalami gangguan atau kesalahan pembacaan, sensor lainnya tetap dapat memberikan data yang valid. Penelitian ini juga membandingkan dua metode logika fuzzy, yaitu Mamdani dan Sugeno, untuk menentukan metode terbaik dalam menginterpretasi data sensor dan pengambilan keputusan.

LANDASAN TEORI

A. LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

LPG merupakan gas yang terbentuk dari hasil produksi kilang minyak dan kilang gas. LPG terdiri dari unsur karbon dan hidrogen yang merupakan senyawa hidrokarbon, yaitu propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), dengan komposisi 30% propana dan 70% butana. LPG sebagai bahan bakar memiliki sifat yang mudah terbakar jika terjadi persenyawaan di udara. Untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan, maka perlu diketahui karakteristik LPG, di antaranya memiliki tekanan yang cukup besar, dapat menghambur secara perlahan di udara, memiliki berat jenis lebih besar dibandingkan dengan udara, tidak mengandung racun, dan memiliki daya

pemanas yang cukup tinggi [8]. Konsentrasi gas LPG di udara biasanya diukur dalam satuan parts per million (ppm) untuk menentukan tingkat keberadaannya di lingkungan dan mengidentifikasi apakah konsentrasinya sudah mencapai batas aman atau berbahaya.

B. Sensor Gas

1. Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 adalah perangkat yang sangat sensitif terhadap asap rokok. Bahan utama dari sensor ini adalah SnO_2 , yang memiliki konduktivitas rendah dalam udara bersih. Ketika terjadi kebocoran gas, konduktivitas sensor akan meningkat, dan setiap kenaikan konsentrasi gas akan menyebabkan peningkatan konduktivitas sensor. MQ-2 peka terhadap berbagai jenis gas, termasuk LPG, propana, hidrogen, karbon monoksida, metana, alkohol, dan gas mudah terbakar lainnya di udara.



Gambar 1. Sensor MQ-2

Sensor ini dilengkapi dengan alat pemanas kecil dan menggunakan teknologi elektrokimiawi yang bereaksi dengan beberapa jenis gas, menghasilkan output berupa tingkat densitas gas yang terdeteksi. Oleh karena itu, sensor ini sangat cocok untuk berbagai aplikasi yang memerlukan pendeteksian kadar gas. Berikut adalah gambar dari sensor MQ-2 [9].

Berdasarkan data yang diperoleh dari *datasheet*, karakteristik dan spesifikasi dari sensor MQ-2 ditampilkan pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik Sensor MQ-2

Parameter	Keterangan
Tegangan Sirkuit (V_c)	$5V \pm 0.1$
Tegangan Pemanas (V_H)	$5V \pm 0.1$
Resistansi Beban (R_L)	Dapat disesuaikan
Resistansi Pemanas (R_H)	$33\Omega \pm 5\%$
Konsumsi Pemanas	$< 800 \text{ mW}$
Resistansi Sensing (R_s)	$3K\Omega - 30K\Omega$ (1000ppm isobutane)
Rentang Deteksi	LPG : 200ppm - 5000 ppm Butana : 300ppm - 5000ppm Metana : 5000 ppm - 20000 ppm H_2 : 300 ppm - 5000 ppm Alkohol : 100 ppm - 2000 ppm
Suhu Operasional	$-20^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$
Suhu Penyimpanan	$-20^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$
Kelembaban	$< 95\% \text{ RH}$
Konsentrasi Oksigen	21% (standar)

2. Sensor MQ-6

Sensor MQ-6 merupakan sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas LPG melalui kandungan senyawa butana dan propana yang terdapat dalam gas elpiji.

Output dari sensor ini berupa sinyal digital dan analog. Sensor ini memiliki sensitivitas yang cukup tinggi dengan waktu respons yang cepat dalam mendeteksi gas elpiji, serta bekerja pada tegangan arus searah (DC) sebesar 5 Volt [10].



Gambar 2. Sensor MQ-6

Berdasarkan data yang diperoleh dari *datasheet*, karakteristik dan spesifikasi dari sensor MQ-6 dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Karakteristik Sensor MQ-6

Parameter	Keterangan
Tegangan Sirkuit (Vc)	5V ± 0.1
Tegangan Pemanas (VH)	5V ± 0.1
Resistansi Beban (RL)	20KΩ
Resistansi Pemanas (RH)	33Ω ± 5%
Konsumsi Pemanas	< 750 mW
Resistansi Sensing (Rs)	10KΩ - 60KΩ (1000ppm LPG)
Konsentrasi Kemiringan	≤ 0.6
Suhu Operasional	-10°C - 50°C
Suhu Penyimpanan	-20°C - 70°C
Kelembaban	< 95% RH
Konsentrasi Oksigen	21% (standar)

C. Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno

Teori tentang himpunan fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Dengan memperkenalkan gagasan derajat ke dalam pengujian kondisi, memungkinkan suatu kondisi berada dalam keadaan selain benar atau salah, seperti lambat, cukup cepat, cepat, dan sangat cepat. Dasar dari logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Dalam teori ini, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika fuzzy tersebut [11]. Logika fuzzy mudah dipelajari karena menggunakan dasar teori himpunan, sehingga konsep matematika yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti. Menurut Maibang & Husein (2019), terdapat beberapa metode dalam perhitungan logika fuzzy, yaitu metode Tsukamoto, metode Mamdani, dan metode Sugeno. Masing-masing metode memiliki pendekatan dan hasil perhitungan yang berbeda. Pada penelitian ini, digunakan metode fuzzy Mamdani dan fuzzy Sugeno dalam mendeteksi kebocoran gas, dengan judul “Implementasi dan Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani dan Sugeno untuk Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 dan MQ-6”.

1. Fuzzy Mamdani

Metode Max-Min atau yang lebih dikenal sebagai metode Mamdani diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 [12]. Metode Mamdani menentukan inferensi fuzzy dengan aturan yang direpresentasikan dalam bentuk *IF-THEN*, dengan output konsekuen berupa himpunan fuzzy. Penerapan logika fuzzy metode Mamdani memiliki empat tahapan, yaitu fuzzifikasi, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi. Dari hasil defuzzifikasi inilah keputusan dapat ditentukan. Untuk mendapatkan output, diperlukan empat langkah utama (Kusumadewi & Purnomo, 2010):

a. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses mengubah input yang bersifat numerik (*crisp*) menjadi nilai fuzzy yang sesuai dengan konsep linguistik tertentu. Proses ini melibatkan penentuan himpunan fuzzy dari setiap variabel input dan output menggunakan fungsi keanggotaan. Himpunan fuzzy merupakan rentang nilai yang memiliki derajat keanggotaan (*membership function*) antara 0 hingga 1. Artinya, suatu keadaan dapat memiliki dua nilai seperti “Ya dan Tidak”, “Benar dan Salah”, atau “Baik dan Buruk” secara bersamaan, tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika fuzzy memiliki aturan untuk membentuk *rule* fuzzy menggunakan pernyataan *IF...THEN*, yang dalam penelitian ini membentuk sembilan *rule* dalam fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan yang digunakan umumnya berbentuk trapesium dan segitiga.

b. Aplikasi Fungsi Implikasi

Tahapan ini menggunakan aturan-aturan fuzzy untuk menentukan keluaran fuzzy berdasarkan input yang telah difuzzifikasi. Setelah input diubah menjadi nilai fuzzy, aturan *IF-THEN* yang telah didefinisikan sebelumnya diterapkan.

c. Komposisi Aturan (Interferensi)

Pada metode fuzzy Mamdani, proses inferensi dilakukan menggunakan metode max (maksimum). Setelah komposisi aturan dilakukan, akan diperoleh output berupa himpunan fuzzy.

d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses kebalikan dari fuzzifikasi. Pada metode fuzzy Mamdani, defuzzifikasi dilakukan menggunakan metode *centroid*. Tahapan ini menghasilkan output akhir berupa nilai *crisp* yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

2. Fuzzy Sugeno

Fuzzy Sugeno, atau yang dikenal juga sebagai *Sugeno Fuzzy Model*, adalah salah satu metode inferensi dalam sistem logika fuzzy yang dikembangkan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang pada tahun 1985. Metode ini bertujuan untuk memodelkan sistem non-linear melalui pendekatan aturan berbasis *IF-THEN* dalam upaya untuk membangun pendekatan sistematis untuk membangkitkan aturan-aturan fuzzy dari himpunan data input-output yang diberikan [13].

Perancangan sistem dengan menggunakan metode fuzzy Sugeno melibatkan beberapa tahapan penting yang harus dilalui untuk menghasilkan output keputusan yang sesuai dengan perhitungan fuzzy. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Fuzzifikasi

Adalah langkah pertama di mana data input yang bersifat *crisp* (nilai pasti) diubah menjadi nilai fuzzy. Proses ini melibatkan pemetaan nilai input ke dalam himpunan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan ini menentukan seberapa besar derajat keanggotaan suatu nilai input dalam himpunan fuzzy tertentu.

b. Inferensi

Setelah proses fuzzifikasi selesai dilanjutkan dengan proses inferensi. Inferensi adalah proses penggabungan banyak aturan berdasarkan data yang tersedia. Pada aturan fuzzy ini akan

memberikan aturan-aturan dalam fuzzy sistem yang akan dibuat dengan menggunakan perintah “IF” dan “AND” dan menghasilkan perintah “THEN”.

c. Defuzzifikasi

Proses mengubah output fuzzy yang dihasilkan dari tahap inferensi menjadi nilai *crisp* atau nilai pasti. Pada metode Sugeno, output dari setiap aturan fuzzy biasanya bukan himpunan fuzzy melainkan fungsi linier atau konstanta. Dalam metode Sugeno, hasil akhir defuzzifikasi diperoleh dengan menghitung rata-rata tertimbang dari output setiap aturan. Pada metode Sugeno defuzzifikasi dilakukan dengan perhitungan *Weight Average* (WA):

$$WA = \frac{\alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \alpha_3 Z_3 + \dots + \alpha_n Z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n} \quad (1)$$

Keterangan:

WA = Nilai rata-rata,

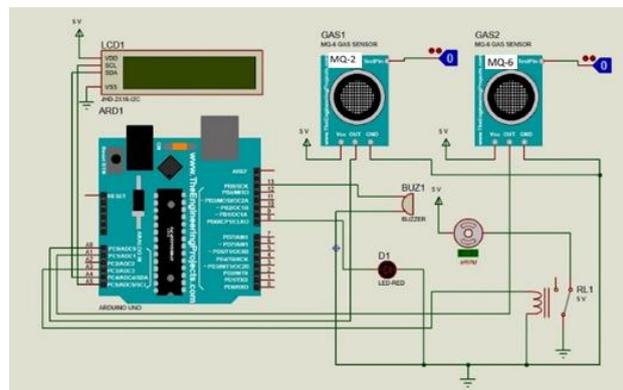
α_n = nilai predikat aturan ke-n,

Z_n = indeks nilai output (konstanta) ke-n [14].

METODE

A. Perancangan Elektrikal

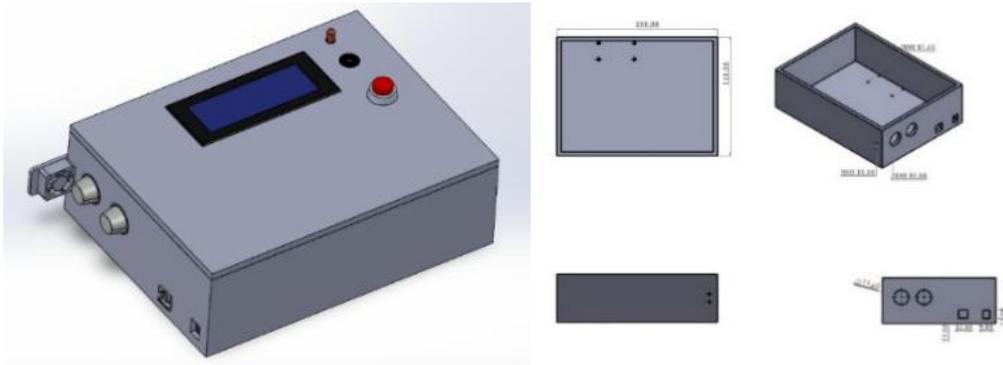
Perancangan elektrikal bertujuan untuk mempermudah proses perakitan komponen, di mana fungsi dan kegunaan dari setiap komponen berbeda. Pada proses pembuatan skema rangkaian sistem ini, Fritzing. Aplikasi Fritzing adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan digunakan aplikasi skema rangkaian sistem. Tampilan perancangan elektrikal dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah



Gambar 3. Rancangan Elektrikal

Pada Gambar 3 diatas ditampilkan rancangan elektrikal yang digunakan dalam penelitian ini. Komponen yang digunakan pada gambar tersebut yaitu Arduino Uno, sensor MQ-2 dan MQ-6, buzzer, LED, LCD I2C, driver motor L298N, stepdown LM2596, dan kipas. Sensor MQ-2 dan MQ-6 yang mendeteksi konsentrasi gas LPG di udara akan mengirimkan data ke Arduino Uno. Arduino kemudian memproses data tersebut dan memberikan tindakan jika keberadaan gas terdeteksi. Saat konsentrasi gas terdeteksi oleh sensor, Arduino akan mengaktifkan beberapa komponen penting dalam sistem. Buzzer akan mengeluarkan suara sebagai peringatan awal, sementara LED akan menyala sebagai indikasi visual bahwa kebocoran gas telah terdeteksi. Selain itu, kipas yang dikendalikan oleh driver L298N akan diaktifkan untuk membantu mengurangi konsentrasi gas berbahaya di lingkungan sekitar. Semua komponen dalam rangkaian ini didukung oleh suplai daya yang distabilkan oleh modul LM2596, yang memastikan sistem tetap bekerja dengan baik dan aman. Informasi status dan data real-time dari sensor ditampilkan pada layar LCD.

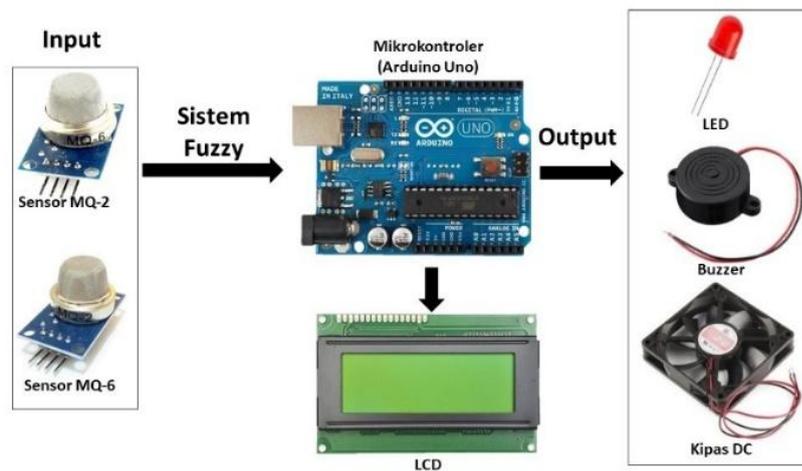
B. Perancangan Mekanikal



Gambar 4. Desain Box dan Tutup Alat

Pada Gambar 4 diatas menunjukkan rancangan mekanikal dan tata letak komponen yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-6 yang diletakkan di luar box untuk mendeteksi keberadaan gas LPG. Ketika sensor mendeteksi adanya gas LPG, kipas akan aktif untuk membuang gas agar tidak terjadi penumpukan.

C. Diagram Blok Sistem



Gambar 5. Diagram Blok Sistem

Gambar 5 menampilkan dua sensor gas, yaitu sensor MQ-2 dan MQ-6, yang berfungsi sebagai input utama dalam sistem. Kedua sensor mengirimkan data penting untuk menentukan status kebocoran gas dengan menggunakan metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno. Data yang dikirim oleh sensor dapat dipantau secara langsung melalui layar LCD. Setelah data diproses oleh metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno, jika terdeteksi adanya kebocoran gas, sistem akan secara otomatis memberikan respons penanggulangan. Pertama, buzzer akan berbunyi sebagai tanda peringatan awal. Selain itu, pemilik rumah akan menerima sinyal peringatan melalui tampilan visual pada LCD. Terakhir, kipas akan otomatis aktif untuk membantu mengurangi konsentrasi gas berbahaya di lingkungan sekitar.

D. Pengujian Sistem dan Alat

Pada tahap pengujian, penelitian ini menguji kinerja dua jenis sensor gas, yakni sensor MQ-2 dan sensor MQ-6. Kedua sensor ini diuji coba untuk menentukan kemampuan dalam mendeteksi kebocoran gas dengan akurasi tinggi. Selain itu, penelitian ini juga menguji penerapan dua metode logika fuzzy, yaitu Mamdani dan Sugeno, dalam sistem kontrol.

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa aturan yang ditentukan dapat diimplementasikan dengan baik dan menghasilkan kinerja yang optimal.

1. Pengujian Sensor Gas

Pengujian sensor gas bertujuan untuk melihat responsivitas dari sensor MQ-2 dan MQ-6. Pada tahap ini, pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan untuk memastikan konsistensi hasil pengukuran. Pengujian dilakukan dengan jarak yang berbeda-beda. Setiap percobaan dilakukan dengan cara pemberian gas pada sensor selama 3 detik pada jarak yang telah ditentukan.

2. Pengujian Sistem Fuzzy Mamdani dan Sugeno

Pengujian sistem fuzzy Mamdani dan Sugeno dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengontrol kecepatan motor berdasarkan input konsentrasi gas yang terdeteksi oleh sensor. Proses pengujian ini melibatkan pemberian gas pada sensor selama 10 detik, dengan pengumpulan data yang dimulai dari kondisi awal pemberian gas hingga gas terbuang habis oleh kipas. Data yang dikumpulkan meliputi konsentrasi gas yang terdeteksi oleh sensor serta kecepatan motor yang diukur menggunakan sensor *infrared speed motor*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat kesesuaian aturan-aturan fuzzy yang telah dirancang dengan sistem yang diimplementasikan.

3. Validasi Kecepatan Motor



Gambar 6. Pengujian Kecepatan Motor

Pada Gambar 6 di atas pengujian kecepatan motor merupakan langkah penting dalam validasi kinerja sistem kontrol yang menggunakan logika fuzzy. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan untuk memvalidasi hasil pergerakan atau kecepatan kipas yang dihasilkan oleh dua metode fuzzy, yaitu Mamdani dan Sugeno. Proses pengujian ini menggunakan sensor inframerah (*infrared speed sensor*) yang ditempatkan secara tegak lurus terhadap sebuah stik yang dipasang pada kipas. Stik ini berfungsi sebagai penanda yang akan memotong sinar sensor setiap kali kipas berputar. Setiap kali sinar sensor terputus, sensor akan mencatat satu putaran kipas. Dengan demikian, kecepatan putaran kipas dapat dihitung berdasarkan jumlah putaran yang terdeteksi dalam satuan rotasi per menit (rpm).

E. Membership Function Fuzzy

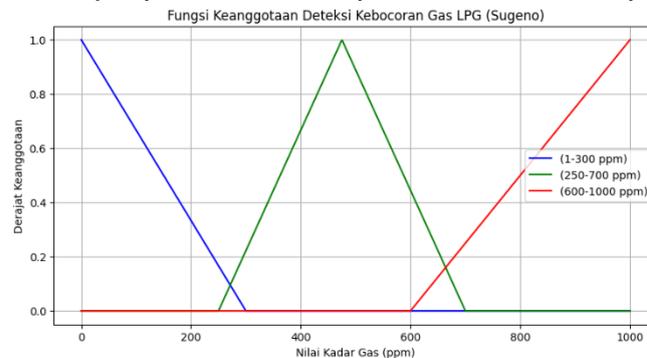
Adapun membership function dari fuzzy mamdani dan fuzzy sugeno dapat ditunjukkan pada Tabel 3 dibawah

Tabel 3. Himpunan Fuzzy Mamdani & Sugeno

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Derajat Keanggotaan
Input	MQ-2	Sedikit	1-250 ppm
		Sedang	150-350 ppm
		Banyak	250-500 ppm
	MQ-6	Sedikit	1-250 ppm
		Sedang	150-350 ppm
		Banyak	250-500 ppm
Output	Kecepatan Kipas	Lambat	100 pwm
		Sedang	150 pwm
		Cepat	250 pwm

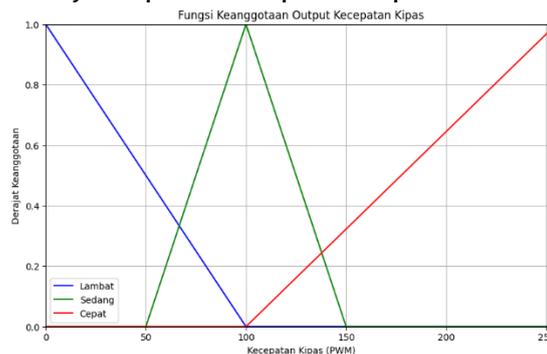
Pada Gambar 7 dibawah sistem fuzzy input yang digunakan ada dua, yaitu nilai kadar gas yang dihasilkan dari sensor MQ-2 dan MQ-6. Kedua nilai tersebut akan dihitung berdasarkan sistem fuzzy pada alat untuk menghasilkan output fuzzy berupa kecepatan kipas, di mana kipas bergerak dengan tiga tingkat kecepatan sesuai dengan himpunan yang telah dikelompokkan.

1. Membership Function Fuzzy Input “Sensor MQ-2” dan “Sensor MQ-6”



Gambar 7. Membership Function Input Sensor MQ-2 dan MQ-6

2. Membership Function Fuzzy Output “Kecepatan Kipas”.



Gambar 8. Membership function Output Mamdani dan Sugeno

Pada Gambar 8 diatas fungsi keanggotaan output kecepatan kipas menggunakan kurva segitiga, di mana kurva tersebut digunakan untuk menentukan hasil dari pembacaan dua input sensor guna memberikan aksi pada kipas. Kipas akan bergerak dengan tiga kecepatan yang menandakan adanya kebocoran gas, sesuai dengan hasil klasifikasi dari sistem fuzzy.

F. Rules fuzzy

Berdasarkan pengelompokan variabel yang telah ditetapkan, sistem yang dirancang menghasilkan sembilan aturan (*rule*) Fuzzy Mamdani dan Sugeno yang dapat digunakan untuk menentukan kecepatan kipas. Dapat di lihat pada Tabel 4 dibawah:

Tabel 4. Rules Fuzzy

Aturan	Sensor MQ-2	Sensor MQ-6	Kipas
1	Sedikit	Sedikit	Lambat
2	Sedikit	Sedang	Lambat
3	Sedikit	Banyak	Sedang
4	Sedang	Sedikit	Lambat
5	Sedang	Sedang	Sedang
6	Sedang	Banyak	Cepat
7	Banyak	Sedikit	Sedang
8	Banyak	Sedang	Cepat
9	Banyak	Banyak	Cepat

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENGUJIAN SENSOR GAS

Pengujian dilakukan untuk memastikan keakuratan dan konsistensi hasil pengukuran, yang dilakukan melalui 10 kali percobaan dengan jarak pembacaan yang berbeda-beda, yaitu 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Setiap percobaan dilakukan dengan memberikan gas pada sensor selama 3 detik.



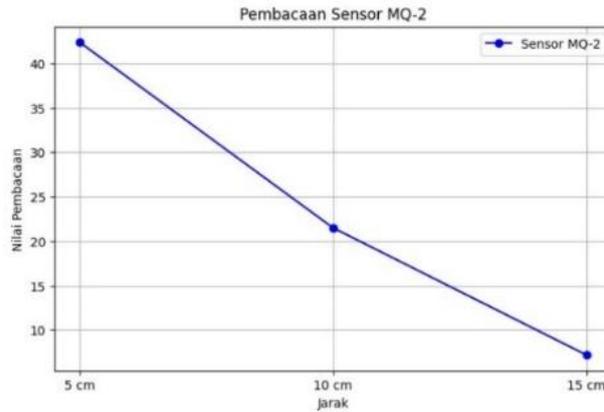
Gambar 9. Pengujian Sensor Gas

1. Sensor MQ-2

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor MQ-2

Pembacaan Sensor MQ-2	Jarak (cm)		
	5	10	15
Percobaan 1	35,34	20,75	6,34
Percobaan 2	39,42	20,93	6,54
Percobaan 3	41,91	21,2	6,74
Percobaan 4	43,1	20,48	6,92
Percobaan 5	42,62	21,57	7,11
Percobaan 6	43,1	21,76	7,29
Percobaan 7	44,09	21,95	7,49
Percobaan 8	45,1	22,05	7,65
Percobaan 9	43,36	22,05	7,86
Percobaan 10	45,62	22,24	8,07
Rata-rata	42,366	21,498	7,201

Dari Tabel 5, hasil pengujian sensor MQ-2 dapat digambarkan dengan grafik pada Gambar 10 sebagai berikut:



Gambar 10. Pembacaan Sensor MQ-2

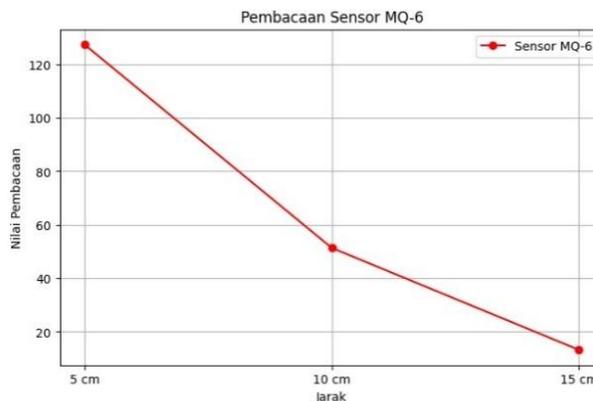
Hasil rata-rata dari grafik pada Gambar 10 menunjukkan bahwa semakin dekat jarak antara sensor dengan sumber gas, semakin tinggi nilai konsentrasi gas yang terdeteksi (ppm). Hal ini menunjukkan bahwa sensor MQ-2 memiliki respons yang lebih tinggi pada jarak yang lebih dekat, karena konsentrasi gas yang terdeteksi lebih tinggi.

2. Sensor MQ-6

Tabel 6. Hasil Pengujian Sensor MQ-6

Pembacaan Sensor MQ-6	Jarak (cm)		
	5	10	15
Percobaan 1	21,27	14,76	11,92
Percobaan 2	23,83	17,29	12,23
Percobaan 3	28,1	21,39	12,6
Percobaan 4	34,96	28,04	12,92
Percobaan 5	48,5	36,47	13,18
Percobaan 6	76,84	46,96	13,44
Percobaan 7	113,17	63,07	13,71
Percobaan 8	165,17	79,56	13,91
Percobaan 9	322,39	94,66	14,05
Percobaan 10	439,23	111,26	14,19
Rata-rata	127,346	51,346	13,215

Dari Tabel 6 hasil pengujian Sensor MQ-6 dapat dapat digambarkan dengan grafik pada Gambar 11 sebagai berikut:



Gambar 11. Pembacaan Sensor MQ-6

Hasil rata-rata yang ditampilkan grafik menunjukkan bahwa sensor MQ-6 juga memiliki pola yang sama dengan sensor MQ-2, yaitu semakin dekat jarak antara sensor dan sumber gas, semakin tinggi nilai konsentrasi gas yang terdeteksi.

B. VALIDASI KECEPATAN MOTOR

Berdasarkan hasil pengujian sistem fuzzy, diperoleh output tertinggi sebesar 254,9 PWM dengan kecepatan motor mencapai 3043 rpm. Dari hasil tersebut, diketahui bahwa setiap 1 PWM menghasilkan sekitar 11,9 putaran per menit. Nilai ini kemudian digunakan untuk menentukan tiga rentang kecepatan kipas berdasarkan RPM, dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah:

Tabel 6. Range berdasarkan PPM

No	Himpunan	Range	
		PWM	RPM
1	Lambat	0-100	0-1193
2	Sedang	100-150	1193-1785
3	Cepat	150-255	1785-3043

C. PENGUJIAN SISTEM FUZZY MAMDANI DAN SUGENO

Pengujian sistem fuzzy Mamdani dan Sugeno bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian aturan (*rule*) yang telah dirancang serta memvalidasi kecepatan motor yang dihasilkan oleh sistem. Proses ini melibatkan analisis kinerja sistem dalam mengontrol kecepatan motor berdasarkan input yang diberikan. Validasi dilakukan dengan membandingkan kecepatan motor dalam satuan RPM (*Revolutions Per Minute*) terhadap nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) yang digunakan sebagai output. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 7. Aturan Fuzzy Mamdani dan Tabel 8. Aturan Fuzzy Sugeno.

Tabel 7. Aturan Fuzzy Mamdani

MQ-2	MQ-6	KIPAS (PWM)	RPM	OUTPUT	KETERANGAN	WAKTU RESPON (s)
67.5	120	44.61	525.96	LAMBAT	SESUAI	2
120	190	47.33	569.01	LAMBAT	SESUAI	2.2
147.5	500	144.89	1682.72	SEDANG	SESUAI	2.1
200	113	35.54	408.79	LAMBAT	SESUAI	2.5
205	270	127.59	1492.31	SEDANG	SESUAI	2.3
265	300	192.92	2703.98	CEPAT	SESUAI	2.4
349	98	124.21	1453.91	SEDANG	SESUAI	2.1
260	320	209.96	2730.55	CEPAT	SESUAI	2.3
487.5	500	254.9	3043.30	CEPAT	SESUAI	2.2

Berdasarkan data pada Tabel. 7 sistem Fuzzy Mamdani menghasilkan output yang seluruhnya sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hal ini terlihat dari kolom “KETERANGAN” yang menunjukkan seluruh hasil berstatus “SESUAI”. Untuk mengukur performa sistem, dilakukan evaluasi menggunakan metrik akurasi dan presisi dengan rumus sebagai berikut:

$$Akurasi_{Mamdani} = \frac{Jumlah\ Prediksi\ Benar}{Total\ Data\ Uji} \times 100\% \quad (2)$$

$$Presisi_{Mamdani} = \frac{Jumlah\ Prediksi\ Positif\ Benar}{Jumlah\ Semua\ Prediksi\ Positif} \times 100\% \quad (3)$$

Berdasarkan Tabel. 7:

- Jumlah prediksi benar = 9
- Total data uji = 9

Maka :

$$Akurasi Mamdani = \frac{9}{9} \times 100\% = 100\% \tag{4}$$

$$Presisi Mamdani = \frac{9}{9} \times 100\% = 100\% \tag{5}$$

Rata – Rata waktu respon sistem berdasarkan kolom “WAKTU RESPON” ada;ah :

$$T = \frac{2.0+2.2+2.1+2.5+2.3+2.4+2.1+2.3+2.2}{9} = 2.23 \text{ detik} \tag{6}$$

Tabel 8. Aturan Fuzzy Sugeno

MQ-2	MQ-6	KIPAS (PWM)	RPM	KETERANGAN	KETERANGAN	WAKTU RESPON (s)
178	113	42.3	497	LAMBAT	SESUAI	1.3
120	260	82.77	961	LAMBAT	SESUAI	1.2
145	280	109.15	1284	SEDANG	SESUAI	1.5
178	113	42.3	497	LAMBAT	SESUAI	1.4
170	290	121.3	1397	SEDANG	SESUAI	1.5
232.5	370	186.92	2142	CEPAT	SESUAI	1.6
290	180	124.94	1462	SEDANG	SESUAI	1.4
410	260	220.64	2581	CEPAT	SESUAI	1.5
317.5	480	251.11	2883	CEPAT	SESUAI	1.3

berdasarkan data pada Tabel. 8 sistem Fuzzy Sugeno menghasilkan output yang seluruhnya sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hal ini terlihat dari kolom “KETERANGAN” yang menunjukkan seluruh hasil berstatus “SESUAI”. Untuk mengukur performa sistem, dilakukan evaluasi menggunakan metrik akurasi dan presisi dengan rumus sebagai berikut:

Berdasarkan Tabel. 8:

- Jumlah prediksi benar = 9
- Total data uji = 9

Maka :

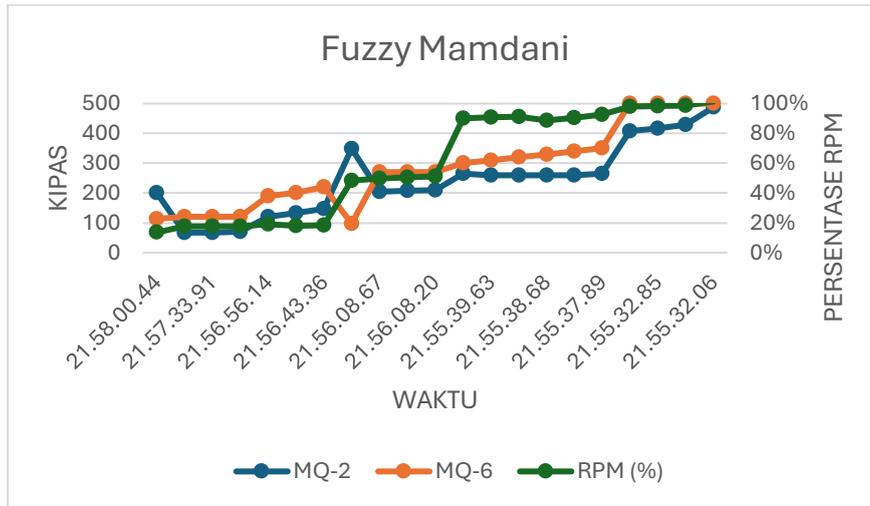
$$Akurasi Sugeno = \frac{9}{9} \times 100\% = 100\% \tag{7}$$

$$Presisi Sugeno = \frac{9}{9} \times 100\% = 100\% \tag{8}$$

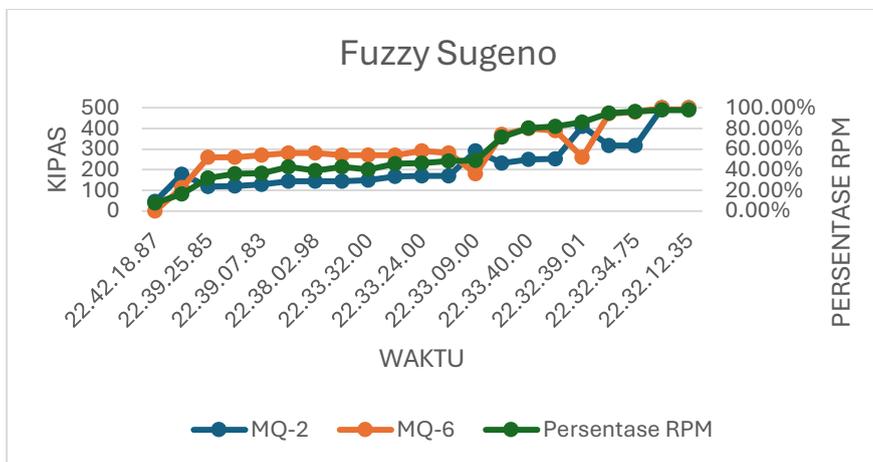
Rata – Rata waktu respon sistem berdasarkan kolom “WAKTU RESPON” ada;ah :

$$T = \frac{1.3+1.2+1.5+1.4+1.5+1.6+1.4+1.5+1.3}{9} = 1.41 \text{ detik} \tag{9}$$

D. PERBANDINGAN METODE



Gambar 12. Grafik Data Fuzzy Mamdani



Gambar 13. Grafik Data Fuzzy Sugeno

Berdasarkan analisis grafik, metode fuzzy Sugeno terbukti lebih efektif dibandingkan Mamdani karena menunjukkan pola yang lebih konsisten dan stabil. Grafik Sugeno lebih cepat kembali ke tren kenaikan meskipun terdapat fluktuasi kecil, yang mencerminkan reliabilitas tinggi dalam mendeteksi perubahan. Sebaliknya, grafik Mamdani menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dan kenaikan yang lebih lambat, menandakan responsivitas yang lebih rendah. Secara keseluruhan, metode fuzzy Sugeno lebih stabil, responsif, dan konsisten, sehingga lebih andal untuk analisis dan pengambilan keputusan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem yang telah dirancang, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pendeteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-6 dengan metode fuzzy Mamdani dan Sugeno telah berhasil diimplementasikan. Ketika kebocoran gas terdeteksi, buzzer dan LED aktif sebagai peringatan, sementara kipas berfungsi sebagai penanggulangan awal untuk mencegah penumpukan gas yang berpotensi menyebabkan ledakan.
2. Sensor MQ-2 dan MQ-6 mampu mendeteksi kadar gas dengan baik. Respons sensor meningkat seiring dengan semakin dekatnya jarak terhadap sumber gas. Sensor MQ-6

menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan MQ-2 dalam mendeteksi konsentrasi gas.

3. Metode fuzzy Sugeno menunjukkan kinerja yang lebih optimal dibandingkan Mamdani, yang dibuktikan secara kuantitatif. Hasil evaluasi kuantitatif menunjukkan metode Sugeno dan metode mamdani mencapai akurasi klasifikasi 100%, tetapi untuk waktu respons sistem rata-rata 1,41 detik, secara signifikan lebih unggul dibandingkan metode Mamdani serta Grafik Sugeno lebih stabil, konsisten, dan cepat kembali ke tren kenaikan meskipun terdapat fluktuasi kecil. Sebaliknya, grafik Mamdani menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dan respons yang lebih lambat. Konsistensi pembacaan sensor MQ-6 dan hasil RPM pada grafik Sugeno memperkuat keandalan metode ini dalam mendeteksi kebocoran gas dan mendukung pengambilan keputusan..

Daftar Pustaka

- [1] A. Fachrureza, Y. Saragih and R. Hidayat, "Pemanfaatan sensor MQ-6 pada sistem pendeteksi gas LPG," *JTET(Jurnal Teknik Elektro Terapan)*, vol. 10, pp. 45-50, 2021.
- [2] Andriana, Zulkarnain and S. B. Herpuji, "Monitoring dan Kendali Jarak Jauh Kebocoran Gas LPG Berbasis Android," *Jurnal Tiarsie*, vol. 15, pp. 1-5, 2018.
- [3] W. Dirgantara, H. Suyono and O. Setyawati, "Sistem Peringatan Dini untuk Deteksi Kebakaran pada Kebocoran Gas Menggunakan Fuzzy Logic Control," *Jurnal EECIS*, pp. 27-32, 2017.
- [4] D. Nurnasingsih, "Pendeteksi Kebocoran Tabung LPG Melalui SMS Gateway," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 11, pp. 121-126, 2018.
- [5] D. M. Pandega and H. Marcos, "Perancangan Prototipe Deteksi Kebocoran Gas Menggunakan Sensor MQ-6 untuk Rumah Tangga," *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTIKOM)*, Vols. 1-9, p. 4, 2023.
- [6] S. W. Y. Y. Q. L. T. T. & S. M. Boyang Zong, "Smart Gas Sensors: Recent Developments and Future Prospective," *Nano-Micro Letters*, Vols. 17, Artikel No. 54, 2025.
- [7] D. Kartika, R. Sovia and H. M. Sandawa, "Penerapan Metode Fuzzy Mamdani untuk Memprediksi Angka Penjualan Token Berdasarkan Persediaan dan Jumlah Permintaan pada PT.PLN (Persero) Padang Berbasis WEB," *UPI YPTK Jurnal KomTekInfo*, pp. 81-95, 2018.
- [8] P. A. INDONESIA, "Mengenal Gas LPG," 2007. [Online]. Available: <https://aptogaz.wordpress.com/wp-content/uploads/2007/07/mengenal-gas-lpg.pdf>. [Accessed 6 September 2024].
- [9] A. K. A. Z.A, "RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANAN DAPUR BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA₃₂ MENGGUNAKAN FLAME SENSOR, MQ-2, DAN MQ-6," in *UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA, MEDAN*, 2019.

- [10] A. H. K. Z. A. Mifza Ferdian Putra, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Dengan Sensor Mq-6 Berbasis Mikrokontroler Melalui Smartphone Android Sebagai Media Informasi," *Jurnal Mulawarman*, vol. 12, pp. 1-6, 2017 .
- [11] M. F. Sidik and I. F. Rahmad, "MONITORING KONDISI UDARA DI KOTA MEDAN DENGAN PENDEKATAN FUZZY LOGIC BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *IT (INFORMATIC TECHNIQUE) JOURNAL*, vol. Vol 8, pp. 73-80, 2021.
- [12] A. J. Rindengan and Y. Langi, "Sistem Fuzzy," in *Sistem Fuzzy*, 2019.
- [13] S. L. M. Sitio, "Penerapan Fuzzy Inference System Sugeno untuk Menentukan Jumlah Pembelian Obat (Studi Kasus: Garuda Sentra Medika)," *Jurnal Informatika Universitas Pamulang* 3(2):104, pp. 104-109., 2018.
- [14] D. L. Rahakbauw, "Penerapan Fuzzy Metode Sugeno untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Berdasarkan Data Persediaan dan Jumlah Permintaan," *Barekeng Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 9 (2), pp. 121-134., 2015.