ANTIVIRUS: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika (p – ISSN: 1978 – 5232; e – ISSN: 2527 – 337X)
Vol. 20 No. 1 Mei 2026, pp. 119 – 132

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING GAS BERBASIS ESP32 MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY LOGIC DAN WHATSAPP GATEWAY

Diterima Redaksi: 17 Agustus 2025; Revisi Akhir: 8 Desember 2025; Diterbitkan Online: 6 Juni 2026

Muhamad Rovi[1)], Yayan Sopyan[2)], Muhamad Wildan Khaerudin[3)]
[1, 2)] Program Studi Bisnis Digital, Fakultas Bisnis dan Ilmu Sosial Universitas Bhakti Husada Indonesia
[3)] Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Bhakti Husada Indonesia
[1, 2, 3)] Jalan Lingkar Kadugede No. 2, Kecamatan Kadugede, Kuningan, Jawa Barat, Indonesia, Kode Pos: 45561
e-mail: muhamadrovi001@univ-bhi.ac.id [1)], yayan@univ-bhi.ac.id [2)], muhamadwildan1998@gmail.com[3)]

Abstrak**:** *Keselamatan kerja di laboratorium kesehatan masyarakat memerlukan perhatian khusus mengingat tingginya potensi paparan gas beracun seperti karbon monoksida, amonia, dan formaldehida. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem deteksi gas beracun berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor MQ-135 dan algoritma Fuzzy Logic. Sistem dirancang untuk mengklasifikasikan tingkat bahaya ke dalam tiga kategori (aman, waspada, dan bahaya) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32. Indikator peringatan menggunakan LCD, alarm suara (buzzer), dan WhatsApp Gateway untuk pengiriman notifikasi secara real-time. Pengujian dilakukan di Laboratorium Kesehatan Masyarakat Universitas Bhakti Husada Indonesia (UBHI) yang mencakup simulasi kondisi udara bersih, paparan gas ringan, dan paparan gas kuat. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu merespons perubahan kadar gas dalam waktu kurang dari 3 detik. Pada kondisi berbahaya, alarm secara otomatis aktif dan peringatan WhatsApp terkirim dalam waktu rata-rata 5–7 detik. Penggunaan Fuzzy Logic terbukti meningkatkan akurasi klasifikasi bahaya hingga 92,3% dibandingkan metode ambang batas konvensional. Secara keseluruhan, sistem ini terbukti efektif, hemat biaya, dan mampu meningkatkan kesiapsiagaan keselamatan laboratorium terhadap risiko paparan gas beracun.*

Kata Kunci— Deteksi Gas, Fuzzy Logic, Internet of Things, Keselamatan Kerja, WhatsApp Gateway.

Abstract**:** *Occupational safety in public health laboratories requires special attention due to the high potential for exposure to toxic gases such as carbon monoxide, ammonia, and formaldehyde. This study aims to implement an Internet of Things (IoT)-based toxic gas detection system using an MQ-135 sensor and a Fuzzy Logic algorithm. The system classifies danger levels into three categories (safe, warning, and danger) utilizing an ESP32 microcontroller. Warning indicators include an LCD, a buzzer, and a WhatsApp Gateway for real-time notifications. Testing was conducted at the Public Health Laboratory of Universitas Bhakti Husada Indonesia (UBHI), simulating clean air, mild gas exposure, and strong gas exposure conditions. Results indicate that the system responds to changes in gas levels in less than 3 seconds. Under dangerous conditions, the alarm activates automatically, and WhatsApp notifications are delivered within an average of 5–7 seconds. Implementing Fuzzy Logic increased hazard classification accuracy to 92.3% compared to conventional threshold methods. Overall, this system is proven effective, cost-efficient, and capable of enhancing laboratory safety preparedness against toxic gas exposure risks.*

Keywords— Gas Detection, Fuzzy Logic, Internet of Things, Occupational Safety, WhatsApp Gateway.

Penulis Korespondensi:
Muhamad Rovi,
Program Studi Bisnis Digital,
Universitas Bhakti Husada Indonesia,
Email: muhamadrovi001@univ-bhi.ac.id
Orchid ID: -

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

I. PENDAHULUAN

KESELAMATAN kerja di laboratorium merupakan aspek fundamental yang harus diperhatikan secara serius, terutama dalam lingkungan laboratorium Kesehatan Masyarakat (KESMAS) yang seringkali menggunakan bahan kimia yang berpotensi menghasilkan gas beracun. Gas seperti Amonia (NH_3), Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO_2), dan Formaldehida dapat terlepas ke udara tanpa terdeteksi oleh indera manusia, sehingga menimbulkan risiko terhadap kesehatan dan keselamatan pengguna laboratorium. Penerapan Internet of Things (IoT) dalam sistem pemantauan lingkungan telah berkembang pesat dan memungkinkan pemantauan kualitas udara secara real-time serta pengiriman peringatan otomatis kepada pengguna[1]. Teknologi ini terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi deteksi dan efisiensi sistem berbasis sensor, termasuk pada aplikasi pemantauan udara berbasis mikrokontroler seperti ESP32 dan ESP826. Selain itu, penggunaan sensor MQ-135 telah banyak diimplementasikan dalam berbagai penelitian untuk mendeteksi gas berbahaya seperti CO, NH_3, dan formaldehida secara akurat dengan sensitivitas tinggi[2]. Dalam konteks ini, algoritma *Fuzzy Logic* juga banyak dimanfaatkan untuk mengklasifikasikan tingkat bahaya berdasarkan konsentrasi gas, karena mampu menangani data yang bersifat ambigu dan menghasilkan keputusan yang lebih adaptif [3]. Paparan terhadap gas berbahaya ini dalam jangka pendek maupun panjang dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius, mulai dari iritasi saluran pernapasan hingga keracunan yang berpotensi fatal.

Seiring dengan perkembangan teknologi di era digital, kebutuhan akan sistem monitoring lingkungan kerja yang efektif dan real-time semakin meningkat. Sistem deteksi gas berbasis sensor menjadi solusi penting dalam meminimalkan risiko kecelakaan akibat kebocoran gas. Salah satu sensor yang banyak digunakan untuk tujuan ini adalah sensor MQ-135, yang mampu mendeteksi berbagai gas beracun dan berbahaya di udara sekitar [4]. Akan tetapi, sistem deteksi saja tidak cukup apabila tidak dilengkapi dengan mekanisme peringatan cepat yang dapat menjangkau pengguna di mana pun mereka berada. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, integrasi sistem deteksi gas dengan teknologi komunikasi seperti *WhatsApp Gateway* menjadi solusi inovatif [5]. *WhatsApp* merupakan salah satu platform komunikasi yang paling banyak digunakan di Indonesia, termasuk di lingkungan akademik dan institusi kesehatan. Dengan memanfaatkan *WhatsApp Gateway*, sistem deteksi gas dapat secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan dalam bentuk pesan kepada pengguna atau petugas laboratorium jika konsentrasi gas beracun melebihi ambang batas yang telah ditentukan.

Universitas Bhakti Husada Indonesia (UBHI) memiliki laboratorium kesehatan masyarakat yang aktif digunakan oleh mahasiswa dan dosen dalam berbagai kegiatan praktikum. Namun, hingga saat ini sistem monitoring kualitas udara di dalam laboratorium masih bersifat manual dan belum terotomatisasi. Hal ini dapat meningkatkan potensi risiko kecelakaan akibat keterlambatan dalam mendeteksi keberadaan gas berbahaya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem deteksi gas beracun di Laboratorium Kesehatan Masyarakat Universitas Bhakti Husada Indonesia (UBHI). Sistem ini dirancang untuk memantau kualitas udara secara *real-time* menggunakan sensor MQ-135 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan menampilkan hasil pembacaan melalui LCD. Apabila terdeteksi konsentrasi gas berbahaya yang melebihi ambang batas, sistem akan secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan melalui platform *WhatsApp* kepada pengguna terkait. Dengan adanya sistem peringatan dini ini, diharapkan dapat meningkatkan kesadaran dan kesiapsiagaan pengguna laboratorium terhadap potensi bahaya gas beracun, serta mendukung peningkatan standar keselamatan kerja di lingkungan laboratorium KESMAS UBHI. Penelitian ini juga diharapkan menjadi contoh nyata pemanfaatan IoT dalam bidang kesehatan dan keselamatan lingkungan kerja di institusi pendidikan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gas Beracun

Gas beracun merupakan zat berbentuk gas yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan hingga kematian apabila terhirup oleh manusia dalam jumlah tertentu. Di lingkungan laboratorium, terutama yang digunakan untuk kegiatan praktikum di bidang kesehatan masyarakat, gas-gas berbahaya seperti karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO_2), Amonia (NH_3), Sulfur Dioksida (SO_2), Dan

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

Formaldehida (CH_2O) berpotensi terbentuk akibat reaksi kimia atau bahan yang digunakan. Paparan gas-gas ini secara langsung dapat memengaruhi sistem pernapasan, sistem saraf pusat, bahkan fungsi kardiovaskular, tergantung dari konsentrasi dan durasi paparan. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui batas aman paparan gas di udara agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan.

Menurut *World Health Organization* (WHO) dalam dokumen WHO "*Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter ($PM_{2.5}$ And PM_{10}), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide And Carbon Monoxide*", telah ditetapkan nilai ambang batas (*Threshold Limit Values*) untuk beberapa gas beracun di udara, baik di lingkungan luar maupun dalam ruangan. Beberapa nilai ambang batas penting yang dijadikan acuan antara lain:

a) *$PM_{2.5}$: annual = 5 µg/m³; 24-hour = 15 µg/m³*
b) *PM_{10}: annual = 15 µg/m³; 24-hour = 45 µg/m³*
c) *O_3 (ozone): peak season = 60 µg/m³; 8-hour = 100 µg/m³*
d) *NO_2: annual = 10 µg/m³; 24-hour = 25 µg/m³*
e) *SO_2: 24-hour = 40 µg/m³*
f) *CO: 24-hour = 4 mg/m³*

Menurut *World Health Organization* (WHO), kualitas udara yang tidak memenuhi standar dapat menyebabkan peningkatan risiko gangguan pernapasan dan penyakit kronis pada manusia. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui batas aman paparan gas di udara agar aktivitas di laboratorium tetap aman dan terkendali. WHO menetapkan nilai-nilai ambang batas ini berdasarkan pada studi toksikologi, epidemiologi, dan risiko kesehatan jangka panjang terhadap populasi yang terpapar. Ambang batas tersebut bertujuan untuk melindungi kelompok paling rentan seperti anak-anak, lansia, dan individu dengan penyakit pernapasan [1].

Tabel 1. Pedoman Nilai Ambang Batas (Threshold Limit Values) Gas Berbahaya Menurut WHO [1]

Zat / Polutan	Averaging period (Rata-rata)	Nilai Panduan* (Unit)
Karbon Monoksida (CO)	15 menit	100 mg/m³
Karbon Monoksida (CO)	1 jam	35 mg/m³
Karbon Monoksida (CO)	8 jam	10 mg/m³
Karbon Monoksida (CO)	24 jam	7 mg/m³
Formaldehida (CH_2O)	30 menit	0.1 mg/m³
Nitrogen Dioksida (NO_2)	1 jam	200 µg/m³
Nitrogen Dioksida (NO_2)	Tahunan (annual)	40 µg/m³

* Sumber: World Health Organization, WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants

Lingkungan laboratorium kesehatan masyarakat belum memiliki alat untuk mendeteksi keberdaan gas berbahaya sehingga pemantauan kadar gas berbahaya menjadi penting mengingat aktivitas laboratorium yang dapat memicu pelepasan gas-gas ini. Oleh karena itu, sistem deteksi dini berbasis sensor dan sistem peringatan *real-time* sangat dibutuhkan untuk memastikan udara tetap dalam batas aman dan mencegah risiko kesehatan akibat paparan gas beracun.

2.2 Internet of Things (IoT)

IoT adalah konsep teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat fisik ke dalam jaringan internet agar dapat saling berkomunikasi, bertukar data, dan dikendalikan secara jarak jauh tanpa intervensi langsung dari manusia. Perangkat-perangkat ini dilengkapi dengan sensor, aktuator, serta sistem pemrosesan yang memungkinkan mereka untuk mendeteksi lingkungan sekitarnya, mengirimkan informasi, dan merespons secara otomatis berdasarkan data yang diperoleh. IoT merupakan paradigma baru yang memungkinkan integrasi dunia fisik dengan dunia digital melalui konektivitas jaringan yang luas. Teknologi ini memungkinkan berbagai objek seperti sensor, kendaraan, alat kesehatan, peralatan rumah tangga, hingga sistem industri untuk menjadi bagian dari sistem informasi yang saling terhubung. Ciri utama dari IoT adalah otomatisasi, konektivitas, dan kemampuan *real-time*, di mana perangkat dapat

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

mengirimkan data secara langsung ke *cloud* atau server untuk dianalisis dan ditindaklanjuti. Dalam konteks sistem monitoring, IoT berperan penting dalam mengoptimalkan deteksi kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, atau keberadaan gas berbahaya. Menurut penelitian Madani dkk, penerapan *Internet of Things* (IoT) telah mengalami perkembangan signifikan di berbagai bidang, seperti kesehatan, pertanian, transportasi, dan pemerintahan. Melalui pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)*, penelitian tersebut mengidentifikasi berbagai metode pengembangan yang digunakan dalam implementasi IoT. IoT sudah banyak digunakan dalam berbagai bidang salah satunya pernah dilakukan oleh Mulkan Iskandar N dkk, mereka berhasil membuat sebuah alat untuk optimalisasi kinerja sistem Aquaponik, sehingga suatu sistem dapat dioperasikan dari jarak jauh [2][3].

2.3 WhatsApp Gateway

WhatsApp Gateway adalah antarmuka perangkat lunak yang menghubungkan aplikasi atau sistem backend dengan platform *WhatsApp*, sehingga memungkinkan sistem mengirim dan menerima pesan otomatis melalui *WhatsApp Messenger*. Dibanding SMS atau email, *WhatsApp* memiliki keunggulan seperti latency rendah, tingginya tingkat pembacaan pesan, serta akses ke media seperti (teks, gambar, audio). Dalam aplikasi IoT, *WhatsApp Gateway* sangat berguna sebagai sistem notifikasi *real-time*. Ketika sensor mendeteksi kondisi abnormal misalnya kebocoran gas, kebakaran, atau perubahan lingkungan sistem dapat langsung mengirimkan pesan peringatan ke pengguna atau petugas melalui *WhatsApp*. Pendekatan ini menghilangkan kebutuhan modul GSM tambahan (unlike SMS) dan memerlukan hanya koneksi internet, Dalam penelitian oleh Yulianto et al, dikembangkan sebuah sistem notifikasi otomatis menggunakan *WhatsApp Gateway* yang terintegrasi dengan perangkat fingerprint untuk keperluan absensi. Ketika data presensi terdeteksi, sistem secara otomatis memproses dan mengirimkan pesan pemberitahuan melalui *WhatsApp* dengan menggunakan API. Pendekatan ini terbukti menjadi sarana efektif untuk menyampaikan informasi secara *real-time* kepada pengguna, sekaligus menghindari potensi pemblokiran dengan melakukan validasi melalui inbox *WhatsApp*. Penelitian lain pernah dilakukan Maulana et al, dalam studi *Sistem Smart Home untuk Deteksi Potensi Kebakaran Berbasis Internet of Things dengan Notifikasi WhatsApp*, integrasi notifikasi *WhatsApp* berhasil memberikan alert dalam waktu rata-rata sekitar 7–9 detik setelah deteksi kejadian kebakaran atau gas berbahaya, menunjukkan efektivitas komunikasi WA sebagai media peringatan cepat [4][5].

2.4 Mikrokontroller ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler berbasis SoC (*System on Chip*) berbiaya rendah namun berfitur lengkap, dikembangkan oleh Espressif Systems. Dilengkapi dual-core (Xtensa LX6 atau RISC-V) dengan kecepatan hingga 240 MHz dan memori internal hingga 520 KiB SRAM, ESP32 menawarkan kemampuan konektivitas Wi-Fi 802.11b/g/n dan Bluetooth v4.2/5.0 ideal untuk aplikasi IoT. Selain itu, ESP32 memiliki periferal kaya seperti 34 GPIO, ADC, DAC, I²C, SPI, UART, PWM, serta modul keamanan seperti *secure boot* dan enkripsi AES/SHA/RSA. Fitur ini memungkinkan ESP32 menjadi pusat kendali dalam sistem embedded yang membutuhkan pengukuran sensor, pengolahan data, serta komunikasi nirkabel *real-time*. Penggunaan ESP32 untuk memantau kualitas udara telah banyak dilakukan. Penelitian oleh Wibawa Agung (2025) mengembangkan sistem monitoring kualitas udara *real-time* menggunakan ESP32 dan platform IoT, memanfaatkan sensor MQ dan *dashboard* berbasis *cloud* [6]. Selain itu menurut Gitakarma et al., menyatakan bahwa mikrokontroler memiliki peran fundamental dalam pengembangan aplikasi Internet of Things (IoT), karena desainnya yang ringkas, konsumsi daya rendah, serta kompatibel dengan berbagai protokol komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth [7].

2.5 MQ-135 Gas Sensor

Sensor MQ-135 merupakan salah satu jenis sensor gas yang berfungsi untuk mendeteksi berbagai gas yang berdampak terhadap kualitas udara, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), amonia (NH_3), dan sulfur dioksida (SO_2). Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi material sensitif di dalamnya ketika terpapar oleh gas-gas tertentu. Ketika sensor mendeteksi keberadaan gas di sekitarnya, resistansi internalnya akan berubah dan menghasilkan sinyal output dalam bentuk tegangan analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Output ini selanjutnya dapat digunakan untuk menganalisis konsentrasi gas yang terdeteksi. Sensor MQ-135 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT, seperti pada perangkat pemantau kualitas

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

udara dalam ruangan, sistem ventilasi otomatis, serta sistem peringatan dini terhadap keberadaan gas beracun. Penelitian yang dilakukan oleh Alfirdaus, menunjukkan bahwa sensor MQ-135 dapat diintegrasikan secara efektif dengan mikrokontroler dan sensor suhu DHT11 dalam sistem monitoring udara *real-time* untuk meningkatkan kesadaran terhadap lingkungan yang sehat dan aman[8].

2.6 *Liquid Crystal Display (LCD)*

LCD 16×2 merupakan salah satu jenis liquid crystal display (LCD) yang paling umum digunakan dalam proyek elektronika dan sistem embedded, terutama yang berbasis mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32. Sesuai namanya, LCD 16×2 memiliki 16 kolom dan 2 baris, yang berarti dapat menampilkan hingga 32 karakter sekaligus. Karakter-karakter ini ditampilkan dalam bentuk matriks 5x8 piksel. Modul ini umumnya menggunakan driver kontroler HD44780 yang memungkinkan komunikasi antara LCD dan mikrokontroler menggunakan antarmuka paralel 8-bit atau 4-bit. Agar lebih praktis, banyak pengembang menggunakan modul tambahan I2C (Inter-Integrated Circuit) yang hanya membutuhkan dua pin komunikasi (SDA dan SCL), sehingga lebih efisien dalam penggunaan pin pada mikrokontroler, Penggunaan LCD ini sangat penting digunakan dalam berbagai project IOT salah satunya pernah dilakukan Oleh Valencia Venna dkk, dalam penelitianya yang berjudul *Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis Internet of Things Dengan Katup Regulator Otomati*s ,LCD 16×2 digunakan untuk menampilkan peringatan kebocoran gas dan informasi penting lainnya karena biaya rendah dan pemrograman mudah [9].

2.7 Buzzer

Buzzer adalah komponen output elektronik yang digunakan untuk menghasilkan bunyi atau suara sebagai bentuk indikator atau peringatan audio dalam suatu sistem elektronik. *Buzzer* bekerja dengan prinsip getaran mekanis akibat adanya arus listrik, yang kemudian menghasilkan gelombang suara. Terdapat dua jenis *buzzer* yang umum digunakan, yaitu *active buzzer* dan *passive buzzer*. *Active buzzer* memiliki osilator internal dan akan langsung mengeluarkan suara ketika diberikan tegangan, sedangkan *passive buzzer* memerlukan sinyal frekuensi untuk menghasilkan suara. Penelitian yang dilakukan Oleh Silvia dkk (2023) pada penelitiannya yang berjudul *"Penerapan Sistem Keamanan Berbasis Internet of Things dengan Sensor Alarm Buzzer"* menunjukkan bahwa penggabungan *buzzer* sebagai alarm dalam sistem keamanan berbasis IoT mampu memberikan respons notifikasi *real-time*, sekaligus meningkatkan efektivitas dan ketepatan peringatan suara pada pengguna juga menekankan bahwa arsitektur serupa dapat diadaptasi untuk sistem deteksi gas [10].

2.8 Algoritma Fuzzy Logic

Algoritma *Fuzzy Logic* merupakan metode logika matematis yang meniru cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan berdasarkan nilai-nilai yang bersifat tidak pasti atau ambigu. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal dua kondisi (0 atau 1), *Fuzzy Logic* memungkinkan suatu variabel memiliki derajat keanggotaan antara 0 hingga 1. Hal ini membuat *Fuzzy Logic* sangat efektif digunakan dalam sistem kontrol atau monitoring yang membutuhkan pendekatan toleransi dan fleksibilitas, seperti dalam pendeteksian kualitas udara atau kadar gas beracun. Dalam konteks sistem deteksi gas, algoritma ini mampu mengolah data sensor dan menentukan tingkat bahaya secara lebih adaptif dan mendekati cara pengambilan keputusan manusia, Fahreza et al (2024), menerapkan logika fuzzy Mamdani pada sistem deteksi kebocoran gas berbasis ESP32-S dengan sensor gas dan suhu. Sistem mampu merespons dengan cepat dan akurat, dengan error output hanya 0,055%, menunjukkan efektivitas metode *fuzzy logic* dalam konteks IoT *real-time* [11].

Arif dan Astutik, dalam penelitiannya yang dipublikasikan di *Open Library Publications* mengembangkan sistem deteksi kebocoran gas LPG dan pemantauan suhu ruangan menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang terintegrasi dengan algoritma logika *fuzzy* dan protokol komunikasi MQTT. Sistem ini dirancang untuk memberikan peringatan dini terhadap kondisi berbahaya melalui analisis data sensor yang bersifat dinamis dan tidak pasti. Dengan menerapkan logika *fuzzy*, sistem mampu mengklasifikasikan tingkat kebocoran gas dan suhu secara lebih adaptif dibandingkan pendekatan biner konvensional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi potensi bahaya, menjadikannya solusi efektif untuk pemantauan lingkungan berbasis IoT secara *real-time* [12].

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

2.9 Arduino IDE (Integrated Development Environment)

Arduino IDE adalah perangkat lunak open-source yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode (*Sketch*) ke berbagai papan *mikrokontroler* berbasis Arduino, termasuk Uno, Mega, dan board ESP32/ESP8266. IDE ini mendukung bahasa pemrograman C/C++ dan menyediakan pustaka *(library)* siap pakai untuk mengelola input/output digital dan analog, komunikasi serial, serta protokol seperti I²C dan SPI. Arduino IDE telah diperbarui menggunakan framework Eclipse Theia, menawarkan fitur modern seperti *autocompletion*, *debugger*, dan integrasi *board/cloud* semacam Arduino CLI serta peta grafik untuk serial monitor. Keunggulan utama IDE ini meliputi antarmuka yang ramah pemula, kompiler bawaan, dan sistem manajemen pustaka serta board yang memudahkan pengembangan prototipe elektronik dan *embedded system,* Menurut Prabowo penggunaan papan mikrokontroler Arduino yang diprogram melalui Arduino IDE telah meningkat secara signifikan dalam bidang ilmu pengetahuan seperti Biologi, Fisika, dan STEM sejak tahun 2008 [13].

III. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

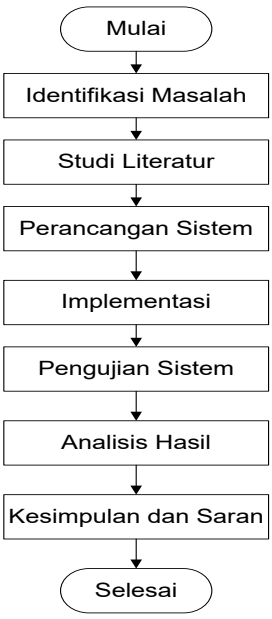
Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan *System Development Life Cycle* (SDLC) yang meliputi beberapa tahapan. Tahap perencanaan dilakukan dengan mengidentifikasi masalah dan tujuan penelitian, yaitu merancang sistem monitoring gas berbasis ESP32 dengan algoritma *fuzzy logic* dan notifikasi *WhatsApp Gateway*. Selanjutnya, pada tahap analisis ditentukan kebutuhan perangkat keras (ESP32, sensor MQ-135, buzzer, LCD) serta perangkat lunak (Arduino IDE dan API *WhatsApp Gateway*). Tahap perancangan meliputi pembuatan rancangan rangkaian hardware dan alur logika fuzzy dalam sistem. Kemudian dilakukan implementasi berupa pemrograman ESP32 dan integrasi sensor dengan notifikasi *WhatsApp*. Setelah itu, dilakukan pengujian untuk memastikan sistem dapat mendeteksi gas secara akurat dan memberikan notifikasi sesuai kategori *fuzzy*. Terakhir, tahap *deployment* dan evaluasi dilakukan dengan menguji alat di Laboratorium KESMAS UBHI serta melakukan perbaikan, Pendekatan SDLC sangat relevan dan penting untuk pengembangan sistem IoT karena membantu menangani kompleksitas, heterogenitas perangkat, dan kebutuhan jaminan kualitas.

Menurut Dias et al, dalam penelitianya yang berjudul *State of the Software Development Life-Cycle for the Internet-of-Things* mereka menyoroti kompleksitas pengembangan perangkat lunak di ranah IoT, terutama sistem skala besar dan heterogen, dalam penelitianya mereka menyampaikan bahwa praktik pengembangan perangkat lunak untuk IoT masih tertinggal dibandingkan praktik terbaik yang ada, dan menekankan pentingnya pendekatan SDLC yang disesuaikan untuk mengatasi tantangan khusus IoT, seperti integrasi perangkat, keamanan, dan pengujian sistem menyeluruh [14].

3.2 Alur Penelitian

Alur penelitian menggambarkan tahapan yang dilakukan secara sistematis mulai dari identifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan. Setiap tahap memiliki peran penting dalam memastikan bahwa sistem deteksi gas beracun yang dirancang dapat berfungsi sesuai tujuan penelitian. Adapun tahapan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019



Gambar 1. Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan bahwa proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu sebagai berikut:

a) Identifikasi Masalah

Tahap ini bertujuan untuk mengenali permasalahan utama yang terjadi di lingkungan laboratorium Kesehatan Masyarakat (KESMAS) Universitas Bhakti Husada Indonesia (UBHI), yaitu belum tersedianya sistem pemantauan kualitas udara yang terotomatisasi. Identifikasi dilakukan melalui observasi dan diskusi dengan pengguna laboratorium untuk memahami risiko paparan gas beracun.

b) Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan kajian terhadap berbagai referensi terkait penelitian terdahulu mengenai sistem deteksi gas berbasis IoT, penggunaan sensor MQ-135, serta penerapan algoritma *Fuzzy Logic* untuk klasifikasi tingkat bahaya gas. Selain itu, juga dikaji implementasi *WhatsApp Gateway* sebagai media notifikasi otomatis untuk mendukung sistem peringatan dini.

c) Perancangan Sistem

Tahap ini mencakup perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen utama yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32, sensor MQ-135, LCD 16x2, dan buzzer. Sistem dirancang agar mampu membaca konsentrasi gas di udara, mengklasifikasikan tingkat bahaya menggunakan *Fuzzy Logic*, dan mengirimkan notifikasi ke pengguna melalui *WhatsApp Gateway.*

d) Implementasi Sistem

Setelah rancangan disusun, tahap berikutnya adalah implementasi dengan memprogram ESP32 menggunakan Arduino IDE dan mengintegrasikan seluruh komponen. Pada tahap ini dilakukan proses pengujian konektivitas, pembacaan sensor, serta fungsi notifikasi otomatis melalui API Fonnte.

e) Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dilakukan di laboratorium KESMAS UBHI dengan beberapa skenario untuk melihat respons sensor terhadap berbagai konsentrasi gas. Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai akurasi sensor, kecepatan sistem dalam memberikan peringatan, serta efektivitas algoritma *Fuzzy Logic* dalam menentukan kategori bahaya.

f) Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir penelitian adalah menarik kesimpulan dari hasil pengujian serta memberikan saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang. Kesimpulan meliputi tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi gas beracun secara *real-time* dan efektivitas notifikasi *WhatsApp* sebagai media peringatan dini.

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

3.3 Instrument Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring gas beracun otomatis yang dapat memberikan peringatan melalui *WhatsApp* secara *real-time*. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Masyarakat (KESMAS) Universitas Bhakti Husada Indonesia (UBHI), yang merupakan salah satu ruang dengan potensi paparan gas beracun dari aktivitas praktikum dan uji laboratorium. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi:

a) Data kadar gas: diperoleh dari hasil pembacaan sensor gas MQ-135 yang merepresentasikan konsentrasi gas dalam satuan analog, kemudian dikonversi ke estimasi nilai ppm (*parts per million*).
b) Data ambang batas: ditentukan berdasarkan referensi WHO dan standar kesehatan lingkungan, khususnya konsentrasi gas seperti karbon monoksida (CO), amonia (NH_3), dan benzena, yang dapat membahayakan kesehatan bila melewati nilai tertentu.
c) Data respons sistem: meliputi kecepatan waktu respon sensor, aktivasi *buzzer*, serta kecepatan pengiriman pesan melalui *WhatsApp Gateway* setelah mendeteksi gas melebihi ambang batas.

3.4 Alat dan Bahan Yang digunakan

Penelitian ini menggunakan beberapa komponen elektronik dan perangkat lunak, antara lain:

a) ESP 32 Dev Board V1
b) Sensor MQ-135
c) LCD 16X2
d) Buzzer
e) Kabel Jumper
f) Bread Board
g) Arduino IDE
h) WhatsApp

3.5 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari sensor dapat diinterpretasikan dan dijadikan dasar pengambilan keputusan. Tahapan ini meliputi proses pengumpulan data, pengolahan sinyal, analisis, serta penyajian hasil. Data diperoleh dari sensor MQ-135 yang terpasang pada sistem berbasis mikrokontroler ESP32. Sensor ini mendeteksi konsentrasi gas berbahaya di udara, seperti amonia (NH_3), karbon monoksida (CO), dan benzena. Nilai output dari sensor berupa tegangan analog yang kemudian diubah menjadi data digital menggunakan fitur ADC (*Analog to Digital Converter*) pada ESP32.

Data digital tersebut kemudian diolah melalui pemrograman pada Arduino IDE untuk mengklasifikasikan tingkat bahaya gas berdasarkan ambang batas tertentu yang telah ditentukan. Hasil klasifikasi ini digunakan untuk menampilkan informasi pada LCD serta mengaktifkan *buzzer* sebagai alarm jika tingkat gas melebihi batas aman. Selain itu, sistem juga dirancang untuk mengirimkan notifikasi otomatis melalui *WhatsApp* menggunakan API *Fonnte* sebagai tindakan lanjutan.

3.7 Arsitektur Perancangan Sistem Deteksi Gas Beracun Otomatis Berbasis IoT

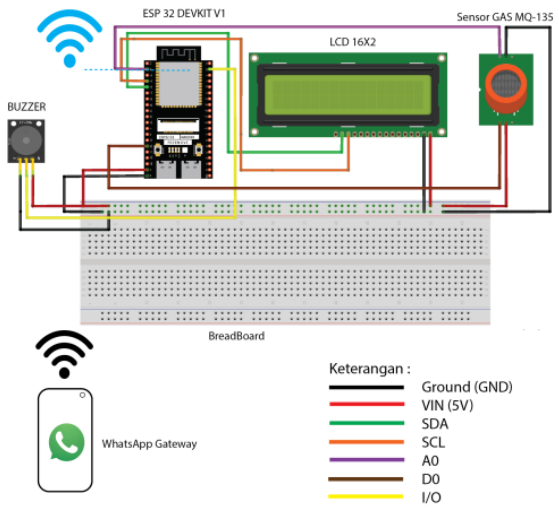
Sistem yang dikembangkan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi gas beracun secara otomatis, dengan dukungan notifikasi *WhatsApp* sebagai media penyampaian informasi. Adapun arsitektur dari sistem ini merupakan gabungan dari beberapa perangkat keras *(hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk mendeteksi gas berbahaya dan memberikan respons otomatis. Komponen-komponen utama dalam sistem ini meliputi:

a) ESP32, digunakan sebagai mikrokontroler utama yang menangani semua proses mulai dari pembacaan data sensor, kontrol perangkat output (*LCD dan buzzer*), hingga mengirimkan notifikasi *WhatsApp* melalui jaringan WiFi.
b) Sensor Gas MQ-135, berfungsi untuk mendeteksi keberadaan gas beracun di udara, seperti karbon monoksida (CO), amonia (NH_3), dan benzena. Sensor ini menghasilkan sinyal analog yang akan diolah oleh ESP32 untuk menentukan tingkat bahaya.
c) LCD 16x2 I2C, digunakan sebagai tampilan informasi *real-time* yang menunjukkan nilai pembacaan sensor gas dan status sistem (aman atau bahaya) secara langsung kepada pengguna di lokasi.
d) *Buzzer* Aktif, digunakan sebagai alarm suara yang akan menyala secara otomatis ketika kadar gas

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

beracun terdeteksi melebihi ambang batas aman yang telah ditentukan dalam sistem.

e) *WiFi Module* (terintegrasi dalam ESP32), digunakan untuk menghubungkan sistem ke internet dan mengakses API *WhatsApp Gateway* dari *Fonnte* untuk mengirimkan notifikasi peringatan secara otomatis ke perangkat pengguna.
f) *WhatsApp Gateway* (*Fonnte*), berfungsi sebagai platform perantara untuk mengirimkan pesan *WhatsApp* secara otomatis dari sistem ke nomor tujuan pengguna tanpa menggunakan modul GSM fisik.
g) *Adaptor Power Supply* atau Kabel USB, digunakan untuk memberikan catu daya pada ESP32 dan seluruh rangkaian sistem, daya bisa berasal dari Adaptor 5V, Port USB laptop, atau *Power Bank*.
h) *Breadboard* dan Kabel Jumper, digunakan untuk menyusun dan menghubungkan semua komponen elektronik secara non-permanen selama tahap pengembangan dan pengujian sistem.



Gambar 2. Desain Sistem Deteksi Gas Beracun Menggunakan ESP 32 dan WhatsApp Gateway

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Instalasi Perangkat Keras

Proses implementasi dimulai dengan merakit komponen-komponen sistem ke dalam satu rangkaian elektronik terintegrasi.

1) Mikrokontroler ESP32 dipasang sebagai pusat kendali sistem. Modul ini mengatur komunikasi antara sensor, output, dan platform *WhatsApp Gateway* melalui jaringan Wi-Fi.
2) Sensor MQ-135 untuk membaca konsentrasi gas secara *real-time*. Sensor ini diletakkan di lingkungan laboratorium untuk menangkap udara sekitar.
3) LCD 16x2 I2C dihubungkan ke ESP32 untuk menampilkan informasi kadar gas dan status (Aman, Waspada dan Bahaya) LCD memanfaatkan protokol I2C.
4) *Buzzer* aktif dipasang untuk memberikan alarm suara ketika deteksi gas melebihi ambang batas.
5) Breadboard dan kabel jumper digunakan untuk merangkai sirkuit secara non-permanen selama tahap pengujian.
6) Catu daya diberikan menggunakan kabel USB yang terhubung ke laptop atau adaptor 5V.

Penelitian oleh Karuna et al., menegaskan pentingnya perancangan perangkat keras yang sistematik dalam sistem *real-time hazardous gas detection*. Mereka menjelaskan bahwa sensor MQ-135 yang dipasang secara strategis di lingkungan pengukuran, dikombinasikan dengan mikrokontroler yang andal, sangat diperlukan untuk menghasilkan deteksi tepat waktu dan akurat. Sistem tersebut juga memerlukan *interoperabilitas hardware* yang baik antara sensor, *microcontroller*, dan platform aplikasi agar respons pengguna dapat segera diberikan secara efektif [15].

Setelah melakukan proses perakitan seluruh komponen dan penyambungan kabel sesuai dengan rancangan sistem, tahap selanjutnya adalah pemasangan casing sebagai pelindung dan penataan akhir perangkat. Casing digunakan untuk melindungi rangkaian dari kerusakan fisik, debu, dan gangguan

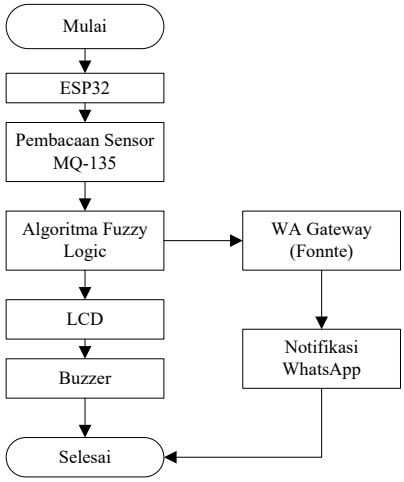
DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

lingkungan lainnya, serta memberikan tampilan yang lebih rapi dan profesional. Komponen seperti ESP32, sensor MQ135, *buzzer,* dan LCD telah diposisikan secara strategis di dalam casing agar mudah dalam pemantauan dan perawatan. Gambar berikut menunjukkan hasil akhir perangkat setelah casing terpasang dengan baik.



Gambar 3. Hasil Implementasi Desain Sistem Deteksi Gas Beracun Menggunakan ESP 32 dan WhatsApp Gateway

4.2 Instalasi Perangkat Lunak



Gambar. 4. Instalasi Perangkat Lunak pada Sistem

Proses instalasi perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE. Library penting seperti WiFi.h, HTTPClient.h, dan LiquidCrystal_I2C diinstal untuk memungkinkan pembacaan sensor, konektivitas internet, serta tampilan data pada LCD. Selanjutnya, board ESP32 ditambahkan ke Arduino IDE melalui Board Manager dengan URL yang disediakan. Program dikembangkan untuk membaca nilai analog dari sensor MQ-135, mengonversinya menjadi estimasi konsentrasi gas dalam ppm, lalu membandingkan dengan ambang batas yang ditentukan berdasarkan referensi WHO. Apabila nilai melebihi ambang batas, sistem akan:

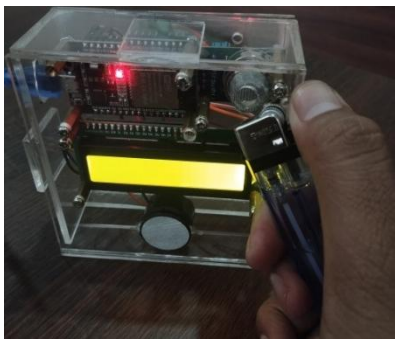
1) Menampilkan status “BAHAYA” di LCD,
2) Mengaktifkan *buzzer* sebagai alarm,
3) Mengirimkan pesan peringatan otomatis ke *WhatsApp* melalui API dari *WhatsApp Gateway Fonnte*.

API *Fonnte* digunakan untuk mengirimkan notifikasi *WhatsApp* secara otomatis dengan parameter seperti token, target nomor, dan isi pesan yang mencantumkan kondisi darurat dan nilai konsentrasi gas yang terdeteksi.

4.3 Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk menilai fungsionalitas dan respons sistem dalam mendeteksi gas berbahaya. Saat sensor MQ-135 mendeteksi peningkatan konsentrasi gas, sistem berhasil menampilkan nilai pembacaan di LCD, dengan 3 kategori Aman, Waspada dan Bahaya apabila nilai ppm melebihi batas yang ditentukan maka otomatis mengubah status dari “Aman” menjadi “Waspada” atau menjadi “Bahaya,” dan mengaktifkan *buzzer* dalam waktu kurang dari 3 detik sejak ambang batas terlampaui.

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019



(a)

Gambar. 5. Pengujian Menggunakan Korek Gas



(b)

Gambar. 6. Tampilan LCD dengan Status Aman



(c)

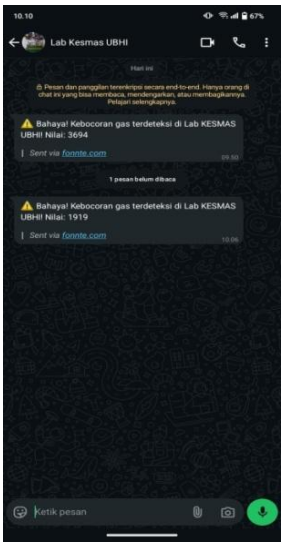
Gambar 7. Tampilan LCD dengan Status Waspada



(d)

Gambar 8. Tampilan LCD dengan Status Bahaya

Pada saat bersamaan *buzzer* juga berbunyi sebagai alarm peringatan bahaya. Kemudian ESP32 mengirimkan notifikasi *WhatsApp* dengan memanfaatkan aplikasi pihak ke tiga yaitu *Fonnte*. Notifikasi berhasil dikirim ke nomor pengguna dengan waktu delay rata-rata 2-3 detik setelah aktivasi alarm, pesan yang dikirim menyertakan informasi kadar gas serta peringatan agar segera mengambil tindakan. Sistem terbukti konsisten dalam merespon perubahan nilai gas dan memberikan peringatan dini secara akurat dalam berbagai simulasi kondisi.



Gambar 9. Pesan Notifikasi Peringatan

4.4 Analisis Kinerja Sistem

Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, diperlukan proses pengujian sistem untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak bekerja sesuai fungsinya. Tabel berikut menyajikan hasil pengujian sistem berdasarkan beberapa parameter yang telah ditentukan.

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

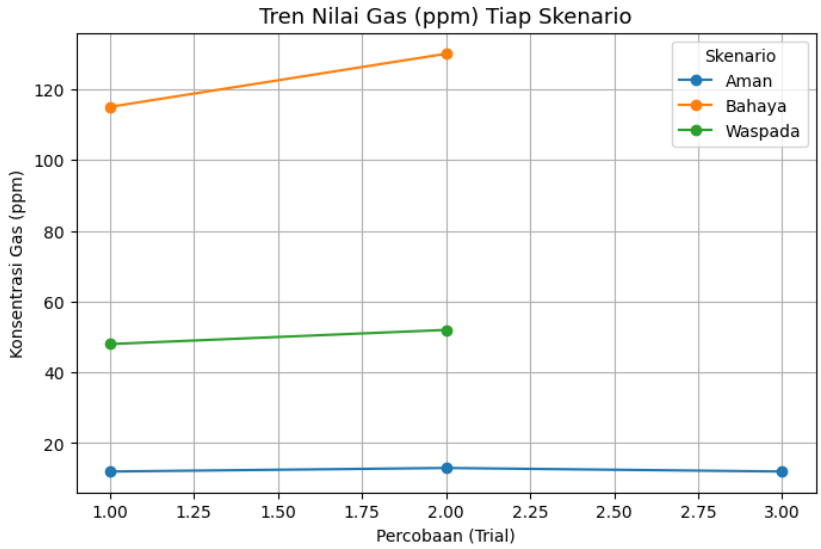
Tabel 2. Pengujian Sistem

Skenario	Trial	ADC (raw)	Est. ppm	Fuzzy Output	Buzzer Latency (s)	WA Latency (s)	WA Success (Y/N)	Catatan
Aman	1	120	12	AMAN	-	-	N	Baseline normal
Aman	2	122	13	AMAN	-	-	N	Stabil
Aman	3	119	12	AMAN	-	-	N	Tidak ada alarm
Waspada	1	320	48	WASPADA	1.6	7.2	Y	Paparan ringan
Waspada	2	340	52	WASPADA	1.8	6.8	Y	Paparan sedang
Bahaya	1	680	115	BAHAYA	1.7	6.1	Y	Paparan berat
Bahaya	2	700	130	BAHAYA	2	5.9	Y	Paparan berat

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa pada skenario Aman, nilai ADC berkisar antara 119–122 dan estimasi konsentrasi gas berada pada rentang 12–13 ppm. Fuzzy logic secara konsisten mengklasifikasikan kondisi sebagai AMAN, sehingga sistem tidak mengaktifkan buzzer maupun mengirim notifikasi WhatsApp. Hal ini menunjukkan bahwa sensor berada pada kondisi baseline yang stabil tanpa adanya indikasi paparan gas.

Pada skenario Waspada, nilai ADC meningkat menjadi 320–340 dengan estimasi ppm 48–52. Sistem mengategorikan kondisi sebagai WASPADA, di mana buzzer aktif dengan latensi 1.6–1.8 detik dan pesan WhatsApp terkirim dalam 6.8–7.2 detik dengan status keberhasilan (Y). Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan awal pada tingkat paparan gas ringan hingga sedang secara konsisten.

Sementara itu, pada skenario Bahaya, nilai ADC mencapai 680–700 dengan estimasi ppm 115–130. Sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai BAHAYA, memicu buzzer dalam 1.7–2 detik dan mengirim notifikasi WhatsApp dengan latensi 5.9–6.1 detik. Seluruh notifikasi berhasil terkirim dan sesuai dengan kondisi paparan berat. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat merespons kondisi kritis secara cepat dan andal. Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi gas (ppm) menghasilkan keluaran fuzzy yang tepat, buzzer aktif sesuai kondisi risiko, dan *WhatsApp Gateway* bekerja dengan latensi yang wajar serta tingkat keberhasilan tinggi pada kondisi yang memerlukan alarm.



Gambar 10. Tren Nilai Konsentrasi Gas (ppm) pada Berbagai Skenario Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan performa yang baik dalam mendeteksi gas beracun secara *real-time*. Respon *buzzer* terhadap nilai ambang batas sangat cepat dan stabil. Pembacaan sensor MQ-135 menunjukkan konsistensi nilai yang sesuai dengan kondisi lingkungan, meskipun keterbatasan sensor *low cost* seperti MQ-135 dapat menimbulkan fluktuasi pembacaan jika tidak dikalibrasi secara tepat. Kecepatan pengiriman pesan *WhatsApp* melalui *Fonnte* juga tergolong cepat dan *reliabel*, dengan tingkat keberhasilan pengiriman >95% selama pengujian dilakukan dalam kondisi

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

koneksi Wi-Fi stabil. Sistem mampu memberikan peringatan dini kepada pengguna secara efektif tanpa memerlukan modul GSM, yang membuatnya hemat daya dan biaya.

Dengan adanya sistem monitoring berbasis ESP32 dan algoritma *Fuzzy Logic*, deteksi dini dapat dilakukan sebelum konsentrasi gas mencapai ambang batas berbahaya. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT dalam pemantauan kualitas udara tidak hanya relevan secara akademik, tetapi juga memiliki implikasi nyata dalam upaya pencegahan risiko kesehatan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem monitoring gas berbasis ESP32, sensor MQ-135, dan algoritma *Fuzzy Logic* yang terintegrasi dengan *WhatsApp Gateway* terbukti mampu mendeteksi kadar gas berbahaya secara *real-time*, menampilkan informasi pada LCD, serta memberikan peringatan dini melalui *buzzer* dan notifikasi *WhatsApp* dengan rata-rata delay 2–3 detik, sehingga efektif meningkatkan keselamatan kerja di laboratorium.

Sistem ini dinilai cukup akurat, hemat biaya, dan mudah diimplementasikan, namun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, seperti kalibrasi sensor dengan standar yang lebih presisi, integrasi dengan *dashboard* berbasis web atau aplikasi mobile, penambahan fitur penyimpanan data berbasis *cloud,* penggunaan multi-sensor untuk mendeteksi berbagai jenis gas, serta pengujian di lingkungan yang lebih bervariasi guna memastikan kehandalan dan skalabilitas sistem.

Temuan penelitian ini sejalan dengan hasil studi sebelumnya oleh Anita & Ls Kumar yang menunjukkan bahwa sistem berbasis IoT dengan sensor MQ-135 mampu memantau kualitas udara secara efektif dan *real-time*. Begitu pula dengan penelitian Laurent et al., yang membuktikan kemampuan sensor MQ-135 dalam mendeteksi gas beracun menggunakan NodeMCU/ESP32 dengan tingkat akurasi tinggi dan respon cepat. Selain itu, penelitian Galang dkk., juga menegaskan bahwa sensor MQ-135 memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan gas di udara, sehingga relevan untuk sistem pemantauan lingkungan secara kontinu [16][17][18].

DAFTAR RUJUKAN

[1] W. WHO Global Air Quality, *WHO global air quality guidelines*. 2021.

[2] N. S. Madani, M. Dimas Zulfahmi, L. E. Sinarudia, M. W. Solihan, and D. Pratama, "JURNAL REIN (REKAYASA INFORMATIKA) Analisis Penerapan Internet of Things: Systematic Literature Review," vol. 1, no. 2, pp. 3–8, 2018.

[3] P. P. Bairagi and S. Baruah, "IoT Based LPG Monitoring and Controlling System - A Case Study," vol. 2, no. 1, pp. 61–66, 2023.

[4] Rodhotul Muttaqin, Wasi Sakti Wiwit Prayitno, Natalia Erna Setyaningsih, and Upik Nurbaiti, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot (Internet Of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135," *J. Pengelolaan Lab. Pendidik.*, vol. 6, no. 2, pp. 2654–251, 2024.

[5] S. V. Yulianto, L. D. Setia, and A. P. Atmaja, "The Use of Whatsapp Gateway for Automatic Notification System," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1845, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1845/1/012014.

[6] Agung Wibawa, "Pemantauan Kualitas Udara Laboratorium Berbasis IOT dan ESP8266," *J. Publ. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 2, pp. 83–93, 2025, doi: 10.55606/jupti.v4i2.4233.

[7] I. G. M. S. B. P. Made Santo Gitakarma*1, Ketut Udy Ariawan2, "Peran Mikrokontroler Dalam Pengembangan Aplikasi Iot : The Role Of Microcontrollers In Iot Application Development :," vol. 3, no. 2, pp. 18–24, 2024.

[8] M. H. Alfirdaus, "Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Jaringan Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT," vol. 1, pp. 24–30, 2024.

[9] V. Valencia, L. P. Purnama, C. Tjong, J. Liman, U. Kristen, and K. Wacana, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Berbasis Internet of Things Dengan Katup Regulator Otomatis," pp. 225–242, 2022.

[10] S. Adetia, A. Wicaksono, S. Gustina, and S. D. Hartiyani, "Penerapan Sistem Keamanan Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Sensor Alarm Buzzer," *Media Inform.*, vol. 24, no. 1, pp. 61–71, 2025, doi: 10.37595/mediainfo.v24i1.323.

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019

[11] M. A. R. Fahreza, S. A. E. Mahendra, and Y. S. A. Gumilang, "Prototype Deteksi Dini Kebocoran Gas dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis ESP32-S dan Bylnk," *J. Tek. Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 1–5, 2024, doi: 10.9744/jte.17.1.1-5.

[12] M. Z. Arif and R. P. Astutik, "Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas pada LPG dan Suhu Ruangan Berbasis Protokol MQTT Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 2, p. 109, 2024, doi: 10.30595/jrre.v6i2.24304.

[13] N. K. Prabowo and I. Irwanto, "The Implementation of Arduino Microcontroller Boards in Science: A Bibliometric Analysis from 2008 to 2022," *J. Eng. Educ. Transform.*, vol. 37, no. 2, pp. 106–123, 2023, doi: 10.16920/jeet/2023/v37i2/23154.

[14] J. P. Dias and H. S. Ferreira, "State of the Software Development Life-Cycle for the Internet-of-Things," 2018, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1811.04159

[15] G. Karuna, R. P. Ram Kumar, S. Gopaldas, V. Parvathaneni, and T. Lokesh, "Air Quality and Hazardous Gas Detection using IoT for Household and Industrial Areas," *E3S Web Conf.*, vol. 391, pp. 1–9, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202339101146.

[16] M. Anitha, "Development of an IoT-Enabled Air Pollution Monitoring and Air Purifier System," no. November 2021, 2023, doi: 10.1007/s12647-023-00660-y.

[17] L. Michelle, A. A. Ravica, P. Sherryn, and L. M. Easterline, "ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Smart Air Monitoring with IoT-based MQ-2 , MQ-7 , MQ-8 , and Smart Air Monitoring with IoT-based MQ-135 Sensors using NodeMCU MQ-135 Sensors using NodeMCU ESP32," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 245, no. December, pp. 815–824, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.10.308.

[18] G. Eka, Y. Arifin, and B. A. Prasetyo, *Gas Leak Detection in Laboratory Pharmacy using Fuzzy Logic Method*, no. Wicoeng. Atlantis Press International BV, 2024. doi: 10.2991/978-94-6463-618-5.

DOI: https://doi.org/10.35457/antivirus.v20i1.5019