



Implementasi Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis IOT dengan Fuzzy Logic

Tugas Akhir

**Oleh:
Rudi Swandi Simamora (4212201030)**

**Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2026**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul “Implementasi Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis IoT dengan Fuzzy Logic” merupakan hasil karya saya sendiri. Tugas Akhir ini disusun dan diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan serta bukan merupakan karya pihak lain yang diakui sebagai karya sendiri. Seluruh sumber dan referensi yang digunakan, baik secara langsung maupun tidak langsung, telah dicantumkan secara lengkap dan benar dalam daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

7 Juli 2026



Rudi Swandi Simamora

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Disusun oleh:
Rudi Swandi Simamora (4212201030)

Tanggal Sidang: 07 Juli 2026

Disetujui oleh :	
 1. M. Naufal Airlangga Diputra S.Pd., M.P.H NIK: 122281	 1. Ir. Daniel Sutopo Pamungkas ,S.T.M.T.PHD . NIK: 197511282012121002
 2. Adlian Jefiza, S.Pd.,M.T NIK: 199112022019031016	

Implementasi Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis IoT dengan Fuzzy Logic

Abstrak

Kebocoran gas LPG dapat menimbulkan risiko kebakaran sehingga diperlukan sistem pendeteksi yang mampu memberikan peringatan secara cepat. Penelitian ini mengimplementasikan sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Fuzzy Sugeno. Sistem menggunakan sensor MQ-6 untuk mendeteksi gas LPG, DHT22 untuk mengukur suhu, dan flame sensor untuk mendeteksi keberadaan api. Data suhu dan gas LPG diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi aman, waspada, dan bahaya serta mengendalikan exhaust fan dan buzzer. Hasil pengujian DHT22 menunjukkan rentang suhu 31,4–32,0 °C pada kondisi tidak memasak dan hingga 36,2 °C saat memasak, sedangkan sensor MQ-6 menghasilkan nilai ADC 890–1200 pada kondisi tidak memasak dan 1300–1900 saat memasak. Pengujian sembilan kombinasi input fuzzy menghasilkan kondisi aman, waspada, dan bahaya sesuai kondisi yang diuji. Pengujian flame sensor menunjukkan bahwa ketika api terdeteksi, exhaust fan menjadi OFF dan buzzer ON sebagai peringatan Bahaya Api, sedangkan ketika api tidak terdeteksi, exhaust fan ON dan buzzer OFF. Sistem juga mampu mengirimkan data dan status kondisi melalui aplikasi Blynk secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi gas LPG, suhu, dan keberadaan api serta memberikan respons sesuai kondisi yang terdeteksi.

Kata kunci: *Kebocoran Gas LPG, MQ6, DHT22, Flame Sensor, Fuzzy Sugeno, IoT*

Implementation of IoT-based LPG Gas Leak Detection System with Fuzzy Logic

Abstract

LPG leaks pose a fire risk, necessitating a detection system capable of providing rapid alerts. This study implements an Internet of Things (IoT)-based LPG leak detection system using the Sugeno fuzzy logic method. The system utilizes an MQ-6 sensor to detect LPG, a DHT22 sensor to measure temperature, and a flame sensor to detect the presence of fire. Temperature and LPG data are processed by an ESP32 microcontroller to determine the status—safe, alert, or danger—and to control an exhaust fan and a buzzer. Testing of the DHT22 sensor showed a temperature range of 31.4–32.0°C when not cooking and up to 36.2°C during cooking, while the MQ-6 sensor yielded ADC values of 890–1200 when not cooking and 1300–1900 during cooking. Testing of nine fuzzy input combinations successfully resulted in safe, alert, and danger states corresponding to the tested conditions. Flame sensor testing demonstrated that when a flame was detected, the exhaust fan turned off and the buzzer turned on to signal a fire hazard, whereas when no flame was detected, the exhaust fan turned on and the buzzer remained off. The system is also capable of transmitting data and status updates in real-time via the Blynk application. The results indicate that the system effectively detects LPG levels, temperature, and the presence of fire, responding appropriately to the detected conditions.

Keywords: *LPG Gas Leak, MQ6, DHT22, Flame Sensor, Fuzzy Sugeno, IoT*

Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Implementasi Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis IoT Menggunakan Logika Fuzzy Sugeno" dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Mekatronika. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, yang selalu ada dalam langkah penulis dalam menyelesaikan perjalanan ini. Terimakasih karena selalu menjadi sumber kekuatan dan pengharapan ditengah ketidakpastian dan terimakasih telah memberikan semua indah pada waktunya.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta semangat yang tiada henti selama proses perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng, selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Diono, S.Tr.T., M.Sc, selaku Kepala Program Studi Teknik Mekatronika.
5. Bapak Ir. Daniel Sutopo Pamungkas, S.T.M.T.PhD., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, masukan, dan bimbingan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Bapak Adlian Jefiza, S.Pd.,M.T selaku dosen penguji 2 Saya.
7. Bapak M. Naufal Airlangga Diputra S.Pd., M.P.H selaku dosen penguji 1 saya.
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman Program Studi Teknik Mekatronika, khususnya rekan-rekan Tadika Meka, atas dukungan, bantuan, dan kebersamaan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Kepada diri sendiri, Terimakasih telah berjuang dengan penuh kesabaran, tetap bertahan di tengah berbagai keraguan, tantangan dan rintangan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih karena tidak menyerah dan terus berusaha hingga akhirnya seluruh proses dapat dilalui dengan baik.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan penelitian di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi dalam pengembangan sistem pendeteksi kebocoran gas berbasis Internet of Things.

Batam, 7 Juli 2026

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rudi' with a stylized flourish at the end.

RUDI SWANDI SIMAMORA

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	1
Lembar Pengesahan	2
Abstrak	3
<i>Abstract</i>	4
Kata Pengantar	5
Daftar Isi	7
Daftar Gambar	10
Daftar Tabel	11
Bab 1. Pendahuluan.....	12
1.1. Latar Belakang	12
1.2. Rumusan Masalah	13
1.3. Tujuan.....	13
1.4. Manfaat	13
1.5. Batasan.....	13
Bab 2. Tinjauan Pustaka	15
2.1. Penelitian Terkait.....	15
2.2. Fuzzy Sugeno	18
2.2.1. Fuzzifikasi.....	18
2.2.2. Inferensi.....	20
2.2.3. Defuzzifikasi	20
2.3. LPG (<i>Liquid Petroleum Gas</i>)	20
2.5. IOT (<i>Internet of Things</i>).....	21
2.6. Sensor Infrared	21
2.7. Sensor MQ-6.....	21
2.8. DHT22	21
2.9. Buzzer	22
2.10. Blynk	22

2.11. Raspberry Pi.....	22
2.12. Exhaust Fan	22
2.13. WebCam	23
Bab 3. Metodologi Penelitian	24
3.1. Perancangan.....	24
3.1.1. Rancangan Penelitian	24
3.1.2. Studi Literatur	24
3.1.3. Perancangan Mekanikal.....	25
3.1.4. Perancangan Elektrikal	29
3.1.5. Perancangan Program	31
3.1.6. Diagram Blok Sistem	32
3.1.7. Perancangan Sistem	33
3.1.8. Perancangan Fuzzy Sugeno.....	33
3.1.9. Perancangan IoT	37
3.2. Alat dan Bahan	38
3.3. Pengujian.....	38
3.3.1. Pengujian Sensor DHT22.....	39
3.3.2. Pengujian Sensor MQ6	39
3.3.3. Pengujian Sensor Infrared	39
3.3.4. Pengujian Sistem	40
Bab 4. Hasil dan Pembahasan.....	41
4.1. Hasil Pengujian Sensor DHT22.....	41
4.1.1. Pengujian pada kondisi tidak memasak.....	41
4.1.2. Pengujian pada kondisi memasak.....	42
4.2. Hasil Pengujian Sensor MQ6.....	43
4.3. Hasil Pengujian Flame Sensor	44
4.4. Hasil pengujian sistem	45
4.4.1. Hasil pengujian fuzzy	45
4.5. Perhitungan Fuzzy Sugeno.....	46

4.5.1. Perhitungan Kondisi Aman	46
4.5.2. Perhitungan Kondisi Waspada	48
4.5.3. Perhitungan Kondisi Bahaya	49
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran.....	52
Daftar Pustaka	53
Biodata	53
Lampiran.....	56

Daftar Gambar

Gambar 1 . Rancangan Penelitian.....	24
Gambar 2 .Perancangan Mekanikal.....	25
Gambar 3 . Desain 3D	26
Gambar 4 . Denah Tata letak Alat.....	27
Gambar 5 .Desain tata letak alat	28
Gambar 6 .Perancangan Elektrikal	29
Gambar 7 .Desain Elektrikal	30
Gambar 8 .Rancangan Program ESP32	31
Gambar 9 .Rancangan WebCam.....	31
Gambar 10 .Blok Diagram Rangkaian	32
Gambar 11 .Diagram Alir Perancangan Sistem.....	33
Gambar 12 .Proses Fuzzy Sugeno	33
gambar 13 . Fungsi keanggotaan fuzzy Suhu	35
gambar 14 . Fungsi keanggotaan fuzzy Gas.....	36
Gambar 15 .Tampilan Dashboard IoT Blynk pada Web	37
Gambar 16 .Tampilan Dashboard IoT Blynk pada Smartphone	37

Daftar Tabel

Table 1 .Penelitian Terkait	17
Table 2 .Rentang Nilai Input dan Output Fuzzy	34
Table 3 . Hasil Aturan Input dan Output Fuzzy	36
Table 4 . Estimasi Biaya.....	38
Table 5 . Perbandingan DHT22 dan Thermometer	41
Table 6 . Perbandingan DHT22 dan Thermometer	42
Table 7 . Hasil Pengujian Kondisi Suhu	43
Table 8 . Hasil Pengujian Kategori Suhu	43
Table 9 . Hasil Pengujian Kondisi Gas	44
Table 10 . Hasil Pengujian Kategori Gas.....	44
Table 11 . Hasil Pengujian Flame Sensor	44
Table 12 . Hasil Pengujian Fuzzy	45
Table 13 . Data Hasil Pengujian Kondisi Aman	46

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

LPG merupakan bahan bakar alternatif dalam bentuk gas yang menghasilkan emisi polusi lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Di Indonesia, hampir seluruh Masyarakat beralih menggunakan LPG, karena harganya yang terjangkau serta cara penggunaan yang lebih praktis dan efisien [1]. Namun, penting untuk diingat bahwa gas LPG memiliki sifat yang mudah terbakar dan berpotensi meledak apabila terjadi kebocoran dan gas tersebut terpapar sumber api [2].

Berdasarkan data Badan Perlindungan Konsumen Nasional (BPKN), pada bulan Juni 2010 tercatat 33 kasus kebocoran gas lpg, yang mengakibatkan 8 orang meninggal dunia dan 44 orang lainnya mengalami luka-luka. Pada Tahun 2009, terjadi 30 kasus dengan jumlah korban 12 orang meninggal dunia dan 48 orang mengalami luka-luka. Tahun 2008 terjadi 27 kasus, 2 orang meninggal dan 35 orang luka-luka. Dan pada tahun 2007, saat program konversi energi mulai dilaksanakan, tercatat 5 kasus yang mengakibatkan 4 orang mengalami luka-luka [3]. Melihat data tersebut, dapat disimpulkan bahwa kebocoran gas LPG merupakan permasalahan serius yang dapat membahayakan keselamatan jiwa. Oleh karena itu, diperlukan sebuah teknologi yang terintegrasi dalam suatu sistem yang dapat memonitoring kebocoran gas LPG, guna mengurangi resiko kebakaran yang disebabkan kebocoran gas yang tidak terdeteksi oleh indra penciuman manusia [4].

Beberapa penelitian terkait Sistem Pendeteksi kebocoran sGas telah banyak dilakukan. Penelitian pertama merancang alat pendeteksi dan monitoring kebocoran gas dengan memanfaatkan Arduino uno sebagai mikrokontroler dan sensor MQ2 sebagai pendeteksi kebocoran gas. Pengujian dilakukan dengan membaca nilai kebocoran gas LPG di dalam ruangan [5]. Sementara itu, penelitian kedua mengembangkan sistem pendeteksi kebocoran LPG, Karbon Monoksida, dan Api yang terdapat di dalam rumah. Namun, dalam penelitian ini penggunaan sensor MQ2 dinilai masih kurang akurat jika dibandingkan dengan penggunaan sensor MQ6 [6].

Pada penelitian ini, dirancang sebuah alat yang dapat mendeteksi kebocoran gas LPG yang terintegrasi suatu sistem menggunakan sensor MQ-6, DHT22, Flame Sensor Infrared, ESP32-CAM, *Internet of Things* (IoT) dan metode *fuzzy Sugeno*. Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sistem mampu mendeteksi kebocoran gas yang menerapkan logika fuzzy sugeno dan dapat dimonitoring melalui smartphone serta mampu memberikan informasi tingkat bahaya kebocoran gas pada pengguna.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan di latar belakang dapat diambil suatu rumusan masalah, diantaranya:

1. Bagaimana cara mengimplementasikan sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis IoT dengan menggunakan sensor MQ6, DHT22, esp32-cam dan Flame Sensor Infrared serta metode Fuzzy Logic?
2. Bagaimana penerapan metode Fuzzy Sugeno dalam menentukan tingkat kondisi berdasarkan parameter suhu dan konsentrasi gas LPG?
3. Bagaimana efektivitas sistem dalam memberikan peringatan dini serta mengurangi risiko kebakaran akibat kebocoran gas LPG?

1.3. Tujuan

1. Mengimplementasikan sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Fuzzy Sugeno.
2. Menerapkan metode Fuzzy Sugeno untuk menentukan tingkat kondisi berdasarkan parameter suhu dan konsentrasi gas LPG.
3. Menguji respons sistem dalam mendeteksi kondisi gas LPG, suhu, dan keberadaan api serta mengendalikan aktuator sesuai kondisi yang terdeteksi.

1.4. Manfaat

1. Meningkatkan keamanan rumah dengan menggunakan sistem yang dapat mendeteksi kebocoran gas LPG, sehingga dapat mengurangi risiko kebakaran dan ledakan yang diakibatkan adanya kebocoran gas
2. Memberikan penerapan metode Fuzzy Sugeno dalam menentukan tingkat kondisi berdasarkan parameter suhu dan konsentrasi gas LPG.
3. Memberikan sistem peringatan dan monitoring kondisi gas LPG, suhu, dan keberadaan api melalui aktuator dan aplikasi Blynk.

1.5. Batasan

1. Sistem ini hanya berfokus dalam mendeteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-6

2. Sistem hanya menggunakan sensor MQ-6 untuk deteksi gas, DHT22 untuk suhu, Flame Sensor Infrared untuk deteksi api
3. Sistem menggunakan metode Fuzzy Logic untuk menentukan tingkat bahaya kebocoran gas
4. Pengujian sistem dilakukan di ruangan dapur rumah

Bab 2. Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori dan penelitian yang menjadi dasar dalam pengembangan sistem pendeteksi kebocoran gas LPG. LPG banyak digunakan karena praktis, namun berbahaya jika terjadi kebocoran. Untuk itu, berbagai penelitian telah mengembangkan sistem deteksi otomatis menggunakan sensor gas, logika fuzzy dan IoT. Tinjauan ini membantu penulis memahami metode yang telah digunakan pada penelitian terdahulu dan menjadi acuan dalam merancang sistem yang lebih baik.

2.1. Penelitian Terkait

Penelitian pertama oleh Ramdhan, Syauqy dan Prasetyo (2017) mengembangkan Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Metode Fuzzy yang Diimplementasikan dengan Real Time Operating System (RTOS). Sistem menggunakan sensor gas MQ-6 dan sensor suhu LM35 yang terhubung pada Arduino Uno. Hasil pengujian menunjukkan Sistem berhasil mendeteksi kebocoran gas LPG dan mengklasifikasikan tingkat bahayanya (normal, siaga, waspada, bahaya) menggunakan metode fuzzy Sugeno. Akurasi sistem mencapai 100%. Waktu eksekusi dengan RTOS $\pm 1,9$ ms dan tanpa RTOS $\pm 1,73$ ms. RTOS efektif dalam mengatur prioritas dan penjadwalan task tanpa melebihi deadline 100 ms [1].

Penelitian kedua oleh Prasetyo dan Paramytha (2023) merancang sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis IoT menggunakan sensor gas MQ-5 dan Flame sensor yang terhubung pada NodeMCU ESP8266. Sistem mampu mendeteksi adanya gas dan api dengan akurasi tinggi serta dapat mengaktifkan buzzer dan exhaust fan secara otomatis saat kebocoran terdeteksi. Data sensor dapat dipantau melalui aplikasi Blynk secara real-time [2].

Penelitian ke tiga oleh Suharyanto dkk (2020) merancang alat pendeteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2 yang terhubung pada Arduino Uno. Saat sensor mendeteksi kebocoran, sistem akan mengaktifkan relay dan lampu indikator dan mengirim SMS menggunakan modul SIM800L [3].

Penelitian oleh ciksdan dkk (2020) merancang sistem *SmartHome* pendeteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-6, PIR dan Raspberry yang terhubung ke internet. Sistem ini mampu menghidupkan lampu secara otomatis Ketika terdeteksi adanya manusia dan mematikan lampu Ketika tidak terdeteksi. Peringatan kebocoran dikirim melalui e-mail dan ditampilkan dalam web server [4].

Penelitian oleh Kurnia Hadi (2022) mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2, Arduino Uno yang terhubung ke aplikasi

Blynk. Sistem dapat mengirimkan informasi kepada *user* melalui aplikasi Blynk yang terinstal di handphone pengguna secara real-time [5].

Penelitian oleh Maulana dan Astutik (2024) merancang sistem deteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor MQ-2 dan Flame sensor yang terhubung pada ESP32 dan di proses dengan *Fuzzy Logic Mamdani*. Output berupa Exhaust dan buzzer serta data monitoring di tampilkan melalui aplikasi Blynk dan Google Spreadsheet secara real-time [6].

Penelitian oleh Kautsar, Handayani dan Hapsari (2023) mengembangkan sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis logika fuzzy dengan memanfaatkan sensor MQ-6 dan DHT22 dan menggunakan Arduino sebagai mikrokontroler, Sistem ini mampu mengklasifikasikan tingkat bahaya kebocoran dan menampilkan hasil data melalui aplikasi android secara real-time [7].

Penelitian oleh Soemarsono, Listiasri dan Kusuma (2015) merancang alat pendeteksi kebocoran gas LPG dengan sensor HS-133 dan mikrokontroler ATmega 8535. Sistem ini memberikan peringatan melalui SMS, bunyi buzzer, tampilan LCD, serta otomatis menyalakan Exhaust fan saat kadar gas melebihi batas [8].

Penelitian oleh Samuel Tambunan dan Arnisa Stefanie (2023) mengembangkan sistem monitoring kebocoran gas LPG berbasis NodeMCU ESP8266 dan sensor MQ-2. Sistem ini mengirimkan notifikasi real-time kepada pengguna melalui Bot Telegram dengan waktu respon sekitar 7 detik setelah kebocoran terdeteksi [9].

Penelitian oleh Rahman, Pernando dan Indriawan (2022) merancang system pemantauan kebocoran gas LPG dan api menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor MQ-2 dan flame sensor. Sistem ini terhubung ke aplikasi Android, serta mampu mengaktifkan buzzer, kipas dan pompa air secara otomatis sebagai respon terhadap kebocoran gas atau deteksi api [10].

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dikaji, sistem deteksi kebocoran gas LPG umumnya telah menggunakan sensor seperti MQ-2 dan MQ-6 dan mulai terintegrasi dengan platform IoT. Namun, Sebagian penelitian belum menerapkan logika fuzzy secara menyeluruh, baik dari sisi penentuan fungsi keanggotaan, aturan fuzzy (rule base), hingga proses defuzzifikasi sebagai dasar pengambilan Keputusan. Selain itu, Sebagian besar sistem hanya menggunakan satu atau dua parameter sensor.

Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem yang lebih lengkap, yaitu dengan mengintegrasikan tiga jenis sensor (gas, suhu dan api), dengan menerapkan logika fuzzy sugeno, serta dilengkapi fitur pemantauan dan notifikasi real-time menggunakan ESP32 dan aplikasi Blynk. Sistem ini juga di lengkapi dengan ESP32-CAM untuk menampilkan video kondisi di dalam ruangan dan dapat di pantau secara real-time.

Table 1. Penelitian Terkait

No	Tahun	Penulis	Jurnal	Metode	Kelemahan
1	2017	Ramadhan, Syauqy, Prasetyo	JPTIIK UB	Fuzzy Sugeno, Arduino Uno, MQ-6, LM35, RTOS	Belum mendukung pemantauan jarak jauh (belum IoT)
2	2023	Kautsar, Handayani, Hapsari	Jurnal Jati Unnes	Fuzzy Logic (jenis tidak disebutkan), Arduino Uno, MQ-6, DHT11, Android App	Jenis fuzzy tidak dijelaskan jelas, hanya monitoring sederhana
3	2015	Soemarsono, Listiasri, Kusuma	Jurnal Nasional Teknik Elektro	Sensor HS-133, ATmega 8535, SMS Alert, Buzzer, Fan	Tidak menggunakan fuzzy logic, belum berbasis IoT
4	2023	Tambunan, Stefanie	Jurnal EduMat Sains	Sensor MQ-2, NodeMCU ESP8266, Telegram Bot	Tidak menggunakan fuzzy, belum ada klasifikasi tingkat bahaya
5	2022	Rahman, Fernando, Indriawan	Jurnal Nasional Teknik Elektro	Sensor MQ-2, Flame Sensor, NodeMCU ESP8266, Android App	Tidak menggunakan fuzzy, hanya monitoring dasar
6	2020	Ciksadan, Suroso, Ramadhon	Jurnal Media Informatika	Fuzzy Logic, Raspberry Pi	Jenis fuzzy tidak jelas,

		a	Budidara	MQ-6, PIR, Email & Web	belum berbasis cloud
7	2020	Suharyanto, Harahap, Alfandianto	Jurnal Simetris	MQ-2, Arduino Uno, SIM800L, SMS Gateway	Tidak menggunakan fuzzy, tidak berbasis IoT
8	2022	Hadi	Jurnal Teknologi dan Ilmu Komputer	MQ-2, Arduino Uno, ESP8266, Blynk	Tidak menggunakan fuzzy, tanpa klasifikasi bahaya
9	2024	Maulana, Astutik	Jurnal Informasi dan Teknologi Elektro Terapan	Fuzzy Mamdani, ESP32, MQ-2, Flame Sensor, Blynk, Google Sheets	Belum diuji dalam skala besar/industri

2.2. Fuzzy Sugeno

Fuzzy Sugeno merupakan salah satu metode logika fuzzy yang digunakan untuk mengambil keputusan berdasarkan data input tertentu. Pada metode ini, keluaran setiap aturan fuzzy berupa nilai konstanta atau persamaan linear.

Proses kerja Fuzzy Sugeno terdiri dari tiga tahap, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi berfungsi mengubah data input menjadi nilai keanggotaan fuzzy, kemudian inferensi digunakan untuk memproses aturan IF-THEN, dan tahap akhir menghasilkan nilai output menggunakan metode rata-rata tertimbang (Weighted Average) [11].

2.2.1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses mengubah nilai tegas (crisp input) menjadi nilai derajat keanggotaan (membership degree) yang berada pada rentang 0 sampai 1. Pada penelitian ini, variabel suhu dan gas dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy,

yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Fungsi keanggotaan yang digunakan terdiri atas fungsi linier turun, fungsi segitiga, dan fungsi linier naik.

1. Fungsi Linear Turun

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

Keterangan:

$\mu(x)$ = derajat keanggotaan

x = nilai input (crisp input)

a = batas bawah himpunan fuzzy

b = batas atas himpunan fuzzy

Fungsi linier turun digunakan apabila derajat keanggotaan menurun secara linier dari nilai 1 menjadi 0 seiring bertambahnya nilai input.

2. Fungsi Linear Segitiga

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Keterangan:

a = batas awal

b = titik puncak

c = batas akhir

Fungsi segitiga digunakan untuk himpunan fuzzy yang memiliki satu nilai puncak dengan derajat keanggotaan maksimum sebesar 1.

3. Fungsi Linear Naik

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

Keterangan:

$\mu(x)$ = derajat keanggotaan

x = nilai input

a = batas bawah

b = batas atas

Fungsi linier naik digunakan apabila derajat keanggotaan meningkat secara linier dari nilai 0 menjadi 1 seiring bertambahnya nilai input.

2.2.2. Inferensi

$$\alpha_i = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

Keterangan:

α_i = nilai firing strength aturan ke-i

$\mu_A(x)$ = derajat keanggotaan variabel pertama

$\mu_B(x)$ = derajat keanggotaan variabel kedua

Nilai firing strength diperoleh dari nilai derajat keanggotaan terkecil pada setiap aturan (rule). Semakin besar nilai firing strength, maka semakin besar pengaruh aturan tersebut terhadap hasil akhir.

2.2.3. Defuzifikasi

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

Keterangan:

Z = nilai keluaran akhir (crisp output)

α_i = nilai firing strength aturan ke-i

z_i = nilai keluaran (konstanta) pada aturan ke-i

n = jumlah aturan fuzzy

Nilai keluaran akhir diperoleh dari rata-rata berbobot (Weighted Average), di mana setiap nilai keluaran aturan dikalikan dengan nilai firing strength-nya. Hasil perhitungan ini menghasilkan satu nilai tegas (crisp output) yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

2.3. LPG (*Liquid Petroleum Gas*)

LPG (*liquified petroleum gas*) adalah campuran hidrokarbon dari gas alam, terutama propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀). Salah satu resiko penggunaan LPG adalah terjadinya kebocoran pada tabung yang dapat menyebabkan kebakaran [8].

Pada penelitian ini, gas LPG merupakan objek yang dideteksi oleh sensor MQ-6 untuk mengetahui adanya kebocoran di area dapur sehingga sistem dapat memberikan peringatan dini kepada pengguna.

2.4. ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang mengintegrasikan Wifi dan Bluetooth dalam satu chip. dilengkapi dengan prosesor dual-core Tensilica LX6 dengan

kecepatan hingga 240 MHz, serta memori flash dan SRAM yang cukup besar. inialisasi system dilakukan melalui bootloader yang mengarahkan ke firmware utama. Mikrokontroler ini juga memiliki berbagai antarmuka periferil seperti GPIO, SPI, I2C, UART, dan ADC untuk interaksi dengan sensor dan aktuator [12].

Pada penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang menerima data dari seluruh sensor, memproses data menggunakan metode Fuzzy Sugeno, mengendalikan aktuator, dan mengirimkan informasi ke aplikasi Blynk secara real-time.

2.5. IOT (*Internet of Things*)

Internet of Things (IoT) menghubungkan semua perangkat elektronik menggunakan tombol ON dan OFF yang dapat dikontrol melalui aplikasi android. IoT dianggap sebagai inovasi modern yang memungkinkan aplikasi Android terhubung dengan peralatan listrik di sekitar kita. Aplikasi ini menggunakan jaringan internet untuk menjalankan perintah [10].

Pada penelitian ini, teknologi IoT digunakan untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor dan status sistem dari ESP32 ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi sehingga pengguna dapat memantau kondisi dapur secara real-time.

2.6. Sensor Infrared

Flame sensor atau sensor api adalah alat yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan api melalui radiasi cahaya, khususnya dalam spektrum inframerah (IR). Sensor ini dapat mengenali keberadaan api dari jarak tertentu dan memberikan sinyal digital ketika api terdeteksi [13].

Pada penelitian ini, flame sensor berfungsi sebagai pendeteksi api untuk meningkatkan keamanan sistem apabila kebocoran gas disertai munculnya api.

2.7. Sensor MQ-6

Sensor MQ 6 adalah sensor gas yang dirancang untuk mendeteksi gas LPG (Liquefied Petroleum Gas), termasuk propana dan butana. Sensor ini dapat mendeteksi konsentrasi gas di udara antara 200 hingga 10.000 ppm, Dengan sensitivitas yang tinggi dan waktu respon yang cepat. Keluaran dari sensor ini berupa resistansi analog. [14].

Pada penelitian ini, sensor MQ-6 berfungsi sebagai input utama untuk mengukur tingkat kebocoran gas LPG yang selanjutnya diproses menggunakan metode Fuzzy Sugeno.

2.8. DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor yang dapat mengukur dua parameter sekaligus, yaitu suhu dan kelembaban. DHT22 juga sama seperti sensor DHT11,

Namun DHT22 memiliki kelebihan seperti Output sudah berupa sinyal digital dengan konversi dan perhitungan dilakukan oleh MCU 8-bit, memiliki hasil pengukuran yang lebih akurat dan presisi dibanding DHT11 [15].

Pada penelitian ini, hanya data suhu yang digunakan sebagai variabel input kedua pada metode Fuzzy Sugeno untuk menentukan tingkat risiko kebocoran gas LPG.

2.9. Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Buzzer biasa digunakan sebagai indikator bahwa proses telah selesai atau terjadi suatu kesalahan pada sebuah alat (alarm) [8].

Pada penelitian ini, buzzer berfungsi sebagai alarm peringatan dini yang akan aktif ketika sistem mendeteksi kondisi bahaya berdasarkan hasil perhitungan metode Fuzzy Sugeno, sehingga pengguna dapat segera mengetahui adanya potensi kebocoran gas LPG.

2.10. Blynk

Blynk adalah platform Internet of Things (Iot) yang mempermudah pengguna untuk mengontrol perangkat fisik melalui aplikasi seluler [16]. Pada penelitian ini, Blynk digunakan untuk menampilkan nilai sensor, status sistem, dan mengirimkan notifikasi kepada pengguna secara real-time.

2.11. Raspberry Pi

Raspberry Pi merupakan komputer berukuran kecil yang dapat digunakan sebagai perangkat pemrosesan dan pengendali dalam suatu sistem monitoring. Raspberry Pi dapat dihubungkan dengan berbagai perangkat tambahan, salah satunya kamera webcam, sehingga dapat digunakan untuk mengambil dan mengolah informasi visual [17].

Pada penelitian ini, Raspberry Pi berfungsi sebagai perangkat yang menghubungkan webcam dengan sistem monitoring untuk menampilkan kondisi dapur secara visual ketika terjadi kebocoran gas LPG.

2.12. Exhaust Fan

Exhaust fan merupakan salah satu perangkat ventilasi yang berfungsi untuk mengeluarkan udara dari dalam ruangan [6]. Pada penelitian ini, exhaust fan berfungsi mengurangi konsentrasi gas LPG di dalam dapur ketika sistem mendeteksi kondisi waspada atau bahaya.

2.13. WebCam

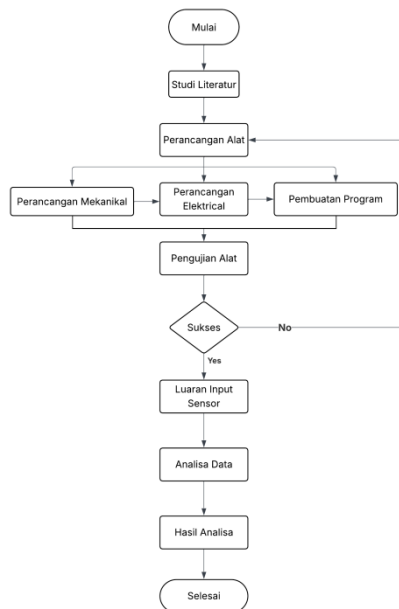
Webcam merupakan kamera digital yang dihubungkan ke komputer atau perangkat lain melalui USB untuk menangkap gambar dan video secara real-time. [18]. Pada penelitian ini, webcam berfungsi untuk memantau kondisi dapur secara visual sehingga pengguna dapat melihat kondisi ruangan ketika sistem mendeteksi kebocoran gas.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan

3.1.1. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dijelaskan secara sistematis dalam bentuk flowchart, yang tertampil pada gambar 1 tersebut menggambarkan tahapan-tahapan utama dalam proses penelitian ini, mulai dari perencanaan awal hingga Analisa hasil yang diperoleh.



Gambar 1. Rancangan Penelitian

3.1.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai dasar untuk memperoleh landasan teori yang digunakan untuk penelitian. Sumber informasi yang digunakan mencakup buku, artikel, jurnal ilmiah dan dokumen lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian.

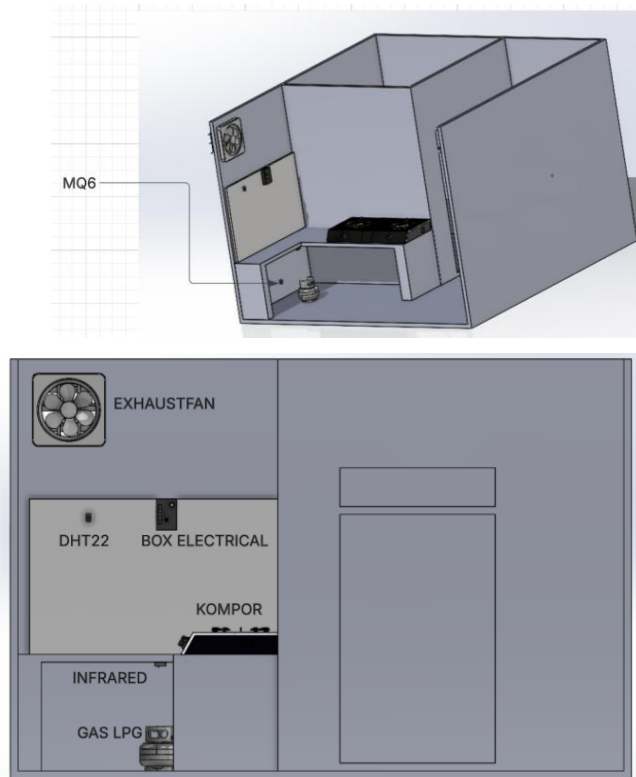
3.1.3. Perancangan Mekanikal

Perancangan ini bertujuan untuk membuat desain alat 3D model di *software solidwork 2022* dan perakitan alat. Model alat diharapkan dapat bekerja dengan baik. berikut adalah flowchart perancangan mekanikal pada Gambar 2.



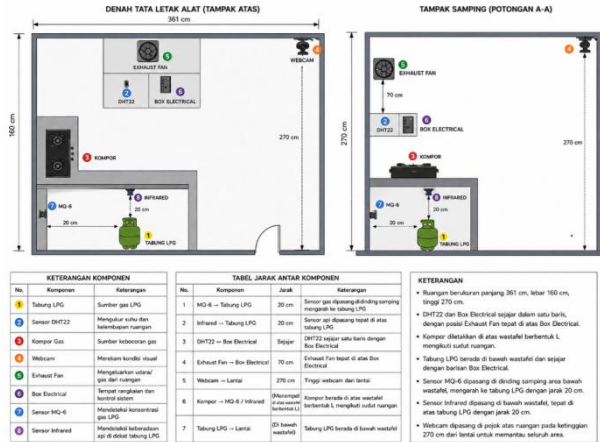
Gambar 2.Perancangan Mekanikal

Pada Gambar 2 menjelaskan ada beberapa tahapan dalam perancangan mekanikal, dimulai dari tahap Perancangan model alat berdasarkan analisis kebutuhan dan fungsi, kemudian dilanjutkan dengan pemilihan alat dan bahan sesuai spesifikasi. setelah itu dilakukan proses perakitan seluruh bagian alat secara sistematis. Lalu dilakukan uji coba untuk memastikan alat bekerja sesuai desain dan fungsinya. jika alat belum berfungsi dengan baik, maka perlu dilakukan evaluasi serta perbaikan hingga alat berfungsi dengan baik dan proses selesai.



Gambar 3. Desain 3D

Desain 3D alat dibuat menggunakan SolidWorks untuk memvisualisasikan bentuk fisik sistem sebelum proses perakitan. Desain ini bertujuan menentukan tata letak setiap komponen, seperti box elektrikal, peletakan sensor dan output seperti exhaustfan dan buzzer agar terpasang dengan rapi dan berfungsi secara optimal. Selain itu, desain 3D memudahkan proses perakitan, serta memastikan alat sesuai dengan kebutuhan sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis IoT.



Gambar 4. Denah Tata letak Alat

Denah tata letak alat dibuat untuk menunjukkan posisi dan hubungan antar komponen dalam sistem sehingga proses pemasangan, pengoperasian, dan pemantauan dapat dilakukan dengan lebih teratur. Penempatan sensor MQ-6 dan Infrared diarahkan pada area tabung LPG untuk mendukung pendeteksian kebocoran gas dan keberadaan api, sedangkan DHT22 digunakan untuk memantau kondisi suhu dan kelembapan ruangan. Exhaust Fan berfungsi membantu mengeluarkan udara atau gas dari ruangan, sementara Webcam digunakan untuk memantau kondisi sistem secara visual. Dengan tata letak tersebut, setiap komponen dapat bekerja secara efektif sesuai dengan fungsi dan kebutuhan sistem.

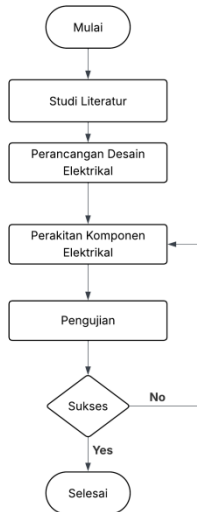




Gambar 5.Desain tata letak alat

Pada Gambar 5 menunjukkan tampilan ruangan dapur yang dirancang sebagai area pengujian sistem deteksi kebocoran gas LPG. Dapur ini memiliki dimensi dengan tinggi 270 cm, panjang 361 cm dan lebar 160 cm. Di dalam ruangan dapur ini terdapat beberapa komponen utama, yaitu kompor gas sebagai sumber pemanasan, tabung gas sebagai sumber bahan bakar, exhaust fan yang berfungsi untuk mengeluarkan udara atau gas berlebih di dalam ruangan. Selain itu, terdapat Sensor MQ-6 dan Infrared ditempatkan di dekat tabung LPG untuk mendeteksi konsentrasi gas dan Api. Sensor DHT22 berada di bagian tengah untuk mengukur suhu ruangan, dan webcam dipasang pada bagian atas untuk memantau kondisi dapur secara visual.

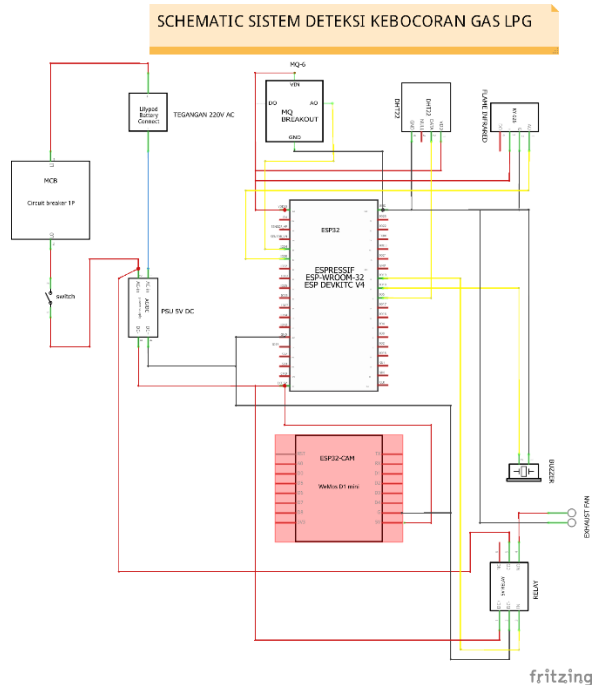
3.1.4. Perancangan Elektrikal



Gambar 6. Perancangan Elektrikal

Pada Gambar 6 menjelaskan ada beberapa tahapan dalam perancangan elektrikal, yang pertama adalah studi literatur. Studi literatur dilakukan sebagai dasar untuk mencari sumber yang terkait mengenai alat atau komponen yang digunakan dalam penelitian. Pencarian sumber terkait kegunaan komponen dalam penelitian, dan bagaimana cara penggunaan komponen tersebut.

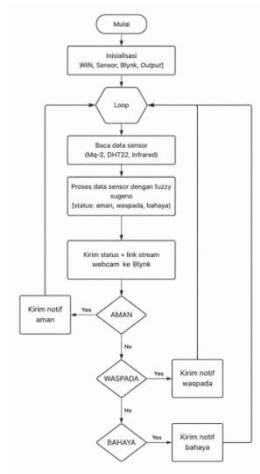
Setelah mengetahui komponen yang akan digunakan untuk penelitian, tahapan selanjutnya yaitu membuat rancangan desain elektrikal. Proses pembuatan desain elektrikal menggunakan *software Fritzing*. Pada Gambar 7 dibawah menunjukkan desain elektrikal tersebut.



Gambar 7.Desain Elektrikal

Gambar 7 diatas menunjukkan wiring sistem pendeteksi kebocoran gas lpg dengan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler dan sensor seperti MQ-6 untuk deteksi gas, DHT22 untuk suhu, Infrared untuk deteksi api. Sumber daya berasal dari Listrik 220V AC dengan menggunakan MCB 4A, lalu dikendalikan dengan saklar ON OFF dan dikonversi menjadi 5V DC menggunakan PSU untuk memberi daya pada seluruh rangkaian. Data dari sensor di proses oleh ESP32 menggunakan logika fuzzy sugeno. Jika terdeteksi bahaya, sistem akan mengaktifkan buzzer sebagai alarm. Selain itu, Raspberrypi digunakan sebagai pengontrol webcam untuk mengambil gambar kondisi dan dapat mengirimkannya melalui internet. Rangkaian ini dirancang secara otomatis namun tetap dapat dimatikan secara manual melaui saklar. Sehingga mampu mendeteksi, memberi peringatan dan merespon dengan cepat terhadap situasi bahaya.

3.1.5. Perancangan Program



Gambar 8.Rancangan Program ESP32



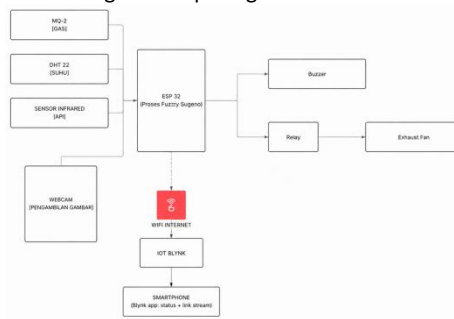
Gambar 9.Rancangan WebCam

Pada Gambar 8 dan 9 menjelaskan alur kerja sistem deteksi kebocoran gas menggunakan ESP32 dan WebCame. Pada sistem ESP32 menunjukkan proses ESP32 yang dimulai dari inisialisasi sensor, koneksi wifi dan blynk, kemudian membaca data sensor dan memprosesnya dengan logika fuzzy sugeno untuk

menentukan status (aman, waspada, bahaya), lalu mengirim notifikasi dan link stream ke pengguna. Pada sistem WebCam yang menginisialisasi kamera dan web server, lalu menyediakan layanan pengambilan gambar melalui IP lokal yang dapat di akses pengguna secara real-time untuk memantau kondisi dapur.

3.1.6. Diagram Blok Sistem

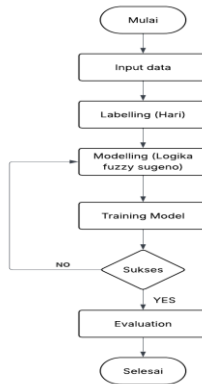
Berdasarkan uraian tersebut untuk membuat suatu alat deteksi kebocoran gas dengan menggunakan mikrokontroler yang dapat memonitoring adanya kebocoran gas dan dapat diamati secara langsung melalui notifikasi yaitu aplikasi Blynk di smartphone. Sistem ini dilengkapi dengan sensor MQ-6, DHT22, Flame sensor Infrared, menggunakan mikrokontroler berbasis ESP32 dan WebCame dan informasi data sensor yang nantinya akan ditampilkan pada smartphone melalui aplikasi Blynk. Guna mempermudah dalam melakukan perancangan, pembahasan dan pembuatan serta memahami deskripsi kerja pendeteksi gas LPG, maka dapat dilihat pada diagram blok rangkaian seperti gambar dibawah.



Gambar 10. Blok Diagram Rangkaian

Pada gambar 10 menunjukkan sistem deteksi kebocoran gas berbasis mikrokontroler ESP32 dengan menggunakan logika fuzzy sugeno dan dukungan pemantauan berbasis IoT. Sistem ini menggunakan tiga sensor utama, yaitu sensor MQ-6, DHT22 serta Flame sensor infrared. Data dari sensor di proses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan logika fuzzy sugeno untuk menentukan Tingkat potensi bahaya di dalam ruangan. Jika hasil proses menyatakan kondisi Bahaya api, maka ESP32 akan mengaktifkan buzzer sebagai alarm. Fan aktif saat kondisi waspada dan bahaya tidak terdeteksi api. Sistem ini juga dilengkapi dengan modul Raspberry Pi yang dilengkapi dengan WebCame yang digunakan untuk pengambilan gambar kondisi ruangan. Sistem terhubung ke jaringan wifi dan data dikirimkan ke platform IoT Blynk. Melalui aplikasi Blynk di smartphone, pengguna dapat memantau nilai sensor, mendapatkan notifikasi peringatan, serta melihat stream video dari WebCam.

3.1.7. Perancangan Sistem



Gambar 11. Diagram Alir Perancangan Sistem

Gambar 11 menunjukkan diagram alir yang menggambarkan alur kerja sistem secara keseluruhan. Proses dimulai dari tahap *input* data, dilanjutkan dengan pelabelan (Hari). Selanjutnya, data yang telah di label digunakan dalam tahap pemodelan dengan logika fuzzy sugeno. Setelah pemodelan, sistem menjalani proses pelatihan model hingga tahap evaluasi akhir.

3.1.8. Perancangan Fuzzy Sugeno



Gambar 12. Proses Fuzzy Sugeno

Perancangan sistem Fuzzy Sugeno pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat risiko kebocoran gas LPG berdasarkan dua parameter, yaitu konsentrasi gas dari sensor MQ-6 dan suhu dari sensor DHT22. Kedua parameter tersebut memiliki nilai kontinu sehingga dapat diproses melalui tahap fuzzifikasi ke dalam tiga kategori, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya.

Selanjutnya, proses inferensi dilakukan menggunakan aturan IF–THEN pada metode Fuzzy Sugeno. Setiap aturan menghasilkan nilai konstan yang kemudian dihitung menggunakan metode weighted average untuk memperoleh nilai keluaran (crisp output) sebagai dasar penentuan tingkat risiko.

Flame sensor tidak termasuk dalam proses fuzzy karena menghasilkan keluaran digital (LOW/HIGH). Sensor ini bekerja secara independen sebagai sistem keselamatan tambahan. Apabila terdeteksi adanya api, sistem akan langsung mengaktifkan buzzer tanpa melalui proses inferensi fuzzy.

Berdasarkan hasil inferensi, sistem menghasilkan tiga kondisi, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Pada kondisi Aman, seluruh output dalam keadaan OFF. Pada kondisi Waspada dan Bahaya, exhaust fan diaktifkan untuk mengurangi konsentrasi gas, sedangkan buzzer tetap OFF. Jika flame sensor mendeteksi api, sistem masuk ke kondisi Bahaya Api, buzzer aktif sebagai alarm, dan exhaust fan dinonaktifkan. Aturan hubungan antara parameter masukan dan keluaran sistem ditunjukkan pada Tabel 2.

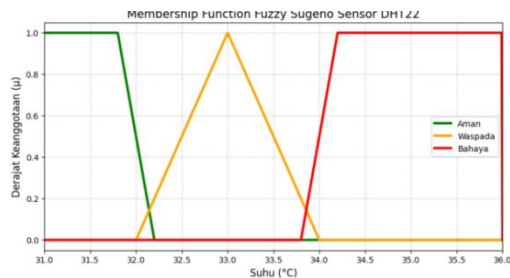
Table 2. Rentang Nilai Input dan Output Fuzzy

FUZZY INPUT		
KATEGORI	PARAMETER	RENTANG NILAI
Gas LPG (Sensor MQ-6)	Aman	890-1200 ADC
	Waspada	1100-1600 ADC
	Bahaya	1500-1900 ADC
Suhu (Sensor DHT22)	Aman	31.0 °C-32.2 °C
	Waspada	32.0 °C-34.0 °C
	Bahaya	33.8 °C-36.0 °C

FUZZY OUTPUT		
KATEGORI	LEVEL RISIKO	KETERANGAN
Aman	0	Kondisi Normal, Output OFF
Waspada	50	Perlu Pemantauan, Fan ON & ON, Buzzer OFF
Bahaya	100	Kondisi berbahaya, Fan ON & buzzer ON bleep

Sistem logika fuzzy Sugeno menggunakan dua variabel input, yaitu konsentrasi gas LPG dari sensor MQ-6 dan suhu dari sensor DHT22. Masing-masing input dibagi menjadi tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan bahaya, berdasarkan rentang nilai yang telah ditentukan. Selanjutnya, sistem menghasilkan tiga kondisi output, yaitu aman (0) dengan seluruh output OFF, waspada (1) dengan exhaust fan ON dan buzzer OFF, serta bahaya (2) dengan buzzer ON bleep dan exhaust fan OFF. Pembagian kategori tersebut memungkinkan sistem memberikan respons secara otomatis sesuai tingkat risiko kebocoran gas dan kondisi suhu yang terdeteksi.

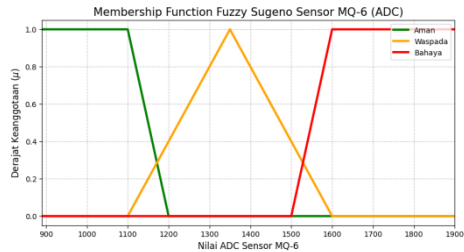
Setelah data input dan output sudah dikategorikan dengan fuzzy sugeno, maka tahapan selanjutnya yaitu akselerasi output yang dihasilkan dari tahapan sebelumnya. Pada tabel 3 ditunjukkan aturan fuzzy untuk sistem deteksi kebocoran gas LPG.



gambar 13. Fungsi keanggotaan fuzzy Suhu

Gambar menunjukkan grafik Membership Function variabel suhu DHT22 yang terdiri dari tiga himpunan fuzzy, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Kategori Aman menggunakan fungsi trapesium, Waspada menggunakan fungsi segitiga, dan Bahaya menggunakan fungsi trapesium. Terdapat daerah overlap antara

Aman–Waspada dan Waspada–Bahaya yang memungkinkan suatu nilai suhu memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu kategori.



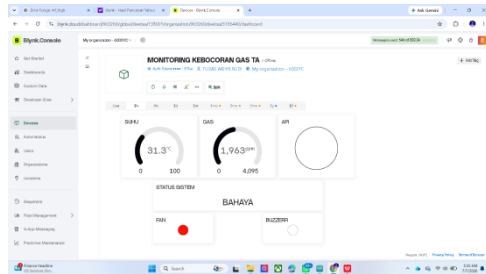
gambar 14. Fungsi keanggotaan fuzzy Gas

Gambar menunjukkan grafik Membership Function variabel gas MQ-6 yang terdiri dari tiga himpunan fuzzy, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Kategori Aman menggunakan fungsi trapesium, Waspada menggunakan fungsi segitiga, sedangkan Bahaya menggunakan fungsi trapesium. Terdapat daerah overlap antara kategori Aman–Waspada dan Waspada–Bahaya sehingga nilai gas tertentu dapat memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu kategori.

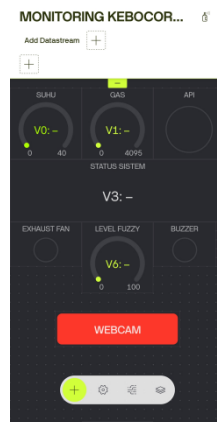
Table 3. Hasil Aturan Input dan Output Fuzzy

No	Suhu	Gas	Output
1	Aman	Aman	Aman
2	Aman	Waspada	Waspada
3	Aman	Bahaya	Bahaya
4	Waspada	Aman	Waspada
5	Waspada	Waspada	Waspada
6	Waspada	Bahaya	Bahaya
7	Bahaya	Aman	Bahaya
8	Bahaya	Waspada	Bahaya
9	Bahaya	Bahaya	Bahaya

3.1.9. Perancangan IoT



Gambar 15.Tampilan Dashboard IoT Blynk pada Web



Gambar 16.Tampilan Dashboard IoT Blynk pada Smartphone

Tampilan pada Blynk dirancang sebagai panel pemantauan real-time untuk sistem deteksi kebocoran gas LPG. Pada Gambar 15 dan 16 menunjukkan tampilan dashboard monitoring pada aplikasi Blynk. Dashboard ini berfungsi untuk menampilkan data sensor secara real-time, status kondisi sistem hasil proses logika fuzzy, serta informasi tingkat risiko kebocoran gas. Selain itu, aplikasi Blynk juga digunakan sebagai media monitoring jarak jauh sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem secara langsung melalui smartphone dan menerima notifikasi sesuai kondisi yang terdeteksi.

3.2. Alat dan Bahan

Pada tahap ini merupakan rincian alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian sistem pendeteksi dan monitoring kebocoran gas lpg menggunakan metode sugeno dalam logika fuzzy.

Table 4. Estimasi Biaya

No.	Alat/bahan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah	Total (Rp.)	Keterangan
1	Flame sensor infrared	20.000	1	20.000	Dana Pribadi
2	Sensor MQ-6	30.000	1	30.000	Dana Pribadi
3	Sensor DHT22	65.000	1	65.000	Dana Pribadi
4	Webcam	-	-	-	Dana Pribadi
5	ESP32	65.000	1	65.000	Dana Pribadi
6	Kabel jumper	-	-	-	Dana Pribadi
8	Power supply 5V DC	100.000	1	100.000	Dana Pribadi
9	Switch ON OF	10.000	1	10.000	Dana Pribadi
10	MCB 1 Phase	100.000	1	100.000	Dana Pribadi
11	Buzzer	10.000	1	10.000	Dana Pribadi
12	Exhaust Fan	200.000	1	200.000	Dana Pribadi
13	Relay	20.000	1	20.000	Dana Pribadi
14	Raspberry	-	-	-	Borang
	Total Biaya			720.000	

3.3. Pengujian

Pada tahap pengujian ini, dilakukan beberapa Langkah untuk mengetahui kinerja dan kemampuan sistem yang telah di rancang. Pengujian dilakukan untuk

mengevaluasi kinerja sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berdasarkan Gas dan Suhu. Seluruh pengujian dilakukan di lingkungan dapur, dengan tujuan mensimulasikan kondisi nyata penggunaan alat dalam monitoring kebocoran gas.

3.3.1. Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor DHT22 dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam mengukur suhu. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT22 dengan hygrometer digital sebagai alat pembanding. Kedua alat ditempatkan pada lokasi yang berdekatan di area dapur agar memperoleh kondisi lingkungan yang sama. Pengambilan data dilakukan setelah hasil pembacaan kedua alat stabil. Data dari sensor DHT22 dibaca oleh ESP32, sedangkan hasil pengukuran hygrometer digunakan sebagai acuan untuk menghitung selisih dan persentase error. Selain menguji akurasi sensor, pengambilan data juga dilakukan pada dua kondisi, yaitu saat dapur tidak digunakan untuk memasak dan saat proses memasak berlangsung. Hasil pengujian tersebut digunakan untuk mengetahui rentang suhu minimum dan maksimum yang kemudian dijadikan dasar dalam menentukan kategori suhu aman, waspada, dan bahaya pada sistem logika fuzzy.

3.3.2. Pengujian Sensor MQ6

Pengujian sensor MQ-6 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi konsentrasi gas LPG serta menentukan rentang nilai ADC untuk setiap kategori kebocoran. Pengujian diawali dengan mengkalibrasi sensor pada kondisi udara normal hingga pembacaan sensor stabil. Nilai ADC yang diperoleh pada kondisi tersebut digunakan sebagai acuan kategori aman. Selanjutnya, sensor diuji dengan mendekatkan sumber gas LPG sehingga terjadi peningkatan konsentrasi gas yang menyebabkan perubahan nilai ADC. Hasil pengujian ini digunakan untuk menentukan batas kategori aman, waspada, dan bahaya, yang selanjutnya diterapkan sebagai input pada sistem logika fuzzy dalam pengendalian kebocoran gas LPG.

3.3.3. Pengujian Sensor Infrared

Pengujian sensor infrared (flame sensor) dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi keberadaan nyala api serta menentukan jarak deteksi yang efektif. Pengujian dilakukan dengan menempatkan sumber api pada beberapa variasi jarak dari sensor, kemudian mengamati respons keluaran sensor yang dibaca oleh ESP32. Sensor akan memberikan sinyal ketika radiasi inframerah yang dipancarkan oleh nyala api terdeteksi. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui batas jarak deteksi sensor dan memastikan sensor dapat bekerja secara konsisten dalam mendeteksi api. Data yang diperoleh selanjutnya

digunakan sebagai dasar penerapan sensor pada sistem pendeteksi kebakaran dan kebocoran gas LPG yang dirancang.

3.3.4. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan sistem yang telah dirancang. Pengujian mencakup proses pembacaan data dari sensor, pengolahan data menggunakan logika fuzzy, serta pengendalian output berupa exhaust fan dan buzzer berdasarkan kondisi yang terdeteksi. Selain itu, pengujian dilakukan untuk memastikan komunikasi data berbasis IoT dapat berjalan dengan baik dalam mengirimkan informasi kondisi sistem kepada pengguna. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi potensi bahaya dan memberikan respons secara otomatis sesuai dengan rancangan.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor DHT22 dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam mengukur suhu dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT22 terhadap alat ukur acuan berupa thermometer digital. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi tidak memasak dan kondisi saat memasak. Pada masing-masing kondisi dilakukan sebanyak 10 kali pengambilan data.

4.1.1. Pengujian pada kondisi tidak memasak

Table 5. Perbandingan DHT22 dan Thermometer

No	Pengujian Sensor		Selisih
	DHT22	Thermometer	
1	31.4 °C	29.1 °C	2.3 °C
2	31.4 °C	29.1 °C	2.3 °C
3	31.4 °C	29.1 °C	2.3 °C
4	31.5 °C	29.2 °C	2.3 °C
5	31.5 °C	29.2 °C	2.3 °C
6	31.6 °C	29.3 °C	2.3 °C
7	31.7 °C	29.4 °C	2.3 °C
8	31.8 °C	29.5 °C	2.3 °C
9	31.9 °C	29.6 °C	2.3 °C
10	32.0 °C	29.7 °C	2.3 °C

Berdasarkan Tabel 5, hasil pembacaan suhu menggunakan sensor DHT22 berada pada rentang 31,4°C hingga 32,0°C, sedangkan suhu yang diukur menggunakan termometer berada pada rentang 29,1°C hingga 29,7°C. Selisih hasil pengukuran antara kedua alat relatif konstan yaitu sekitar 2,3°C pada setiap pengujian. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata suhu sensor DHT22

sebesar 31,62°C, sedangkan rata-rata hasil pengukuran menggunakan termometer sebesar 29,32°C.

4.1.2. Pengujian pada kondisi memasak

Table 6. Perbandingan DHT22 dan Thermometer

No	Pengujian Sensor		Selisih
	DHT22	Thermometer	
1	33.5 °C	30.0 °C	3.5 °C
2	33.8 °C	30.1 °C	3.7 °C
3	34.4 °C	30.3 °C	4.1 °C
4	34.6 °C	30.5 °C	4.1 °C
5	35.1 °C	30.6 °C	4.5 °C
6	35.4 °C	30.8 °C	4.6 °C
7	35.6 °C	31.0 °C	4.6 °C
8	35.8 °C	31.1 °C	4.7 °C
9	36.0 °C	31.2 °C	4.8 °C
10	36.2 °C	31.3 °C	4.9 °C

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DHT22 berada pada rentang 33,5°C hingga 36,2°C, sedangkan hasil pengukuran menggunakan termometer berada pada rentang 30,0°C hingga 31,3°C. Selisih pembacaan antara kedua alat berada pada rentang 3,5°C hingga 4,9°C, dimana selisih cenderung meningkat seiring meningkatnya suhu lingkungan saat proses memasak berlangsung. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata pembacaan sensor DHT22 sebesar 35,04°C, sedangkan rata-rata pembacaan termometer sebesar 30,69°C.

Setelah melakukan perbandingan pembacaan sensor DHT22 dan termometer ,selanjutnya melakukan pengujian kategori suhu dengan mencatat pembacaan suhu sensor DHT22 pada dua kondisi dapur yaitu saat tidak terdapat aktivitas memasak dan saat aktivitas memasak berlangsung. Pada Tabel 7 merupakan hasil dari pengamatannya.

Table 7. Hasil Pengujian Kondisi Suhu

No	Kondisi Dapur	Suhu DHT22 (°C)
1	Tidak Memasak	31.4
		32.0
2	Memasak	33.5
		35.6
		36.2

Berdasarkan Tabel 7, diperoleh hasil pengamatan klasifikasi suhu pada area dapur dalam dua kondisi, yaitu saat tidak terdapat aktivitas memasak dan saat aktivitas memasak berlangsung. Pada kondisi tidak memasak, suhu yang terukur berada pada rentang 31.4 - 32.0 °C, sedangkan saat aktivitas memasak berlangsung suhu meningkat hingga mencapai 36.2 °C. Peningkatan suhu tersebut terjadi akibat adanya sumber panas dari proses memasak. Berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan, data suhu yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan klasifikasi suhu.

Table 8. Hasil Pengujian Kategori Suhu

No	Fungsi Keanggotaan DHT22	Kategori Suhu
1	31 – 32,2	Aman
2	32 – 34	Waspada
3	33,8 – 36	Bahaya

4.2. Hasil Pengujian Sensor MQ6

Pengujian sensor MQ6 dilakukan untuk memantau level gas di dapur. Tujuannya untuk mengetahui bagaimana sensor merespons konsentrasi gas yang berbeda. Pengujian dimulai dengan kalibrasi sensor pada kondisi udara bersih saat tidak ada memasak sehingga nilai ADC minimum tercatat. Selanjutnya, sensor dibaca saat aktivitas memasak berlangsung untuk melihat peningkatan nilai ADC akibat aktifitas memasak. Pada Tabel 8 merupakan hasil pengujian dari sensor mq6 ini.

Table 9. Hasil Pengujian Kondisi Gas

No	Kondisi Dapur	MQ6 (ADC)
1	Tidak Memasak	890
		990
		1200
2	Memasak	1300
		1400
		1600
		1900

Table 10. Hasil Pengujian Kategori Gas

No	Fungsi Keanggotaan MQ6 (ADC)	Kategori Gas
1	890-1200	Aman
2	1100-1600	Waspada
3	1500-1900	Bahaya

4.3. Hasil Pengujian Flame Sensor

Pengujian flame sensor dilakukan untuk mengetahui respons sistem ketika mendeteksi keberadaan api. Pengujian dilakukan dengan mengamati kondisi exhaust fan dan buzzer pada saat flame sensor mendeteksi api maupun ketika tidak mendeteksi api. Flame sensor bekerja secara independen dari proses Fuzzy Sugeno sebagai sistem keselamatan tambahan.

Table 11. Hasil Pengujian Flame Sensor

No	Kondisi	Fan	Buzzer	Kondisi Sistem
1	Api terdeteksi	Off	On	Bahaya Api
2	Api tidak terdeteksi	On	Off	Kondisi Normal

Berdasarkan hasil pengujian, ketika flame sensor mendeteksi adanya api, exhaust fan yang sebelumnya dalam kondisi ON akan berubah menjadi OFF dan buzzer akan aktif sebagai peringatan bahaya api. Sebaliknya, ketika flame sensor tidak mendeteksi adanya api, exhaust fan berada dalam kondisi ON dan buzzer dalam kondisi OFF. Hasil tersebut menunjukkan bahwa flame sensor dapat memberikan respons terhadap keberadaan api dan mengubah kondisi aktuator sesuai dengan logika keselamatan yang diterapkan pada sistem.

4.4. Hasil pengujian sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk melihat kinerja keseluruhan alat secara terintegrasi, mulai dari pembacaan sensor, proses pengambilan keputusan menggunakan logika fuzzy, pengendalian aktuator, hingga komunikasi data berbasis IoT. Pengujian ini bertujuan memastikan semua komponen bekerja sesuai perancangan dan menghasilkan respons yang diharapkan.

4.4.1. Hasil pengujian fuzzy

Table 12. Hasil Pengujian Fuzzy

SUHU (°C)		GAS (ADC)		OUTPUT FUZZY	STATUS OUTPUT	
STATUS	NILAI	STATUS	NILAI	STATUS	FAN	BUZZER
Aman	31.2	Aman	1.076	Aman	OFF	OFF
Aman	31.1	Waspada	1.224	Waspada	ON	OFF
Aman	31	Bahaya	1.617	Bahaya	ON	ON
Waspada	32.9	Aman	1.162	Waspada	ON	OFF
Waspada	32.4	Waspada	1.323	Waspada	ON	OFF
Waspada	33.6	Bahaya	1.741	Bahaya	ON	ON
Bahaya	34.1	Aman	1.150	Bahaya	ON	ON
Bahaya	34.4	Waspada	1.253	Bahaya	ON	ON
Bahaya	34.2	Bahaya	1.529	Bahaya	ON	ON

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mengklasifikasikan kondisi menjadi Aman, Waspada, dan Bahaya sesuai dengan kombinasi nilai suhu dan konsentrasi gas LPG. Ketika nilai suhu dan gas meningkat, output fuzzy juga berubah mengikuti rule yang telah dirancang. Pada kondisi bahaya, sistem mengaktifkan exhaust fan dan buzzer sebagai peringatan kepada pengguna.

4.5. Perhitungan Fuzzy Sugeno

Perhitungan metode Fuzzy Sugeno dilakukan untuk memvalidasi hasil keluaran sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis Internet of Things (IoT). Perhitungan menggunakan data hasil pengujian yang mewakili kondisi aman, waspada, dan bahaya sebagai data masukan. Seluruh proses perhitungan mengacu pada tahapan metode Fuzzy Sugeno yang telah dijelaskan pada Bab II, dimulai dari proses fuzzifikasi untuk menentukan derajat keanggotaan setiap variabel input, dilanjutkan dengan proses inferensi berdasarkan aturan (*rule*) fuzzy untuk memperoleh nilai *firing strength* (α), kemudian proses defuzzifikasi menggunakan metode *Weighted Average* untuk menghasilkan nilai keluaran (*crisp output*). Hasil perhitungan manual selanjutnya dibandingkan dengan output yang dihasilkan oleh sistem untuk mengetahui tingkat kesesuaian implementasi algoritma Fuzzy Sugeno serta memastikan bahwa sistem mampu memberikan keputusan sesuai dengan aturan fuzzy yang telah dirancang.

4.5.1. Perhitungan Kondisi Aman

Perhitungan manual dilakukan menggunakan salah satu data hasil pengujian yang mewakili kondisi aman. Data tersebut kemudian dihitung menggunakan metode Fuzzy Sugeno sesuai tahapan yang telah dijelaskan pada Bab II, yaitu proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Hasil perhitungan selanjutnya dibandingkan dengan output sistem untuk mengetahui kesesuaian implementasi metode Fuzzy Sugeno.

Table 13. Data Hasil Pengujian Kondisi Aman

Parameter	Nilai
Suhu	31,2 °C
Gas	1076 ADC
Output Fuzzy	Aman

1. Fuzzifikasi

a. Fuzzifikasi Variable Suhu

Nilai suhu yang diperoleh sebesar 31,2°C. Berdasarkan fungsi keanggotaan suhu, nilai tersebut berada pada himpunan Aman.

$$\begin{aligned}\mu_{Aman}(31,2) &= \frac{32,2 - 31,2}{32,2 - 31} \\ \mu_{Aman}(31,2) &= \frac{1}{1,2} \\ \mu_{Aman}(31,2) &= 0,833\end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa suhu 31,2°C memiliki derajat keanggotaan sebesar 0,833 pada kategori Aman. Nilai tersebut menunjukkan bahwa suhu masih tergolong aman karena mendekati batas bawah fungsi keanggotaan Aman.

b. Fuzzifikasi Variabel Gas

$$\begin{aligned}\mu_{Aman}(1076) &= \frac{1200 - 1076}{1200 - 890} \\ \mu_{Aman}(1076) &= \frac{124}{310} \\ \mu_{Aman}(1076) &= 0,400\end{aligned}$$

Nilai gas sebesar 1076 ADC memiliki derajat keanggotaan sebesar 0,400 pada kategori Aman. Hal ini menunjukkan bahwa kadar gas masih berada dalam kondisi aman walaupun mulai mendekati batas transisi menuju kondisi waspada.

2. Inferensi

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \min(\mu_{SuhuAman}, \mu_{GasAman}) \\ \alpha_1 &= \min(0,833; 0,400) \\ \alpha_1 &= 0,400\end{aligned}$$

Operator AND menggunakan fungsi minimum (MIN). Karena nilai terkecil adalah 0,400, maka nilai α -predikat Rule 1 sebesar 0,400. Nilai ini menunjukkan tingkat aktivasi Rule 1.

3. Defuzzifikasi

$$\begin{aligned}Z &= \frac{\alpha_1 z_1}{\alpha_1} \\ Z &= \frac{0,400 \times 0}{0,400} \\ Z &= 0\end{aligned}$$

Hasil defuzzifikasi menghasilkan nilai 0, sehingga sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai Aman. Hasil tersebut

sesuai dengan kondisi pengujian, yaitu suhu dan kadar gas masih berada dalam batas aman.

4.5.2. Perhitungan Kondisi Waspada

Parameter	Nilai
Suhu	32,4°C
Gas	1323 ADC
Output Fuzzy	Waspada

1. Fuzzifikasi

a. Fuzzifikasi Variabel Suhu

$$\begin{aligned}\mu_{Waspada}(32,4) &= \frac{32,4 - 32}{33 - 32} \\ \mu_{Waspada}(32,4) &= \frac{0,4}{1} \\ \mu_{Waspada}(32,4) &= 0,400\end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa suhu 32,4°C memiliki derajat keanggotaan sebesar 0,400 pada kategori Waspada. Hal ini menunjukkan bahwa suhu telah memasuki kondisi transisi dari aman menuju waspada.

b. Fuzzifikasi Variabel Gas

$$\begin{aligned}\mu_{Waspada}(1323) &= \frac{1323 - 1100}{1350 - 1100} \\ \mu_{Waspada}(1323) &= \frac{223}{250} \\ \mu_{Waspada}(1323) &= 0,892\end{aligned}$$

Nilai gas sebesar 1323 ADC memiliki derajat keanggotaan sebesar 0,892 pada kategori Waspada. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kadar gas sudah cukup tinggi sehingga berada pada kategori waspada.

2. Inferensi

$$\begin{aligned}\alpha_5 &= \min(\mu_{SuhuWaspada}, \mu_{GasWaspada}) \\ \alpha_5 &= \min(0,400; 0,892) \\ \alpha_5 &= 0,400\end{aligned}$$

3. Defuzzifikasi

$$Z = \frac{\alpha_5 Z_5}{\alpha_5}$$
$$Z = \frac{0,400 \times 50}{0,400}$$
$$Z = 50$$

Karena output Rule 5 adalah 50, maka hasil defuzzifikasi juga menghasilkan nilai 50. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem berada pada kategori Waspada, sehingga exhaust fan mulai diaktifkan untuk mengurangi konsentrasi gas di dalam ruangan.

4.5.3. Perhitungan Kondisi Bahaya

1. Fuzzifikasi

a. Fuzzifikasi Variabel Suhu

$$\mu_{Bahaya}(34,2) = \frac{34,2 - 33,8}{36 - 33,8}$$
$$\mu_{Bahaya}(34,2) = \frac{0,4}{2,2}$$
$$\mu_{Bahaya}(34,2) = 0,182$$

Nilai suhu 34,2°C berada pada kategori Bahaya dengan derajat keanggotaan sebesar 0,182. Hal ini menunjukkan bahwa suhu telah melewati batas aman dan memasuki kondisi bahaya.

b. Fuzzifikasi Variabel Gas

$$\mu_{Bahaya}(1529) = \frac{1529 - 1500}{1900 - 1500}$$
$$\mu_{Bahaya}(1529) = \frac{29}{400}$$
$$\mu_{Bahaya}(1529) = 0,073$$

Nilai gas 1529 ADC memiliki derajat keanggotaan sebesar 0,073 pada kategori Bahaya. Nilai tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi gas mulai memasuki kondisi berbahaya.

2. Inferensi

$$\alpha_9 = \min(\mu_{SuhuBahaya}, \mu_{GasBahaya})$$
$$\alpha_9 = \min(0,182; 0,073)$$
$$\alpha_9 = 0,073$$

3. Defuzzifikasi

$$Z = \frac{\alpha_9 Z_9}{\alpha_9}$$

$$Z = \frac{0,073 \times 100}{0,073}$$

$$Z = 100$$

Output Sugeno untuk Rule 9 adalah 100, sehingga hasil defuzzifikasi menghasilkan nilai 100. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem berada pada kondisi Bahaya, sehingga exhaust fan dan buzzer diaktifkan serta notifikasi dikirimkan ke aplikasi Blynk sebagai peringatan kepada pengguna.

Berdasarkan hasil perhitungan manual pada kondisi Aman, Waspada, dan Bahaya, diperoleh hasil yang sesuai dengan output sistem Fuzzy Sugeno yang diimplementasikan pada ESP32. Hal ini menunjukkan bahwa proses fuzzifikasi, inferensi menggunakan operator MIN, dan defuzzifikasi metode Sugeno telah berjalan sesuai dengan aturan fuzzy yang dirancang, sehingga sistem mampu mengklasifikasikan kondisi kebocoran gas LPG dengan baik berdasarkan nilai suhu dan kadar gas yang terbaca oleh sensor.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode logika fuzzy Sugeno, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem pendeteksi kebocoran gas LPG berbasis IoT telah berhasil diimplementasikan menggunakan sensor MQ-6, DHT22, flame sensor, dan ESP32. Sistem dapat membaca kondisi suhu, gas LPG, dan keberadaan api serta memberikan respons melalui exhaust fan dan buzzer. Data dan status kondisi sistem juga dapat dipantau melalui aplikasi Blynk secara real-time.
2. Metode Fuzzy Sugeno berhasil diterapkan untuk menentukan tingkat kondisi berdasarkan parameter suhu dan konsentrasi gas LPG. Hasil pengujian menunjukkan suhu DHT22 berada pada rentang 31,4–32,0 °C saat tidak memasak dan 33,5–36,2 °C saat memasak, sedangkan sensor MQ-6 menghasilkan nilai 890–1200 ADC saat tidak memasak dan 1300–1900 ADC saat memasak. Berdasarkan parameter tersebut, sistem dapat menentukan tiga kondisi, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya melalui aturan Fuzzy Sugeno.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons terhadap kondisi gas LPG, suhu, dan keberadaan api. Pengujian Fuzzy dilakukan menggunakan 9 kombinasi suhu dan gas yang menghasilkan kondisi Aman, Waspada, dan Bahaya sesuai dengan aturan yang dirancang. Pada setiap kondisi, sistem memberikan respons melalui exhaust fan dan buzzer sesuai dengan kondisi yang terdeteksi.
4. Hasil perhitungan manual metode Fuzzy Sugeno menunjukkan bahwa output yang diperoleh sesuai dengan hasil sistem, yaitu 0 pada kondisi Aman, 50 pada kondisi Waspada, dan 100 pada kondisi Bahaya. Hal ini menunjukkan bahwa proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi pada sistem telah berjalan sesuai dengan aturan Fuzzy Sugeno yang dirancang.
5. Hasil pengujian flame sensor menunjukkan bahwa sistem dapat memberikan respons terhadap keberadaan api. Saat api terdeteksi, exhaust fan OFF dan buzzer ON sebagai peringatan Bahaya Api, sedangkan saat api tidak terdeteksi, exhaust fan ON dan buzzer OFF. Hasil ini menunjukkan bahwa flame sensor dapat digunakan sebagai pengamanan tambahan pada sistem.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan sistem notifikasi dengan menambahkan media lain, seperti WhatsApp, Telegram, atau SMS, sehingga informasi kondisi berbahaya dapat diterima lebih cepat meskipun aplikasi Blynk tidak sedang dibuka.
2. Mengembangkan fungsi webcam agar tidak hanya digunakan sebagai media pemantauan visual, tetapi juga dilengkapi dengan pengolahan citra (*image processing*) untuk mendeteksi api atau asap secara otomatis.
3. Melakukan pengujian sistem pada berbagai kondisi lingkungan dan variasi tingkat ventilasi ruangan untuk mengetahui performa sistem pada kondisi penggunaan yang lebih beragam.

Daftar Pustaka

- [1] L. I. Ramadhan, D. Syauqy, and B. H. Prasetyo, "Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Metode Fuzzy yang Diimplementasikan dengan Real Time Operating System (RTOS)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 11, pp. 1206–1213, 2017.
- [2] M. A. Prasetyo and N. Paramytha, "Pengembangan Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG dengan Teknologi IoT dan Sensor MQ5," *J. Ampere*, vol. 8, no. 2, pp. 103–115, 2023.
- [3] C. E. Suharyanto, A. K. Harahap, and A. Alfandianto, "Home Safety: Desain Keamanan Gas Lpg Dengan Sensor Pendeteksi Kebocoran," *J. Inform.*, vol. 20, no. 1, pp. 41–53, 2020.
- [4] C. Ciksadan, S. Suroso, and Y. Ramadhona, "Sistem Pendeteksi Kebocoran LPG Untuk Smarthome Berbasis IoT dengan Metode Fuzzy," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 4, no. 2, p. 479, 2020.
- [5] T. Kurnia Hadi, "Analisis Perancangan Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis Sensor MQ-2 dan Arduino Uno," *J. Minfo Polgan*, vol. 11, no. 2, pp. 105–108, 2022.
- [6] M. P. Maulana, "Pengembangan Sistem Peringatan Dini Kebocoran Gas Lpg Untuk Peningkatan Keamanan Rumah Tangga Berbasis Esp32," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, 2024.
- [7] A. Kautsar, R. Handayani, G. I. Hapsari, A. Uno, and S. Suhu, "Sistem Pendeteksi Kebocoran Pada Gas Lpg Dengan Sensor Mq-6 Menggunakan Metode Fuzzy Logic Lpg Gas Leakage Detection System Using Mq-6 Sensor With Fuzzy Logic Method," vol. 9, no. 2, pp. 803–809, 2023.
- [8] B. Eko Soemarsono, E. Listiasri, and G. Candra Kusuma, "Alat Pendeteksi Dini Terhadap Kebocoran Gas LPG," *J. Tele*, vol. 13, no. 1, pp. 1–6, 2015.
- [9] S. Tambunan and A. Stefanie, "Monitoring Kebocoran Gas Lpg Menggunakan Sensor Mq-2 Pada Rumah Dengan Notifikasi Bot Telegram," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 2, pp. 1423–1228, 2023.
- [10] B. Rahman, F. Pernando, and N. Indriawan, "Sistem Monitoring Kebocoran Gas Dan Api Menggunakan Sensor MQ-2 Dan Flame Sensor Berbasis Android," *J. Sensi*, vol. 8, no. 2, pp. 209–222, 2022.
- [11] K. Gas, L. P. G. Sensor, M. Yulistia, and A. Wandira, "Technology Sciences Insights Journal," 2025.
- [12] Yohanes Perdana Putra, "Sistem Pendeteksian Dan Penanganan Kebocoran Gas Lpg Berbasis Iot," *J. Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 201–208, 2024.
- [13] F. Prasetyo, E. Putra, A. Agazi, and F. W. Firmansyah, "Pendeteksi

- Kebakaran Menggunakan Wireless,” vol. 25, no. 2, pp. 117–122, 2024.
- [14] A. Tommy, “Implementation of a Gas Leakage Detection System Using the MQ-6 Sensor,” *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 2, no. 1, pp. 17–21, 2022.
- [15] Siswanto, Ikin Rojikin, and Windu Gata, “Pemanfaatan Sensor Suhu DHT-22, Ultrasonik HC-SR04 Untuk Mengendalikan Kolam Dengan Notifikasi Email,” *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 3, no. 3, pp. 544–551, 2019.
- [16] M. Ridwan, “Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis IoT,” *J. Sains dan Ilmu Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 35–39, 2021.
- [17] F. Sirait, “Sistem Monitoring Keamanan Gedung Berbasis Raspberry Pi,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 55–60, 2016.
- [18] D. Rohpandi, S. Permana, and F. Muldiana, “Sistem Pemantauan Ruangan Dengan Webcam Menggunakan Metode Motion Detection,” *J. VOI (Voice Informatics)*, vol. 1, 2013.

Biodata

	Nama	: Rudi Swandi Simamora
	TTL	: Aek Bingke, 18 Januari 2004
	Agama	: Kristen
	Alamat	: Huta Dame
	Email	: rudiswandi508@gmail.com
	Riwayat Pendidikan	: SMK N 3 Panyabungan Utara

Lampiran

https://drive.google.com/drive/folders/1eKfvgux4Hb42ytV3iivPlgtkwxQR4TJh?usp=drive_link