



RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN DAN PROTEKSI KEBAKARAN SERTA KEBOCORAN GAS LPG DENGAN MONITORING SECARA REAL-TIME BERBASIS ESP32 PADA UMKM MAKANAN RINGAN

Alvian Nur Firdausy ¹, Aditya Chandra Hermawan ²

^{1,2} Sarjana Terapan Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya,
Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: alvian.22065@unesa.ac.id

Abstract. *The risk of fire due to liquefied petroleum gas (LPG) leaks poses a serious threat to the operations of small and medium-sized snack food enterprises (MSMEs). This study aims to design and build an early warning and automatic protection system against LPG gas leaks and fire indications based on the Internet of Things (IoT). The system is controlled by an ESP32 microcontroller, integrating an MQ-2 sensor to detect gas concentration, a DHT22 sensor for environmental temperature monitoring, and an IR Flame sensor to detect fire radiation. Decision-making in the system is implemented using the Mamdani Fuzzy Logic method, which processes input data through 18 rule bases to classify environmental conditions into Safe, Alert, and Danger statuses. At the protection level, the system is equipped with a relay to cut off the electrical supply, a solenoid valve to stop the gas supply, and a buzzer as a warning alarm. Real-time data monitoring is carried out via the ThingSpeak dashboard, supported by a Micro SD module as a local data logger. The results of testing over seven days show that the Fuzzy Logic integration operated optimally without triggering any false alarms (zero false-trigger). Immediately upon detection of a Danger condition, the actuators successfully responded to the commands to cut off the current and close the gas valve in less than one second, with a 100% success rate. The application of IoT and Fuzzy Logic technology is proven to provide reliable, efficient, and flexible mitigation to improve the safety standards of MSME kitchens.*

Keywords: *Fire Detection; Warning and Protection; ESP32; Fuzzy Logic; Internet of Things*

Abstrak. Resiko kebakaran akibat kebocoran gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) menjadi ancaman serius bagi operasional UMKM makanan ringan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun sistem peringatan dini dan proteksi otomatis terhadap kebocoran gas LPG serta indikasi kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 dengan mengintegrasikan sensor MQ-2 untuk mendeteksi konsentrasi gas, sensor DHT22 untuk pemantauan suhu lingkungan, dan sensor IR Flame untuk mendeteksi radiasi api. Pengambilan keputusan pada sistem diimplementasikan menggunakan metode *Fuzzy Logic* Mamdani yang memproses data masukan melalui 18 basis aturan (*rule base*) guna mengklasifikasikan kondisi lingkungan menjadi status Aman, Waspada, dan Bahaya. Pada tingkat proteksi, sistem dilengkapi dengan relai untuk memutus aliran listrik, solenoid valve untuk menghentikan suplai gas, serta buzzer sebagai alarm peringatan. Pemantauan data secara real-time dilakukan melalui dashboard ThingSpeak, didukung dengan modul Micro SD sebagai pencatat data lokal (*data logger*). Hasil pengujian selama tujuh hari menunjukkan bahwa integrasi *Fuzzy Logic* berhasil beroperasi secara optimal tanpa memicu alarm palsu (*zero false-trigger*). Seketika kondisi Bahaya terdeteksi, aktuator berhasil merespons perintah pemutusan arus dan penutupan katup gas dalam waktu kurang dari satu detik dengan persentase keberhasilan 100%. Penerapan teknologi IoT dan *Fuzzy Logic* ini terbukti mampu memberikan mitigasi yang andal, efisien, dan fleksibel untuk meningkatkan standar keselamatan dapur UMKM.

Kata kunci: Deteksi Kebakaran; Peringatan dan Proteksi; ESP32; *Fuzzy Logic*; *Internet Of Things*

1. LATAR BELAKANG

Penggunaan *Internet of Things* (IoT) menjadi sangat penting di era teknologi saat ini untuk meningkatkan keselamatan dan keamanan lingkungan rumah dan bisnis. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat alat yang dapat mendeteksi kebocoran gas LPG dan kebakaran serta memberikan peringatan secara real-time. Mikrokontroler inti sistem adalah ESP32, yang terhubung dengan sensor gas MQ-2, sensor suhu DHT-22, dan sensor api IR Flame. Dengan menggunakan *dashboard* ThingSpeak, alat ini dapat melaporkan kebakaran atau kebocoran gas dalam *real time* secara akurat.

Dapur merupakan salah satu bagian penting yang ada di rumah ataupun rumah produksi makanan ringan (UMKM) yang memiliki risiko tinggi terhadap bahaya seperti kebakaran dan kebocoran gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Kebocoran gas LPG yang tidak terdeteksi oleh pengguna dapat menjadi bom waktu. Sistem peringatan kebakaran sangat penting untuk menjaga keselamatan orang-orang dan aset yang ada di lokasi. Kebakaran dapat terjadi secara tiba-tiba dengan berbagai faktor, salah satunya kebocoran gas LPG, yang dapat menyebabkan kerusakan besar dan korban jiwa jika tidak ditangani dengan cepat. Oleh karena itu, diperlukan peringatan dini yang akurat dan cepat.

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan sumber energi utama yang banyak digunakan oleh masyarakat, baik di rumah maupun di sektor bisnis. Keuntungan LPG terletak pada kemudahan distribusi dan penggunaan, serta harganya yang terjangkau. Meskipun LPG memiliki banyak manfaat, penggunaannya juga membawa risiko yang signifikan, terutama terkait kebocoran gas yang dapat memicu kebakaran atau ledakan. Menurut laporan yang dihimpun pada tahun 2022, terdapat 79 kasus kebakaran rumah yang disebabkan oleh kebocoran gas LPG, menunjukkan bahwa pemantauan keamanan instalasi gas adalah sebuah keharusan yang mendesak.

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengatasi masalah ini. Penelitian oleh Rizki Dian Anugrah dkk (2024) [22] merancang sistem yang menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM untuk mendeteksi kebakaran dan kebocoran LPG dengan output notifikasi Telegram. Syahri & Ulansari (2022) [27] mengembangkan sistem pendeteksi kebocoran gas dan api menggunakan sensor MQ-2 dan sensor api berbasis NodeMCU ESP8266 dengan output aplikasi Blynk. Kusuma & Juliasari (2024) [12] juga membangun sistem deteksi kebocoran gas dan kebakaran menggunakan ESP32 berbasis IoT dengan Firebase. Tri et al. (2024) [28] mengimplementasikan sistem IoT untuk peringatan dini menggunakan sensor MQ-2, DHT11, dan IR Flame. Aulia & Munasir (2022) [6] merancang alat deteksi dengan aktuator berupa water pump dan kipas DC. Namun, sistem-sistem tersebut sebagian besar masih menggunakan pendekatan rule-based konvensional yang kaku dan memiliki keterbatasan dalam menangani perubahan kondisi yang terjadi secara bertahap (*gradual*).

Untuk mengatasi keterbatasan sistem rule-based tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan metode *Fuzzy Logic* Mamdani sebagai dasar pengambilan keputusan. Metode *fuzzy logic* dipilih karena memiliki kemampuan untuk secara bertahap mengubah data numerik kontinu dari sensor menjadi nilai *linguistik* seperti (Aman, Waspada dan Bahaya). Metode ini memungkinkan sistem untuk membuat keputusan yang lebih realistis, fleksibel, dan menyerupai proses kognitif manusia dalam menilai risiko. Dalam sistem ini, ESP32 memproses data dari sensor MQ-2, DHT22, dan IR

Flame melalui tahapan *fuzzifikasi*, evaluasi rule base, dan *defuzzifikasi* untuk menentukan tingkat bahaya.

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang dan membangun sistem peringatan dini serta *proteksi* otomatis yang tangguh. Sistem ini mengontrol solenoid valve untuk memutus aliran gas dari regulator secara instan, serta mengendalikan relay optocoupler untuk memutus aliran listrik utama demi mencegah korsleting saat terjadi kebakaran. Selain itu, sistem dilengkapi dengan buzzer sebagai *alarm* lokal dan modul Micro SD sebagai *data logger*. Diharapkan inovasi ini akan menjadi standar baru teknologi keamanan berbasis IoT yang responsif, cerdas, dan andal bagi UMKM makanan ringan, dengan fitur pemantauan telemetri *real-time* melalui *dashboard* ThingSpeak.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metodologi *eksperimental* terapan (*applied experimental research*). Pendekatan *eksperimental* dipilih untuk menguji, mengamati, dan memvalidasi keandalan fungsional dari rancang bangun sistem deteksi dan proteksi secara *real-time* dalam lingkungan nyata. Lokasi penelitian bertempat di dapur produksi UMKM makanan ringan di Desa Kedunglumpang, Kecamatan Mojoagung, Kabupaten Jombang.

Dasar Teori dan Komponen Sistem

Sistem peringatan dini dan *proteksi* kebocoran gas serta kebakaran merupakan suatu sistem instrumentasi yang difungsikan untuk mendeteksi indikasi gangguan lingkungan secara dini. Untuk membangun sistem ini, diintegrasikan beberapa komponen perangkat keras (*hardware*) dan landasan teori kontrol. Konsep *Internet of Things* (IoT) yang diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 dimanfaatkan agar mikrokontroler dapat mengumpulkan data dan berkomunikasi melalui jaringan internet tanpa intervensi langsung dari manusia.

Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai unit pemrosesan pusat (CPU) dalam penelitian ini. ESP32 dilengkapi dengan CPU Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 berkecepatan hingga 240 MHz. Mikrokontroler ini memiliki konektivitas Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) dan *Bluetooth Low Energy* (BLE) yang terintegrasi, menjadikannya sangat ideal untuk aplikasi IoT karena konsumsi dayanya yang efisien dan fitur I/O yang sangat melimpah.

Sebagai perangkat pendeteksi, sistem menggunakan Sensor Gas MQ-2 yang merupakan sensor semikonduktor berbasis Tin Dioxide (SnO₂) untuk mendeteksi gas mudah terbakar seperti LPG. Sensor ini sangat sensitif dengan jangkauan deteksi antara 300 hingga 10.000 ppm. Untuk pemantauan suhu, digunakan Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22 yang memiliki akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dengan mikrokontroler internal 8-bit untuk konversi analog ke digital. Deteksi titik api ditangani oleh Sensor Api IR FLAME yang bekerja dengan prinsip optik menggunakan fotodiode inframerah untuk mendeteksi emisi api pada panjang gelombang 760 nm hingga 1100 nm dengan waktu respons kurang dari 100 ms.

Sebagai tindakan pengamanan otomatis, sistem menggunakan *Relay Optocoupler 2 Channel* yang berfungsi memisahkan rangkaian kontrol bertegangan rendah dengan rangkaian beban bertegangan tinggi agar lebih aman. Relay channel 1 digunakan untuk mengendalikan Solenoid Valve Gas LPG. Katup berjenis *Normally Closed* (NC) ini

dirancang khusus untuk menahan tekanan gas standar (0 - 0,8 MPa), dan akan segera menutup aliran gas ketika koil elektromagnetiknya diaktifkan. Sementara itu, relay channel 2 bertugas memutus aliran listrik utama ketika sistem mendeteksi kondisi bahaya kebakaran. Untuk keperluan pemantauan jarak jauh, sistem mengirimkan data ke *platform* ThingSpeak menggunakan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Alat ini juga dilengkapi dengan Modul RTC DS3231 untuk memberikan penanda waktu (*timestamp*) yang akurat, serta Modul Micro SD sebagai media penyimpanan data secara lokal.

Logika Fuzzy Mamdani digunakan sebagai otak pengambilan keputusan. Berbeda dengan logika biner (0 atau 1), logika fuzzy memetakan input kontinu ke dalam derajat keanggotaan (*membership function*) yang memiliki rentang 0 hingga 1. Prosesnya meliputi: (1) *Fuzzifikasi* (pengubahan nilai tegas menjadi linguistik), (2) Mesin Penalaran atau Inference Engine (penerapan aturan IF-THEN berbasis basis pengetahuan), dan (3) *Defuzzifikasi* (mengubah kembali hasil agregasi himpunan menjadi nilai tegas, umumnya menggunakan metode Centroid atau titik berat).

Prosedur Penelitian dan Arsitektur

Prosedur penelitian dibagi ke dalam beberapa tahapan komprehensif yang meliputi, Survei lapangan untuk identifikasi kondisi termal dan gas dapur, Studi Literatur, Identifikasi Masalah, Perancangan Sistem (*Hardware & Software*), Pengujian Alat, dan Analisis Evaluasi.

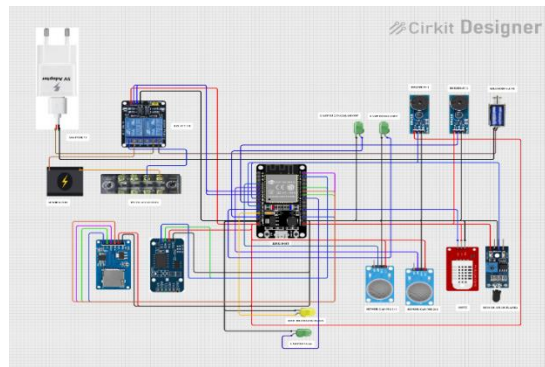
Arsitektur perangkat keras (*Hardware*) dibagi menjadi empat blok utama: (1) Blok Input, yang terdiri dari 2 buah sensor gas MQ-2 (satu di dekat regulator, satu di tengah ruangan), sensor suhu DHT22, sensor IR Flame, dan Modul RTC DS3231, (2) Blok Proses & Kontrol, yaitu mikrokontroler ESP32 yang memproses algoritma *Fuzzy Logic* Mamdani, (3) Blok Output, yang berisi indikator LED (3 hijau, 1 kuning), Buzzer, modul Relay Optocoupler 2 Channel, dan Solenoid Valve gas LPG yang dimodifikasi dengan neple, serta (4) Blok Monitoring, yang memanfaatkan Modul Micro SD data lokal (*logger*) dan *platform cloud* ThingSpeak via MQTT.

Sistem dirancang untuk melakukan sampling data setiap 5 detik. Data dikumpulkan selama 7 hari berturut-turut pada dua sesi utama setiap harinya: Sesi Pagi (07.30 - 10.30 WIB) sebagai *baseline* (kondisi termal awal) dan Sesi Siang/Sore (13.30 - 15.30 WIB) sebagai *peak load testing* (beban puncak operasional dapur dengan radiasi kompor dan cuaca eksternal). Total data yang dihasilkan dalam penelitian ini mencapai kurang lebih di angka 20.000 titik sampel (data points).

Wiring Diagram dan Alur Kerja Sistem (Flowchart)

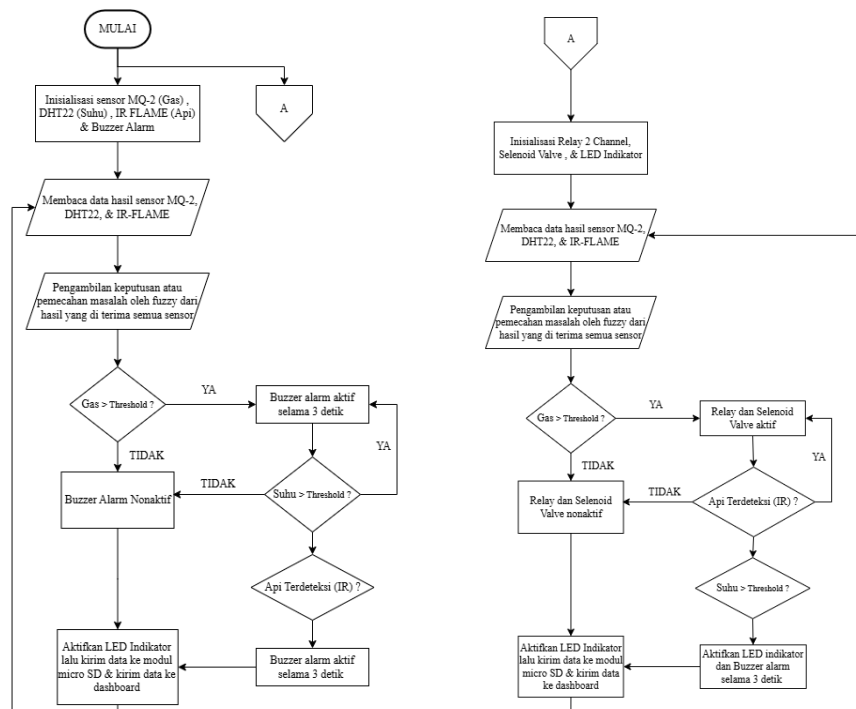
Tahap perancangan sistem sangat bergantung pada pengkabelan (*wiring*) yang tepat antara mikrokontroler ESP32 dengan seluruh periferal input maupun output. Rangkaian elektronika disuplai oleh adaptor 5V yang memberikan daya pada ESP32, relay, dan sensor. Sensor MQ-2 dihubungkan ke pin Analog (ADC) ESP32 untuk membaca fluktuasi resistansi gas secara kontinu. Sensor DHT22 dan sensor IR Flame dikoneksikan ke pin Digital I/O. Pada blok output, pin kontrol dari Relay Optocoupler 2 Channel dihubungkan ke GPIO ESP32 untuk mengendalikan Solenoid Valve (Channel 1) dan jalur listrik utama (Channel 2). Sementara itu, modul RTC DS3231 menggunakan jalur I2C

(SDA, SCL) dan Modul Micro SD menggunakan jalur komunikasi SPI (MISO, MOSI, SCK, CS). Untuk wiring nya di tunjukan pada gambar 1.



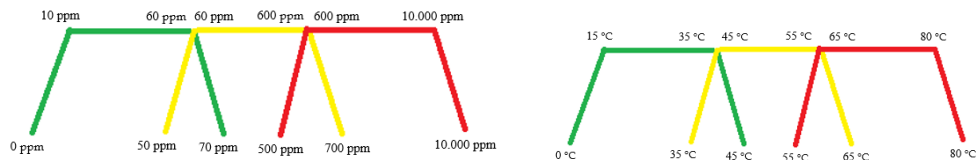
Gambar 1. Wiring Diagram Komponen

Alur kerja sistem (*flowchart*) dirancang untuk beroperasi secara siklikal (*looping*). Proses dimulai dengan inisialisasi pin dan pemanasan sensor (*warm-up*) saat perangkat pertama kali dinyalakan. Setelah sistem stabil, ESP32 mulai membaca data dari sensor MQ-2, DHT22, dan IR Flame. Data tersebut kemudian diolah oleh sistem inferensi *Fuzzy Logic*. Jika hasil inferensi menyatakan kondisi “Aman” sistem akan terus melakukan iterasi pembacaan data. Namun, jika kondisi beralih ke “Waspada” atau “Bahaya” (terutama jika threshold gas terlampaui atau sensor api bernilai 1), sistem akan langsung mengaktifkan interupsi seperti menyalakan Buzzer dan LED sebagai peringatan, memicu Relay *Channel 1* untuk menutup Solenoid Valve, serta memicu Relay *Channel 2* untuk memutus instalasi kelistrikan sebagai proteksi. Seluruh status dari proses tersebut kemudian dicatat ke dalam Micro SD dan dikirim via protokol MQTT ke ThingSpeak.



Gambar 2. Flowchart Alur Kerja Alat

Logika Fuzzy Mamdani yang diterapkan memiliki variabel-variabel dengan semesta pembicaraan sebagai berikut. Variabel Gas (MQ-2) dibagi menjadi 3 himpunan: “Aman” (0-70 ppm), “Waspada” (50-700 ppm), dan “Bahaya” (500- 10.000 ppm). Variabel Suhu (DHT22) dibagi menjadi 3 himpunan: “Normal” (15-45°C), “Waspada” (35-65°C), dan “Panas” (55-80°C). Variabel Api (IR FLAME) menggunakan representasi singleton biner: “Tidak Terdeteksi” (0) dan “Terdeteksi” (1).



Gambar 3. Grafik Titik representasi trapesium gas LPG & suhu

Inferensi fuzzy pada ESP32 dievaluasi berdasarkan 18 basis aturan (*Rule Base*) IF-THEN yang mencakup seluruh probabilitas matriks kondisi dapur (3 x 3 x 2). Berikut adalah 18 Aturan Logika Fuzzy format kolom tunggal:

Tabel 1. Data 18 kombinasi format IF-THEN

NO	KETERANGAN
1.	IF Gas = Aman AND Suhu = Normal AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Aman
2.	IF Gas = Waspada AND Suhu = Normal AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Waspada
3.	IF Gas = Bahaya AND Suhu = Normal AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Bahaya
4.	IF Gas = Aman AND Suhu = Waspada AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Waspada
5.	IF Gas = Waspada AND Suhu = Waspada AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Waspada
6.	IF Gas = Bahaya AND Suhu = Waspada AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Bahaya
7.	IF Gas = Aman AND Suhu = Panas AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Waspada
8.	IF Gas = Waspada AND Suhu = Panas AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Bahaya
9.	IF Gas = Bahaya AND Suhu = Panas AND Api = Tidak Terdeteksi THEN Output = Bahaya
10.	IF Gas = Aman AND Suhu = Normal AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya
11.	IF Gas = Waspada AND Suhu = Normal AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya
12.	IF Gas = Bahaya AND Suhu = Normal AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya
13.	IF Gas = Aman AND Suhu = Waspada AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya
14.	IF Gas = Waspada AND Suhu = Waspada AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya
15.	IF Gas = Bahaya AND Suhu = Waspada AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya
16.	IF Gas = Aman AND Suhu = Panas AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya
17.	IF Gas = Waspada AND Suhu = Panas AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya
18.	IF Gas = Bahaya AND Suhu = Panas AND Api = Terdeteksi THEN Output = Bahaya

Dari ke-18 aturan di atas, terlihat jelas bahwa setiap kali variabel sensor IR Flame menunjukkan “Terdeteksi (1)”, maka seluruh keputusan output secara otomatis akan melompat pada kondisi “Bahaya”. Hal ini merepresentasikan bahwa api adalah ancaman interupsi darurat dengan prioritas paling tinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian Pada bab ini dibahas secara komprehensif mengenai hasil perancangan, implementasi perangkat keras (*hardware*), dan perangkat lunak (*software*) dari sistem peringatan dan proteksi kebakaran serta kebocoran gas LPG. Pembahasan mencakup verifikasi fungsionalitas setiap komponen, mulai dari konfigurasi alat, kalibrasi sensor,

pengujian komputasi logika fuzzy melalui simulasi, hingga evaluasi operasional lapangan secara menyeluruh di lingkungan nyata UMKM makanan ringan untuk mengukur tingkat keandalan, akurasi, dan kecepatan respons sistem.

Konfigurasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Perancangan instrumen perangkat keras ditata sedemikian rupa untuk menjamin keandalan dan kemudahan perawatan. Sistem menggunakan box panel plastik tertutup yang terbagi menjadi dua bagian utama. Panel utama diletakkan menempel pada dinding area dapur yang memuat otak pemrosesan yaitu modul mikrokontroler ESP32, Relay Optocoupler 2 Channel sebagai penggerak solenoid valve dan pemutusan aliran listrik, lalu Adaptor 5V sebagai penyuplai daya yang stabil, Micro SD Card Module untuk pencatatan log harian, dan RTC DS3231 untuk memberikan catatan waktu yang presisi. Di bagian luar atau penutup panel utama dipasang berbagai indikator visual yang terdiri dari LED (Hijau 1 untuk status Relay channel 1, Hijau 2 untuk status Relay channel 2 atau api, Kuning untuk suhu ekstrem), sebuah Buzzer 5V untuk peringatan berupa suara (alarm), sensor gas MQ-2 pertama yang berfungsi mendeteksi penyebaran gas di tengah ruangan, dan sensor DHT22 untuk mengukur termal ruangan, lalu terakhir ada sensor IR-Flame sebagai pendeteksi keberadaan api.

Sementara itu, panel kedua ditempatkan lebih strategis, yakni di bagian bawah kaki meja yang berdekatan langsung dengan regulator tabung gas LPG. Panel kedua ini khusus memuat sensor MQ-2 sekunder. Penempatan ini dirancang agar sistem mampu mendeteksi indikasi awal kebocoran gas secara jauh lebih cepat langsung dari sumber utamanya sebelum menyebar luas. Panel kedua ini juga dilengkapi dengan LED Hijau 3 sebagai indikasi sensor MQ-2 mendeteksi gas LPG dan Buzzer tambahan agar peringatan dapat disadari dari area UMKM.

Di sisi perangkat lunak, sistem dikonfigurasi menggunakan antarmuka Arduino IDE. Pemrograman berbasis bahasa C/C++ ini memanfaatkan berbagai pustaka (*library*) abstraksi perangkat keras untuk menyederhanakan kode dan mempercepat komputasi. Pustaka tersebut di antaranya : ``<WiFi.h>`` untuk mengatur konektivitas jaringan internet nirkabel, ``<PubSubClient.h>``, untuk mengeksekusi protokol pengiriman paket data MQTT ke server ThingSpeak, ``<DHT.h>``, untuk ekstraksi nilai suhu dan kelembapan dari sensor, ``<RTCLib.h>``, untuk pengambilan data jam dan kalender dari DS3231, serta ``<SD.h>`` dan ``<SPI.h>``, untuk fungsi penulisan memori ke Micro SD Card secara berkala tanpa membebani thread utama prosesor.

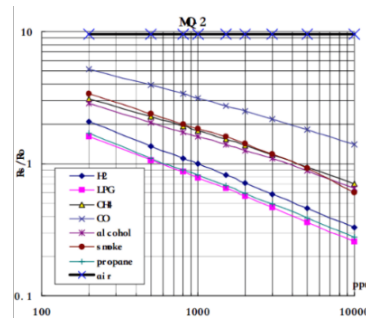
Kalibrasi Sensor MQ-2 dan Penentuan Set Point

Kalibrasi merupakan tahapan vital untuk mengonversi nilai resistansi analog mentah (*raw data*) yang dibaca oleh ADC 12-bit ESP32 menjadi nilai ukur konsentrasi gas yang standar, yaitu *Parts Per Million* (PPM). Pada sistem ini, Sensor MQ-2 dihubungkan menggunakan rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) dengan resistor beban (RL) 20 k Ω untuk sensor pertama dan 10 k Ω untuk sensor kedua.

Mengingat transmisi sinyal dari sensor ke mikrokontroler melewati kabel ekstensi sepanjang 5 meter, terdapat potensi pelemahan tegangan dan induksi noise dari lingkungan sekitar. Untuk menstabilkan sinyal analog dari osilasi parasitik dan frekuensi

liar, ditambahkan komponen kapasitor elektrolit (Elco) sebesar 10V/100μF pada setiap jalur VCC dan GND di modul sensor.

Proses matematis kalibrasi diawali dengan mengekstraksi nilai kemiringan (*curve m*) dan intercept (*curve b*) untuk persamaan logaritmik gas LPG berdasarkan grafik sensitivitas dari datasheet pabrik. Dengan mengambil dua titik kurva ekstrem ($y_1=1.7$ pada $x_1=200$ ppm, dan $y_2=0.27$ pada $x_2=10.000$ ppm), didapatkan rumus gradien kemiringan (*m*) sebesar -0.470 dan konstanta (*b*) sebesar 1.311. Sensor kemudian dikalibrasi di ruang udara terbuka yang bersih dengan mengambil 2000 sampel data (*warm-up sampling*) untuk menetapkan resistansi basal (R_0). Perhitungan kepekatan gas LPG final dilakukan dengan menghitung rasio dinamis R_s/R_0 .



Gambar 4. Datasheet sensor MQ-2

a. Titik 1 : $y_1 = 1,7$, $X_1 = 200$

b. Titik 2 : $y_2 = 0,27$, $X_2 = 10.000$

$$\begin{aligned} \text{Curve } m &= \frac{\log(y_2) - \log(y_1)}{\log(x_2) - \log(x_1)} \\ &= \frac{\log_{10}(0,27) - \log_{10}(1,7)}{\log_{10}(10.000) - \log_{10}(200)} \\ &= \frac{-0,5686 - 0,2304}{4 - 2,301} \\ m &= \frac{-0,7990}{1,6990} = -0,470 \quad (4.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Curve } b &= \log_{10}(y_1) - m \cdot \log_{10}(x_1) \\ &= \log_{10}(1,7) - (-0,470 \cdot \log_{10}(200)) \\ &= 0,2304 - (-0,470 \cdot 2,301) \\ &= 0,2304 + 1,081 \\ b &= 1,311 \quad (4.2) \end{aligned}$$

Gambar 5. Perhitungan nilai *curve m* dan *curve b*

Setelah kalibrasi digital selesai, dilakukan pengujian lapangan dengan simulasi pelepasan gas LPG secara perlahan dan terkontrol. Observasi menunjukkan sistem dapat secara konsisten membaca anomali penyebaran gas pada rentang 20-48 ppm sebelum gas menyebar luas. Berdasarkan data ini, ambang batas (*set point*) “Waspada”, ditetapkan secara logis di angka 50 ppm. Nilai ini dianggap cukup sensitif namun aman dari peringatan palsu (*false alarm*) akibat fluktuasi polutan biasa atau asap masakan. Sementara itu, batas “Bahaya”, ditetapkan pada 1000 ppm. Jika nilai ini tercapai, solenoid valve akan menutup katub nya yang dikendalikan oleh relay channel 1. Untuk variabel termal, sensor DHT22 menunjukkan suhu ruangan normal saat dapur tidak beroperasi (*standby*) berkisar 24-33°C. Ambang batas (*set point*) “Waspada”, termal kemudian disepakati pada 40°C sebagai batas toleransi akumulasi ekstrem panas radiasi lingkungan.

Simulasi Logika Fuzzy Mamdani (MATLAB Simulink)

Sebelum algoritma Fuzzy disematkan secara fisik pada mikrokontroler ESP32, rancangan model *Fuzzy Inference System* (FIS) Mamdani terlebih dahulu divalidasi dan diuji ketahanannya melalui simulasi komputasi perangkat lunak MATLAB Simulink. Metode *defuzzifikasi* yang digunakan adalah Centroid, yang menentukan titik pusat area gabungan himpunan keluaran. Pengujian di Simulink ini dirancang dengan meliputi 6 Skenario kombinasi variabel input ekstrem (gas, suhu, dan api).

Tabel 2. 6 skenario pengujian fuzzy di simulink

Skenario	Input 1	Input 2	Input 3
Skenario 1	30	27	1
Skenario 2	300	50	0
Skenario 3	1200	30	0
Skenario 4	50	20	0
Skenario 5	300	50	1
Skenario 6	1200	30	1

Sebagai contoh komprehensif hasil pengujian diatas Pada Skenario 1, masukan dikondisikan pada Gas 30 ppm, Suhu 27°C, dan Api bernilai 1. Meskipun nilai gas dan suhu berada dalam rentang himpunan yang sangat aman, kehadiran logika “1”(Terdeteksi) pada input sensor api seketika menyebabkan sistem mengabaikan status aman lainnya. Nilai keluaran *defuzzifikasi* melompat ke batas atas kejenuhan (*saturation*) dengan nilai konstan 84.70 (kategori Bahaya). Pada Skenario 2, masukan dikondisikan pada Gas 300 ppm (Waspada), Suhu 50°C (Waspada), dan Api 0. Sistem menyeimbangkan bobot aturan dan menghasilkan nilai keluaran tingkat menengah (*medium*) yaitu 54.72. Kemudian pada Skenario 4 (Gas 50 ppm, Suhu 20°C, Api 0), respons sistem berada di tingkat aman yakni 15.30. Simulasi komputasi ini membuktikan secara ilmiah bahwa arsitektur logika pengelompokan 18 rule base berfungsi dengan sempurna dan adaptif. Variabel sensor api terbukti bertindak secara absolut sebagai sakelar pemicu interupsi darurat (*critical interrupt priority*), yang seketika mengambil alih keputusan sistem demi keselamatan.

Pengujian Kinerja Lapangan

Pengujian kinerja aktual lapangan dilaksanakan secara berkelanjutan selama satu minggu penuh (7 hari). Evaluasi keandalan sistem didasarkan pada 14 sesi pengambilan data, dengan pembagian 7 sesi pagi (07.30 - 10.30 WIB) yang merepresentasikan beban awal ruangan, dan 7 sesi siang/sore (13.30 - 15.30 WIB) yang merepresentasikan beban puncak dapur UMKM dengan radiasi termal maksimum.

Pengujian Respons Sensor Gas LPG (MQ-2) pada Kondisi Operasional

Data hasil observasi pada Tabel 3 dibawah, sensor MQ-2 menunjukkan tingkat stabilitas dan kepekaan yang sangat baik. Hasil pembacaan konsentrasi gas LPG berfluktuasi antara 2,7 ppm (titik terendah pada pagi hari) hingga 6,4 ppm (titik tertinggi saat puncak produksi di sore hari). Perubahan nilai ini membuktikan bahwa sensor responsif terhadap sirkulasi udara di ruang dapur. Meskipun demikian, karena seluruh data yang terekam masih jauh di bawah batas waspada (50 ppm), algoritma *fuzzy logic* bekerja dengan presisi untuk mempertahankan sistem pada status "Aman". Tidak aktifnya

Relay C1 dan Buzzer juga memastikan bahwa sistem terhindar dari peringatan palsu (*false trigger*) yang mungkin dipicu oleh asap atau uap masakan biasa.

Tabel 3. Hasil uji respons sensor gas LPG (MQ-2)

Percobaan	Tanggal Percobaan	Konsentrasi Gas (ppm)	Status Sistem	Buzzer	LED	Relay CH1 & Selenoid
1.	25 Juni - Pagi	3.9 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
2.	25 Juni - Sore	6.4 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
3.	26 Juni - Pagi	3.9 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
4.	26 Juni - Sore	3.8 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
5.	27 Juni - Pagi	3.3 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
6.	27 Juni - Sore	4.9 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
7.	28 Juni - Pagi	2.9 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
8.	28 Juni - Sore	3.2 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
9.	29 Juni - Pagi	2.8 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
10.	29 Juni - Sore	3.2 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
11.	30 Juni - Pagi	3.0 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
12.	30 Juni - Sore	3.0 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
13.	01 Juli - Pagi	2.7 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
14.	01 Juli - Sore	3.1 ppm	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif

Pengujian Respons Sensor Suhu (DHT22) pada Kondisi Operasional

Hasil analisis data pada Tabel 4 dibawah, menegaskan kinerja sensor DHT22 yang andal dalam memantau suhu ruangan. Terdapat perbedaan suhu yang signifikan antara pengukuran di sesi pagi (titik terendah 22,6°C) dengan saat aktivitas memasak mencapai puncaknya di siang hari (titik tertinggi 33,6°C). Peningkatan suhu sebesar 11°C ini menunjukkan adanya pengaruh panas dari kompor dan lingkungan sekitar. Meskipun demikian, suhu puncak 33,6°C tersebut masih berada di bawah ambang batas (*threshold*) bahaya yang telah ditetapkan, yaitu 40°C. Hal ini membuktikan bahwa algoritma *fuzzy logic* berfungsi dengan baik dan tidak memicu pengaktifan sistem proteksi sebelum waktunya.

Tabel 4. Hasil uji respons sensor suhu (DHT2)

Percobaan	Tanggal Percobaan	Suhu (°C)	Status Sistem	Buzzer	LED
1.	25 Juni - Pagi	26.8	Aman	Nonaktif	Nonaktif
2.	25 Juni - Sore	32.9	Aman	Nonaktif	Nonaktif
3.	26 Juni - Pagi	25.5	Aman	Nonaktif	Nonaktif
4.	26 Juni - Sore	33.0	Aman	Nonaktif	Nonaktif
5.	27 Juni - Pagi	31.9	Aman	Nonaktif	Nonaktif
6.	27 Juni - Sore	33.2	Aman	Nonaktif	Nonaktif
7.	28 Juni - Pagi	29.1	Aman	Nonaktif	Nonaktif
8.	28 Juni - Sore	33.6	Aman	Nonaktif	Nonaktif
9.	29 Juni - Pagi	31.0	Aman	Nonaktif	Nonaktif
10.	29 Juni - Sore	32.5	Aman	Nonaktif	Nonaktif
11.	30 Juni - Pagi	22.6	Aman	Nonaktif	Nonaktif
12.	30 Juni - Sore	32.1	Aman	Nonaktif	Nonaktif
13.	01 Juli - Pagi	22.7	Aman	Nonaktif	Nonaktif

14. | 01 Juli - Sore 31.9 Aman Nonaktif Nonaktif

Pengujian Respons Sensor Api (IR-Flame) pada Kondisi Operasional

Pengujian sensor IR-Flame pada Tabel 5 dibawah menunjukkan bahwa selama masa pemantauan operasional normal menunjukkan hasil yang sangat stabil. Sepanjang 14 sesi pengambilan data, sensor secara mutlak dan konsisten memberikan pembacaan nilai biner '0' (Tidak Terdeteksi). Sistem dengan tepat mempertahankan status pada kondisi 'Aman', sehingga aktuator peringatan seperti Buzzer dan LED, serta Relay Channel 2 (pemutus kelistrikan) tetap berada dalam keadaan nonaktif. Konsistensi pembacaan ini membuktikan bahwa sensor memiliki tingkat kekebalan yang sangat baik terhadap gangguan optik (*optical interference*), seperti pantulan cahaya matahari yang intens maupun radiasi cahaya dari nyala api kompor gas biasa saat dapur UMKM beroperasi. Dengan stabilitas ini, sistem terhindar dari tindakan pencegahan yang terlalu dini (pemutusan arus listrik yang tidak perlu), dan dipastikan hanya akan mengambil alih keputusan menjadi status 'Bahaya' ketika benar-benar mendeteksi pancaran inframerah dari insiden kebakaran yang nyata.

Tabel 5. Hasil uji respons sensor api (IR-Flame)

Percobaan	Tanggal Percobaan	Deteksi Api	Status Sistem	Buzzer	LED	Relay CH2 (instalasi listrik)
1.	25 Juni - Pagi	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
2.	25 Juni - Sore	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
3.	26 Juni - Pagi	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
4.	26 Juni - Sore	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
5..	27 Juni - Pagi	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
6.	27 Juni - Sore	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
7.	28 Juni - Pagi	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
8.	28 Juni - Sore	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
9.	29 Juni - Pagi	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
10.	29 Juni - Sore	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
11.	30 Juni - Pagi	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
12.	30 Juni - Sore	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
13.	01 Juli - Pagi	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif
14.	01 Juli - Sore	Tidak Terdeteksi (0)	Aman	Nonaktif	Nonaktif	Nonaktif

Kinerja Transmisi IoT (ThingSpeak dan Data Logger)

Integritas transmisi jarak jauh dievaluasi melalui arsitektur dashboard ThingSpeak yang memuat 6 parameter pengamatan (field) : Field 1 (Gauge & Grafik Konsentrasi Gas), Field 2 (Gauge & Grafik Suhu), Field 3 (Status Solenoid Valve), Field 4 (Status Sistem Aman/Bahaya), Field 5 (Status Peringatan Buzzer), dan Field 6 (Status Instalasi Listrik).

Proses pengiriman data dilakukan menggunakan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) dengan interval waktu setiap 15 detik. Pengujian menunjukkan bahwa data berhasil tersinkronisasi dengan lancar, dengan waktu tunda (latensi) antara 1 hingga 12 detik tergantung pada kestabilan jaringan internet lokal. Untuk mencegah hilangnya data akibat gangguan koneksi Wi-Fi di area dapur, mikrokontroler juga melakukan pencatatan data cadangan secara lokal. Modul Micro SD menyimpan seluruh data pembacaan sensor ke dalam file berformat .csv setiap 1 detik. Setiap data yang disimpan telah dilengkapi dengan penanda waktu (*timestamp*) yang akurat dari modul RTC DS3231. Penggabungan metode penyimpanan lokal dan pengiriman internet (*cloud*) ini terbukti efektif mencegah kehilangan data, sehingga menghasilkan riwayat catatan keselamatan yang utuh bagi UMKM.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan alat, penyusunan algoritma, dan serangkaian pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1.) Keandalan Sensor dan Algoritma *Fuzzy Logic* : Sensor MQ-2, DHT22, dan IR Flame mampu mendeteksi kondisi lingkungan dengan tingkat presisi yang tinggi. Algoritma *Fuzzy Logic* metode Mamdani berhasil memproses data sensor (suhu, gas, dan deteksi api) melalui 18 aturan (*rule base*) untuk menghasilkan keputusan yang akurat. Sistem ini terbukti andal, adaptif terhadap kondisi lingkungan dapur, dan berhasil beroperasi tanpa memicu peringatan palsu (*zero false-trigger*).
- 2.) Kinerja Sistem Proteksi Otomatis: Mekanisme perlindungan bekerja dengan sangat baik dengan tingkat keberhasilan 100%. Saat kondisi bahaya terdeteksi, ESP32 mampu merespons dalam waktu kurang dari 1 detik untuk memutuskan aliran listrik utama (melalui Relay Channel 2), menutup aliran gas pada solenoid valve (melalui Relay Channel 1), serta menyalakan *alarm* peringatan (Buzzer dan LED).
- 3.) Sistem Pemantauan (*Monitoring*) Berbasis IoT: Pemantauan jarak jauh menggunakan *platform* ThingSpeak berhasil menampilkan parameter keselamatan secara *real-time*. Dikombinasikan dengan penyimpanan data lokal melalui modul Micro SD, sistem ini mampu mengatasi kendala jaringan internet yang tidak stabil sehingga mencegah terjadinya kehilangan data selama proses pencatatan (*data logger*).

Untuk pengembangan sistem di masa mendatang, disarankan untuk menambahkan catu daya cadangan *Uninterruptible Power Supply* (UPS) agar alat tetap dapat beroperasi meskipun aliran listrik utama padam. Lalu di sarankan penambahan modem usb sebagai pengganti jaringan WI-FI ketika *lost connect* , Selain itu, penambahan fitur notifikasi

pesan instan (*push alert*) melalui aplikasi seperti Telegram atau WhatsApp sangat disarankan agar peringatan darurat dapat langsung diterima oleh telepon pintar pengelola.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan lancar. Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada Bapak Aditya Chandra Hermawan, S.ST., M.T., selaku dosen pembimbing, atas segala dedikasi waktu, ilmu, dan bimbingan konstruktif yang telah diberikan. Terima kasih juga ditujukan kepada segenap jajaran dosen, teknisi, dan sivitas akademika di lingkungan Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, atas segala fasilitas dan dukungan yang menunjang penyelesaian penelitian ini. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada saudara purwo adi waluyo sekeluarga selaku pihak pengelola UMKM makanan ringan di Desa Kedunglumpung Kabuupatn Jombang yang telah bersedia memfasilitasi tempat usahanya sebagai lokasi pengujian.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Alfianur, M. F., Arbansyah, A., & Sumadi, M. T. (2025). Design And Build Monitoring System Temperature And Ph Hydroponic Plants Based On Internet Of Things (IoT) Technology Using NodeMCU ESP-8266 Microcontroller. *JSE Journal of Science and Engineering*, 3(2), 101–109. <https://doi.org/10.30650/jse.v3i2.4166>.
- [2] Alvino Octaviano. (2023). Penerapan IoT untuk Atap Warung Kopi Melalui Telegram. *Scientia*. <http://pijarpemikiran.com/index.php/Scientia>.
- [3] Anggie Maulia, Naif Baihaqi, Nur Fajri Faiz, Muhammad Rizki, & Didik Aribowo. (2024). Simulasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Ruangan Menggunakan Arduino Uno dan DHT22 pada Wokwi. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 3(4), 200–213. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i4.4544>.
- [4] Ardiansyah, M., Hantoro, K., & Rasim. (2023). Implementasi Rule Based System Untuk Sistem Jadwal Pakan Ikan Komet Otomatis Berbasis Android. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 11(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v11i3.3243>.
- [5] Ardiyanto, T., Supriadi, C., & Priyadi. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring Deteksi Dini Kebakaran Ruang Server Berbasis IoT. <http://ejurnal.provisi.ac.id/index.php/JUI SI>.
- [6] Aulia, I., & Munasir, M. (2022). Rancang Bangun Alat Deteksi Kebocoran Gas LPG serta Penanggulangan Kebakaran Menggunakan Sensor MQ2 dan Sensor Api Berbasis IoT. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 306–312. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.3.306-312.2022>.
- [7] Budiman, T., Kurniawan, E., et al. (2023). Rancang Bangun Sistem Informasi Manajemen Proyek Pada PT ABC. *Jurnal Manajemen Informatika Jayakarta*, 3(2), 128–141. <https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v3i2.1137>.
- [8] Diantoro, K., Rahmadewi, R. (2020). Implementasi Sensor MQ 4 dan Sensor DHT 22 pada Sistem Kompos Pintar Berbasis IoT (SIKOMPI). Universitas Singaperbangsa Karawang.

- [9] Hanif Saputra. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Pencegah Kebakaran pada Dapur Berbasis Internet of Things (IoT).
- [10] Iqbal, M. (2025). Aplikasi Simulasi IoT Untuk Smart Sistem Monitoring dan Data Logging Real Time Sistem Peringatan Kebakaran. *Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak*, 6(1). <http://jurnal.bsi.ac.id/index.php/reputasi>.
- [11] Khakim, L., Afriliana, I., Nurohim, N., & Rakhman, A. (2022). Proteksi Kebocoran Gas LPG Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, 11(1), 40–47. <https://doi.org/10.34010/komputika.v11i1.4977>.
- [12] Kusuma, D. A., & Juliasari, N. (2024). Sistem Deteksi Kebocoran Gas LPG Dan Kebakaran Menggunakan MQ-2 dan ESP32 Berbasis IoT. *Jurnal Informatika Dan Sistem Informasi (JIFoSI)*, 5(3). <https://doi.org/10.33005/jifosi.v5i3.46>.
- [13] Kusumo, B., & Ardiansyah, T. (2024). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis Mikrokontroler ESP32. *Jurnal Elektro*, 12(1).
- [14] Made, I., Mahardika, G. W., et al. (n.d.). Penggunaan Sensor Suhu DHT 11 Buzzer dan Lampu LED Sebagai Pemantau Suhu Ruangan. *JMTI*, 14, 10–18. <https://doi.org/10.59819>.
- [15] Maulana, F., Widiyono, & Taryadi. (2025). Sistem Smart Home untuk Deteksi Potensi Kebakaran Berbasis Internet Of Things dengan Notifikasi WhatsApp. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 9(x), 2477–5126. <https://doi.org/10.30591/jpit.v9ix.xxx>.
- [16] Megawaty, D. A., & Putra, M. E. (2020). Aplikasi Monitoring Aktivitas Akademik Mahasiswa Berbasis Android. *JATIKA*, 1(1).
- [17] Muh Fadil Hamzah, Rinto Suppa, & Dasril. (2025). Sistem Monitoring Cairan Infus Berbasis Internet of Things. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5488>.
- [18] Muhammad Ainun Najib, Sulartopo, et al. (2024). Sistem Pendeteksi Bencana Kebakaran Menggunakan ESP32 Dan Arduino Berbasis WEB. *Neptunus: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 2(1), 15–24. <https://doi.org/10.61132/neptunus.v2i1.62>.
- [19] Popy Vitria Eviolina, Yudi Kristyawan, & Edi prihartono. (2025). Sistem Deteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis Arduino di Universitas Dr. Soetomo Surabaya. *Router : Jurnal Teknik Informatika Dan Terapan*, 3(2), 184–196. <https://doi.org/10.62951/router.v3i2.620>.
- [20] Rahayu, U. P., & Styawati, S. (2025). Rancang Bangun Sistem Monitoring Inkubator Telur Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Sensor DHT22 Dan Mikrokontroler ESP-32. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 5(7), 2117–2129. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.907>.
- [21] Rahman, B., Fernando, F., & Indriawan, N. (2022). Sistem Monitoring Kebocoran Gas Dan Api Menggunakan Sensor MQ-2 Dan Flame Sensor Berbasis Android. *Journal Sensi Online*, 8(2).
- [22] Rizki Dian Anugrah, Rayhan Nurrahman, et al. (2024). Perancangan Alat Monitoring Kebakaran Dan Kebocoran Gas Berbasis IoT. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Naratif*, 5(4), 398–408.
- [23] Satria, D. (2023). Sistem Peringatan Dini Kebakaran Dan Kebocoran Gas LPG Berbasis Notifikasi SMS Gateway. *JURNAL INFORMATIKA*, 2(2). <https://jurnal.uniraya.ac.id/index.php/JI>.
- [24] Selay, A., Andgha, G. D., et al. (2022). Internet of Things. *Karimah Tauhid*, 1.

- [25] Sintaro, S., Latumakulita, L. A., & Sabandar, V. P. (2025). Penerapan Rule-Based Expert System untuk Rekomendasi Umpan. *Jurnal Rekayasa Informasi SWDHARMA (JRIS)*, 5.
- [26] Susanto, F., Komang Prasiani, N., & Darmawan, P. (2022). Implementasi Internet of Things Dalam Kehidupan Sehari-hari. *Jurnal IMAGINE*, 2(1). <https://jurnal.std-bali.ac.id/index.php/imagine>.
- [27] Syahri, A., & Ulansari, R. (2022). Prototype Alat Pendeteksi Kebocoran Gas dan Api Dengan Menggunakan Sensor MQ2 dan Sensor Api Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Teknologi Informasi*, 8.
- [28] Tri, N. Van, Manh, L. H., & Trung, H. D. (2024). Design and Implementation of an IoT System for Indoor Measurement and Monitoring Fire and Gas Warning. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 6(2), 190–202. <https://doi.org/10.12928/biste.v6i2.11254>.
- [29] Nurrohim Oktaf Kharisma Harris Simaremare, et al. (2023). Autonomus Call System Berbasis ESP32 Untuk Peringatan Dini Kebakaran Rumah. *Jurnal Sistem Cerdas*.
- [30] Yerragudipadu subbarayudu, et al. (2024). An Efficient IoT-Based Novel Approach for Fire Detection Through Esp 32 Microcontroller. *MATEC Web of Conferences*, Volume 392.
- [31] Margaretha Panjaitan, D., Febriyanti Naibaho, V., & Amelia, A. (2021). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis NodeMCU ESP8266.
- [32] Maulana Algifanri. (2024). Penerapan Logika Fuzzy Sugeno Untuk Keputusan Kelayakan Kredit Bank. *JURNAL DESAIN DAN ANALISIS TEKNOLOGI (JDDAT)*, 3(1).
- [33] Fitriadi, D. R., al Tahtawi, A. R., et al. (2022). Sistem pencegahan dini kebakaran gedung menggunakan logika fuzzy dengan inferensi Mamdani berbasis IoT. *JITEL*, 2(2), 159–170. <https://doi.org/10.35313/jitel.v2.i2.2022.159-170>.
- [34] Azzahra Desviami E. (2025). Pengembangan Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis ESP32 Dengan Pendekatan Logika Fuzzy Mamdani.
- [35] Maulana Emir S. (2026). Sistem Deteksi Dini Kebocoran Gas Dan Kualitas Udara Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Dan Visualisasi ThingSpeak.