



Design And Implementation of a Gas Leak Detection System Based on the Internet of Things Using Fuzzy Logic Controller Algorithm

Perancangan dan Implementasi Sistem Deteksi Kebocoran Gas Berbasis Internet of Things Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic Controller

Dilla Puspita Mentia^{1*}, Teguh Ansyor Lorosae², Siti Mutmainah³

^{1,2,3}Program Studi Ilmu komputer, Universitas Muhammadiyah Bima, Indonesia

E-mail: ¹dillapuspitamentia@gmail.com,

²ansyorlorosae95@gmail.com, ³siti.mutmainah.id19@gmail.com

Received Jun 25th 2026; Revised Jul 05th 2026; Accepted Aug 13th 2026; Available Online Aug 15th 2026

Corresponding Author: Dilla Puspita Mentia

Copyright © 2026 by Authors, Published by Institut Riset dan Publikasi Indonesia (IRPI)

Abstract

One of the main causes of household fires is LPG gas leakage. Based on observations by the Bima City Fire Department, 14 fire incidents caused by gas leaks, damaged hoses, and faulty regulators occurred over the past three years. Previous studies have predominantly focused on local alarm systems without IoT connectivity and have been unable to display gas concentration levels in real time. Therefore, this study developed an Internet of Things-based gas leakage detection system using an ESP32, MQ-2 gas sensor, flame sensor, and Fuzzy Logic Controller. The algorithm was selected because it can adaptively handle uncertainty and variability in sensor readings, enabling more accurate condition classification than simple threshold-based methods. Gas concentrations were classified into three conditions: Safe (0–199 ppm), Alert (200–299 ppm), and Danger (≥ 300 ppm). The system uses LEDs and a buzzer as local alarms, an I2C 16×2 LCD to display information, and Blynk and a Telegram bot to deliver real-time notifications. The test results showed that the MQ-2 sensor successfully detected gas concentrations across all condition categories, the flame sensor detected fire at distances of up to 11 cm, and notifications were delivered in real time within less than 3 seconds after a dangerous condition was detected. The proposed system has the potential to improve response speed to gas leaks and reduce fire risks.

Keyword: Gas Leak Detection, ESP32, Fuzzy Logic Controller, Internet of Things, Mq2, Telegram Bot

Abstrak

Salah satu penyebab utama kebakaran rumah tangga adalah kebocoran gas LPG. Berdasarkan observasi Dinas Pemadam Kebakaran Kota Bima, dalam tiga tahun terakhir terjadi 14 kasus kebakaran akibat kebocoran gas, kerusakan selang, dan kerusakan regulator. Penelitian sebelumnya masih didominasi oleh sistem alarm lokal tanpa konektivitas IoT dan belum mampu menampilkan kadar gas secara real-time. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas berbasis Internet of Things menggunakan ESP32, sensor gas MQ-2, sensor api, serta algoritma Fuzzy Logic Controller. Algoritma tersebut dipilih karena mampu menangani ketidakpastian dan variabilitas pembacaan sensor secara adaptif, sehingga menghasilkan klasifikasi kondisi yang lebih tepat dibandingkan dengan metode ambang batas sederhana. Kadar gas diklasifikasikan menjadi tiga kondisi, yaitu aman (0–199 ppm), waspada (200–299 ppm), dan bahaya (≥ 300 ppm). Sistem menggunakan LED dan buzzer sebagai alarm lokal, LCD I2C 16×2 untuk menampilkan informasi, serta Blynk dan bot Telegram untuk mengirim notifikasi secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan sensor MQ-2 mampu mendeteksi kadar gas pada setiap kategori kondisi, sensor api mendeteksi keberadaan api hingga jarak 11 cm, dan notifikasi terkirim secara real-time dalam waktu kurang dari 3 detik setelah kondisi berbahaya terdeteksi. Sistem ini berpotensi meningkatkan kecepatan respons terhadap kebocoran gas dan risiko kebakaran.

Kata Kunci: Deteksi Kebocoran Gas, ESP32, Fuzzy Logic Controller, Internet of Things, Mq2, Telegram

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi masyarakat Indonesia tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan sehari-hari. Kehidupan masyarakat selalu bergantung pada sumber daya alam, seperti minyak bumi [1]. Masyarakat menghadapi kesulitan saat ingin memasak karena ketersediaan minyak bumi yang semakin terbatas dan biaya yang tinggi. Masyarakat di Bima, Nusa Tenggara Barat, mulai menggunakan kayu sebagai bahan bakar alternatif. Namun,

memasak dengan kayu memakan waktu lebih lama. Selain itu, peralatan masak seperti panci dan wajan akan menjadi hitam, sehingga membersihkannya sangat melelahkan.

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2023, lebih dari 85% rumah tangga di Indonesia menggunakan gas LPG sebagai bahan bakar utama untuk memasak. Konsumsi LPG di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 8,7 juta ton, naik 1,73% dibandingkan tahun sebelumnya, dan menjadi yang tertinggi dalam sepuluh tahun terakhir. Peningkatan ini merupakan bagian dari program konversi energi pemerintah yang mendorong masyarakat untuk beralih dari minyak tanah ke gas LPG. Ini termasuk proyek pembangunan Terminal Gas LPG di wilayah Kota Bima yang berlangsung dari Maret 2019 hingga akhir tahun 2023. Karena proses memasak menjadi lebih mudah, cepat, dan praktis, penggunaan gas LPG membantu masyarakat. Meskipun demikian, peningkatan penggunaan LPG juga membawa risiko kebocoran gas yang dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan jika tidak terdeteksi sejak dini.

Kebocoran gas merupakan salah satu masalah serius yang dapat mengancam keselamatan di lingkungan rumah tangga. Kebocoran gas dapat menimbulkan risiko yang sangat berbahaya, seperti kebakaran, ledakan, hingga kerusakan lingkungan sekitar, termasuk merusak berbagai aset, membahayakan kesehatan, serta merusak lingkungan sekitar [2]. Gas seperti gas propane (C_3H_8) dan butane (C_4H_{10}) merupakan bahan campuran utama dalam kandungan gas LPG yang bersifat mudah terbakar dan beracun jika tidak terdeteksi sejak dini [3].

Berdasarkan observasi dari Dinas Pemadam Kebakaran Kota Bima menunjukkan bahwa telah terjadi 14 kasus kebakaran di wilayah tersebut dalam tiga tahun terakhir karena kebocoran gas, selang, dan kerusakan regulator. Data ini menunjukkan bahwa kebakaran yang disebabkan oleh kebocoran gas memerlukan perhatian khusus, terutama yang berkaitan dengan sistem pemantauan keselamatan rumah tangga. Keterlambatan dalam mendeteksi kebocoran gas dapat berakibat fatal, karena gas LPG yang bersifat mudah terbakar dapat menyebar dan terakumulasi dengan cepat di ruang tertutup sehingga meningkatkan risiko ledakan dan kebakaran [2]. Metode deteksi konvensional seperti pemeriksaan manual atau mengandalkan indra penciuman dinilai tidak efektif karena penghuni rumah tidak selalu berada di lokasi saat kebocoran terjadi, dan respons manusia terhadap bau gas memiliki keterbatasan tersendiri.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas menggunakan mikrokontroler Arduino Uno, namun masih didominasi oleh alarm lokal dan belum terintegrasi dengan IoT [7], mengirimkan notifikasi satu arah melalui SMS tanpa menampilkan informasi kadar gas [8], serta belum mengintegrasikan flame sensor sebagai pendeteksi api [9]. Salah satu kebaruan dari penelitian ini adalah kombinasi pemantauan real-time melalui Blynk, notifikasi otomatis melalui Telegram yang memuat informasi tentang kadar gas dalam satuan ppm (Part per million), serta kemampuan untuk mendeteksi api dengan menggunakan sensor api yang belum ditemukan secara bersamaan dalam penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, dikembangkan sistem deteksi kebocoran gas berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32, sensor MQ-2, dan algoritma Fuzzy Logic untuk pemantauan dan notifikasi secara real-time.

Internet of Things (IoT) dalam sistem pendeteksian semakin populer, perkembangan IoT dapat memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan berkomunikasi secara *real-time*, yang dimana sensor gas yang akan terhubung ke jaringan IoT, pengguna bisa memantau kualitas udara di rumah mereka dan menerima notifikasi segera jika terdeteksi adanya kebocoran gas [4].

Teknik pengambilan keputusan yang diterapkan dalam sistem ini menggunakan algoritma logika fuzzy. Fuzzy logic merupakan teknik yang dapat digunakan untuk mengatasi persoalan ini. Logika fuzzy adalah cabang dari logika yang digunakan untuk menangani ketidakpastian dan inkonsistensi dalam data atau informasi. Logika fuzzy memungkinkan nilai kebenaran berada dalam rentang kontinu antara 0 dan 1 [5]. Konsep ini memungkinkan model yang lebih fleksibel dan realistis untuk menggambarkan fenomena yang tidak pasti atau kabur (fuzzy) yang banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari [6].

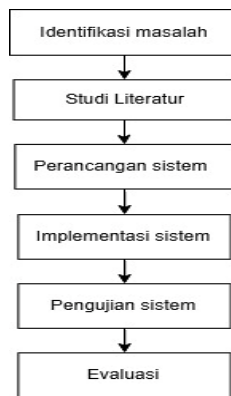
Berdasarkan latar belakang di atas, diperlukan sistem untuk mendeteksi kebocoran gas menggunakan teknologi cerdas yang mampu memberikan peringatan awal secara otomatis. Sistem pendeteksi kebocoran ini memanfaatkan *Internet of Things* (IoT) yang dikombinasikan dengan algoritma logika Fuzzy, yang dimana sistem ini dirancang untuk mendeteksi kadar gas LPG menggunakan sensor gas MQ-2, memproses data tersebut melalui sistem inferensi *fuzzy*, dan memberikan notifikasi secara langsung ke perangkat seluler pengguna.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menjelaskan alur penelitian yang menjelaskan tahapan-tahapan yang dilalui secara sistematis, mulai dari proses identifikasi masalah, studi literatur, perancangan, implementasi, pengujian dan evaluasi yang ditunjukkan pada Gambar 1.

2.1. Identifikasi Masalah

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengidentifikasi masalah yang ada di lapangan. Terbatasnya sistem deteksi kebocoran gas yang dapat dipantau dari jarak jauh dan memberikan peringatan dini secara real-time serta dapat dipantau secara jarak jauh menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT).



Gambar 1. Alur penelitian

2.2. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, peneliti mempelajari dan memeriksa berbagai sumber referensi, termasuk buku, jurnal, dan penelitian terdahulu tentang topik seperti sistem deteksi kebocoran gas, teknologi Internet of Things (IoT), sensor gas MQ-2, dan algoritma logika fuzzy. Dalam mendukung penelitian ini, peneliti merujuk pada beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

[7] Melakukan penelitian berjudul "Penerapan Sistem Alarm Berbasis Arduino Uno untuk Mendeteksi Kebocoran Gas LPG". Pada penelitian ini ditemukan kelemahan: notifikasi belum diterapkan secara real-time melalui sms gateway atau Telegram. Jadi, penelitian ini bisa dikembangkan dengan membuat deteksi kebocoran gas untuk mengirim notifikasi secara real-time. [8] melakukan penelitian dengan judul Sistem Peringatan Dini Kebakaran dan Kebocoran Gas Lpg Berbasis Notifikasi Sms Gateway. Pada penelitian ini ditemukan kelemahan, di mana peringatan dini terdapat dua macam, yaitu notifikasinya hanya dilihat melalui modul LCD12c dan pengguna hanya menerima sms notifikasi terkait kebocoran gas, serta informasi tentang kadar gas tidak ada. Adapun saran penelitian lanjutan dari peneliti mengembangkan yang dimana, selain melihat notifikasi melalui Module LCD 12, akan membuat notifikasi melalui aplikasi dan informasi kadar gas terbaca.

[9] melakukan penelitian dengan judul Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas (Lpg) Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Mikrokontroler (Arduino Uno). Pada penelitian ini ditemukan kelemahan, di mana deteksi hanya memberikan alarm lokal tanpa konektivitas IoT dan tidak mendukung notifikasi untuk pemantauan real-time. Adapun saran dari peneliti adalah mengembangkan alarm lokal yang terkoneksi dengan IoT dan pemantauan notifikasi secara real-time. [10] melakukan penelitian dengan judul Perancangan Prototipe Deteksi Kebocoran Gas Menggunakan Sensor Mq-6 Untuk Rumah Tangga. Pada penelitian ini ditemukan pengembangan notifikasi real-time. Jadi, saran dari peneliti untuk pengembangan adalah menggunakan integrasi Blynk untuk pemantauan dan notifikasi real-time.

[11] melakukan penelitian dengan judul Sistem Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas Elpiji (Lpg) Berbasis Nodemcu Dan Telegram. Pada penelitian ini ditemukan untuk pengembangan kolaborasi dengan system IOT lainnya agar kinerja alat lebih optimal dan mudah dalam monitoring dimanapun kita berada, Jadi saran dari peneliti untuk mengembangkan menggunakan kolaborasi selain menggunakan telegram tapi bisa menggunakan aplikasi IOT Blynk yang bisa memantau dimana kita berada.

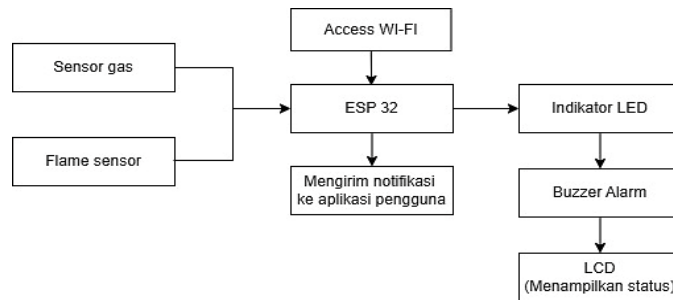
2.3. Perancangan sistem

Pada tahap metode perancangan sistem, dibuat perancangan sistem pendeteksi kebocoran gas dengan menggunakan sensor MQ-2 sebagai input dan metode fuzzy logic sebagai pengolah data. Selanjutnya, sistem ini akan terintegrasi dengan aplikasi Blynk untuk pemantauan sistem secara real-time dan mengirim notifikasi melalui aplikasi Telegram pengguna. Perancangan sistem ini meliputi perancangan perangkat keras, perangkat lunak, serta skema rangkaian.

2.3.1. Perancangan perangkat keras

Perancangan perangkat keras digambarkan dalam diagram blok sistem. Sensor gas MQ-2 dan sensor api memberikan input untuk memulai proses sistem, dan mikrokontroler ESP32 memproses serta membaca data dari kedua sensor tersebut. Untuk memantau data secara real-time, hasilnya akan dikirim ke aplikasi Blynk. Kondisi sistem akan ditampilkan pada LCD, ESP32 akan mengaktifkan buzzer melalui aplikasi Telegram untuk memberi tahu pengguna tentang kebocoran gas atau api. Sensor MQ-2 digunakan sebagai pendeteksi kadar gas LPG karena memiliki sensitivitas tinggi terhadap berbagai jenis gas yang mudah terbakar, seperti gas LPG, propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀), metana, alkohol, dan asap [3]. Dibandingkan dengan sensor gas lainnya, sensor MQ-2 memiliki keunggulan dalam hal cakupan deteksi yang lebih luas. Sensor MQ-5 lebih optimal untuk mendeteksi gas alam atau metana, sedangkan sensor MQ-6 hanya sensitif terhadap gas butana

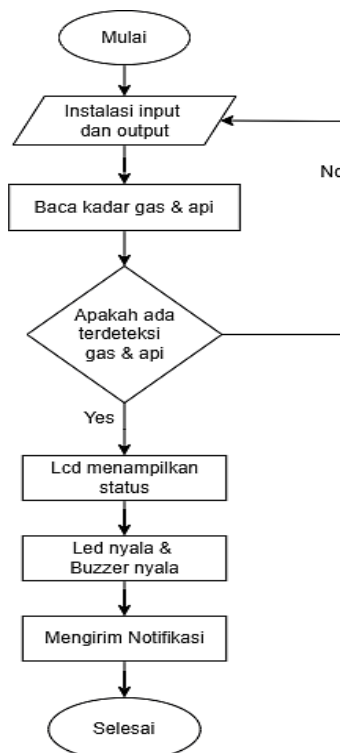
dan propana. Oleh karena itu, sensor MQ-2 lebih sesuai untuk digunakan dalam sistem deteksi kebocoran gas LPG di lingkungan rumah tangga karena mampu mendeteksi berbagai jenis gas yang mungkin bocor dari tabung LPG secara lebih menyeluruh. Selain itu, sensor MQ-2 memiliki waktu respons yang cepat, konsumsi daya yang rendah, serta harga yang terjangkau, sehingga cocok untuk diimplementasikan pada sistem berbasis IoT dengan mikrokontroler ESP32. Diagram blok penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok

2.3.2. Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat keras digambarkan pada sistem Diagram aliran, atau flowchart, menunjukkan proses kerja sistem secara keseluruhan dan menunjukkan desain perangkat lunak yang digunakan pada sistem ini. Tahapan sistem termasuk membaca data sensor, dan membuat keputusan, seperti alarm buzzer berbunyi, Led menyala, LCD menampilkan informasi, dan memberikan notifikasi kepada pengguna.



Gambar 3. Perancangan perangkat lunak

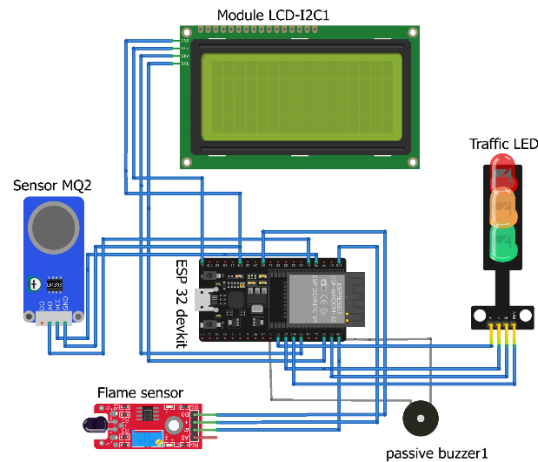
2.3.3. Skema rangkaian

Gambar berikut menunjukkan diagram rangkaian yang menggambarkan komponen perancangan yang digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas. Sensor gas dan api, buzzer, serta LCD dihubungkan ke ESP32. Sensor gas dan api juga dihubungkan ke pin analog A0 dan A1. Selain itu, setiap sensor di ground ESP32 dihubungkan ke pin SDA dan SCL ESP32. Untuk menampilkan informasi tentang kebocoran gas, semua sensor dihubungkan ke pin SDA dan SCL pada ESP32. Skema rangkaian alat ditunjukkan pada Gambar 4.

2.3.4. Perancangan fuzzy logic

Pada tahap perancangan fuzzy logic controller ini, untuk membantu sistem dalam menentukan kondisi kebocoran gas berdasarkan data yang diperoleh dari sensor gas dan api, metode fuzzy dipilih karena untuk

menangani data yang bersifat pasti serta memiliki nilai yang bervariasi. Proses pengolahan data menggunakan fuzzy logic terdiri dari beberapa tahapan yaitu fuzzifikasi, pembentukan aturan (rule base), proses inferensi, dan defuzzifikasi sebagai berikut:



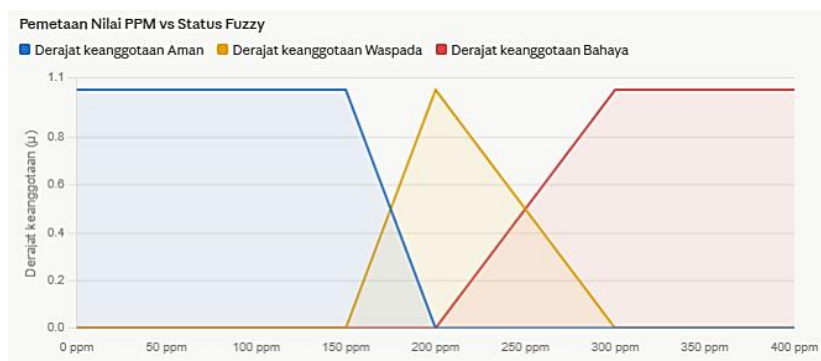
Gambar 4. Skema rangkaian alat

1. Fuzzifikasi

Pemetaan himpunan tegas ke dalam himpunan fuzzy memastikan bahwa setiap elemen dalam himpunan tegas tercakup dalam himpunan fuzzy tanpa mengubah input sistem [12]. Tujuan fuzzifikasi adalah untuk menyederhanakan perhitungan dalam sistem logika fuzzy. Untuk menyederhanakan penelitian ini, nilai kadar gas sensor MQ-2, Sistem menggunakan tiga fungsi keanggotaan (*membership function*) dengan domain dan rentang nilai sebagai berikut:

Tabel 1. Keanggotaan (*membership function*)

Kondisi	Rentang Nilai (ppm)	Fungsi Keanggotaan
Aman	0 – 150	Trapesium menurun (0 hingga 150)
Waspada	150 – 299	Segitiga (puncak di 200)
Bahaya	≥ 250	Trapesium meningkat (250 ke atas)



Gambar 5. Fungsi keanggotaan *fuzzy*

2. Derajat keanggotaan (μ)

Derajat keanggotaan, juga dikenal sebagai membership degree, adalah nilai yang menunjukkan seberapa besar suatu data menjadi anggota himpunan fuzzy, dengan nilai mulai dari 0 hingga 1 yang menunjukkan bahwa data menjadi anggota himpunan sepenuhnya.

3. Contoh perhitungan manual

Sebagai contoh, apabila sensor MQ-2 membaca nilai gas sebesar 216 ppm, maka derajat keanggotaan untuk setiap himpunan dihitung sebagai berikut:

- $\mu_{\text{Aman}}(216) = 0$ (karena $216 > 200$)
- $\mu_{\text{Waspada}}(216) = (300 - 216) / (300 - 200) = 84/100 = 0,84$
- $\mu_{\text{Bahaya}}(216) = (216 - 200) / (300 - 200) = 16/100 = 0,16$

Berdasarkan perhitungan tersebut, nilai 216 ppm memiliki derajat ketebalan tertinggi pada himpunan Waspada ($\mu = 0,84$), sehingga sistem mengklasifikasikan kondisi tersebut sebagai Waspada dan mengaktifkan LED kuning serta buzzer sebagai peringatan.

4. Pembentukan aturan (rule base)

Aturan *fuzzy* yang digunakan didasarkan pada nilai yang dibaca oleh sensor MQ-2 dan *flame sensor* sebagai variabel input, serta status kondisi sistem sebagai variabel output. Pernyataan logika IF-THEN menunjukkan bagaimana kondisi input dan respons sistem saling berkaitan. Aturan *fuzzy* (*rule base*) yang digunakan adalah sebagai berikut:

- IF nilai gas aman AND flame sensor tidak mendeteksi api THEN status sistem aman
- IF nilai gas Waspada AND *flame sensor* tidak mendeteksi api THEN status sistem Waspada
- IF nilai gas bahaya AND flame sensor tidak mendeteksi api THEN status sistem bahaya
- IF nilai gas berapapun AND *flame sensor* mendeteksi api THEN status sistem bahaya

5. Proses inferensi

Metode inferensi yang digunakan adalah metode Mamdani, yaitu dengan mengambil nilai minimum (*min*) dari setiap aturan *fuzzy* yang aktif. Teori himpunan *fuzzy*, proses penalaran *fuzzy*, dan aturan IF-THEN memungkinkan sistem inferensi *fuzzy* memetakan nilai input ke nilai output [12]. Pengetahuan direpresentasikan melalui sistem ini dan digunakan untuk memodelkan hubungan antarvariabel dalam suatu masalah [13]. Diagram inferensi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram inferensi

6. Defuzzifikasi

Pada proses defuzzifikasi yang merupakan tahap akhir dalam sistem logika *fuzzy*, sistem melakukan konversi hasil penilaian logika *fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp value*) yang merepresentasikan tingkat potensi kebocoran gas [14]. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode Centroid (*Center of Area*), yaitu menghitung titik pusat dari area hasil agregasi seluruh aturan *fuzzy* yang aktif untuk menghasilkan nilai output *crisp* yang merepresentasikan kondisi sistem secara keseluruhan.

2.4. Implementasi sistem

Setelah menyelesaikan perancangan sistem, langkah berikutnya adalah menerapkan sistem pendeteksi kebocoran gas. Pada tahap ini, perangkat keras seperti ESP32, sensor MQ-2, LCD, sensor api, buzzer, traffic LED, dan kabel jumper digunakan. Pada titik ini, integrasi dengan aplikasi Blynk akan dilakukan untuk memantau sistem jarak jauh secara real-time melalui perangkat seluler pengguna. Proses pengkodean menggunakan perangkat lunak Arduino IDE, aplikasi Blynk, serta integrasi notifikasi Telegram.

Secara keseluruhan, algoritma utama sistem deteksi kebocoran gas dapat dijelaskan melalui pseudocode berikut:

```

MULAI
  Inisialisasi WiFi, Blynk, LCD, LED, Buzzer, Sensor

  WARMUP selama 60 detik
    Tampilkan "Warmup Sensor..." pada LCD

  ULANGI SELAMANYA:
    gasValue ← rata-rata 10 pembacaan analogRead(sensor MQ-2)
    flameStatus ← digitalRead(flame sensor)

    JIKA flameStatus = LOW (api terdeteksi) SELAMA ≥ 3 kali berturutan:
      status ← "BAHAYA - API"
      Aktifkan LED Merah + Buzzer
      Tampilkan "API TERDETEKSI" pada LCD

    JIKA TIDAK, JIKA gasValue ≥ 300 ppm:
      status ← "BAHAYA"
      Aktifkan LED Merah + Buzzer
      Tampilkan "GAS BAHAYA!" pada LCD

    JIKA TIDAK, JIKA gasValue ≥ 200 ppm:
      status ← "WASPADA"
  
```

```
Aktifkan LED Kuning + Buzzer
Tampilkan "WASPADA" pada LCD

JIKA TIDAK:
  status ← "AMAN"
  Aktifkan LED Hijau
  Matikan Buzzer
  Tampilkan "KONDISI AMAN" pada LCD

Kirim gasValue dan status ke Blynk (Virtual Pin V0, V1)

JIKA status berubah ATAU sudah 10 detik sejak notifikasi terakhir:
  Kirim notifikasi Telegram berisi status + nilai gasValue (ppm)

  Tunggu 500ms
AKHIR ULANGI
SELESAI
```

Secara keseluruhan, alur komunikasi dalam sistem deteksi kebocoran gas dapat dijelaskan sebagai berikut. Sensor MQ-2 membaca nilai kadar gas secara analog melalui pin GPIO 34 ESP32, sementara *sensor api* membaca nilai digital melalui pin GPIO 27. Data dari kedua sensor diproses oleh ESP32 menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller* untuk menentukan status kondisi sistem. Hasil klasifikasi kemudian diteruskan ke tiga jalur output secara bersamaan

1. Output lokal berupa indikator LED aktivasi (GPIO 26, 32, 33) dan buzzer (GPIO 25) serta tampilan pada LCD I2C melalui protokol I2C (SDA: GPIO 21, SCL: GPIO 22);
2. Keluaran Blynk melalui koneksi WiFi ke *server cloud* Blynk menggunakan protokol TCP/IP, kemudian diteruskan ke aplikasi Blynk di smartphone pengguna; dan
3. Output Telegram melalui koneksi HTTPS ke Telegram Bot API menggunakan protokol MTProto, kemudian diteruskan sebagai pesan notifikasi ke akun Telegram pengguna. Seluruh proses ini berulang setiap 500 milidetik (*sampling rate* 2 Hz) untuk memastikan pemantauan berlangsung secara *real-time*.

2.5. Pengujian sistem

Tujuan pengujian sistem adalah memastikan bahwa semua komponen sistem, termasuk aplikasi Telegram, Blynk, flame sensor, buzzer, LED indikator, LCD, dan sensor MQ-2, bekerja sama dan berfungsi dengan baik. Selain itu, pengujian dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam mengirimkan notifikasi kepada pengguna secara real-time ketika terdeteksi kondisi berbahaya, seperti kebocoran gas atau munculnya api.

1. Pengujian sensor MQ-2

Pengujian sensor MQ-2 dilakukan untuk memastikan apakah sensor tersebut bekerja dengan baik dalam mendeteksi gas bocor. Rangkaian sensor gas MQ-2 ditunjukkan pada Gambar 6. Vcc dihubungkan ke tegangan 3.3v, keluaran sensor dihubungkan pada pin A0 dan GND dihubungkan pada ground. Keluaran sensor berupa keluaran analog. Validasi sensor MQ-2 dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan spesifikasi yang tercantum dalam datasheet sensor MQ-2. Berdasarkan datasheet, sensor MQ-2 memiliki rentang deteksi gas LPG antara 200 hingga 5.000 ppm dengan sensitivitas R_s/R_o berkisar antara 0,4 hingga 0,6 pada konsentrasi 1.000 ppm LPG. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MQ-2 pada sistem ini mendeteksi perubahan kadar gas secara konsisten sesuai dengan karakteristik yang disebutkan dalam datasheet, yaitu memberikan respons berupa peningkatan nilai ADC yang proporsional terhadap peningkatan konsentrasi gas di sekitar sensor.



Gambar 6. Pengujian sensor MQ-2

2. Pengujian flame sensor

Gambar 6 menunjukkan rangkaian sensor api. Vcc dihubungkan ke tegangan 5v, dan pin D0 melakukan pembacaan sensor. GND dihubungkan ke tanah. Dalam pengujian ini, korek gas digunakan sebagai

sumber api. Ini karena sensor api hanya dapat mendeteksi cahaya api pada jarak 1 cm hingga 11 cm, yaitu cahaya kuning hingga jingga.



Gambar 7. Pengujian *flame sensor*

3. Pengujian keseluruhan

Pengujian ini dilakukan pada rangkaian komponen secara keseluruhan. Gambar 7 menunjukkan hasil rangkaian dan pengujian keseluruhan. Untuk memantau kadar gas LPG, larutan isi pemantik korek gas dibuka. Karena dalam ruangan tertutup menunjukkan nilai 0 ppm (stabil), ambang batas 150 ppm dianggap cukup untuk melakukan uji coba pada sistem. Kadar gas LPG yang diamati melebihi 250 ppm menunjukkan adanya kebocoran gas.



Gambar 8. Pengujian keseluruhan

2.6. Evaluasi

Tahapan evaluasi yaitu bagian kesimpulan hasil pengujian sistem, yang menentukan tahap di mana peneliti memeriksa kelebihan dan kekurangan sistem dan memperbaikinya jika ada kesalahan. Evaluasi dilakukan untuk mengukur waktu respons sistem dari saat sensor mendeteksi kondisi berbahaya hingga indikator aktif dan notifikasi dikirim. Pengujian dilakukan 5 kali pada setiap kondisi untuk mengetahui konsistensi kinerja sistem. Hasil evaluasi waktu respons ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Respons Sistem

No	Kondisi	Percobaan	Waktu LED/ Buzzer aktif	Waktu Notifikasi Blynk	Waktu Notifikasi Telegram
1	Gas waspada (≥ 200 ppm)	1	<1 detik	<5 detik	<1 detik
2	Gas waspada (≥ 220 ppm)	2	<1 detik	<1 detik	<1 detik
3	Gas waspada (≥ 240 ppm)	3	<1 detik	<5 detik	<1 detik
4	Gas waspada (≥ 270 ppm)	4	<1 detik	<3 detik	<1 detik
5	Gas waspada (≥ 295 ppm)	5	<1 detik	<3 detik	<1 detik
6	Gas bahaya (≥ 300 ppm)	1	<1 detik	<5 detik	<1 detik
7	Gas bahaya (≥ 370 ppm)	2	<1 detik	<3 detik	<1 detik
8	Gas bahaya (≥ 500 ppm)	3	<1 detik	<3 detik	<1 detik
9	Api terdeteksi	1	<1 detik	<2 detik	<1 detik
10	Api terdeteksi	2	<1 detik	<2 detik	<1 detik
11	Api terdeteksi	3	<1 detik	<1 detik	<1 detik
12	Api terdeteksi	4	<1 detik	<2 detik	<1 detik
13	Api terdeteksi	5	<1 detik	<3 detik	<1 detik

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 2, sistem menunjukkan waktu respons yang cepat dan konsisten pada seluruh skenario pengujian yang telah dilakukan. Indikator LED dan buzzer aktif dalam waktu kurang dari satu detik setelah sensor mendeteksi kondisi bahaya. Hal ini karena proses tersebut berjalan secara lokal pada mikrokontroler ESP32 tanpa memerlukan koneksi internet. Notifikasi melalui aplikasi Blynk membutuhkan waktu antara 1 hingga 5 detik bergantung pada stabilitas koneksi WiFi, sedangkan notifikasi melalui Telegram terkirim secara konsisten dalam waktu kurang dari 1 detik pada seluruh percobaan. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan terbukti responsif dan andal sebagai sistem peringatan dini kebocoran gas LPG. Berdasarkan data pada Tabel 2, dilakukan analisis statistik terhadap waktu respons sistem untuk

memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja sistem. Analisis mencakup nilai rata-rata (mean), maksimum, minimum, dan standar deviasi waktu respons notifikasi Blynk, karena notifikasi Telegram secara konsisten di bawah 1 detik pada seluruh percobaan.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Respons Sistem berdasarkan statistik

Statistik	Waktu LED/ Buzzer	Waktu Notifikasi Blynk	Waktu Notifikasi Telegram
Minimum	< 1 detik	< 1 detik	< 1 detik
Maksimum	< 1 detik	< 5 detik	< 1 detik
Rata – rata	< 1 detik	< 2,8 detik	< 1 detik
Standar Deviasi	0	$\pm 1,3$ detik	0

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa LED dan buzzer memiliki respons waktu yang sangat konsisten (standar deviasi = 0) karena prosesnya berjalan secara lokal tanpa bergantung pada koneksi internet. Notifikasi Blynk memiliki standar deviasi sebesar $\pm 1,3$ detik akibat variasi kualitas koneksi WiFi selama pengujian. Notifikasi Telegram secara konsisten dikirim dalam waktu kurang dari 1 detik karena protokol MTProto yang mudah digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan algoritma Fuzzy Logic yang mampu mendeteksi kebocoran gas serta keberadaan api secara real-time. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur pengiriman notifikasi otomatis kepada pengguna melalui aplikasi Telegram dan Blynk. Komponen utama yang digunakan dalam sistem ini meliputi sensor MQ-2 sebagai pendeteksi kadar gas, flame sensor sebagai pendeteksi api, ESP32 sebagai unit pengendali pusat, LCD I2C 16x2 sebagai penampil informasi, buzzer sebagai alarm suara, serta LED indikator sebagai penanda kondisi sistem secara visual.

Apabila dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki sejumlah keunggulan, terutama dalam hal integrasi IoT yang lebih menyeluruh. Penelitian [7] hanya memanfaatkan alarm lokal tanpa didukung konektivitas IoT; penelitian [8] hanya mampu mengirimkan notifikasi melalui SMS tanpa disertai informasi kadar gas secara real-time, sementara penelitian [9] belum mengintegrasikan sensor nyala ke dalam sistemnya. Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, sistem pada penelitian ini mendeteksi kebocoran gas sekaligus keberadaan api dalam satu perangkat terintegrasi, dengan notifikasi real-time yang memuat nilai kadar gas dalam satuan ppm melalui platform Blynk dan Telegram. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan pada pengujian sensor MQ-2 maupun flame sensor, sehingga membuktikan bahwa sistem ini mampu memberikan peringatan dini yang akurat dan responsif.

3.1. Hasil pengujian sensor Mq-2

Pengujian sistem dilakukan sebanyak 5 kali percobaan pada setiap kondisi untuk memastikan konsistensi dan keandalannya. Pengujian dilaksanakan di dalam ruangan tertutup berukuran kurang lebih 3x3 meter pada suhu ruangan berkisar antara 27–30°C dengan kelembapan udara sekitar 60–75%. Waktu pengujian dilakukan pada pagi hari. Sumber gas yang digunakan yaitu gas tabung 3 kg yang ditekan secara bertahap pada jarak 5 cm dari permukaan sensor MQ-2. Kondisi pengujian yang terkontrol ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pengujian dapat direproduksi dan representatif terhadap kondisi penggunaan nyata di lingkungan rumah tangga. Pengujian dilakukan pada sensor MQ-2 untuk mengetahui apakah sensor tersebut bekerja dengan baik dalam mendeteksi gas LPG yang bocor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor tersebut bekerja dengan baik dan memungkinkan sistem untuk secara otomatis memberikan respons berdasarkan nilai gas yang dibacanya. Ketika LED hijau menyala, LCD menampilkan kondisi "aman" dan buzzer tidak aktif. Ketika kadar gas meningkat, LED kuning menyala, LCD menampilkan kondisi "waspadanya" dan buzzer aktif. Ketika LED merah menyala, LCD menampilkan kondisi "bahaya" dan buzzer aktif. Setelah itu, ketika kadar gas turun, hal itu akan menandakan bahwa kondisinya aman.

Tabel 4. hasil pengujian sensor Mq2

No	Kondisi Pengujian	Sensor MQ-2	LCD	LED dan Buzzer	Notifikasi
1	Kondisi aman	Normal	Menampilkan "Aman"	Led hijau nyala buzzer mati	Tidak ada notifikasi
2	Gas terdeteksi ($\geq$ 108 ppm)	Aktif	Menampilkan "Aman"	Led hijau nyala buzzer mati	Tidak ada notifikasi
3	Gas terdeteksi ($\geq$ 208 ppm)	aktif	Menampilkan "Waspadanya"	Led kuning nyala, buzzer aktif	Notifikasi ada

No	Kondisi Pengujian	Sensor MQ-2	LCD	LED dan Buzzer	Notifikasi
4	Gas terdeteksi (≥ 301 ppm)	aktif	Menampilkan "Bahaya "	Led merah nyala, buzzer aktif	Notifikasi ada
5	Kondisi kembali normal	normal	Menampilkan "Aman"	Led hijau aktif, buzzer mati	Notifikasi ada

Berdasarkan tabel 4 hasil pengujian, sensor MQ-2 dapat bekerja dengan baik dalam mendeteksi kadar gas. Gambar 10 tampilan pada LCD ketika kondisi "aman", LED hijau menyala dan buzzer tidak aktif.



Gambar 10. Tampilan kondisi "aman" pada LCD

Gambar 9 menampilkan ketika kadar gas terpantau dimulai dari ≥ 208 ppm menunjukkan bahwa kondisi "waspada" pada LCD, LED kuning menyala, dan Buzzer aktif.



Gambar 11. Tampilan kondisi "waspada" pada LCD

Gambar 10 menampilkan saat kadar gas terpantau di angka ≥ 301 ppm, menunjukkan kondisi "bahaya" pada LCD, LED merah menyala, dan buzzer aktif.



Gambar 12. Tampilan kondisi "bahaya" pada LCD

3.2. Hasil pengujian flame sensor

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor api dapat mendeteksi api dengan baik pada jarak tertentu dan merespons dengan cepat ketika api berada dalam jangkauan sensor. Selain itu, setelah sumber api dijauhkan dari sensor, sistem dapat kembali ke kondisi normal. Sistem akan mengaktifkan LED merah dan buzzer sebagai peringatan bahaya jika api terdeteksi. Selain itu, karena notifikasi dikirim secara real-time melalui Telegram dan Blynk, pengguna dapat mengetahui adanya kebakaran dengan cepat. Setelah sumber kebakaran dijauhkan dari sensor, sistem secara otomatis kembali ke kondisi normal.

Tabel 5. Hasil pengujian flame sensor

No	Jarak Api (cm)	Flame sensor	Status	LCD	Led (Indikator)	Buzzer	Notifikasi
1	1 cm	Aktif	Api terdeteksi	Menampilkan kondisi "api terdeteksi"	Merah menyala	Nyala	Terkirim
2	3 cm	Aktif	Api terdeteksi	Menampilkan kondisi "api terdeteksi"	Merah menyala	Nyala	Terkirim
3	5 cm	Aktif	Api terdeteksi	Menampilkan kondisi "api terdeteksi"	Merah menyala	Nyala	Terkirim
4	7cm	Aktif	Api terdeteksi	Menampilkan kondisi "api terdeteksi"	Merah menyala	Nyala	Terkirim
5	10cm	Aktif	Api terdeteksi	Menampilkan kondisi "api terdeteksi"	Merah menyala	Nyala	Terkirim
6	12 cm	Tidak Aktif	Api tidak terdeteksi	Menampilkan kondisi "aman"	Hijau Menyala	Mati	Terkirim

3.3. Hasil pengujian keseluruhan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik. Hasil pengujian sistem secara keseluruhan menunjukkan bahwa alat deteksi kebocoran gas berbasis Internet of Things memenuhi rencana awal dengan baik. Sensor MQ-2 memiliki kemampuan untuk mendeteksi kadar gas, sementara alat ini juga dapat mendeteksi gas dan api. Mereka juga dapat menampilkan informasi pada LCD, mengaktifkan LED dan buzzer, serta mengirimkan notifikasi secara real-time melalui Blynk dan Telegram. Selain itu, indikator LED dan buzzer dapat digunakan oleh sistem untuk memberikan peringatan dini secara otomatis. Selain itu, kerja sama dengan aplikasi Blynk dan Telegram memungkinkan pengguna memantau status sistem secara real-time melalui smartphone. Oleh karena itu, sistem yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan keamanan sekaligus mengurangi bahaya kebakaran akibat kebocoran gas. Tabel berikut menunjukkan hasil pengujian keseluruhan.

Tabel 6. Hasil pengujian keseluruhan

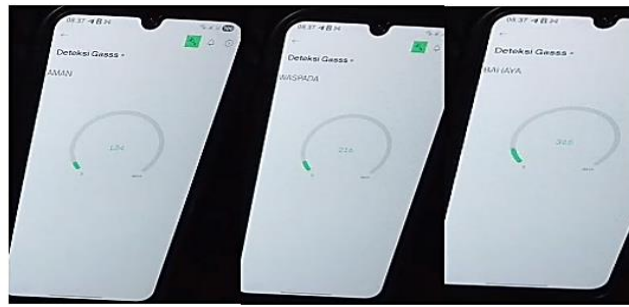
No	Kondisi Pengujian	Sensor Mq-2	Flame Sensor	Lcd	Led Dan Buzzer	Notifikasi
1	Kondisi aman	Normal	Tidak aktif	Menampilkan "Aman"	Led hijau aktif, buzzer mati	Tidak ada notifikasi
2	Gas terdeteksi ($\geq$ 208 ppm)	aktif	Tidak aktif	Menampilkan "Waspada"	Led kuning aktif, buzzer aktif	Notifikasi ada
3	Gas terdeteksi ($\geq$ 301 ppm)	aktif	Tidak aktif	Menampilkan "Bahaya "	Led merah aktif, buzzer aktif	Notifikasi ada
4	Gas dan api terdeteksi	aktif	aktif	Menampilkan "Bahaya"	Led merah aktif, buzzer aktif	Notifikasi ada
5	Api terdeteksi	normal	aktif	Menampilkan "api terdeteksi"	Led kuning aktif, buzzer aktif	Notifikasi ada
6	Kondisi kembali normal	normal	Tidak aktif	Menampilkan "aman"	Led hijau aktif, buzzer mati	Notifikasi ada

3.4. Pengujian notifikasi pada Blynk

Pengujian tampilan notifikasi pada aplikasi Blynk, yang berfungsi sebagai media pemantauan jarak jauh, memastikan bahwa data hasil pembacaan sensor dapat dikirim dan ditampilkan secara real-time pada smartphone pengguna. Selain itu, ESP32 mengirimkan data nilai kadar gas dari sensor MQ-2 serta status kondisi sistem melalui koneksi internet ke platform Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi Blynk dapat dengan mudah menampilkan nilai kadar gas secara real-time melalui pembacaan sensor MQ-2. Dalam kondisi aman, aplikasi menampilkan nilai di bawah 200 ppm dengan status "Aman". Jika kadar gas meningkat menjadi antara 200 dan 299 ppm, aplikasi menampilkan status "Waspada" dan memberikan peringatan kepada pengguna jika kadar gas mencapai lebih dari 300 ppm atau jika api terdeteksi. Hasil pengujian tampilan aplikasi Blynk ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14, yang menunjukkan pemberitahuan ketika kadar gas melebihi 300 ppm dan ketika api terdeteksi.

3.5. Pengujian notifikasi pada telegram

Pengujian dilakukan pada tampilan notifikasi Telegram untuk memastikan bahwa sistem dapat secara otomatis mengirimkan pesan peringatan kepada pengguna ketika terdeteksi kebocoran gas atau api. Setelah dikonfigurasi sebelumnya, notifikasi Telegram dikirim melalui bot yang menggunakan token bot dan ID chat pengguna.

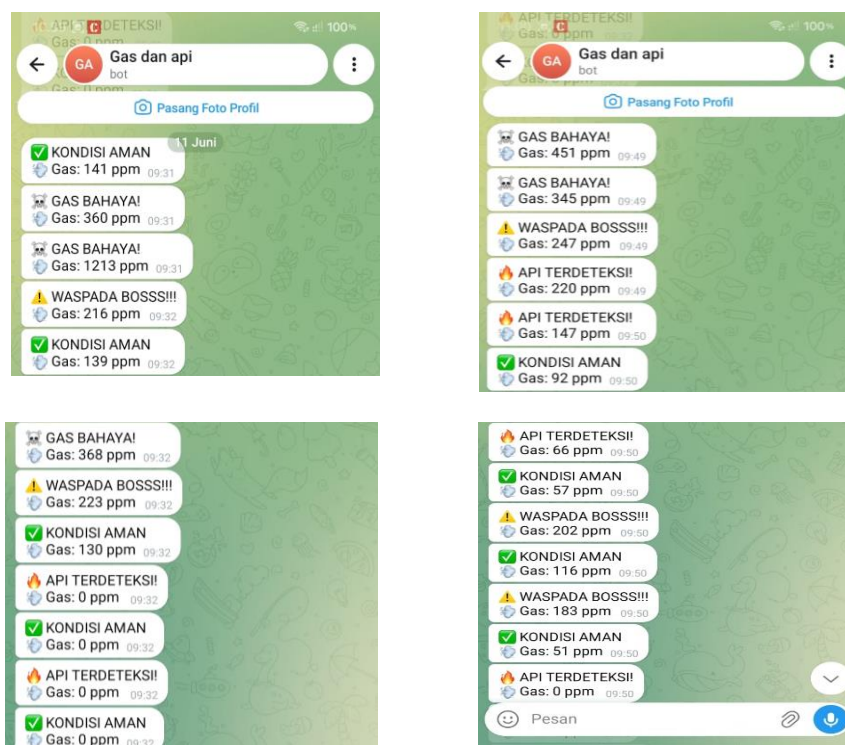


Gambar 13. Tampilan monitoring pada aplikasi Blynk



Gambar 14. Tampilan notifikasi gas dan api terdeteksi pada Blynk

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat secara otomatis mengirimkan notifikasi melalui Telegram ketika sensor mendeteksi lingkungan yang aman, waspada, atau berbahaya. Seperti "WASPADA BOSSS!!! Gas: 216ppm" dan "GAS BAHAYA! Gas: 312-12 ppm", pesan notifikasi yang dikirimkan mengandung informasi tentang kadar gas yang dibaca dan status kondisi sistem. Jika kondisi sudah stabil, kembali akan mengirimkan notifikasi "KONDISI AMAN", dan jika api terdeteksi, kembali akan mengirimkan notifikasi "API TERDETEKASI" dan nilai Gas: 66-220 ppm " untuk memberi pengguna pemahaman menyeluruh tentang kondisi. Sensor memberi tahu pengguna untuk mengambil tindakan pencegahan saat kondisi berubah. Telegram telah menunjukkan dirinya sebagai alat yang sangat baik untuk mengirim notifikasi karena memungkinkan pengguna berkomunikasi dengan mereka dari mana saja di internet. Gambar 15 menunjukkan hasil pengujian tampilan notifikasi Telegram. Sistem dapat mengirimkan notifikasi melalui Telegram secara real-time sesuai dengan kondisi yang terdeteksi oleh sensor, sehingga pengguna dapat memantau dan merespons kondisi kebocoran gas meskipun mereka tidak berada di lokasi.



Gambar 15. Tampilan notifikasi pada telegram

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem deteksi kebocoran gas yang dikembangkan terbukti mampu bekerja secara akurat dan responsif dalam berbagai skenario pengujian. Pemilihan algoritma Fuzzy Logic Controller didasarkan pada kemampuannya dalam menangani ketidakpastian serta variabilitas data pembacaan sensor MQ-2 secara adaptif, sehingga menghasilkan klasifikasi kondisi yang lebih tepat dibandingkan dengan sistem konvensional yang hanya mengandalkan nilai ambang batas (threshold) sederhana. Hal ini sejalan dengan temuan pada penelitian [5] yang menyatakan bahwa logika fuzzy memungkinkan terbentuknya model yang lebih fleksibel dan realistis dalam menggambarkan fenomena yang bersifat tidak pasti dalam kehidupan sehari-hari.

Apabila dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan. Penelitian [7] yang hanya memanfaatkan alarm lokal tanpa dukungan konektivitas IoT memiliki keterbatasan dalam pemantauan jarak jauh, sedangkan sistem pada penelitian ini memungkinkan pengguna memantau kondisi lingkungan dari mana saja melalui aplikasi Blynk dan Telegram. Selain itu, penelitian [9] yang menggunakan mikrokontroler Arduino Uno belum mendukung konektivitas WiFi secara langsung, sedangkan ESP32 yang digunakan dalam penelitian ini telah dilengkapi modul WiFi terintegrasi sehingga implementasi sistem IoT menjadi lebih efisien dan praktis.

Ditinjau dari sisi penerapannya pada kondisi nyata, sistem ini memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan di lingkungan rumah tangga sebagai sistem peringatan dini kebocoran gas LPG. Notifikasi real-time yang dikirimkan melalui Telegram dengan menyertakan nilai kadar gas dalam satuan ppm memungkinkan pengguna untuk segera mengambil tindakan pencegahan meskipun tidak berada di lokasi kejadian. Namun demikian, sistem ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, di antaranya jarak deteksi flame sensor yang hanya efektif hingga 11 cm, serta sensitivitas sensor MQ-2 yang dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar seperti tingkat kelembapan udara dan sirkulasi ruangan.

3.6. Analisis Kelebihan dan Keterbatasan Sistem

Beberapa kelebihan sistem deteksi kebocoran gas yang dikembangkan yaitu mengintegrasikan sensor api dan sensor MQ-2 secara bersamaan dalam satu perangkat. Ini memungkinkan sistem mendeteksi kebocoran gas dan api secara bersamaan. Kedua, notifikasi yang dikirimkan melalui Telegram berisi informasi tentang kadar gas dalam satuan ppm. Ketiga, Blynk memungkinkan pengguna memantau kondisi lingkungan dari mana saja selama terhubung ke internet melalui pemantauan real-time. Keempat, klasifikasi kondisi dengan algoritma Fuzzy Logic Controller lebih adaptif dibandingkan sistem berbasis ambang batas sederhana.

Namun, sistem ini memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan. Untuk area pengamatan yang lebih luas, sensor api yang efektif hanya 11 cm masih kurang. Sensitivitas sensor MQ-2 dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kelembapan dan sirkulasi udara di ruangan. Oleh karena itu, diperlukan kalibrasi ulang dalam berbagai kondisi lingkungan. Selain itu, untuk mengirimkan notifikasi secara real-time, sistem ini memerlukan koneksi internet yang stabil. Oleh karena itu, pengiriman notifikasi dapat tertunda saat kondisi jaringan kurang baik.

3.7. Analisis konsumsi daya ESP32

Analisis konsumsi daya dilakukan untuk mengestimasi kebutuhan daya sistem secara keseluruhan. Berdasarkan datasheet ESP32, konsumsi arus mikrokontroler ESP32 dalam kondisi aktif dengan WiFi menyala berkisar antara 160–240 mA pada tegangan 3,3V, sehingga daya yang dikonsumsi diperkirakan sekitar 0,53–0,79 Watt. Dalam kondisi *idle* (WiFi aktif namun tidak ada transmisi data), konsumsi arus turun menjadi sekitar 20 mA atau sekitar 0,07 watt. Komponen pendukung seperti sensor MQ-2 membutuhkan daya pemanasan (*heater*) sekitar 900 mW, LCD I2C membutuhkan sekitar 100 mW, serta LED dan buzzer masing-masing membutuhkan daya kurang dari 50 mW. Total estimasi konsumsi daya sistem saat aktif penuh adalah sekitar 1,5–2 Watt, yang dapat dipasok menggunakan adaptor daya 5V/1A standar. Konsumsi daya yang relatif rendah ini menjadikan sistem layak dioperasikan secara terus-menerus (*continuous operation*) sebagai sistem pemantauan rumah tangga.

3.8. Pengaruh Kualitas Jaringan Internet terhadap Performa Sistem

Waktu pengiriman notifikasi sistem sangat dipengaruhi oleh koneksi internet. Dipengaruhi secara signifikan oleh kualitas koneksi jaringan internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa notifikasi dari aplikasi Blynk membutuhkan waktu antara 1 hingga 5 detik (bergantung pada stabilitas koneksi WiFi), sedangkan notifikasi dari Telegram terkirim secara konsisten dalam waktu kurang dari 1 detik. Perbedaan ini terletak pada arsitektur protokol yang digunakan: Blynk memerlukan sinkronisasi data berkelanjutan dengan server cloud Blynk, sedangkan Telegram menggunakan protokol MTProto yang dioptimalkan untuk mengirim pesan berukuran kecil secara cepat. Sistem tetap dapat beroperasi secara lokal dalam kondisi jaringan WiFi yang tidak stabil atau putus-sambung. LED, buzzer, dan LCD tetap aktif untuk memberikan peringatan. Namun, pengiriman notifikasi ke Blynk dan Telegram akan ditunda hingga jaringan internet stabil kembali. Oleh karena

itu, disarankan agar sistem terhubung ke jaringan WiFi yang stabil dengan kecepatan minimal 1 Mbps untuk memaksimalkan kinerja notifikasi.

4. KESIMPULAN

Tujuan penelitian ini untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi kebocoran gas berbasis *Internet of Things* (IoT) yang responsif, informatif, dan mampu memberikan peringatan dini secara otomatis telah tercapai sepenuhnya. Hal ini dibuktikan dengan kemampuan sistem mendeteksi kadar gas LPG secara akurat pada seluruh kategori kondisi yang telah ditetapkan, *flame sensor* yang mampu mendeteksi keberadaan api hingga jarak 11 cm, serta notifikasi *real-time* yang terkirim dalam waktu kurang dari 3 detik setelah kondisi berbahaya terdeteksi. Hasil pengujian sistem menunjukkan tingkat akurasi sebesar 100% dengan tingkat error 0% pada seluruh skenario pengujian yang dilakukan, yang membuktikan keandalan algoritma Fuzzy Logic Controller dalam mengklasifikasikan kondisi kebocoran gas secara tepat. Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada integrasi algoritma *Fuzzy Logic Controller* dengan platform IoT ganda, Blynk dan Telegram, yang menghasilkan sistem peringatan dini yang lebih komprehensif dan informatif dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya yang masih terbatas pada alarm lokal atau notifikasi satu arah tanpa disertai informasi kadar gas secara *real-time*. Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi kebocoran gas berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MQ-2, dan *flame sensor* yang diintegrasikan dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller*.

Meskipun sistem yang dikembangkan telah menunjukkan kinerja yang baik pada seluruh skenario pengujian, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu menjadi perhatian dalam penelitian selanjutnya. Jarak deteksi *flame sensor* yang hanya efektif hingga 11 cm dinilai belum ideal untuk area pemantauan yang lebih luas, sehingga disarankan penggunaan sensor api dengan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi. Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor suhu dan karbon monoksida (CO) guna memperluas cakupan deteksi bahaya secara lebih menyeluruh dan akurat. Integrasi fitur kendali otomatis, seperti solenoid valve sebagai pemutus aliran gas, juga direkomendasikan agar sistem tidak hanya memberikan peringatan, tetapi juga mampu menangani kebocoran secara mandiri tanpa memerlukan intervensi pengguna. Perluasan area pengujian ke lingkungan industri atau komersial yang memiliki risiko kebocoran gas lebih tinggi turut direkomendasikan untuk meningkatkan validitas dan generalisasi sistem pada penelitian mendatang. Selain itu, untuk mengantisipasi kondisi jaringan WiFi yang tidak stabil atau padam, disarankan penambahan modul SIM card (GSM/GPRS) sebagai jalur komunikasi cadangan, sehingga notifikasi tetap dapat terkirim melalui SMS meskipun koneksi internet terputus.

REFERENSI

- [1] M. Z. Arif and R. P. Astutik, "Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas pada LPG dan Suhu Ruangan Berbasis Protokol MQTT Menggunakan Metode Fuzzy Logic Gas Leak Detection System in LPG and Room Temperature Based on MQTT Protocol Using Fuzzy Logic Method," 2024. [Online]. Available: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/JRRE>
- [2] Z. Fairuz Mahitala, E. Ryansyah, A. Yasinta Permana, F. Ilmu Komputer, U. Singaperbangsa Karawang, and K. Karawang, "Jurnal Informatika Dan Rekayasa Komputer (JAKAKOM) Sistem Pendeteksi Kebocoran LPG Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Logic Mamdani dengan Integrasi Aplikasi Blynk," 2025, doi: 10.33998/jakakom.v5i2.
- [3] 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, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5594.
- [4] L. T. Simanjuntak, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis Internet of Things di Lingkungan Rumah Tangga," *Jurnal Nasional Teknologi Komputer*, vol. 5, no. 3, 2025.
- [5] M. Radja, M. A. Londa, and K. Sara, "Penerapan Metode Logika Fuzzy dalam Evaluasi Kinerja Dosen," *Matrix : Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, vol. 10, no. 2, pp. 78–86, Jul. 2020, doi: 10.31940/matrix.v10i2.1841.
- [6] F. Rozie *et al.*, "Sistem Akuaponik Untuk Peternakan Lele Dan Tanaman Kangkung Hidroponik Berbasis Iot Dan Sistem Inferensi Fuzzy," vol. 8, no. 1, pp. 157–166, 2021, doi: 10.25126/jtiik.202184025.
- [7] S. Laitera, W. A. Dewa, and S. Arifin, "Penerapan Sistem Alarm Berbasis Arduino Uno Untuk Mendeteksi Kebocoran Gas LPG," *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 2, no. 2, pp. 96–106, Oct. 2022, doi: 10.25008/janitra.v2i2.159.
- [8] D. Satria, "Sistem Peringatan Dini Kebakaran Dan Kebocoran Gas LPG Berbasis Notifikasi SMS Gateway," *JURNAL INFORMATIKA*, vol. 2, no. 2, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.uniraya.ac.id/index.php/JI>

- [9] S. Malo *et al.*, “Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas (Lpg) Menggunakan Sensor Mq2 Berbasis Mikrokontroler (Arduino Uno),” *Jurnal Manajemen dan Teknologi Informasi (JMTI)*, vol. 14, pp. 24–30, doi: 10.59819.
- [10] D. Marsus Pandega and H. Marcos, “Perancangan Prototipe Deteksi Kebocoran Gas Menggunakan Sensor Mq-6 Untuk Rumah Tangga,” *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTIKOM)*, vol. 4, no. 1, p. 2023.
- [11] N. Alamsyah and N. Safitri, “Sistem Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas Elpiji (Lpg) Berbasis Nodemcu Dan Telegram.” [Online]. Available: <https://journal.fkom.uniku.ac.id/ilkom94TerakreditasiSINTA5>
- [12] E. D. Azzahra and M. A. S. Yudono, “Pengembangan Sistem Deteksi Kebakaran Hutan Berbasis Esp32 Dan Panel Surya Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Pemantauan Melalui Telegram,” *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 11, no. 1, pp. 111–122, Jun. 2025, doi: 10.56521/teknika.v11i1.1419.
- [13] B. Pratiwi, D. Caroline Pelawi, J. Dameria Gracia Silalahi, T. Malasari Siregar, and F. Anshari, “Copyrights @ Tiur Malasari Siregar , Fazril Anshari Model Optimasi Himpunan Fuzzy Untuk Menentukan Harga Jual Optimal Pada Daging Sapi,” *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 3, pp. 3263–3275, 2023.
- [14] I. Irfanianingrum, A. Rizal Chaidir, S. Sumardi, G. Aditya Rahardi, and D. Wahyu Herdiyanto, “Sistem Pendeteksi Dini Kebakaran Hutan Berbasis Logika Fuzzy dengan Integrasi Telegram,” *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 2, pp. 120–127, Oct. 2023, doi: 10.23917/emitor.v22i2.22019.
- [15] R. Pal, F. Shaikh, J. Shirodkar, and S. Gindi, “IOT Based Real Time Weather Monitoring System Using NODEMCU,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 2965–2970, Apr. 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.50313.
- [16] 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.
- [17] Dendy Azmi Kusuma and Noni Juliasari, “Sistem Deteksi Kebocoran Gas Lpg (Liquefied Petroleum Gas) Dan Kebakaran Menggunakan Mq-2 Dan Esp32 Berbasis Iot (Internet Of Things),” *JIFOSI*, vol. 5, no. 3, Dec. 2024, doi: 10.33005/jifosi.v5i3.465.
- [18] B. Gunadi, N. Hidayat, and A. A. Soebroto, “Sistem Monitoring Kebocoran Gas Berbahaya di Lingkungan Kawasan Industri berbasis Bluetooth Low Energy (BLE),” 2021. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [19] M. Garonga, A. Michael, M. Dudung, and K. Kunci, “Journal Dynamic sainT Sistem Pendeteksi Kebocoran Liquified Petroleum Gas (LPG) Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Mikrokontroler,” vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.47178/dynamicsaint.v5xx.xxxx.
- [20] L. Bahtiar Aksara, M. Ihsan Sarita, and J. Informatika, “Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis IoT Dan WSN Untuk Mendeteksi Pencemaran Udara.” [Online]. Available: <http://animator.uho.ac.id/index.php/journal>
- [21] T. Setiadi and N. Syafaat, “Sistem Informasi Pendeteksi Asap Rokok Menggunakan Sensor Mq-2 Pada Klinik Berlian Limpung Berbasis Arduino Uno,” 2022. [Online]. Available: <http://ejurnal.provisi.ac.id/index.php/JUI SI>
- [22] H. Purwanto, A. N. Putra, D. F. Shiddieq, and T. Wiharko, “Alat Deteksi Kebocoran Gas Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Arduino Uno,” *Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, vol. 13, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.30591/smartcomp.v13i1.4976.
- [23] F. Amir and R. Maulan, “Sistem Pendeteksi Kebocoran Liquefied Petroleum Gas Menggunakan Metode Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Internet Of Things,” vol. 12, no. 2, 2020, doi: 10.24853/jurtek.12.2.151-158.
- [24] L. T. Simanjuntak, “Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis Internet of Things di Lingkungan Rumah Tangga,” *Jurnal Nasional Teknologi Komputer*, vol. 5, no. 3, 2025.
- [25] N. Hidayat, S. Hidayat, N. A. Pramono, and U. Nadirah, “Sistem Deteksi Kebocoran Gas Sederhana Berbasis Arduino Uno,” *Rekayasa*, vol. 13, no. 2, pp. 181–186, Aug. 2020, doi: 10.21107/rekayasa.v13i2.6737.