

Sistem Deteksi Gas Pintar Berbasis IoT dan Terintegrasi Fuzzy-Logic untuk Keamanan Distribusi Gas secara Realtime

Putri Nur Azizah, Ahmad Taqwa*, Irma Salamah

Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

Email: ¹putriazh84@gmail.com, ^{2,*}taqwa@polsri.ac.id, ³irma.salamah@yahoo.com

Email Penulis Korespondensi: taqwa@polsri.ac.id

Submitted: 11/05/2025; Accepted: 13/06/2025; Published: 13/06/2025

Abstrak—Gas LPG merupakan bahan bakar yang banyak digunakan oleh masyarakat untuk keperluan sehari-hari baik untuk kebutuhan rumah tangga, industri maupun komersial. Meskipun mudah digunakan dan harganya terjangkau, gas LPG mengandung senyawa yang mudah terbakar yang dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan, terutama jika terjadi kebocoran yang tidak terdeteksi. Survei lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar agen atau pangkalan gas masih menggunakan metode manual dengan indera penciuman untuk mendeteksi kebocoran gas. Hal ini tentu tidak memberikan hasil yang maksimal dan akurat, sehingga dinilai tidak efektif, bahkan berpotensi berbahaya bagi kesehatan jika terlalu banyak menghirup gas yang berlebihan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang sistem deteksi kebocoran gas berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* yang terintegrasi aplikasi *Blynk*. Metode yang digunakan meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak dengan tiga sensor sebagai parameter input yaitu Sensor MQ-6 (gas), Sensor DHT22 (suhu) dan Flame Sensor (api), yang diproses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan aturan *fuzzy*. Output sistem berupa indikator visual LED, aktivasi buzzer, tampilan status pada LCD, notifikasi via *Blynk*, dan tindakan otomatis berupa kipas untuk menetralkan gas. Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian terhadap tiga skenario kondisi lingkungan, sistem mampu mendeteksi kebocoran gas dengan rata-rata error 0,315% dan akurasi sebesar 90,55%. Penelitian ini menghasilkan sistem deteksi yang handal, efektif, dan memiliki kemampuan respons cepat. Dengan adanya sistem ini, diharapkan potensi bahaya akibat kebocoran gas dapat diminimalkan dan dapat meningkatkan keamanan penyimpanan gas.

Kata Kunci: Gas LPG; Internet of Things; Fuzzy Tsukamoto; Blynk; ESP32

Abstract—LPG gas is a widely used fuel for daily needs in households, industry, and commercial sectors. Although easy to use and affordable, LPG contains highly flammable compounds that can cause fires and explosions, especially if leaks go undetected. Field surveys show that most gas agents or depots still use manual methods relying on the sense of smell to detect gas leaks. This approach does not provide optimal or accurate results, making it ineffective and potentially harmful to health when excessive gas is inhaled. Therefore, this research aims to design a gas leak detection system based on the Internet of Things (IoT) using the Fuzzy Tsukamoto algorithm integrated with the Blynk application. The method involves the design of hardware and software using three sensors as input parameters: MQ-6 (gas), DHT22 (temperature), and Flame Sensor (fire), which are processed by the ESP32 microcontroller through fuzzy logic rules. The system outputs include a visual LED indicator, buzzer activation, status display on the LCD, notifications via Blynk, and automatic fan response to neutralize the gas. Based on results simulation and testing under three environmental condition scenarios, the system is able to detect gas leaks with average error of 0.315% and accuracy of 90.55%. This study demonstrates a reliable, effective, and responsive gas leak detection system. It is expected that the system can minimize the potential dangers of gas leaks and enhance gas storage safety.

Keywords: LPG Gas; Internet of Things; Fuzzy Tsukamoto; Blynk; ESP32

1. PENDAHULUAN

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan gas hasil pengolahan minyak bumi yang terdiri dari senyawa hidrokarbon *propana* (C_3H_8) dan *butana* (C_4H_{10}) [1], [2]. Gas ini dikompresi dalam bentuk cair atau padat ke dalam tabung bertekanan tinggi [3], [4]. Di Indonesia, komposisi LPG diatur oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, dengan kandungan propana dan butana minimal 97%. LPG digunakan secara luas, baik di sektor rumah tangga, komersial, maupun industri, sebagai bahan bakar kompor, pemanas ruangan, hingga alat produksi [5], [6]. Namun, sifat LPG yang mudah menguap dan sangat mudah terbakar menjadikannya sumber risiko tinggi terhadap kebakaran [5]. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), kebocoran gas menjadi salah satu penyebab utama kebakaran di permukiman, pusat perbelanjaan, restoran, dan agen distribusi gas [4], [7], [8].

Salah satu agen distribusi resmi yang beroperasi di wilayah Palembang adalah PT. Roskita Indah. Agen ini menampung ratusan tabung gas LPG dan bertanggung jawab menyuplai ke berbagai konsumen. Dari hasil survei di beberapa agen dan pangkalan gas, diketahui bahwa alat deteksi kebocoran gas masih jarang digunakan karena harganya cukup mahal [9]. Sebagian besar agen masih mengandalkan penciuman manual untuk mendeteksi kebocoran, yang tidak hanya tidak efektif, tapi juga berisiko terhadap kesehatan [5], [10]. Hal ini menimbulkan kebutuhan akan sistem otomatis dan cerdas yang mampu mendeteksi kebocoran gas dengan cepat dan akurat, sekaligus memberikan peringatan dini guna meminimalkan potensi bahaya.

Teknologi *Internet of Things (IoT)* memberikan solusi inovatif dalam pengembangan sistem deteksi kebocoran gas [11]. *IoT* memungkinkan berbagai perangkat saling terhubung dan berkomunikasi secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung [6]. Sistem ini dapat dipantau secara *real-time* melalui smartphone, serta mengirimkan notifikasi saat terjadi kebocoran gas [12], [13]. Selain itu, penggabungan *IoT* dengan metode logika *fuzzy* dapat meningkatkan akurasi dalam proses pengambilan keputusan berdasarkan berbagai parameter [14].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba menerapkan sistem deteksi kebocoran gas berbasis *IoT*. Penelitian oleh Ani Sesanti dan Yuri Rahmanto (2025) merancang sistem deteksi gas berbasis *IoT* dengan koneksi ke web server *Thingspeak*. Meskipun sistem mampu mendeteksi kebocoran gas, penelitian ini belum menerapkan metode pengolahan data lanjutan seperti logika *fuzzy* untuk pengambilan keputusan, sehingga kurang optimal dalam memberikan respons yang tepat [15].

Penelitian oleh Arip Kristiyanto dan Ahmad Fikri Zulfikar (2024) menerapkan logika *fuzzy* dalam mendeteksi kebocoran gas LPG dan terhubung dengan platform *Cayenne*. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja dengan baik, namun platform tersebut memiliki keterbatasan karena hanya mendukung jenis mikrokontroler tertentu. Penelitian ini menyarankan penggunaan aplikasi seperti *Blynk* yang lebih fleksibel dan mendukung banyak perangkat [16].

Ruki Kurniawan dkk pada tahun 2023, menggunakan metode *Fuzzy Tsukamoto* untuk menentukan tingkat kebocoran gas berbasis aturan *IF-THEN*. Sistem ini akurat dalam membaca kadar gas dan menentukan status kebocoran, tetapi belum memiliki mekanisme respon otomatis seperti kipas atau *blower* untuk mengurangi penyebaran gas, sehingga disarankan untuk ditingkatkan pada tahap implementasi lebih lanjut [9].

Rifqi Habibi dan Sachrrial Agus di tahun 2023, mengembangkan sistem dengan algoritma *Fuzzy Sugeno* dan menampilkan hasilnya melalui aplikasi Android. Sistem ini efektif dalam mendeteksi kebocoran, namun hanya menggunakan satu parameter, yaitu konsentrasi gas, tanpa mempertimbangkan suhu atau keberadaan api. Selain itu, sistem belum terhubung ke internet, sehingga tidak mampu memberikan peringatan jarak jauh kepada pengguna [3].

Mohammad Rizal dkk di tahun 2024, menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* berbasis *IoT* untuk membedakan tingkat kebocoran menjadi rendah dan tinggi. Sistem ini mampu bekerja dengan baik dalam skala rumah tangga, tetapi belum optimal untuk skala besar seperti agen distribusi atau gudang LPG. Oleh karena itu, perlu pengembangan lebih lanjut agar dapat diaplikasikan di lingkungan industri [17].

Melihat dari berbagai penelitian tersebut, masih terdapat kekurangan dalam hal akurasi, jumlah parameter input, fitur otomatisasi, dan kemampuan *monitoring* jarak jauh. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas yang menggabungkan keunggulan dari teknologi *IoT*, algoritma *Fuzzy Tsukamoto*, dan aplikasi *Blynk* untuk menciptakan solusi yang lebih komprehensif. Perbedaan utama penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan tiga parameter input (kadar gas, suhu, dan deteksi api) untuk meningkatkan akurasi deteksi, implementasi algoritma *Fuzzy Tsukamoto* yang terbukti memiliki akurasi tinggi, integrasi dengan platform *Blynk* untuk *monitoring* jarak jauh, serta adanya mekanisme respons otomatis berupa kipas untuk menetralkan gas yang bocor.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi kebocoran gas berbasis *IoT* menggunakan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* dan aplikasi *Blynk* pada Agen Distribusi Gas LPG PT. Roskita Indah Palembang. Sistem ini diharapkan dapat mendeteksi kebocoran gas secara lebih efektif dan efisien, sehingga pihak agen bisa merespons potensi kebocoran gas dengan lebih cepat dan dapat memberikan peringatan dini, meningkatkan keamanan dan keselamatan di area penyimpanan gas serta meminimalkan potensi bahaya yang mungkin timbul akibat kebocoran gas LPG.

2. METODOLOGI PENELITIAN

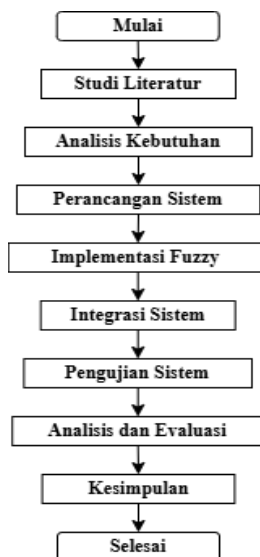
2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *eksperimen* dengan pendekatan *kuantitatif*. Metode ini dipilih karena fokus penelitian adalah merancang dan membangun sistem deteksi kebocoran gas berbasis *IoT*, serta menguji dan mengevaluasi kinerjanya. *Eksperimen* dilakukan langsung pada perangkat keras seperti sensor gas, suhu, api, mikrokontroler, kipas hisap (*exhaust fan*), dan komponen lainnya. Pendekatan *kuantitatif* digunakan karena memungkinkan pengukuran dan perhitungan kinerja sistem secara objektif. Sistem ini menggunakan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* yang dapat memproses data sensor untuk memprediksi tingkat kebocoran secara fleksibel dan membantu pengambilan keputusan yang akurat.

Penelitian ini juga berbasis pada pembuatan *prototipe* fisik yang diuji langsung di berbagai kondisi lingkungan. Melalui metode *eksperimen* dan pendekatan *kuantitatif*, *prototipe* diuji dalam berbagai skenario kebocoran gas untuk melihat respons sensor, proses pengolahan data oleh algoritma, dan pengiriman data secara *realtime* ke aplikasi *Blynk*. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menilai akurasi algoritma, tetapi juga efektivitas sistem secara keseluruhan dalam mendeteksi kebocoran gas di lingkungan nyata.

2.2 Alur Penelitian

Alur penelitian merupakan tahapan-tahapan sistematis yang dirancang untuk memandu jalannya penelitian dari awal hingga akhir. Alur ini dalam penelitian ini disusun dalam bentuk diagram alir untuk memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur mengenai setiap proses yang dilakukan dalam penelitian ini. Adapun diagram alir untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.



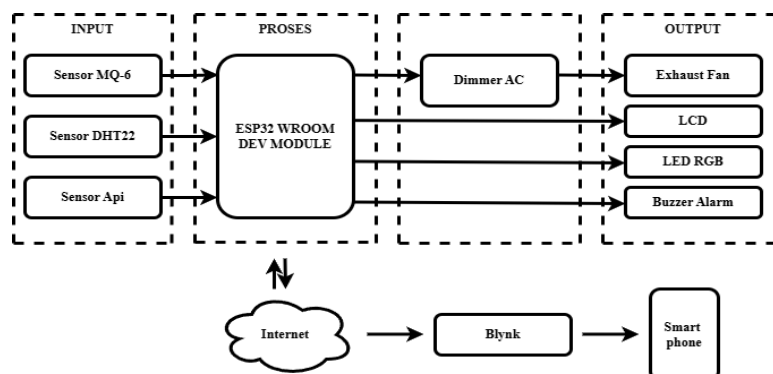
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berikut ini penjelasan mengenai setiap tahapan dalam diagram alir pada sistem ini antara lain sebagai berikut.

- Mulai: Penelitian diawali dengan menentukan topik, merumuskan masalah, menetapkan tujuan, dan merencanakan metode penelitian.
- Studi Literatur: Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi yang relevan dengan topik penelitian berbagai sumber literatur seperti jurnal, buku, artikel, dan sumber relevan lainnya.
- Analisis Kebutuhan: Setelah memperoleh pemahaman dari tahapan studi literatur, langkah selanjutnya menentukan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak sistem.
- Perancangan Sistem: Setelah semua kebutuhan terpenuhi, selanjutnya dilakukan perancangan sistem dimulai dari pembuatan desain arsitektur sistem, diagram blok, pemodelan logika *fuzzy* dan lain lain.
- Implementasi *Fuzzy*: Pada Tahap ini, algoritma *Fuzzy Tsukamoto* di rancang melalui beberapa tahapan seperti (*fuzzifikasi, rulebase, inferensi, defuzzifikasi*) kemudian di implementasikan ke kode pemrograman.
- Integrasi Sistem: Pada Tahap ini, seluruh komponen di integrasikan kedalam satu rangkaian sistem yang utuh kemudian di hubungkan ke platform *IoT* yaitu aplikasi *Blynk* melalui koneksi internet atau wi-fi.
- Pengujian Sistem: Sistem yang telah diintegrasikan, kemudian diuji untuk memastikan keakuratannya dalam mendeteksi kebocoran gas. Beberapa aspek yang diuji antara lain meliputi pengujian perangkat keras, perangkat lunak, algoritma *fuzzy* dan pengujian keseluruhan sistem.
- Analisis dan Evaluasi: Setelah sistem diuji, data hasil pengujian dianalisis untuk menilai keakuratan sistem serta melakukan evaluasi performa sistem setelah diuji dalam beberapa pengujian.
- Kesimpulan dan Saran: Setelah melakukan analisis data, selanjutnya menyimpulkan hasil akhir dari penilaian, menilai keberhasilan sistem dan evaluasi saran atau rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.
- Selesai: Menyusun seluruh hasil penelitian dalam bentuk laporan akhir dan jurnal ilmiah sebagai dokumentasi ilmiah dari penelitian yang telah dilakukan.

2.3 Perancangan Sistem

Pada tahapan perancangan, sistem di rancang menggunakan berbagai komponen elektronik atau perangkat keras (*hardware*) yang saling terhubung dan terintegrasi untuk mendukung fungsi utama sistem. Dalam penelitian ini, rancangan sistem digambarkan melalui diagram blok input, proses dan output, Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

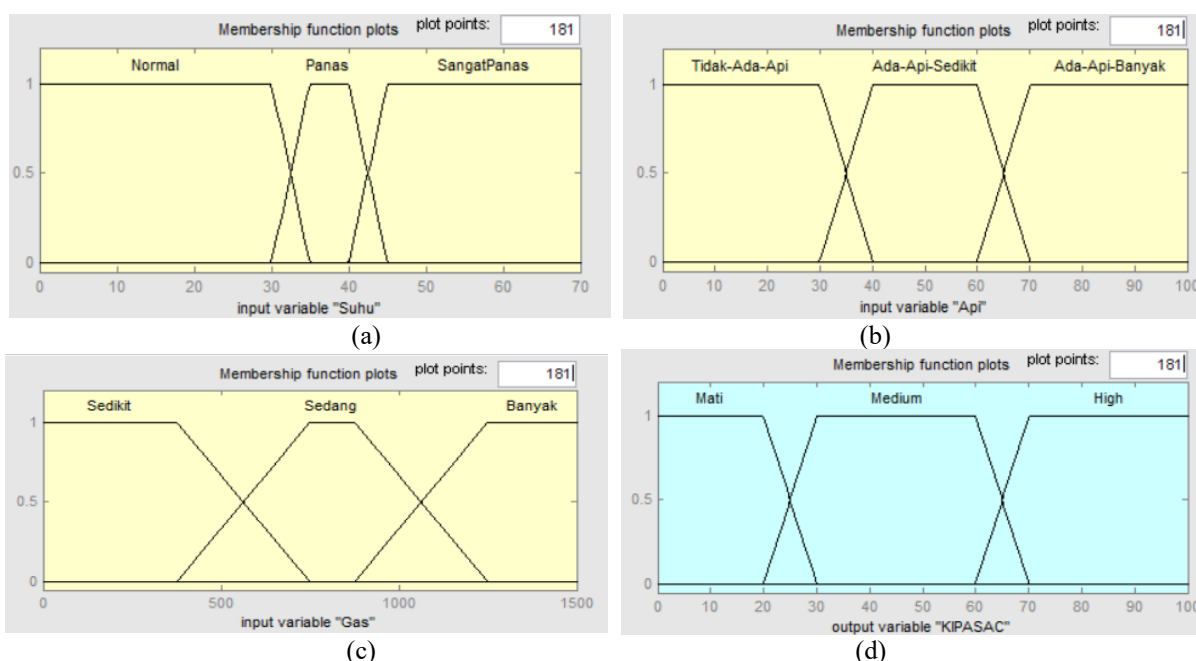
Berikut adalah penjelasan mengenai setiap blok diagram perancangan sistem antara lain sebagai berikut.

- a. Blok Input: Terdiri dari tiga sensor utama: MQ-6 untuk mendeteksi gas, DHT22 untuk mengukur suhu, serta sensor api untuk mendeteksi keberadaan api. Data-data pembacaan dari ketiga sensor ini dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses lebih lanjut.
- b. Blok Proses: ESP32 memproses data dari sensor menggunakan logika *Fuzzy Tsukamoto* untuk menentukan tingkat bahaya kebocoran gas. Selain itu, ESP32 juga terhubung ke internet untuk mengirim data secara realtime ke aplikasi *Blynk* agar pengguna dapat memantau sistem melalui smartphone, android maupun iOS.
- c. Blok Dimmer: Dimmer dalam sistem ini digunakan untuk mengatur daya kerja *Exhaust Fan* berdasarkan konsentrasi gas yang terdeteksi, sehingga kipas dapat beroperasi sesuai kebutuhan.
- d. Blok Output: Terdiri dari beberapa perangkat output yang berfungsi untuk memberikan respons terhadap kondisi yang terdeteksi oleh sistem, berikut penjelasannya beserta perannya.
 1. Exhaust Fan: Berperan untuk mengurangi konsentrasi gas sesuai tingkat bahaya.
 2. LCD: Berperan untuk menampilkan informasi kadar gas, suhu, dan status sistem.
 3. LED RGB: Berperan sebagai indikator visual untuk menunjukkan kondisi sistem; hijau (aman), kuning (waspada), merah (bahaya).
 4. Buzzer Alarm: Berperan sebagai alarm peringatan saat kondisi bahaya terdeteksi.

2.4 Implementasi Logika Fuzzy

Metode *Fuzzy Tsukamoto* merupakan suatu pendekatan dalam logika *fuzzy* yang digunakan untuk menangani sistem dengan ketidakpastian dan kompleksitas tinggi. Metode ini dikembangkan oleh *Kazuo Tsukamoto* dan digunakan dalam pengambilan keputusan maupun pengendalian sistem otomatis [18]. Pendekatan ini bekerja berdasarkan aturan *IF-THEN* yang direpresentasikan oleh himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang bersifat monoton. Setiap aturan memiliki bagian *IF* sebagai kondisi (*antiseden*) dan bagian *THEN* sebagai hasil (*konsekuen*), di mana bagian *konsekuen* diwujudkan dalam bentuk fungsi keanggotaan *fuzzy*. Untuk memperoleh nilai output yang pasti (*crisp*), digunakan proses *defuzzifikasi* dengan metode rata-rata tertimbang (*Weighted Average*) [19].

Dalam penelitian ini, metode *Fuzzy Tsukamoto* diimplementasikan dalam tiga tahap utama, yaitu *fuzzifikasi*, *inferensi fuzzy*, dan *defuzzifikasi* [19]. Tahap pertama adalah *fuzzifikasi*, yaitu proses mengubah *input* berupa data numerik (*crisp*) menjadi bentuk linguistik *fuzzy* [20]. Tiga variabel *input* yang digunakan pada sistem ini adalah suhu, konsentrasi gas, dan status api, dibuat dalam bentuk fungsi keanggotaan kurva trapesium seperti ditunjukkan pada Gambar 3(a), Gambar 3(b) dan Gambar 3(c). Sedangkan untuk variabel *output* sistem ini adalah kecepatan kipas yang ditunjukkan pada Gambar 3(d). Masing-masing variabel diwakili oleh fungsi keanggotaan sebagai berikut: suhu dibagi menjadi normal, panas, dan sangat panas; gas dibagi menjadi sedikit, sedang, dan banyak; status api dibagi menjadi tidak ada api, api sedikit, dan api banyak; serta kecepatan kipas dibagi menjadi mati, sedang, dan tinggi. Fungsi keanggotaan ini berperan penting dalam menentukan kecocokan *input* terhadap aturan *fuzzy*.



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan variabel sistem: (a) variabel input suhu, (b) variabel input api, (c) variabel input gas, (d) variabel output kipas

Tahap kedua adalah pembentukan aturan *fuzzy*. Aturan dibuat dalam bentuk *IF-THEN* berdasarkan kombinasi variabel *input* menggunakan operator *fuzzy* seperti *AND* atau *OR* [20]. Setiap aturan kemudian dievaluasi untuk menentukan derajat kebenarannya (*α -predikat*) dengan menggunakan nilai dari fungsi keanggotaan. Hasil dari

evaluasi ini disebut proses *implikasi*, di mana nilai α -predikat diterapkan pada bagian *konsekuen* untuk menentukan pengaruh masing-masing aturan terhadap *output* sistem. Berikut ini aturan-aturan *fuzzy* (*Rule Base*) yang diterapkan pada sistem deteksi ini dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Aturan basis fuzzy yang digunakan

No	Input			Output	
	Suhu	Api	Gas	Kipas	Kondisi/Status
1.	Normal	Tidak ada	Sedikit	Low	Aman
2.	Normal	Tidak ada	Sedang	Medium	Waspada
3.	Normal	Tidak ada	Banyak	High	Bahaya
4.	Normal	Ada Sedikit	Sedikit	High	Bahaya
5.	Normal	Ada Sedikit	Sedang	High	Bahaya
6.	Normal	Ada Sedikit	Banyak	High	Bahaya
7.	Normal	Ada Banyak	Sedikit	High	Bahaya
8.	Normal	Ada Banyak	Sedang	High	Bahaya
9.	Normal	Ada Banyak	Banyak	High	Bahaya
10.	Panas	Tidak ada	Sedikit	Low	Aman
11.	Panas	Tidak ada	Sedang	Medium	Waspada
12.	Panas	Tidak ada	Banyak	High	Bahaya
13.	Panas	Ada Sedikit	Sedikit	High	Bahaya
14.	Panas	Ada Sedikit	Sedang	High	Bahaya
15.	Panas	Ada Sedikit	Banyak	High	Bahaya
16.	Panas	Ada Banyak	Sedikit	High	Bahaya
17.	Panas	Ada Banyak	Sedang	High	Bahaya
18.	Panas	Ada Banyak	Banyak	High	Bahaya
19.	Sangat Panas	Tidak ada	Sedikit	Low	Aman
20.	Sangat Panas	Tidak ada	Sedang	Medium	Waspada
21.	Sangat Panas	Tidak ada	Banyak	High	Bahaya
22.	Sangat Panas	Ada Sedikit	Sedikit	High	Bahaya
23.	Sangat Panas	Ada Sedikit	Sedang	High	Bahaya
24.	Sangat Panas	Ada Sedikit	Banyak	High	Bahaya
25.	Sangat Panas	Ada Banyak	Sedikit	High	Bahaya
26.	Sangat Panas	Ada Banyak	Sedang	High	Bahaya
27.	Sangat Panas	Ada Banyak	Banyak	High	Bahaya

Tahapan terakhir dari metode *Fuzzy Tsukamoto* adalah *Defuzzifikasi* [20]. *Defuzzifikasi* digunakan untuk mengembalikan himpunan *fuzzy* ke nilai logika tegas (*crisp*) dengan cara melakukan konversi *output fuzzy* menggunakan metode rata-rata tertimbang (*Weighted Average*) yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$Z = \frac{\sum xi.ai}{\sum ai}, i = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

2.5 Integrasi Sistem

Pada tahap ini, seluruh komponen perangkat keras maupun perangkat lunak diintegrasikan atau digabung menjadi satu kesatuan sistem yang bekerja secara otomatis dan terpadu. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang menerima data sensor. Setelah itu, ESP32 dikonfigurasi agar dapat terhubung ke jaringan wifi untuk mengirimkan data sensor ke aplikasi *Blynk* melalui smartphone atau android dan memberikan notifikasi peringatan jika sistem mendeteksi kondisi bahaya.

2.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem akan dilakukan dengan mensimulasikan kebocoran gas LPG menggunakan metode pelepasan gas LPG secara terkontrol di sekitar sensor gas MQ-6. Skenario pengujian mencakup tiga kondisi yaitu kondisi aman, waspada dan bahaya yang masing-masing diuji sebanyak 3 kali. Parameter yang diukur meliputi nilai pembacaan sensor suhu, gas, dan api, respons sistem berupa LED, buzzer, kecepatan kipas, serta nilai output fuzzy. Pengukuran dilakukan tanpa menggunakan alat ukur pembanding secara fisik, sehingga nilai ground truth dalam pengujian ini ditentukan berdasarkan hasil perhitungan secara manual dan nilai perhitungan ini yang nantinya akan dijadikan sebagai acuan (*ground truth*) untuk membandingkan apakah output sistem sesuai atau tidak dengan hasil yang diharapkan. Pengujian sistem akan dilakukan didalam kondisi lingkungan terkontrol dengan suhu dan kelembapan ruang relatif normal. Lokasi pengujian dipilih untuk memastikan gas dapat terdeteksi secara optimal dan menghindari gangguan dari faktor eksternal seperti angin atau sumber gas lainnya yang dapat mempengaruhi sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Rancangan Alat

Hasil rancangan perangkat keras pada penelitian ini berupa sebuah prototipe sistem yang terdiri dari berbagai komponen utama, seperti sensor, mikrokontroler, pengkabelan, dan komponen pendukung lainnya. Seluruh komponen dirakit menjadi satu kesatuan sistem yang kemudian dikemas menggunakan box enclosure atau panel box berukuran 20 x 30 x 12 cm dan berbahan besi atau plat *mild steel*. Pemilihan material ini dilakukan untuk memastikan ketahanan fisik dan perlindungan optimal terhadap perangkat, sehingga sistem dapat beroperasi secara stabil dan andal dalam jangka waktu yang panjang. Tampilan lengkap dari alat yang telah dirakit ditunjukkan pada Gambar 4. berikut.






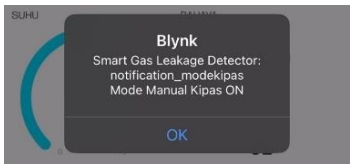
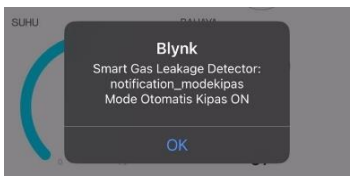
Gambar 4. Tampilan Prototype Alat Tampak Depan dan Tampak Dalam

3.2 Pengujian Alat (Hardware)

Pengujian sistem pada penelitian ini dilakukan untuk memastikan setiap perangkat keras yang digunakan dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan skema kerja sistem yang telah dirancang sebelumnya. Pengujian ini mencakup berbagai skenario kondisi lingkungan, mulai dari kondisi aman, waspada, hingga kondisi bahaya berdasarkan parameter suhu, kadar gas (ppm), dan deteksi api. Setiap kondisi menghasilkan keluaran yang berbeda pada indikator sistem seperti tampilan LCD, LED indikator, buzzer alarm, kipas, serta notifikasi melalui aplikasi. Hasil pengujian yang telah dilakukan selengkapnya disajikan dalam Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Pengujian Alat

No.	Pengujian	Tampilan Alat	Hasil	Keterangan
1.	Kondisi Aman (Sebelum terdeteksi kebocoran gas)		a. LCD Display = "STATUS GAS AMAN" b. LED = Hijau ON c. Buzzer Alarm = Tidak Berbunyi d. Kipas AC = OFF e. Speed Kipas = 0 f. Notifikasi Blynk = Tidak Ada	Terjadi ketika kadar gas < 600 ppm, suhu < 35°C, dan tidak terdeteksi api (persentase < 30%). Sistem menunjukkan lingkungan aman tanpa respons aktif.
2.	Kondisi Waspada (Setelah terdeteksi kebocoran gas sedikit)		a. LCD Display = "STATUS GAS WASPADA" b. LED = Kuning ON c. Buzzer Alarm = Berbunyi Sedang 3x d. Kipas AC = ON e. Speed Kipas = 1 f. Notifikasi Blynk = Tidak Ada	Terjadi saat kadar gas 600-1000 ppm, suhu 30-45°C, dan api terdeteksi dalam kisaran 30-60%. Sistem mulai memberikan peringatan awal.

No.	Pengujian	Tampilan Alat	Hasil	Keterangan
3.	Kondisi Bahaya (Setelah terdeteksi kebocoran gas banyak)		a. LCD Display = "STATUS GAS BAHAYA" b. LED = Merah ON c. Buzzer Alarm = Berbunyi Keras 5x d. Kipas AC = ON e. Speed Kipas = 2 f. Notifikasi Blynk = "WARNING, Kadar Gas Tinggi"	Terjadi jika kadar gas > 1000 ppm, suhu > 45°C, dan api tinggi (≥ 90%). Sistem memberikan peringatan darurat melalui tampilan visual, suara, dan notifikasi.
4.	Kontrol Kipas Mode Manual		Notifikasi Blynk: "MODE MANUAL KIPAS ON"	Pengguna dapat mengatur kecepatan kipas secara manual melalui aplikasi Blynk sesuai kebutuhan.
5.	Kontrol Kipas Mode Otomatis		Notifikasi Blynk: "MODE OTOMATIS KIPAS ON"	Sistem mengatur kecepatan kipas secara otomatis berdasarkan data sensor yang terdeteksi.

Setelah dilakukan pengujian fungsional terhadap berbagai skenario kondisi, hasilnya disajikan lengkap dalam Tabel 3. berikut. Tabel ini menunjukkan nilai sensor yang diperoleh selama pengujian berlangsung, serta uraian tindakan dan respon dari masing-masing komponen output sistem.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Alat

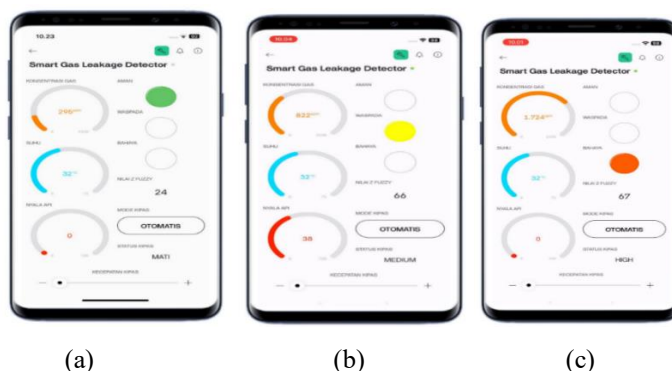
No	Nilai Sensor				Tindakan Output					Hasil
	Suhu (°C)	Gas (PPM)	Api (ADC)	Persentase Api (%)	Indikator LED	Buzzer Alarm	Kecepatan Kipas	Kondisi/ Status Gas		
1.	32	421	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
2.	32	419	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
3.	32	383	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
4.	32	369	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
5.	32	368	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
6.	32	360	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
7.	32	341	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
8.	32	346	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
9.	32	342	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
10.	32	346	4095	0	Hijau	Non Aktif	Mati	Aman	Sesuai	
11.	33	880	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
12.	33	905	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
13.	33	816	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
14.	33	890	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
15.	33	881	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
16.	33	838	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
17.	33	832	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
18.	33	811	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
19.	33	787	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
20.	33	795	4095	0	Kuning	Aktif	Medium	Waspada	Sesuai	
21.	35	1967	3440	36	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai	
22.	35	1699	3439	36	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai	
23.	35	1607	3439	36	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai	
24.	35	1364	3428	35	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai	
25.	35	1408	3326	29	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai	
26.	35	2832	3343	30	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai	
27.	35	1893	3335	30	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai	
28.	35	1871	3338	30	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai	

No	Nilai Sensor				Tindakan Output				
	Suhu (°C)	Gas (PPM)	Api (ADC)	Persentase Api (%)	Indikator LED	Buzzer Alarm	Kecepatan Kipas	Kondisi/ Status Gas	Hasil
29.	35	1285	3328	29	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai
30.	35	2319	3390	33	Merah	Aktif	High	Bahaya	Sesuai

3.3 Pengujian Dashboard (Software)

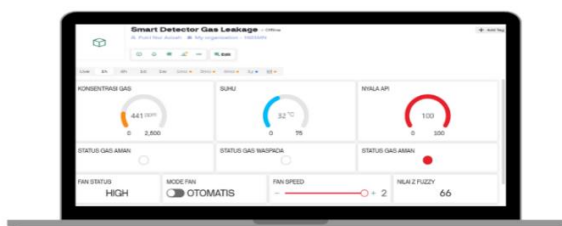
Pengujian dashboard dalam penelitian ini dilakukan untuk memastikan sistem mampu memberikan informasi secara cepat, akurat, dan mudah diakses oleh pengguna. Tampilan dashboard dikembangkan dalam dua versi, yaitu mobile dashboard yang dapat diakses melalui aplikasi di smartphone, dan web dashboard yang dapat dibuka melalui komputer atau laptop. Keduanya dirancang untuk menampilkan data real-time serta memvisualisasikan status sistem secara informatif dan responsif.

Tampilan mobile dashboard sistem disajikan pada Gambar 5. Gambar 5a menunjukkan kondisi aman yang ditandai dengan indikator LED berwarna hijau, Gambar 5b menunjukkan kondisi waspada yang ditandai dengan LED berwarna kuning, dan Gambar 5c menunjukkan kondisi bahaya yang ditandai dengan LED berwarna merah. Setiap kondisi ditampilkan secara visual dan disertai notifikasi untuk memberikan peringatan kepada pengguna sesuai tingkat bahaya yang terdeteksi.



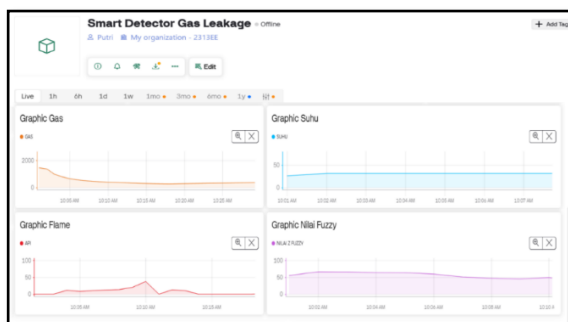
Gambar 5. Tampilan Mobile Dashboard Sistem, (a) Kondisi Aman (b) Kondisi Waspada (c) Kondisi Bahaya

Tampilan web dashboard sistem ditunjukkan pada Gambar 6. Web Dashboard ini menyajikan data dengan desain antarmuka yang lebih luas dan interaktif, pengguna dapat melakukan pemantauan melalui PC atau laptop dengan tampilan yang lebih informatif dan ideal untuk pengawasan dalam skala lebih besar atau profesional.



Gambar 6. Tampilan Web Dashboard

Gambar 7. menampilkan grafik monitoring sistem yang menggambarkan data historis pembacaan suhu, konsentrasi gas, status api, serta nilai output dari sistem fuzzy. Grafik ini memberikan gambaran visual yang jelas mengenai perubahan kondisi lingkungan serta respon sistem terhadap input sensor dalam periode waktu tertentu.



Gambar 7. Grafik Monitoring Sistem



3.4 Pengujian Metode Fuzzy Logic Tsukamoto

Untuk mengevaluasi performa sistem dalam menghasilkan keputusan berdasarkan kondisi lingkungan, dilakukan pengujian terhadap metode Fuzzy Tsukamoto. Pengujian ini menggunakan satu set data sebagai sampel, yakni sebagai berikut:

$$\text{Suhu} : 32^{\circ}\text{C} \quad \text{Gas} : 421 \text{ ppm} \quad \text{Api} : 0 \% \quad \text{Nilai Output Sistem} : 43,1925$$

Langkah-langkah pengujian dengan metode logika Fuzzy Tsukamoto ini dibagi ke dalam tiga tahap utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi.

3.4.1 Fuzzifikasi

Pada tahap ini, data sensor dikonversi ke dalam derajat keanggotaan fuzzy sesuai dengan fungsi keanggotaan yang telah didefinisikan. Fuzzifikasi memungkinkan sistem untuk menangani data input yang bersifat ambigu atau tidak pasti. Hasil fuzzifikasi dari data input adalah sebagai berikut:

Perhitungan fungsi keanggotaan suhu

$$\mu_{\text{suhu_normal}}(32) = \frac{35 - x}{35 - 30} = \frac{35 - 32}{5} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$\mu_{\text{suhu_panas}}(32) = \frac{x - 30}{35 - 30} = \frac{32 - 30}{5} = \frac{2}{5} = 0,4$$

$$\mu_{\text{suhu_sangatpanas}}(32) = 0$$

Perhitungan fungsi keanggotaan api

$$\mu_{\text{api_tidakada}}(0) = 1$$

$$\mu_{\text{api_sedikit}}(0) = 0$$

$$\mu_{\text{api_banyak}}(0) = 0$$

Perhitungan fungsi keanggotaan gas

$$\mu_{\text{gas_sedikit}}(421) = \frac{600 - x}{600 - 300} = \frac{600 - 421}{300} = \frac{179}{300} = 0,5967$$

$$\mu_{\text{gas_sedang}}(421) = \frac{x - 300}{600 - 300} = \frac{421 - 300}{300} = \frac{121}{300} = 0,4033$$

$$\mu_{\text{gas_banyak}}(421) = 0$$

3.4.2 Inferensi Fuzzy

Tahap inferensi merupakan inti dari sistem logika fuzzy, yaitu proses penerapan rulebase untuk menghasilkan keputusan logis berdasarkan kondisi yang diberikan. Setiap aturan dinilai berdasarkan nilai minimum dari derajat keanggotaan variabel input (α -predikat), kemudian dihitung nilai output (Z) sesuai dengan fungsi keanggotaan output yang relevan. Beberapa aturan yang aktif dalam pengujian ini adalah:

[RULE 1] IF suhu_normal AND api_tidakada AND gas_sedikit THEN kipas_mati

$$\alpha\text{-predikat 1} = \min(0.6, 1, 0.5967)$$

$$= 0.6 \text{ (aktif)}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{kipas_mati}} <-> \alpha\text{-predikat 1} &= \frac{30 - z}{30 - 20} \\ &= 30 - (\alpha\text{-predikat 1} \times 10) \\ &= 30 - (0.5967 \times 10) \\ &= 30 - 5.967 \end{aligned}$$

$$Z_1 = 24.033$$

[RULE 2] IF suhu_normal AND api_tidakada AND gas_sedang THEN kipas_medium

$$\alpha\text{-predikat 2} = \min(0.6, 1, 0.4033)$$

$$= 0.4033 \text{ (aktif)}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{kipas_medium}} <-> \alpha\text{-predikat 2} &= \frac{70 - z}{30 - 20} \\ &= 70 - (\alpha\text{-predikat 2} \times 10) \\ &= 70 - (0.4033 \times 10) \\ &= 70 - 4.033 \end{aligned}$$

$$Z_2 = 65.967$$

[RULE 10] IF suhu_panas AND api_tidakada AND gas_sedikit THEN kipas_mati

$$\alpha\text{-predikat 10} = \min(0.4, 1, 0.5967)$$

$$= 0.4 \text{ (aktif)}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{kipas_mati}} <-> \alpha\text{-predikat 10} &= \frac{30 - z}{30 - 20} \\ &= 30 - (\alpha\text{-predikat 10} \times 10) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= 30 - (0.4 \times 10) \\
 &= 30 - 4.0 \\
 Z_{10} &= 26
 \end{aligned}$$

[RULE 11] IF suhu_panas AND api_tidakada AND gas_sedang THEN kipas_medium

$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat 11} &= \min(0.4, 1, 0.4033) \\
 &= 0.4 \text{ (aktif)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{kipas_medium}} &\leftarrow \alpha\text{-predikat 11} = \frac{70-z}{30-20} \\
 &= 70 - (\alpha\text{-predikat 11} \times 10) \\
 &= 70 - (0.4 \times 10) \\
 &= 70 - 4.0 \\
 Z_{11} &= 66
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terdapat empat aturan yang aktif dalam kondisi ini. Nilai Z1 (24,033) dan Z10 (26) menunjukkan bahwa kipas dalam kondisi mati tetapi dengan tingkat yang berbeda berdasarkan suhu dan kadar gas. Sedangkan nilai Z2 (65,967) dan Z11 (66) menunjukkan kipas dalam kondisi medium dengan kecepatan yang hampir sama. Perbedaan nilai Z pada setiap aturan menunjukkan adanya gradasi dalam penentuan kecepatan kipas yang memungkinkan sistem bereaksi secara proporsional terhadap perubahan kondisi lingkungan yang terdeteksi.

3.4.3 Defuzzifikasi

Tahap akhir dari logika fuzzy adalah proses defuzzifikasi, yaitu mengubah hasil inferensi fuzzy menjadi nilai tegas (crisp output) yang digunakan oleh sistem untuk mengatur kecepatan kipas. Metode yang digunakan adalah rata-rata tertimbang (weighted average):

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{defuzzifikasi}} &= \frac{(\alpha \text{ predikat 1} * Z_1) + (\alpha \text{ predikat 2} * Z_2) + (\alpha \text{ predikat 10} * Z_{10}) + (\alpha \text{ predikat 11} * Z_{11})}{\alpha \text{ predikat 1} + \alpha \text{ predikat 2} + \alpha \text{ predikat 10} + \alpha \text{ predikat 11}} \\
 &= \frac{(24,033 \cdot 0.597) + (64,967 \cdot 0.4033) + (26 \cdot 0.4) + (66 \cdot 0.4)}{0.5967 + 0.4033 + 0.4 + 0.4} \\
 &= \frac{14,35 + 26,60 + 10,4 + 26,4}{1,8}
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{defuzzifikasi}} = 43,1944$$

Hasil perhitungan defuzzifikasi pada sampel data menghasilkan nilai output sebesar 43,1944, sedangkan nilai output yang didapat dari sistem adalah sebesar 43,1925. Meskipun terdapat perbedaan kecil antara kedua nilai tersebut, namun nilai ini menunjukkan bahwa sistem merekomendasikan kipas beroperasi pada kecepatan medium, yang merupakan respons proporsional terhadap kombinasi suhu yang cenderung normal-panas (32°C) dan kadar gas yang berada pada level sedikit-sedang (421 ppm), serta tidak terdeteksi adanya api. Pengendalian kecepatan kipas yang presisi ini memungkinkan sistem untuk menghemat energi sekaligus menjaga kualitas udara pada tingkat yang optimal

3.4.4 Evaluasi Hasil

Setelah proses defuzzifikasi dilakukan, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi seberapa akurat hasil perhitungan metode Fuzzy Logic Tsukamoto dibandingkan dengan output sistem yang telah diujikan. Evaluasi ini dilakukan dengan menghitung nilai Percentage Error (PE). Nilai PE yang sangat kecil menjadi indikator bahwa sistem fuzzy yang dirancang mampu menghasilkan output yang sangat mendekati nilai aktual dari sistem. Perhitungan nilai Persentase Error (PE) dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Percentage Error (PE)} &= \frac{Z_{\text{perhitungan}}(Pi) - Z_{\text{pengujian}}(PI)}{Z_{\text{perhitungan}}(Pi)} \times 100 (\%) \\
 &= \frac{43,1944 - 43,1925}{43,1944} \times 100 \\
 &= \frac{0,001944}{43,1944} \times 100 \\
 \text{Percentage Error (PE)} &= 0,0043 \%
 \end{aligned}$$

Persentase error yang didapatkan dari hasil pengujian adalah sebesar 0,0043%, yang menunjukkan bahwa implementasi metode Fuzzy Logic Tsukamoto dalam sistem pengendalian kipas memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi. Nilai error yang hampir mendekati nol ini membuktikan kehandalan dan efektivitas algoritma fuzzy yang dirancang dalam menginterpretasikan data sensor dan menghasilkan respons yang tepat sesuai dengan kondisi lingkungan yang terdeteksi.

3.5 Hasil Penerapan Logika Fuzzy Tsukamoto

Dalam proses implementasi logika Fuzzy Tsukamoto, sistem telah diuji menggunakan berbagai kombinasi parameter suhu, konsentrasi gas, dan persentase keberadaan api. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur seberapa akurat sistem dalam menghasilkan output berupa kecepatan kipas (PI) berdasarkan kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sensor. Data hasil uji coba kemudian dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan rumus fuzzy untuk mengetahui tingkat keakuratan dan konsistensi sistem. Tabel 4. berikut menyajikan hasil perbandingan antara output sistem dengan hasil perhitungan manual, serta selisih nilai dan persentase error

Tabel 4. Perbandingan Hasil Output Sistem

No	Suhu (°C)	Gas (PPM)	Persentase Api (%)	Z Hasil Perhitungan (Pi)	Z Hasil Pengujian (PI)	Selisih Nilai	Persentase Error (PE)
1.	32	421	0	43.1944	43.1925	0.0019	0.0043
2.	32	419	0	43.3707	43.0408	0.3299	0.7606
3.	32	383	0	39.9227	39.9157	0.007	0.0175
4.	32	369	0	38.3287	38.3164	0.0123	0.0320
5.	32	368	0	38.2896	38.1920	0.0976	0.2549
6.	32	360	0	37.1429	37.1400	0.0029	0.0078
7.	32	341	0	34.3307	34.2093	0.1214	0.3536
8.	32	346	0	35.1846	35.0483	0.1363	0.3873
9.	32	342	0	34.3812	34.3307	0.0505	0.1468
10.	32	346	0	35.1846	35.0483	0.1363	0.3873
11.	33	880	0	65.5600	65.5556	0.0044	0.0061
12.	33	905	0	65.9393	65.8333	0.106	0.1607
13.	33	816	0	64.5084	64.3930	0.1154	0.1788
14.	33	890	0	65.8265	65.6795	0.147	0.2233
15.	33	881	0	65.6312	65.5686	0.0626	0.0953
16.	33	838	0	64.7833	64.7778	0.0055	0.0082
17.	33	832	0	64.7222	64.6667	0.0555	0.0857
18.	33	811	0	64.3333	64.3322	0.0011	0.0017
19.	33	787	0	64.1139	64.1025	0.0114	0.0177
20.	33	795	0	64.2944	64.1667	0.1277	0.1986
21.	35	1967	36	65.2000	64.8500	0.35	0.5368
22.	35	1699	36	65.2000	64.7400	0.46	0.7055
23.	35	1607	36	65.2000	64.9200	0.28	0.4294
24.	35	1364	35	65.0000	64.6800	0.32	0.4923
25.	35	1408	29	70.0000	69.5200	0.48	0.6857
26.	35	2832	30	70.0000	69.5200	0.48	0.6857
27.	35	1893	30	70.0000	69.5200	0.48	0.6857
28.	35	1871	30	70.0000	69.5200	0.48	0.6857
29.	35	1285	29	70.0000	69.5200	0.48	0.6857
30.	35	2319	33	65.8000	65.4500	0.35	0.5319
Persentase Error (%)						9,45	
Rata-rata PE (%)						0,315	
Akurasi (%)						90,55	

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai selisih antara output sistem dan output perhitungan manual cenderung sangat kecil, dengan rata rata persentase error sebesar 0,315% yang dihitung dengan menjumlahkan persentase error dan dibagi dengan jumlah total pengujian. Sedangkan tingkat akurasi sistem dihitung dengan mengurangi nilai persentase error dari 100% sehingga menghasilkan persentase akurasi sistem dalam melakukan prediksi. Semakin kecil nilai persentase error, maka semakin tinggi nilai akurasi sistem, yang berarti semakin tepat sistem dalam mendeteksi. Namun semakin besar nilai persentase error, maka nilai akurasi sistem akan semakin rendah dan dinilai kurang tepat dalam mendeteksi. Pada penelitian ini nilai akurasi yang dihasilkan mencapai 90,55%. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma Fuzzy Tsukamoto berhasil diimplementasikan dengan baik dengan tingkat akurasi yang sangat memuaskan dan mampu memberikan output yang sesuai dengan kondisi input yang diberikan

3.6 Analisa dan Pembahasan

Dari hasil pengujian perangkat keras, sistem menunjukkan kinerja yang responsif dalam mendeteksi perubahan lingkungan. Pada kondisi aman, yaitu saat kadar gas rendah (<600 ppm), suhu normal (<35°C), dan tidak ada api yang terdeteksi, sistem memberikan respons pasif dengan indikator LED hijau, buzzer tidak aktif, dan kipas dalam keadaan mati. Hal ini menandakan bahwa sistem mampu mengenali kondisi lingkungan yang tidak membahayakan dan tetap menjaga efisiensi energi. Ketika sistem mendeteksi kondisi waspada, yaitu saat kadar gas meningkat (600–1000 ppm)

dan suhu naik (30–45°C), namun belum mencapai ambang bahaya, sistem merespon dengan menyalakan indikator LED kuning, mengaktifkan buzzer, serta mengatur kecepatan kipas ke level *medium* (1). Respons ini menunjukkan keberhasilan sistem dalam memberikan peringatan dini kepada pengguna agar dapat melakukan tindakan *preventif* sebelum situasi menjadi lebih buruk. Adapun dalam kondisi bahaya, seperti saat kadar gas sangat tinggi (>1000 ppm) dan suhu melampaui 45°C, serta dideteksi adanya nyala api, sistem memberikan peringatan maksimal. LED merah menyala, buzzer berbunyi keras, kipas menyala pada kecepatan tinggi (2), dan pengguna menerima *notifikasi* darurat melalui aplikasi *Blynk*. Respon sistem terhadap kondisi ekstrem ini menunjukkan bahwa logika *fuzzy* yang diimplementasikan telah berjalan dengan efektif. Setiap keputusan diambil berdasarkan kombinasi *input* dari tiga sensor (suhu, gas, api) yang diproses menggunakan 27 aturan *fuzzy Tsukamoto*, dan menghasilkan *output* berupa kecepatan kipas yang sesuai. Selain itu, sistem dilengkapi dengan mode kontrol kipas otomatis dan manual yang dapat diakses melalui dashboard *Blynk*. Hal ini memberikan fleksibilitas tambahan kepada pengguna, terutama dalam situasi di mana kontrol manual lebih dibutuhkan, misalnya saat dilakukan pemeliharaan sistem atau dalam skenario darurat tertentu. Melalui fitur ini, pengguna dapat mengatur kecepatan kipas secara langsung tanpa bergantung pada sensor.

Dari sisi perangkat lunak, pengujian dashboard menunjukkan bahwa antarmuka yang dikembangkan, baik pada versi *mobile* maupun *web*, mampu menampilkan status sistem secara *real-time* dan akurat. Visualisasi kondisi (aman, waspada, bahaya) ditampilkan secara intuitif dengan indikator warna yang mudah dipahami. Selain itu, fitur grafik *monitoring* historis yang ditampilkan pada *web dashboard* sangat bermanfaat dalam analisis tren kondisi lingkungan dan evaluasi performa sistem. Data historis suhu, konsentrasi gas, serta nilai *output fuzzy* membantu dalam mengidentifikasi pola-pola kebocoran yang mungkin terjadi secara berulang. Secara keseluruhan, sistem ini telah terbukti efektif dalam mendeteksi dan merespon potensi kebocoran gas secara cerdas dan terintegrasi. Penggunaan logika *Fuzzy Tsukamoto* memberikan nilai tambah dalam hal pengambilan keputusan berbasis data sensor yang bersifat tidak pasti, sehingga sistem mampu memberikan tingkat keamanan dan ketepatan yang lebih tinggi dibandingkan sistem konvensional berbasis logika *if-else* biasa. Dengan dukungan platform IoT *Blynk*, pengguna dapat melakukan pemantauan dan kontrol jarak jauh secara efisien, yang menjadikan sistem ini sangat relevan untuk diimplementasikan dalam lingkungan industri atau rumah tangga yang memiliki potensi risiko kebocoran gas.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan dengan baik sistem deteksi kebocoran gas berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dilengkapi dengan integrasi algoritma *Fuzzy Tsukamoto* dan aplikasi *Blynk*. Sistem ini mampu mendeteksi kebocoran gas dengan memproses tiga parameter utama, yaitu suhu, keberadaan api, dan konsentrasi gas. Data dari sensor diolah menggunakan algoritma *Fuzzy Tsukamoto* dengan 27 aturan *fuzzy* dan fungsi keanggotaan berbasis kurva trapesium untuk menghasilkan *output* berupa kecepatan kipas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan secara *real-time* melalui LED indikator, buzzer, tampilan LCD, dan notifikasi ke aplikasi *Blynk*. Selain itu, sistem juga mampu mengaktifkan kipas otomatis sebagai upaya penanggulangan awal terhadap potensi bahaya. Hasil pengujian juga menunjukkan performa memuaskan dengan rata-rata persentase error hanya 0,315% dan tingkat *akurasi* mencapai 90,55%, hal ini membuktikan bahwa sistem ini akurat, responsif, dan layak diimplementasikan. Meskipun sistem ini telah menunjukkan kinerja yang memuaskan, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan salah satunya seperti penggunaan jenis sensor gas yang masih standar dan akurasi pembacaan nya masih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tertentu. Oleh karena itu, pada pengembangan selanjutnya disarankan menggunakan sensor yang lebih canggih dan memiliki sensitivitas tinggi terhadap kebocoran gas. Selain itu, pengembangan algoritma *fuzzy* juga memungkinkan untuk ditingkatkan lagi seperti dengan menggabungkan nya dengan integrasi metode kecerdasan lainnya misalnya metode *machine learning* untuk analisis pola kebocoran atau prediksi potensi kebocoran sebelum terjadi serta pengembangan sistem keamanan tambahan lain nya yang lebih kompleks agar dapat meningkatkan keandalan dan *skalabilitas* penggunaan sistem. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan keamanan dan keselamatan pada agen distribusi gas serta dapat menjadi model percontohan awal bagi sektor industri sejenis dalam menerapkan teknologi *IoT* secara efektif.

REFERENCES

- [1] I. Herlambang, L. Fid Aksara, "Optimisasi Sistem Monitoring Kebocoran Gas LPG Berbasis Internet Of Things Dengan Fuzzy Inference System," *Jurnal Teknik Informatika, and U. Halu Oleo*, vol. 3, no.1, pp. 10–18, 2025.
- [2] D. A. Wicaksana and A. M. Hirzan, "Pemantauan Kebocoran Gas dan Panas Udara dengan Metode Fuzzy Berbasis IoT," *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, vol. 15, no. 1, pp. 125–132, Mar. 2024, doi: 10.51903/jtikp.v15i1.802.
- [3] R. H. Sachrrial and A. Iskandar, "Implementasi Sistem Keamanan Kebocoran Gas LPG Berbasis Android Menggunakan Metode Algoritma Fuzzy," *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 1065–1076, Sep. 2023, doi: 10.37012/jtik.v9i2.1717.
- [4] B. Daffa Saputra and B. Apriyanto, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Gas Otomatis," *Zona Elektro: Program Studi Teknik Elektro Universitas Batam*, vol. 15, no. 1, pp. 12-19, 2025, doi: 1037776/ze.v15i1.1624
- [5] N. Nurhapsari, S. Paembonan, and R. Suppa, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis IoT," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, pp. 326-338, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5594.



- [6] 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,” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 5, pp. 10233-10239, 2024.
- [7] T. E. Purnamawati, A. I. Pradana, and J. Maulindar, “Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Pada Resto Ayam Bakar dan Goreng Kremes Tata Berbasis Internet Of Things,” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 480–489, Jan. 2024, doi: 10.33379/gtech.v8i1.3815.
- [8] G. A. Ramadhan and R. Tahara Shita, “Prototype Sistem Kendali Pendeteksi Kebocoran Gas Dan Kebakaran Berbasis Arduino Dengan Aplikasi Android Pada Restaurant Katsura,” *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI)*, vol. 3, no. 2, pp. 1003-1010, 2024.
- [9] R. Kurniawan, S. Rosyad, and E. Susilawati, “Penerapan Konsep Fuzzy Tsukamoto Untuk Deteksi Dini Kebocoran Gas Lpg Berbasis Web Di Pangkalan LPG,” *Proceedings of the National Conference on Electrical Engineering, Informatics, Industrial Technology, and Creative Media*, vol. 3, no. 1, pp. 799-809, 2023.
- [10] I. M. B. G. Dharna, N. L. Ratniasih, and I. M. D. Susila, “Implementasi Teknologi Iot Untuk Sistem Pengawasan Kebocoran Gas dan Kebakaran Pada 24 Coffee Menggunakan Kodular,” *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Informatika dan Komputer*, vol. 2, no.1, pp. 115-120, 2025.
- [11] S. Cahyadi, J. Karman, and M. N. Alamsyah, “Prototype Monitoring of IoT-based Laboratory Firefighting System,” *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 3, no. 3, pp. 412–419, Dec. 2021, doi: 10.47065/bits.v3i3.1142.
- [12] S. Saparuddin, M. Amin, and S. Sudarmin, “The Box for Early Detection of Gas Leaks and Fires uses Notification System to The Fire Department,” *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 4, no. 2, pp. 422–432, Sep. 2022, doi: 10.47065/bits.v4i2.2023.
- [13] M. Arwingsyah, A. Ardhillah, E. Sulisty, and P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, “Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebakaran Asap dan Kebocoran Gas Pada Kapal Tugboat Menggunakan IoT,” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 3, no. 1, pp. 242-249, 2025
- [14] M. Z. Arif and R. P. Astutik, "Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas pada LPG dan Suhu Ruang Berbasis Protokol MQTT Menggunakan Metode Fuzzy Logic." *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 109-120, 2024
- [15] A. Sesanti and Y. Rahmanto, “Perancangan Sistem Deteksi Kebocoran Gas Bebas IoT dan Web Server,” *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 5, no. 2, pp. 550–557, Apr. 2025, doi: 10.57152/malcom.v5i2.1683.
- [16] A. Kristiyanto, A. Fikri Zulfikar, R. Puspitok, T. Selatan, U. Pamulang, and J. Raya Puspitok, “Deteksi Kebocoran LPG Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy,” *J. E-Bisnis, Sist. Informasi, Teknol. Inf*, vol. 16, no. 6, pp. 17-26, 2024
- [17] M. Rizal Hanafi, D. Purnama Adjhi, and A. Adiwilaga, “Prototype Implementation of Exhaust Fan Control Using Mamdani Fuzzy Logic to Minimize LPG Concentration,” *Journal of Applied Information and Communication Technologies*, vol. 1, no. 9, 2024, doi: 10.32497/jaict.v9i1.5300.
- [18] A. Burhanuddin, “Analisis Komparatif Inferensi Fuzzy Tsukamoto, mamdani dan Sugeno Terhadap Produktivitas Padi di Indonesia,” *LEDGER: Journal Informatic and Information Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 48-57, 2023
- [19] N. Putri, Lindawati, and Aryanti, “Tsukamoto Fuzzy In IoT-Based Automatic Control System Of Kitchen Smoke MSME Palembang Crackers,” *Journal Of Informatics And Telecommunication Engineering*, vol. 8, no. 2, pp 165-180, doi: 10.31289/jite.v8i2.13975.
- [20] A. Iskandar, “Penggunaan Sistem Pakar dan Algoritma Fuzzy Tsukamoto untuk Mendiagnosis Mucopolysaccharidosis Type II,” *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 4, no. 4, Mar. 2023, doi: 10.47065/bits.v4i4.3214.