

Pengembangan Alarm Detektor Gas Berbasis IoT sebagai Pendeteksi Kebocoran pada Gas LPG untuk Mencegah Kecelakaan Kebakaran

Brayen Yan Winarta¹, Daniel Sutopo Pamungkas²,
Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia
brayenwinarta@gmail.com¹, daniel@polibatamac.id²

Abstract— Kebocoran gas LPG merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan kebakaran yang dapat membahayakan keselamatan, baik itu di lingkungan rumah tangga maupun industri. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem monitoring suhu dan gas sebagai pendeteksi awal ketika terjadi kebocoran pada tabung gas LPG berbasis IoT yang rancangannya ditujukan untuk peringatan dini dan mencegah terjadinya aksiden kebakaran. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan teknologi IoT menggunakan sensor gas MQ-6 dan sensor suhu SHT30. Untuk meningkatkan akurasi pengambilan keputusan, perangkat mengimplementasikan metode Fuzzy Tsukamoto yang memungkinkan penanganan ketidakpastian serta memberikan respons yang adaptif berdasarkan tingkat konsentrasi gas dan suhu. Ketika konsentrasi gas melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan, kemudian perangkat mengaktifkan sistem alarm dan secara langsung akan mengirim notifikasi ke aplikasi gawai pintar berbasis android. Hal tersebut akan menjadi pemberitahuan darurat bagi pengguna sehingga dapat segera melakukan tindakan untuk mencegah terjadinya percikan api. Hasil dari pengujian alat yang telah dikembangkan menjabarkan bahwa perangkat mampu memberikan peringatan dini dengan waktu respons yang cukup cepat. Pada alat ini, dilakukan pengujian pada jarak 8 cm dari tabung gas LPG, parameter kedua sensor pada saat pengujian menjelaskan bahwa tidak ada kebocoran gas dan suhu tergolong normal sehingga output dari fuzzy menegaskan bahwa kondisi aman. Oleh karena itu, perangkat ini memiliki potensi besar dalam mengurangi risiko kebakaran akibat kebocoran gas serta integrasi dengan gawai pintar secara tidak langsung akan meningkatkan aspek keselamatan pada penggunaan LPG.

Keywords— *IoT, ESP32, MQ-6, SHT30, aplikasi Android, Fuzzy Tsukamoto, deteksi kebocoran Gas LPG.*

I. PENDAHULUAN

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan satu dari sekian banyak sumber daya alam yang dimanfaatkan oleh peradaban manusia modern sebagai sumber energi alternatif. Karena sifatnya terbarukan, energi ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan umumnya pada penggunaan rumah tangga dan proses produksi di suatu perusahaan serta kebutuhan transportasi. LPG terdiri dari campuran hidrokarbon ringan, terutama propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), yang diperoleh dari proses pemurnian minyak bumi atau gas alam [1]. Proses pembuatan LPG dari gas alam melalui beberapa proses yakni pemurnian gas alam, pemisahan fraksi, dan pencairan. Senyawa utama yang terkandung terdiri dari propana dan butana, diekstrak dari aliran gas alam basah atau sebagai produk sampingan dari penyulingan minyak mentah. LPG yang berbentuk gas dapat dengan mudah dikompresi menjadi bentuk cair untuk mempermudah penyimpanan dan distribusi [2].

Sebagai bahan bakar, LPG memiliki keunggulan dalam hal efisiensi dan emisi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil konvensional [3]. Namun, LPG juga memiliki risiko tinggi terhadap bahaya kebakaran dan ledakan, terutama jika terjadi kebocoran gas di ruang tertutup yang tidak memiliki ventilasi yang baik. Akumulasi gas dalam jumlah tertentu di lingkungan tersebut dapat menyebabkan ledakan jika terkena sumber api [4].

Menurut beberapa laporan media dan studi lapangan, insiden kecelakaan akibat kebocoran gas LPG umumnya disebabkan oleh kelalaian pengguna dalam pemasangan regulator, penggunaan tabung yang rusak, hingga produk gagal produksi yang tetap beredar di pasaran [5]. Upaya pencegahan telah dilakukan melalui edukasi dan prosedur keselamatan dari pihak produsen, namun risiko tetap ada terutama pada pengguna yang kurang memahami aspek teknis penggunaan LPG [6].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas LPG. Salah satunya adalah prototipe sistem deteksi berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang oleh Soesilo dan Fayuza [7]. Meskipun sistem tersebut telah mampu mendeteksi adanya kebocoran, namun masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti desain perangkat yang belum permanen (masih menggunakan protoboard), tidak dilengkapi pelindung perangkat, serta bergantung pada aplikasi pihak ketiga seperti Blynk yang memiliki keterbatasan kontrol dan keamanan.

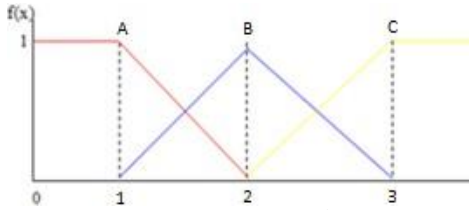
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem alarm detektor gas LPG berbasis IoT yang lebih andal, akurat, dan responsif. ESP32 menjadi otak utama dalam sistem yang dirancang karena perangkat ini mengusung konsep IoT sehingga fitur WiFi built-in yang dimiliki mikrokontroler ini menjadi kompatibel terhubung ke database melalui jaringan internet [8] yang akan diintegrasikan dengan sensor gas (MQ-6) dan suhu (SHT30) untuk memindai kondisi sekitar tabung gas.

Data sensor yang dibaca dan dikumpulkan oleh microcontroller akan diolah kedalam metode logika fuzzy Tsukamoto untuk menentukan kondisi berbahaya secara adaptif berdasarkan parameter lingkungan [9]. Jika perangkat mendeteksi adanya kebocoran dengan indikasi konsentrasi gas melebihi ambang batas, maka sistem perangkat akan mengaktifkan alarm dan mengirim pemberitahuan secara langsung ke aplikasi Android. Dengan pengembangan ini, diharapkan mampu menjadi terobosan sebagai media keamanan karena mampu memberikan peringatan dini.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Fuzzy Tsukamoto

Fuzzy Tsukamoto adalah metode dalam sistem logika fuzzy yang digunakan untuk membuat keputusan atau melakukan inferensi dalam suatu sistem berbasis logika fuzzy. Metode ini dikembangkan oleh Toshio Tsukamoto pada tahun 1979 dan merupakan bentuk model sistem inferensi fuzzy yang memanfaatkan aturan berbasis fungsi keanggotaan fuzzy.



Gambar 1. Fuzzy Tsukamoto

Secara umum, metode Tsukamoto digunakan untuk memodelkan sistem yang memiliki ketidakpastian atau ambiguitas dalam pengambilan keputusan, yang tidak dapat dijelaskan dengan logika biner biasa (benar/salah) [10].

Dalam menyelesaikan sistem pendukung keputusan dengan menggunakan logika fuzzy tsukamoto [11] terdapat 4 tahapan, yakni:

1. Fuzzifikasi

Mengidentifikasi semua variabel yang berhubungan dengan proses yang akan ditentukan, sehingga setiap variabel input akan ditetapkan sesuai fungsi fuzzifikasi [12].

2. Pembentukan Aturan fuzzy

Aturan fuzzy diciptakan untuk mendapatkan hasil yang menggambarkan hubungan antara variabel input dan variabel output. Aturan fuzzy yang diterapkan adalah aturan "jika-maka," dengan hubungan antar variabel masukan menggunakan operator "dan". Pertanyaan yang muncul setelah "jika" disebut antisiden, sementara pernyataan setelah "maka" disebut konsekuen [13].

$$\text{Jika } (\alpha_1 \text{ adalah } A_1) \cap \dots \cap (\alpha_n \text{ adalah } A_n) \\ \text{maka } (b \text{ adalah } k)$$

3. Analisis Logika fuzzy (Inferensi)

Setiap aturan yang dibuat adalah pernyataan implikasi. Dalam metode pendekatan fuzzy Tsukamoto, fungsi implikasi yang diterapkan adalah fungsi implikasi Min. Fungsi implikasi Min ini mengambil nilai keanggotaan yang paling kecil dari elemen dalam himpunan fuzzy yang relevan [14].

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x_i), \mu_B(y_i))$$

4. Analisis Logika fuzzy (Defuzzifikasi)

Proses defuzzifikasi pada metode Tsukamoto menggunakan metode rata-rata terpusat (Average) [15].

$$p = \frac{\sum \alpha_i p_i}{\sum \alpha_i}$$

B. Internet of Things

Internet of Things atau yang biasa disebut dengan IoT adalah metode yang menghubungkan berbagai perangkat fisik ke internet, sehingga suatu sistem perangkat dapat saling berkomunikasi dan bertukar data [16].

Dalam dunia mikrokontroler, metode berbasis Internet di mana mikrokontroler yang berupa chip komputer kecil berfungsi sebagai otak dan pengendali sistem pada perangkat yang terhubung ke koneksi jaringan. Mikrokontroler berperan sebagai penghubung antara sensor, aktuator, dan perangkat komunikasi, sehingga perangkat dapat mengumpulkan data, memproses, dan mengirim ke jaringan dan basis data serta kebutuhan pengiriman data ke perangkat lain [17].



Gambar 2. Internet of Things

C. Android Application

Aplikasi Android merupakan software yang dibuat untuk digunakan pada perangkat yang memiliki sistem operasi Android [18]. Dengan aplikasi android, pengguna dapat melakukan berbagai kegiatan digital yang pada umumnya digunakan sebagai sarana komunikasi antar pengguna.

Dalam hal perkembangan teknologi di bidang IoT, aplikasi android banyak digunakan oleh para pengembang perangkat lunak yang bertujuan untuk membuat sistem yang dapat terhubung dengan perangkat IoT. Dengan menggunakan aplikasi android, memungkinkan sebuah perangkat untuk melakukan pengaturan, monitoring, dan mengendalikan beragam perangkat dari ponsel [19].



Gambar 3. Aplikasi Android

D. ESP32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System dan merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Salah satu kelebihan yang dimiliki oleh ESP32 adalah sudah terdapat Wifi dan Bluetooth di dalamnya, yang mempermudah pembuatan sistem IoT yang memerlukan koneksi wireless. Prosesor tersebut memiliki kecepatan clock lebih dari 240 MHz, yang menghasilkan kecepatan pemrosesan data yang relatif tinggi. Penggunaan ESP32 cocok digunakan untuk pengembangan alat ini karena mampu berkomunikasi melalui perantara sinyal koneksi jaringan (online).

E. MQ-6

Modul MQ-6 digunakan dalam peralatan pendeteksi kebocoran gas di rumah dan industri. Modul ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap LPG, iso-butana, propana, dan LNG. Modul ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan alkohol, asap masakan, dan asap rokok.

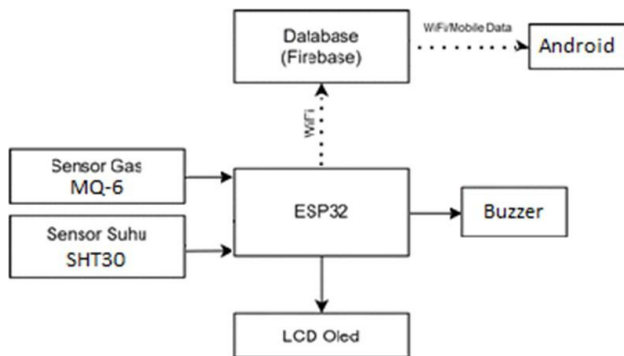
F. SHT30

SHT30 merupakan sensor suhu dan kelembaban buatan CMOSens® technology. Sensor ini memiliki konsumsi daya yang rendah (<0.5 mA), respon pembacaan yang cepat (>2s untuk suhu dan >8s untuk kelembaban). Sensor ini dikalibrasi secara internal dan memiliki output tegangan analog yang liner terhadap suhu & kelembaban.

III. TAHAP PELAKSANAAN

A. Diagram Sistem

Perancangan sistem pada implementasi sistem alarm dini pencegah kebakaran dijelaskan pada diagram blok di Gambar 4.

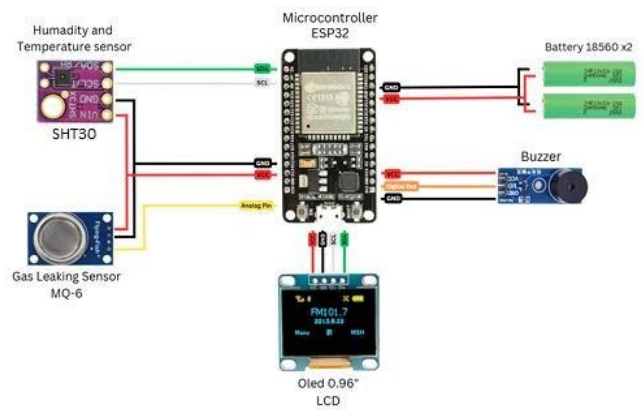


Gambar 4. Diagram Sistem

Sistem ini mendapat input analog dari data sensor MQ-6 yang berupa nilai konsentrasi gas, sedangkan sensor SHT30 menyediakan data suhu dan kelembaban yang terhubung secara menggunakan komunikasi I2C ke mikrokontroler ESP32. Setelah data dari kedua sensor tersebut diperoleh, proses selanjutnya menampilkan nilai masing-masing parameter sensor pada LCD serta mengirimkan ke database melalui koneksi jaringan.

Ketika nilai sensor berada di atas ambang batas maka akan memberikan sinyal warning pada ponsel pengguna dan buzzer menyala pada alat pendeteksi.

B. Desain Electricial

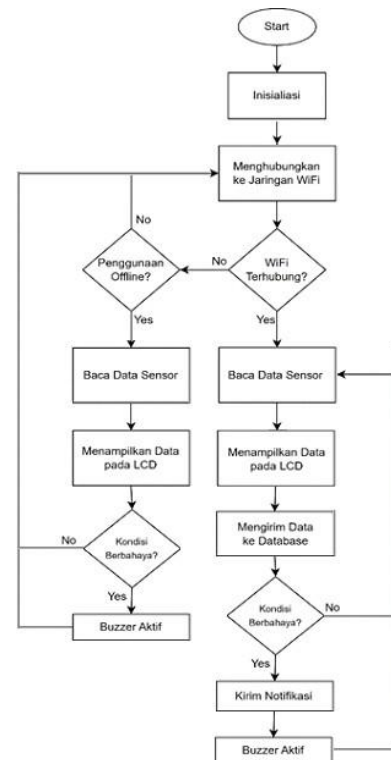


Gambar 5. Elektrikal System

Rancangan elektrikal dapat dilihat pada Gambar 5. Pada rangkaian tersebut terdapat perangkat utama dari sistem alarm dini kebakaran yaitu ESP32, Sensor MQ-6 dan Sensor SHT30.

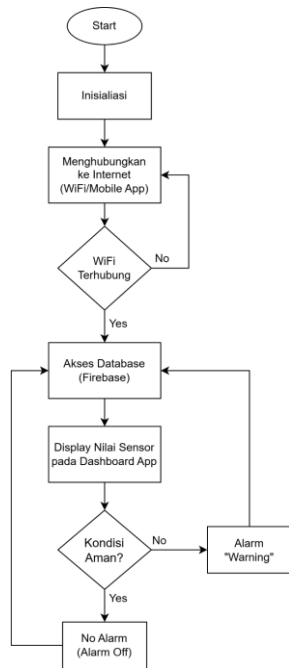
C. Diagram alir Perangkat Lunak

Sistem perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 6. Menggunakan sistem yang terintegrasi IoT mengharuskan mikrokontroler terhubung dengan jaringan internet melalui WiFi yang akan membagikan data pembacaan sensor ke database (firebase).



Gambar 6. Diagram Alir Perangkat Lunak

Sistem ini juga dapat digunakan secara offline jika tidak ada sinyal WiFi yang terkoneksi. Ketika pembacaan sensor melebihi nilai ambang batas, maka akan memberikan sinyal peringatan berupa suara buzzer yang aktif serta LCD menampilkan blinking merah pada latar belakang.

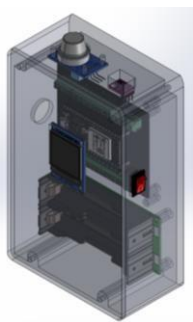


Gambar 7. Diagram Alir Android App

Selain diagram alir pada sistem utama, Gambar 7. menampilkan rancangan pada bagian aplikasi android. Aplikasi yang digunakan juga diwajibkan memiliki akses internet sehingga dapat mengakses data yang dibagikan oleh mikrokontroler. Tampilan aplikasi akan menampilkan data yang dibaca oleh kedua sensor (gas dan suhu) sehingga memudahkan monitoring jarak jauh. Ketika terjadi kondisi abnormal, aplikasi akan memberikan peringatan berupa alarm yang menandakan bahwa terjadi adanya kebocoran gas.

D. Desain Mekanikal

Pada Gambar 8. menampilkan rancangan dari design mekanikal yang menggunakan material PLA berbahan dasar plastik yang dibentuk dengan mesin 3D Printer. Pemilihan pembuatan mekanik dengan metode ini karena bisa mendukung design sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 8. Mekanikal

Rancangan ini menunjukkan keseluruhan bahan yang diperlukan dalam pembuatan alat akan dikemas secara utuh satu kesatuan dengan beberapa komponen pendukung seperti bagian atas terdapat sensor gas MQ-6, kemudian pada bagian tengah terdapat LCD, selanjutnya terdapat microcontroller ESP32 dan sensor suhu yang berada pada posisi tengah bagian dalam, serta baterai 18650 sebanyak 2

unit lengkap dengan battery holder pada posisi bawah. Dimensi rancangan mekanikal ini sebesar 140x60x30mm.

E. Fuzzy Tsukamoto

Sistem logika fuzzy berfungsi untuk membuat keputusan dengan menggunakan data yang tidak jelas atau samar. Dalam metode ini, aturan yang digunakan dalam pengambilan keputusan memiliki bentuk yang lebih terperinci dan hasil akhirnya adalah angka yang pasti.

1. Variable Fuzzy

• Input:

Suhu: Dingin, Hangat, Panas.

Gas: Tidak Bocor, Bocor Sedang, Bocor Besar.

• Output:

Kondisi: Aman, Batas Aman, Berbahaya.

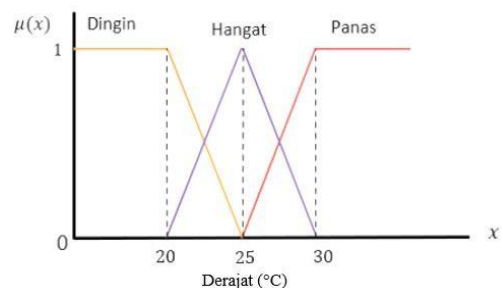
2. Aturan Fuzzy

- [R1] Jika suhu Dingin dan gas Kecil, maka kondisi Aman.
- [R2] Jika suhu Hangat dan gas Kecil, maka kondisi Aman.
- [R3] Jika suhu Dingin dan gas Sedang, maka kondisi Aman.
- [R4] Jika suhu Panas dan gas Kecil, maka kondisi Sedang.
- [R5] Jika suhu Dingin dan gas Besar, maka kondisi Sedang.
- [R6] Jika suhu Hangat dan gas Sedang, maka kondisi Sedang.
- [R7] Jika suhu Panas dan gas Sedang, maka kondisi Bahaya.
- [R8] Jika suhu Hangat dan gas Besar, maka kondisi Bahaya.
- [R9] Jika suhu Panas dan gas Besar, maka kondisi Bahaya.

3. Fuzzifikasi

• Suhu

Pada Gambar 9. menampilkan fuzzifikasi dari suhu yang terbaca dari sensor. Terdapat 3 variabel pada suhu yakni, dingin pada rentang 0 hingga 25 derajat dan hangat pada rentang 20 hingga 30 derajat serta kategori panas pada 25 hingga 30 derajat.

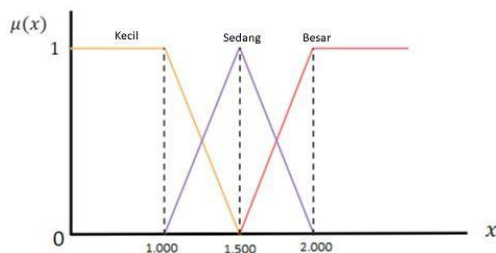


$$\begin{aligned}
 \text{(Dingin)} \quad \mu_{Dingin}(x) &= \begin{cases} 1 & ; \quad x \leq 20 \\ \frac{25-x}{25-20} & ; \quad 20 \leq x \leq 25 \\ 0 & ; \quad x \geq 25 \end{cases} \\
 \text{(Hangat)} \quad \mu_{Hangat}(x) &= \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 20 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-20}{25-20} & ; \quad 20 \leq x \leq 25 \\ \frac{30-x}{30-25} & ; \quad 25 \leq x \leq 30 \end{cases} \\
 \text{(Panas)} \quad \mu_{Panas}(x) &= \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 25 \\ \frac{x-25}{30-25} & ; \quad 25 \leq x \leq 30 \\ 1 & ; \quad x \geq 30 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(Aman)} \quad \mu_{Aman}(z) &= \begin{cases} 1 & ; \quad z \leq 30 \\ \frac{50-z}{50-30} & ; \quad 30 \leq z \leq 50 \\ 0 & ; \quad z \geq 50 \end{cases} \\
 \text{(Batas Aman)} \quad \mu_{BatasAman}(z) &= \begin{cases} 0 & ; \quad z \leq 30 \text{ atau } z \geq 70 \\ \frac{z-30}{50-30} & ; \quad 30 \leq z \leq 50 \\ \frac{70-z}{70-50} & ; \quad 50 \leq z \leq 70 \end{cases} \\
 \text{(Bahaya)} \quad \mu_{Bahaya}(z) &= \begin{cases} 0 & ; \quad z \leq 50 \\ \frac{z-50}{70-50} & ; \quad 50 \leq z \leq 70 \\ 1 & ; \quad z \geq 70 \end{cases}
 \end{aligned}$$

• Gas

Pada Gambar 10. menampilkan fuzzifikasi dari konsentrasi gas yang terbaca dari sensor. Terdapat 3 variabel pada pembacaan konsentrasi kebocoran gas dalam satuan Part Per Million (Ppm) yakni, Tidak Bocor pada rentang 0 hingga 1.500 Ppm dan Bocor Halus pada rentang 1.000 hingga 2.000 Ppm serta kategori Bocor Besar pada 1.500 hingga 2.000 Ppm.

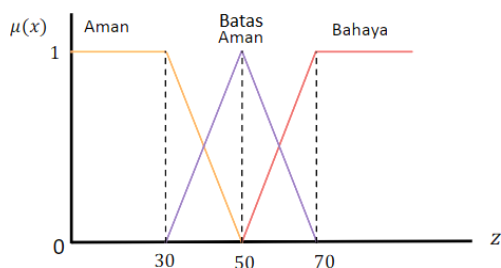


Gambar 10. Fuzzifikasi Gas

$$\begin{aligned}
 \text{(Kecil)} \quad \mu_{Kecil}(x) &= \begin{cases} 1 & ; \quad x \leq 1000 \\ \frac{1500-x}{1500-1000} & ; \quad 1000 \leq x \leq 1500 \\ 0 & ; \quad x \geq 1500 \end{cases} \\
 \text{(Sedang)} \quad \mu_{Sedang}(x) &= \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 1000 \text{ atau } x \geq 2000 \\ \frac{x-1000}{1500-1000} & ; \quad 1000 \leq x \leq 1500 \\ \frac{2000-x}{2000-1500} & ; \quad 1500 \leq x \leq 2000 \end{cases} \\
 \text{(Besar)} \quad \mu_{Besar}(x) &= \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 1500 \\ \frac{x-1500}{2000-1500} & ; \quad 1500 \leq x \leq 2000 \\ 1 & ; \quad x \geq 2000 \end{cases}
 \end{aligned}$$

• Kondisi

Pada Gambar 11. menampilkan fuzzifikasi dari kondisi atau keadaan di area sekitar tabung gas. Terdapat 3 variabel pada penentuan kategori output keamanan dalam satuan persentase yakni, Aman pada rentang 0 hingga 30 persen dan Batas Aman pada rentang 30 hingga 70 persen serta kategori Bahaya pada 50 hingga 70 persen keatas.



Gambar 11. Fuzzifikasi Kondisi

IV. HASIL DAN PENJELASAN

A. Mechanical

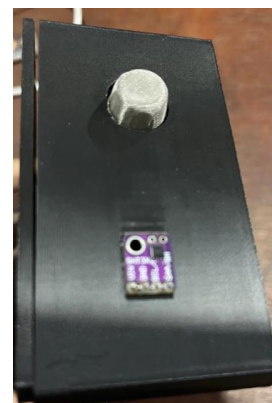
Mekanikal pada alat ini dibuat menggunakan mesin 3D Print menggunakan filament berbahan jenis PLA yang berwarna hitam. Terdapat 2 komponen utama pada mekanikal alat pendeteksi kebocoran gas yang dikembangkan ini, yaitu basis itu sendiri sebagai tempat untuk peletakan komponen dan instalasi pengkabelan serta bagian penutup yang berfungsi sebagai penutup sekaligus peletakan LCD sehingga memudahkan user untuk melihat parameter sensor karena berada pada area depan alat.

Gambar 12. menampilkan tampak depan pada alat yang berisi LCD Oled 128x128. Pengunci bagian tutup dan base menggunakan baut berukuran M3 yang memiliki panjang 10mm yang terletak 4 titik sehingga meminimalisir penutup terlepas pada saat penggunaan alat.



Gambar 12. Tampilan Depan Perangkat

Gambar 13. menampilkan tampak atas pada alat ini yang berisi sensor MQ-6 dan SHT30. Peletakan atas berfungsi untuk pembacaan sensor yang maksimal terhadap perubahan baik itu suhu maupun gas.



Gambar 13. Tampilan Atas Perangkat

B. Electrical

Sistem pengkabelan dibuat dalam satu kesatuan utuh pada satu bagian didalam basis panel serta dilengkapi dengan 2 buah baterai 18650 untuk keperluan mobile sehingga memudahkan dalam penggunaan di ruangan tanpa ada sumber daya listrik.

Pada Gambar 14. menampilkan sistem pengkabelan dari konsep yang dijelaskan pada Gambar 5. yang di mana semua komponen termasuk mikrokontroler, sensor suhu, sensor gas, LCD Oled, serta baterai dirangkai dalam satu kesatuan di dalam basis mekanikal.



Gambar 14. Electrical

C. LCD Parameter Display

Display parameter ditampilkan melalui LCD Oled 128x128 pixel membuat tampilan lebih proporsional yang dilengkapi dengan gauge sehingga memudahkan dalam pembacaan parameter.



Gambar 15. Tampilan Layar LCD

Pada Gambar 15. Menampilkan display yang menunjukkan parameter untuk indikator suhu dan kelembaban serta konsentrasi gas. Pada saat gas terdeteksi, tampilan LCD akan berkedip merah sehingga pengguna akan lebih aware secara visual.

D. Android App

Aplikasi android akan memberikan notifikasi dan nada dering ketika terjadi hal yang tidak diinginkan. Kelebihannya adalah memungkinkan pengguna mendapat notifikasi jarak jauh.



Gambar 16. Android App

Pada Gambar 16. menampilkan user interface pada aplikasi smartphone android. Sama halnya seperti LCD, parameter yang ditampilkan pada gawai sama yaitu konsentrasi gas, suhu, dan kelembaban. Aplikasi akan terus menerus berjalan di latar belakang untuk dapat memberikan notifikasi secara cepat dengan catatan koneksi internet yang stabil.

E. Pengujian Sensor Gas MQ-6

Sensor MQ-6 bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi bahan semikonduktor (SnO_2) saat terpapar gas tertentu [20]. Pada jurnal ini, pin Analog digunakan sebagai tegangan input dan dibaca oleh mikro yang proporsional terhadap konsentrasi gas.



Gambar 17. Sensor Gas MQ-6

Pengujian kebocoran gas dilakukan seperti pada Gambar 17. Pengujian deteksi konsentrasi gas oleh sensor MQ-6 menggunakan gas korek api. Bahan dasar gas korek api biasanya adalah butana (C_4H_{10}) atau propana (C_3H_8), yang merupakan gas cair yang mudah terbakar. Butana lebih umum digunakan karena lebih mudah disimpan dan digunakan dalam korek api. Pada datasheet yang tertera pada sensor ini, data sensor memiliki spesifikasi 10 bit dengan konsentrasi gas yang mampu dibaca antara 200-10.000 Ppm (Parts per million).

Tabel 1. Pengujian Sensor Gas MQ-6

No.	Kondisi	Gas (Ppm)	Tegangan (V)	Mendeteksi Gas
1.	Ambient	832	0.32	Tidak
2.	Ambient	943	0.36	Tidak
3.	Ambient	854	0.39	Tidak
4.	Gangguan gas	5467	3.06	Ya
5.	Gangguan gas	6378	3.57	Ya

Pada Tabel 1. menjelaskan bahwa perbandingan antara konsentrasi gas akan membuat nilai tegangan berubah sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor bekerja dengan baik.

Tabel 2. Pengujian Sensor Gas MQ-6 Berdasarkan Jarak

No.	Jarak (cm)	Gas (Ppm)	Tegangan (V)	Mendeteksi Gas
1.	15	943	0.32	Tidak
2.	14	891	0.36	Tidak
3.	13	903	0.39	Tidak
4.	12	856	0.47	Tidak
5.	11	840	0.49	Tidak
6.	10	823	0.53	Tidak
7.	9	1021	0.56	Tidak
8.	8	2053	1.12	Ya
9.	7	2276	1.23	Ya
10.	6	2652	1.34	Ya
11.	5	3712	1.86	Ya
12.	4	4512	3.58	Ya
13.	3	6812	3.61	Ya
14.	2	7892	3.79	Ya
15.	1	8141	3.83	Ya

Pada Tabel 2. menampilkan hasil pengujian, semakin jauh jarak kebocoran gas maka pembacaan konsentrasi gas semakin kecil. Pada datasheet sensor MQ-6 memaparkan bahwa sensor ini mampu mendeteksi gas dengan jarak deteksi hingga 30cm. Namun, pada hasil pengujian yang telah dilakukan menjelaskan bahwa hasil aktual jarak deteksi kebocoran gas yang mampu terdeteksi oleh sensor hanya sejauh 8cm. Sehingga hasil dari data tersebut menjadi acuan sebagai jarak pengujian yang berada pada rentang 1 hingga 8cm.

F. Pengujian Sensor Suhu SHT30

SHT30 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban. Data pengukuran dari sensor dikonversi menjadi sinyal digital yang dapat dibaca mikrokontroler. Sensor ini mengubah nilai fisik (suhu dan kelembaban) menjadi sinyal digital, lalu mengirimkannya melalui komunikasi I2C ke mikrokontroler ESP32. Pada datasheet yang tertera pada sensor ini, akurasi suhu yang ditentukan sebesar $\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ [21].



Gambar 18. Pengujian Sensor SHT30

Pengujian perubahan suhu dilakukan seperti pada Gambar 18. Pengujian deteksi suhu oleh sensor MQ-6 menggunakan api yang dihasilkan dari korek api.

Tabel 3. Pengujian Sensor Suhu SHT30

No.	Kondisi Pengujian	Suhu Lingkungan ($^\circ\text{C}$)	Suhu yang Terukur Sensor ($^\circ\text{C}$)	Selisih Suhu ($^\circ\text{C}$)
1.	Ambient	29	29.27	0.27

2.	Ambient	29	29.24	0.24
3.	Ambient	30	30.36	0.36
4.	Ambient	31	31.13	0.13
5.	Ambient	30	30.17	0.17
6.	Gangguan Api	43	43.24	0.24
7.	Gangguan Api	42	42.12	0.12
8.	Gangguan Api	44	44.15	0.15
9.	Gangguan Api	47	47.26	0.26
10.	Gangguan Api	48	48.23	0.23

Pada Tabel 3. menjelaskan bahwa selisih suhu yang dibaca oleh sensor dan dibandingkan dengan thermometer digital memiliki toleransi kurang lebih 0.3 derajat.

G. Perhitungan Fuzzy

1. Fuzzifikasi

• Gas

Gas (Ppm): 1525

Kondisi: Bocor sedang

$$\mu_{Kecil}(1525) = 0 \quad (0 = x \geq 1000)$$

$$\mu_{Sedang}(1525) = \frac{(2000 - 1525)}{(2000 - 1000)} = \frac{475}{1000} = 0,475$$

$$\mu_{Besar}(1525) = \frac{(1525 - 1500)}{(2000 - 1500)} = \frac{25}{500} = 0,05$$

• Suhu

Gas (Ppm): 29.24 $^\circ\text{C}$

Kondisi: Bocor sedang

$$\mu_{Dingin}(29.24) = 0 \quad (0 = x \geq 20)$$

$$\mu_{Hangat}(29.24) = \frac{(30 - 29,24)}{(30 - 20)} = \frac{0,76}{10} = 0,076$$

$$\mu_{Panas}(29.24) = \frac{(29,24 - 25)}{(30 - 25)} = \frac{4,24}{5} = 0,848$$

2. Inferensi

[R1] Jika suhu Dingin dan gas Kecil, maka kondisi Aman.

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}^1 &= \mu_{Dingin}(x) \cap \mu_{Kecil}(x) \\ &= \min(\mu_{Dingin}(29,24); \mu_{Kecil}(1525)) \\ &= \min(0; 0) \\ &= 0 \\ \mu(z) &= \frac{50 - z^1}{50 - 30} \\ 0 &= \frac{50 - z^1}{20} \\ z^1 &= 50 \end{aligned}$$

• [R2] Jika suhu Hangat dan gas Kecil, maka kondisi Aman.

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}^2 &= \mu_{Hangat}(x) \cap \mu_{Kecil}(x) \\ &= \min(\mu_{Hangat}(29,24); \mu_{Kecil}(1525)) \\ &= \min(0,076; 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\mu(z) = \frac{50 - z^2}{50 - 30}$$

$$0 = \frac{50 - z^2}{20}$$

$$z^2 = 50$$

- [R3] Jika suhu Dingin dan gas Sedang, maka kondisi Aman.

$$\alpha\text{-predikat}^3 = \mu\text{Dingin}(x) \cap \mu\text{Sedang}(x)$$

$$= \min(\mu\text{Dingin}(29,24); \mu\text{Sedang}(1525))$$

$$= \min(0; 0,475)$$

$$= 0$$

$$\mu(z) = \frac{50 - z^3}{50 - 30}$$

$$0 = \frac{50 - z^3}{20}$$

$$z^3 = 50$$

- [R4] Jika suhu Panas dan gas Kecil, maka kondisi Sedang.

$$\alpha\text{-predikat}^4 = \mu\text{Panas}(x) \cap \mu\text{Kecil}(x)$$

$$= \min(\mu\text{Panas}(29,24); \mu\text{Kecil}(1525))$$

$$= \min(0,848; 0)$$

$$= 0$$

$$\mu(z) = \frac{70 - z^4}{70 - 30}$$

$$0 = \frac{70 - z^4}{40}$$

$$z^4 = 70$$

- [R5] Jika suhu Dingin dan gas Besar, maka kondisi Sedang.

$$\alpha\text{-predikat}^5 = \mu\text{Dingin}(x) \cap \mu\text{Besar}(x)$$

$$= \min(\mu\text{Dingin}(29,24); \mu\text{Besar}(1525))$$

$$= \min(0; 0,05)$$

$$= 0$$

$$\mu(z) = \frac{70 - z^5}{70 - 30}$$

$$0 = \frac{70 - z^5}{40}$$

$$z^5 = 70$$

- [R6] Jika suhu Hangat dan gas Sedang, maka kondisi Sedang.

$$\alpha\text{-predikat}^6 = \mu\text{Hangat}(x) \cap \mu\text{Sedang}(x)$$

$$= \min(\mu\text{Hangat}(29,24); \mu\text{Sedang}(1525))$$

$$= \min(0,076; 0,848)$$

$$= 0,076$$

$$\mu(z) = \frac{70 - z^6}{70 - 30}$$

$$0,076 = \frac{70 - z^6}{40}$$

$$z^6 = 66,96$$

- [R7] Jika suhu Panas dan gas Sedang, maka kondisi Bahaya.

$$\alpha\text{-predikat}^7 = \mu\text{Panas}(x) \cap \mu\text{Sedang}(x)$$

$$= \min(\mu\text{Panas}(29,24); \mu\text{Sedang}(1525))$$

$$= \min(0,848; 0,475)$$

$$= 0,475$$

$$\mu(z) = \frac{z^7 - 70}{70 - 50}$$

$$0,475 = \frac{z^7 - 70}{20}$$

$$z^7 = 79,5$$

- [R8] Jika suhu Hangat dan gas Besar, maka kondisi Bahaya.

$$\alpha\text{-predikat}^8 = \mu\text{Hangat}(x) \cap \mu\text{Besar}(x)$$

$$= \min(\mu\text{Hangat}(29,24); \mu\text{Besar}(1525))$$

$$= \min(0,076; 0,05)$$

$$= 0,05$$

$$\mu(z) = \frac{z^8 - 70}{70 - 50}$$

$$0,05 = \frac{z^8 - 70}{20}$$

$$z^8 = 71$$

- [R9] Jika suhu Panas dan gas Besar, maka kondisi Bahaya.

$$\alpha\text{-predikat}^9 = \mu\text{Panas}(x) \cap \mu\text{Besar}(x)$$

$$= \min(\mu\text{Panas}(29,24); \mu\text{Besar}(1525))$$

$$= \min(0,848; 0,05)$$

$$= 0,05$$

$$\mu(z) = \frac{z^9 - 70}{70 - 50}$$

$$0,05 = \frac{z^9 - 70}{20}$$

$$z^9 = 71$$

3. Defuzzifikasi

Hasil dari Fuzzifikasi dari [R1]-[R9] kemudian akan dimasukkan kedalam perhitungan defuzzifikasi dengan rumus seperti dibawah ini:

$$z^* = \frac{\sum_i^n \alpha_{predikat_i} * z_i}{\sum_i^n \alpha_{predikat_i}}$$

$$z^* = \frac{(0 * 50) + (0 * 50) + (0 * 50) + (0 * 70) + (0 * 70) + (0,076 * 66,96) + (0,475 * 79,5) + (0,05 * 71) + (0,05 * 71)}{(0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0,076 + 0,475 + 0,05 + 0,05)}$$

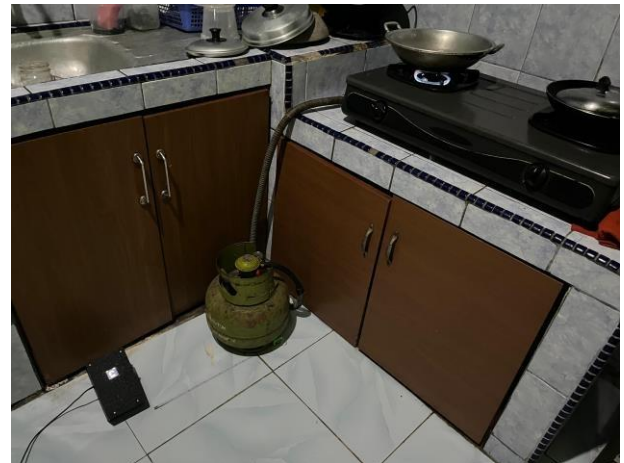
$$z^* = \frac{49,9029}{0,651}$$

$$D: z^* = 76,6558 \approx 76,7$$

dengan kondisi gas pada 76,7 derajat celcius. Hasil ini berada pada range lebih dari 70 pada kondisi sehingga bisa dikatakan ini dalam kategori kondisi berbahaya.

H. Pengujian Alat

Pengujian dilakukan dengan meletakkan alat pada jarak 8cm dari gas LPG dengan kondisi kompor menyala pada suhu ruangan tertutup di malam hari seperti yang ditampilkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Pengujian Perangkat

Alat akan membunyikan alarm berupa display blinking berwarna merah, buzzer aktif, dan aplikasi android akan terbuka otomatis serta menyalakan ringtone untuk

menandakan ada kondisi berbahaya yang sedang terjadi pada area kompor.

Pada pengujian alat ini, dilakukan dalam beberapa kondisi, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya terdapat 3 kesimpulan kondisi dari hasil fuzzifikasi pada masing-masing nilai sensor. Terdapat 2 input fuzzy, yakni sensor pembaca konsentrasi gas dan sensor suhu untuk mengetahui suhu ruangan, ketika kedua input tersebut salah satunya ataupun keduanya melebihi ambang batas maka akan menghasilkan output berupa 3 kondisi yaitu aman, batas aman, dan bahaya.

Tabel 4. Pengujian Alat

No	Kondisi Pengujian	Konsestrasi Gas (Ppm)	Keanggotaan Gas	Sensor Suhu (°C)	Keanggotaan Suhu	Keanggotaan Kondisi	Output Fuzzy (Tindakan)
1	Di area Gas LPG dalam keadaan menyala Jarak 8cm	943	Tidak Bocor	29.53	Hangat	Aman	-
2		947	Tidak Bocor	29.55	Hangat	Aman	-
3		893	Tidak Bocor	29.53	Hangat	Aman	-
4		897	Tidak Bocor	29.54	Hangat	Aman	-
5		922	Tidak Bocor	29.62	Hangat	Aman	-
6		1031	Tidak Bocor	29.59	Hangat	Aman	-
7		984	Tidak Bocor	29.63	Hangat	Aman	-
8		992	Tidak Bocor	29.6	Hangat	Aman	-
9		957	Tidak Bocor	29.54	Hangat	Aman	-
10		986	Tidak Bocor	29.56	Hangat	Aman	-

Pada Tabel 4. menampilkan data pengujian alat pendeteksi kebocoran gas dengan peletakan alat pada posisi disebelah Gas LPG sejauh 8cm sesuai dengan kemampuan aktual pengujian pada penelitian ini, sehingga dapat dikatakan pada saat proses pengujian alat tidak terdeteksi adanya kebocoran pada area tabung gas dengan kondisi kompor yang sedang menyala.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem ini dapat berjalan dalam mode offline maupun online tergantung ketersediaan koneksi jaringan. Ketika berjalan offline, sistem hanya bekerja secara lokal sehingga saat terjadinya kondisi berbahaya peringatan muncul pada layar yang berkedip merah dan indikator suara berupa buzzer akan aktif. Berbeda dengan sistem online, perangkat berjalan ketika terhubung ke database melalui perantara koneksi jaringan, sehingga mikrokontroler melakukan transmisi data ke database dan dibaca aplikasi android. Oleh karna itu, alat ini memiliki kemampuan untuk memberitahukan kepada pengguna secara jarak jauh ketika terdapat suatu kondisi yang tidak normal melalui notifikasi di smartphone android pengguna.

Hasil pengujian yang telah dilakukan di sebelah tabung gas LPG dengan jarak 8 cm, sistem yang membaca nilai konsentrasi gas dan suhu dengan penerapan metode logika fuzzy terbukti mampu memberikan peringatan dini kepada pengguna. Pembacaan nilai sensor yang bervariasi kemudian dipertegas dengan keputusan fuzzy sehingga pengguna dapat mengetahui tingkat keamanan di sekitar dapur khususnya pada area tabung gas.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa alat ini mampu mencegah terjadinya aksiden kebakaran dengan memberikan peringatan dini mengenai kebocoran gas maupun suhu yang naik secara signifikan yang diasumsikan sebagai salah satu pemicu terbentuknya percikan api.

Dalam pelaksanaan dan penyelesaian pengembangan alat ini terdapat beberapa kekurangan dan keterbatasan. Berbagai aspek seperti sistem, peralatan, dan modul yang digunakan dapat dimaksimalkan untuk meningkatkan akurasi dan kepresisian pembacaan sensor sehingga mampu memiliki kualitas seperti kelas industri.

REFERENCES

- [1] Kusnandar, N., Sari Ramadhani, W., Paramudita, I., Lailiyah, Q., Bakti Puslit Teknologi Pengujian -LIPI Kawasan Puspipstek Gedung, P., & Selatan, T. (n.d.). Performance Characteristics of LPG Stoves Using DME Fuel with Variations in Nozzle Diameter and Input Pressure.
- [2] Islam, J. K., Bakri, F., Tinggi, S., Islam, I., & Arab, D. B. (2024). AL-FIKRAH: Penjualan Liquefied Petroleum Gas Subsidi kepada Masyarakat Selain Kategori Miskin Perspektif Syariah (Studi Peraturan Presiden Nomor 104 Tahun 2007) Askar Patahuddin Ihwan Wahid Minu. 1(1), 201–220. <https://doi.org/10.36701/fikrah.v1i1.1675>.
- [3] Meilinda Suriani Harefa, Syukri Hidayat, Grace Mercy Epsilon Hia, Sabda Yanti Pasaribu, Natasya Kaila Putri, & Mhd Asa Arzaki Muis. (2024). Analisis Pemanfaatan Gas Alam sebagai Pengganti Gas LPG. SOSIAL : Jurnal Ilmiah Pendidikan IPS, 2(4), 179–182. <https://doi.org/10.62383/sosial.v2i4.516>
- [4] Saepuddin, A., Chandra Permadi, L., & Heru Adiwibowo, P. (2023). Analisis Kekuatan Tabung Gas Lpg Kapasitas 12 Kg Berbahan Cast Carbon Steel Menggunakan Metode Elemen Hingga. In Technology, Education And Mechanical Engineering (Vol. 4, Issue 1).
- [5] Ika Aditya, Y., Panji Gunawan, B., & Qoilun, N. (2020). Perlindungan Konsumen Liquefied Petroleum Gas Atas Penggunaan Karet Perapat Yang Tidak Berstandar Nasional. 3(2), 61–66.
- [6] Rizal Hanafi, M., Purnama Adji, D., & Adiwilaga, A. (2024). Prototype Implementation of Exhaust Fan Control Using Mamdani Fuzzy Logic to Minimize LPG Concentration. In *Journal of Applied Information and Communication Technologies* (Vol. 1, Issue 9).
- [7] Soesilo, E., & Fayuza, I. (2023). Prototype Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis IOT. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(3), 862–879. <https://doi.org/10.31004/jutin.v6i3.17664>
- [8] Pratama, E. W., & Kiswanton, A. (2023). Electrical Analysis Using ESP-32 Module In Realtime. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 7(2), 1273–1284. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v7i2.21>
- [9] Luh Ayu Puspita Dewi, N., Indrianto Sudjoko, R., Silk Moonlight, Lady, Arifianto, T., & Penerbangan Surabaya, P. (2024). Design of Gas Leakage System and Automatic Fan Using Tsukamoto Fuzzy Logic Based on Arduino in Welding Shop Surabaya Aviation Polytechnic Article History. *Application, Information System and Software Development Journal Appisode Journal*, 2(3).
- [10] Basriati, S., Safitri, E., Nofridayani, P., Studi Matematika, P., Sains dan Teknologi, F., Sultan Syarif Kasim Riau Jl Soebrantas No, U. H., & Baru, S. (2020). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dalam Menentukan Jumlah Produksi Tahu. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 18(1), 120–125.
- [11] Kurniawati, D. O., & Feri Efendi, T. (n.d.). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Diagnosa Penyakit Demam Berdarah. *Jurnal Informatika, Komputer Dan Bisnis*, 1. <https://jurnal.itbaas.ac.id/index.php/jikobis>
- [12] Ragesu, F. D., & Sibarani, A. J. P. (2020). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Pemilihan Siswa Teladan di Sekolah. *Teknika*, 9(1), 9–15. <https://doi.org/10.34148/teknika.v9i1.251>
- [13] Toyib, R., Darnita, Y., & Hidayat, R. (2018). Penerapan Logika Fuzzy Tsukamoto pada Penilaian Mutu Air Mineral (Studi Kasus PDAM Kota Bengkulu). In *Jurnal Media Infotama* (Vol. 14, Issue 1).

- [14] Wicaksana, D. A., & Hirzan, A. M. (2024). *Pemantauan Kebocoran Gas dan Panas Udara dengan Metode Fuzzy Berbasis IoT*. 15(1), 125–132. <http://ejurnal.provisi.ac.id/index.php/JTIKP/page125>
- [15] Kurniawan, R., Rosyad, S., & Susilawati, E. (2023). Penerapan Konsep Fuzzy Tsukamoto Untuk Deteksi Dini Kebocoran Gas Lpg Berbasis Web Di Pangkalan LPG (Vol. 3, Issue 1).
- [16] Mulyadi, M., Austin, C., & Octaviani, S. (2022). Implementasi IoT dengan ESP 32 Untuk Pemantauan Kondisi Suhu Secara Jarak Jauh Menggunakan MQTT Pada AWS(Vol. 15, Issue 2).
- [17] Santo Gitakarma, M., Udy Ariawan, K., M Surya Bumi Pracasitaram, I. G., & Korespondensi, P. (n.d.). The Role Of Microcontrollers In Iot Application Development: A Conceptual Review And Implementation. *Jurnal Komputer Dan Teknologi Sains (KOMTEKS)*, 3(2), 18–24.
- [18] Nurhalimah, I., Dwija Iswara, P., & Aeni, A. N. (2024). Pengembangan aplikasi android dalam pembelajaran menulis cerita di Sekolah Dasar. In *Academy of Education Journal* (Vol. 15, Issue 1). Online.
- [19] Chairunnas, A., Putra, A. P., Nurdiansyah, I., Komputer, I., Pakuan, U., Pakuan, J., Kecamatan, T., Tengah, B., & Bogor, K. (2023). *Smart Box Berbasis Internet Of Think (IoT) Dan Android*. In *Journal Teknoinfo* (Vol. 17, Issue 2).
- [20] Fachrureza, A., Saragih, Y., Hidayat, R., Universitas, T. E., & Karawang, S. (n.d.). In *Jurnal Teknik Elektro Terapan*. Pemanfaatan sensor MQ-6 pada sistem pendeteksi gas LPG berbasis 4G LTE.
- [21] Kontrol Suhu Dan Kelembaban Ruang Penyimpan Obat Berbasis Android Di Rumah Sakit Umum Pusat Sardjito Yogyakarta Sindung Sasono, D. H., Sriyanto Nugroho, A., Supriyanto, E., & Kusumastuti, S. (n.d.). *Iot Smart Health Untuk Monitoring*. 53–062. <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/>

