

MONITORING DAN SELF-DIAGNOSTIC KUALITAS UDARA DAN AIR CONDITIONER MOBIL MENGGUNAKAN ARDUINO UNO

Arjuna David Bellino Gani, Jusia Amanda Ginting

Teknik Informatika, Universitas Bunda Mulia
Jl. Lodan Raya Ancol No. 2, Jakarta Utara, Indonesia
S32220032@student.ubm.ac.id

ABSTRAK

Kualitas udara di dalam kabin kendaraan merupakan isu kesehatan krusial yang sering terabaikan akibat kurangnya sistem perawatan penyejuk udara (*Air Conditioner*) secara proaktif. Akumulasi polutan dan kegagalan komponen AC dapat menurunkan konsentrasi pengemudi serta memicu gangguan pernapasan. Penelitian ini bertujuan merancang prototipe *self-diagnostic* AC mobil berbasis Arduino Uno untuk memonitor parameter kabin secara *real-time* yang mencakup suhu, kelembapan, Kualitas Udara (CO₂) dan Karbon Monoksida (CO). Metodologi penelitian yang digunakan adalah *Prototyping* dengan mengintegrasikan sensor DHT22, MQ-135, dan MQ-7. Sistem mengimplementasikan mesin inferensi *Rule-Based* dengan Algoritma *Worst-Case Scenario* yang secara cerdas memprioritaskan indikator keselamatan paling kritis sebagai dasar diagnosis akhir, memastikan peringatan bahaya gas beracun didahulukan di atas parameter kenyamanan termal. Validasi prototipe dilakukan melalui 10 studi kasus lapangan pada berbagai unit kendaraan operasional. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem berhasil memvalidasi *baseline* kendaraan sehat tanpa adanya *false positive* serta mampu mendeteksi secara akurat anomali ganda, seperti fenomena evaporator beku hingga kebocoran polusi internal secara bersamaan. Kesimpulannya, prototipe ini efektif dalam mentransformasi data sensor yang kompleks menjadi rekomendasi perawatan yang preventif, tegas, dan komunikatif bagi pengguna kendaraan guna memitigasi risiko kesehatan selama perjalanan.

Kata kunci : *Arduino Uno, Diagnosis AC, Kualitas Udara, Logika Fuzzy, Self-Diagnostic*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kualitas hidup dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia memberikan dampak signifikan terhadap tingginya mobilitas masyarakat serta peningkatan jumlah kendaraan pribadi [1]. Di kota besar seperti Jakarta, buruknya kualitas udara eksternal memaksa masyarakat untuk menghabiskan lebih banyak waktu berlindung di dalam kabin mobil. [2]. Namun, kabin mobil itu sendiri menjadi berisiko menjadi sumber polusi internal yang berbahaya bagi kesehatan jika tidak dipantau dengan baik [3]. Karakteristik iklim tropis Indonesia yang lembap menjadikan sistem penyejuk udara (*Air Conditioner*) sebagai tempat ideal bagi pertumbuhan jamur, bakteri, serta akumulasi partikel berbahaya, terutama pada komponen filter dan evaporator yang jarang mendapatkan perawatan [4]. Dampak kesehatan dari penurunan kualitas udara kabin ini telah menjadi perhatian serius dalam studi kesehatan pengemudi modern [5]. Selain aspek polusi, kondisi suhu AC yang tidak ideal juga terbukti memengaruhi kenyamanan fisik dan tingkat konsentrasi pengguna saat berkendara [6].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan sensor biaya rendah saat ini membuka peluang besar untuk pengembangan sistem pemantauan kualitas udara secara mandiri [7]. Berbagai penelitian terdahulu telah menerapkan penggunaan sensor gas untuk *monitoring* polusi udara secara umum [8], atau berfokus pada deteksi gas spesifik seperti Karbon

Monoksida [9] dan Karbondioksida [10]. Meskipun demikian, terdapat kesenjangan dalam mengintegrasikan sensor-sensor tersebut kedalam sebuah sistem diagnosis *on-board* kendaraan yang terpadu. Kebanyakan implementasi mikrokontroler Arduinosaat ini masih bersifat parsial, seperti pada aplikasi keamanan rumah [11] atau sistem deteksi kebakaran [12]. Hingga saat ini, belum banyak pengembangan yang mengintegrasikan logika diagnosis performa fisik komponen AC dengan monitoring kesehatan udara dalam satu perangkat kompak yang cerdas.

Menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan prototipe *self-diagnostic* AC mobil berbasis Arduino Uno yang integratif. Sistem ini menerapkan algoritma kecerdasan sederhana yaitu logika *fuzzy* dengan pendekatan *worst-case scenario* yang efisien untuk diproses oleh mikrokontroler [13]. Kebaruan dari sistem ini tertelak pada kemampuannya untuk memprioritaskan indikator keselamatan paling kritis sebagai dasar penentuan diagnosis akhir secara otomatis. Tujuan utamanya adalah memvalidasi akurasi sistem dalam memberikan rekomendasi perawatan yang tegas dan instruktif kepada pengguna berdasarkan data *real-time* dari sensor. Dengan pendekatan ini, diharapkan pengguna dapat melakukan tindakan preventif yang tepat sebelum terjadi kerusakan fatal pada sistem AC atau penurunan kualitas udara yang membahayakan kesehatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kualitas udara di dalam kabin kendaraan (*in-vehicle air quality*) merupakan isu kesehatan yang signifikan, terutama di daerah tropis. Ogundiran dkk. dalam tinjauan sistematisnya menyoroti bahwa konsentrasi polutan seperti CO, VOCs, dan PM2.5 di dalam kabin seringkali melebihi ambang batas aman, di mana sistem ventilasi dan filtrasi AC memegang peranan krusial dalam memitigasi risiko tersebut [3]. Masalah ini diperparah oleh kondisi fisik komponen AC itu sendiri. Penelitian oleh Jurkowska dan Tabernacka membuktikan bahwa filter AC mobil yang telah lama digunakan menjadi tempat berkembang biaknya bakteri dan jamur, yang justru dapat menjadi sumber kontaminasi udara sekunder di dalam kabin [4].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring untuk mengatasi masalah polusi udara. Herlambang dan Kristiyono berhasil merancang detektor gas Karbon Monoksida (CO) menggunakan sensor MQ-7 yang terintegrasi dengan mikrokontroler untuk memberikan peringatan dini [9]. Di sisi lain, Taufiq dkk. mengembangkan sistem monitoring polusi udara umum berbasis sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas CO₂ dan CO [8]. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya berjalan secara terpisah atau hanya berfokus pada monitoring lingkungan tanpa memberikan diagnosis spesifik mengenai kondisi kesehatan komponen AC kendaraan.

Penelitian ini mengusulkan pendekatan integratif dengan menggabungkan sensor gas (MQ-135 dan MQ-7) serta sensor termal (DHT22) untuk melakukan diagnosis mandiri (*self-diagnostic*). Untuk menangani ketidakpastian data sensor dalam menentukan kondisi AC, digunakan metode Logika Fuzzy. Kim dkk. menunjukkan bahwa metode ini efektif untuk manajemen filter dan reduksi VOCs pada fasilitas industri [14]. Dalam penelitian ini, algoritma Fuzzy dirancang dengan pendekatan Skenario Terburuk (*Worst-Case Scenario*) untuk memprioritaskan indikator keselamatan paling kritis sebagai dasar penentuan diagnosis akhir dan rekomendasi perawatan.

2.1. Logika Fuzzy dan Worst-Case Scenario

Penelitian ini menerapkan metode Logika Fuzzy untuk mengatasi ketidakpastian data sensor dalam menentukan kondisi kesehatan AC mobil. Berbeda dengan logika biner konvensional, logika fuzzy memetakan nilai input yang bersifat samar menjadi derajat keanggotaan, sebuah pendekatan yang terbukti efektif dalam sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT [14], [15]. Secara spesifik, sistem ini mengadopsi pendekatan Worst-Case Scenario pada basis aturannya. Algoritma ini dirancang untuk memprioritaskan indikator keselamatan yang paling kritis sebagai dasar penentuan diagnosis akhir.

Sebagaimana dijelaskan dalam persamaan (1), sistem akan membandingkan tingkat risiko dari input suhu, kelembapan, dan kualitas udara secara *real-time*, lalu mengambil nilai kondisi tertinggi (terburuk) sebagai output diagnosis:

LevelDiagnosis

$$= \text{MAX} (\text{LevelSuhu}, \text{LevelLembap}, \text{LevelPolusi}) \quad (1)$$

Pendekatan ini dipilih untuk memastikan sistem selalu memprioritaskan keselamatan penumpang di atas indikator kenyamanan, misalnya ketika terdeteksi kebocoran gas buang meskipun suhu kabin terasa nyaman. Metode inferensi ini sejalan dengan penelitian Khalif dan Muis yang menggunakan logika berbasis aturan (*rule-based*) untuk optimasi kontrol kondisi AC [16].

2.2. Parameter Deteksi Kualitas Udara

Sistem menggunakan integrasi sensor MQ-135 dan MQ-7 untuk mendeteksi polutan spesifik di dalam kabin. Sensor MQ-135 berfungsi sebagai “hidung elektronik” yang sensitif terhadap gas amonia (NH₃), benzena, dan Karbon dioksida (CO₂) yang merepresentasikan kebersihan umum sirkulasi udara AC [8], [17] sementara itu, sensor MQ-7 digunakan secara spesifik untuk mendeteksi gas Karbon Monoksida (CO) yang bersifat toksik dan tidak berbau [9], [10]. Karakteristik lapisan pendeteksi sensor ini sangat reaktif terhadap CO yang dihasilkan dari pembakaran mesin tidak sempurna, sehingga berfungsi sebagai fitur keselamatan vital untuk peringatan kebocoran gas buang ke dalam kabin. Data dari kedua sensor ini dikombinasikan dengan pembacaan termal dari sensor DHT22 yang memiliki stabilitas tinggi dalam mengukur suhu dan kelembapan evaporator [18], untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi fisik komponen AC.

2.3. Standar Indeks Kualitas Udara (AQI)

Dalam menentukan ambang batas diagnosis kondisi udara kabin, penelitian ini mengacu pada standar Air Quality Index (AQI) yang mengkonversi data konsentrasi polutan menjadi kategori kualitatif. Parameter utama yang menjadi acuan adalah konsentrasi gas (CO) dan (CO₂). Mengacu pada standar kesehatan lingkungan, akumulasi gas CO dalam ruang tertutup dianggap berbahaya jika melebihi ambang batas tertentu karena sifatnya yang tidak berbau namun mematikan [19]. Sementara itu, standar kenyamanan dan kelembapan relatif juga diadopsi untuk menentukan efektivitas kinerja evaporator dalam proses dehumidifying udara kabin. Klasifikasi level pada sistem fuzzy yang diusulkan (Tabel 1) disusun berdasarkan adaptasi dari standar-standar tersebut untuk konteks lingkungan mikro kendaraan.

Tabel 1. Parameter Klasifikasi Logika Fuzzy

Variabel Input	Kategori Linguistik (Level)	Rentang Nilai
Suhu (T)	Sangat Dingin (Level 0)	< 12°C
	Dingin - Sejuk	12°C - 24°C
	Panas	> 24°C
Kelembapan (H)	Kering / Normal (Level 0)	< 60%
	Lembab	60% - 80%
	Basah (Anomali)	> 80%
Kualitas Udara (CO ₂ & VOC)	Baik (Level 0)	< 400 PPM
	Sedang	400 - 800 PPM
	Buruk (Bahaya)	> 800 PPM

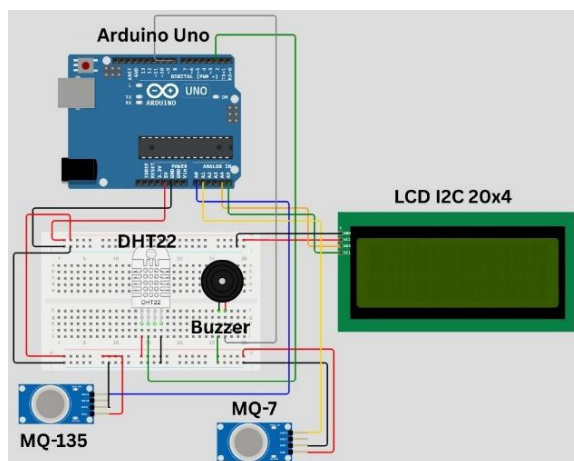
3. METODE PENELITIAN

3.1. Alur Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode Prototyping sebagai kerangka kerja utama pengembangan sistem. Metode ini dipilih karena karakteristiknya yang iteratif, memungkinkan evaluasi dan perbaikan fungsi sistem secara langsung pada setiap tahapannya. Tahapan penelitian ini dimulai dari identifikasi kebutuhan (*Communication*), Perancangan cepat (*Quick Plan*), Pembangunan prototipe (*Construction*), hingga evaluasi dan umpan balik pengguna (*Deployment & Feedback*). Pendekatan ini memastikan bahwa fitur diagnosis yang dikembangkan, khususnya respons sensor terhadap anomali udara, dapat divalidasi secara fisik di lingkungan kabin mobil yang sesungguhnya.

3.2. Perancangan Perangkat Keras

Arsitektur sistem dibangun berbasis mikrokontroler Arduino Uno sebagai unit pemrosesan pusat. Sistem mengintegrasikan tiga sensor utama: sensor DHT22 untuk akuisisi data suhu dan kelembapan, serta sensor gas MQ-135 dan MQ-7 untuk mendeteksi parameter kualitas udara (CO₂ dan CO). catu daya sistem bersumber dari *lighter port* kendaraan (12V) yang diturunkan tegangannya menjadi 5V stabil menggunakan modul regulator DC-DC untuk menjamin stabilitas pembacaan sensor analog.



Gambar 1. Skema rangkaian perangkat keras sistem

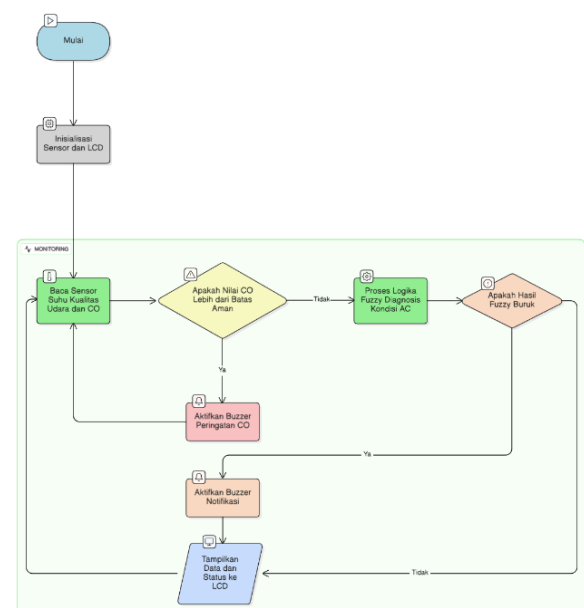
Diagram blok sistem dirancang dengan konsep *Single-Input Single-Output* (SISO) yang diproses secara paralel, di mana data dari ketiga sensor diproses oleh mesin inferensi untuk menghasilkan dua bentuk keluaran: (1) Informasi visual pada layar LCD 20x4 untuk notifikasi *real-time*, dan (2) Peringatan auditori melalui *buzzer* jika terdeteksi kondisi bahaya.

3.3. Perancangan Logika dan Skenario Pengujian

Logika diagnosis diimplementasikan menggunakan bahasa C++ pada Arduino IDE. Sistem tidak menggunakan matriks aturan IF-THEN konvensional yang statis, melainkan menerapkan algoritma komparasi *real-time* untuk mencari nilai risiko tertinggi (*max-value*) dan setiap variabel input. Pengujian fungsionalitas dan validitas algoritma dilakukan melalui studi lapangan (*field testing*) pada unit kendaraan langsung. Skenario pengujian dibagi menjadi tiga kategori kondisi operasional untuk menguji respons sistem: (1) Kondisi *Baseline* pada kendaraan sehat, (2) Skenario Anomali Performa (simulasi evaporator *icing*), dan (3) Skenario Anomali Kualitas Udara (paparan polusi eksternal dan internal). Keberhasilan sistem diukur berdasarkan ketepatan diagnosis yang dihasilkan dibandingkan dengan kondisi fisik aktual kendaraan.

3.4. Diagram Alur Proses

Untuk memperjelas mekanisme kerja sistem, dirancang diagram alur (*flowchart*) yang menggambarkan urutan eksekusi program dari inisialisasi hingga diagnosis akhir. Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2, proses dimulai dengan inisialisasi sensor dan LCD untuk memastikan seluruh komponen siap beroperasi.



Gambar 2. Diagram alur logika monitoring dan diagnosis sistem

Sistem beroperasi dalam siklus looping utama yang terdiri dari tiga tahapan kritis. Pertama, tahap Akuisisi Data, di mana mikrokontroler membaca data mentah dari sensor suhu, kelembapan, kualitas udara (CO₂) dan karbon monoksida (CO). kedua, tahap pengecekan keselamatan, di mana sistem memprioritaskan pembacaan sensor MQ-7. Jika terdeteksi kadar gas CO melebihi ambang batas bahaya, sistem akan melakukan bypass terhadap proses diagnosis AC dan langsung memicu alarm darurat untuk mencegah keracunan pengemudi.

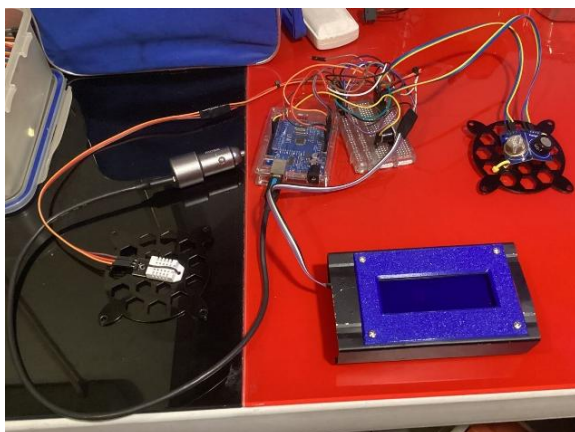
Ketiga, jika kondisi aman, sistem masuk ke tahap Diagnosis Fuzzy. Data sensor dipetakan ke derajat keanggotaan dan dievaluasi menggunakan basis aturan *Worst-Case*. Hasilnya berupa output antarmuka pada LCD yang menampilkan status kondisi secara *real-time* dan saran perbaikan spesifik jika ditemukan anomali.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Prototipe

Sistem yang dirancang telah berhasil diimplementasikan ke dalam bentuk prototipe fisik yang kompak dan portabel. Unit pemrosesan utama menggunakan Arduino Uno yang ditempatkan dalam casing akrilik, terhubung dengan modul sensor yang dipasang pada *holder* khusus untuk memastikan sirkulasi udara yang optimal di sekitar sensor gas MQ-135 dan MQ-7, dan sensor DHT22.

Antarmuka pengguna direalisasikan menggunakan LCD 20x4 yang menampilkan empat baris informasi krusial: (1) Parameter Termal (Suhu dan Kelembapan), (2) Konsentrasi Gas (CO₂ dan CO), (3) Status Kualitas Udara, dan (4) Rekomendasi Perbaikan Spesifik. Prototipe ini ditenagai langsung dari *lighter port* kendaraan (12V) yang dikonversi menjadi 5V stabil, memungkinkan diuji pada berbagai jenis mobil tanpa instalasi permanen.



Gambar 3. Implementasi perangkat keras prototipe

4.2. Analisis Skenario Pengujian Lapangan.

Pengujian lapangan dilakukan terhadap 10 unit kendaraan dengan kondisi operasional yang beragam untuk memvalidasi akurasi logika Fuzzy *Worst-Case*. Berikut adalah analisis mendalam terhadap tiga

skenario kunci yang mewakili spektrum diagnosis sistem.

a. Skenario *Baseline* (Kendaraan Sehat)

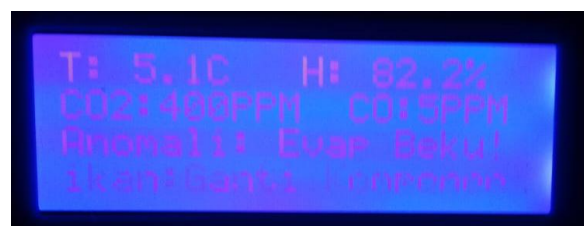
Pengujian dilakukan pada unit Toyota Fortuner (2024) untuk memvalidasi respons sistem pada kondisi ideal. Data sensor menunjukkan suhu 11.9C (Level 0), kelembapan 59.4% (Level 0), dan kadar CO₂ 410PPM (Level 0). Logika fuzzy berhasil memproses input ini dan menghasilkan diagnosis “Performa Optimal”. Hal ini memvalidasi bahwa sistem tidak menghasilkan alarm palsu (*false positive*) pada kendaraan dengan sistem AC yang sehat.



Gambar 4. Tampilan diagnosis pada kondisi sehat (*baseline*)

b. Skenario Anomali Performa (*Evaporator Icing*)

Pada pengujian unit Mitsubishi Xpander (2024), terdeteksi fenomena di mana suhu terukur sangat rendah (5.1C), namun kelembapan melonjak ekstrem hingga 82.2%. kondisi kontradiktif ini (“Dingin tapi Basah”) adalah gejala fisik dari evaporator *icing* (pembekuan). Sistem berhasil mendeteksi anomali ini, di mana logika *worst-case* mengambil level kelembapan tertinggi (Level 4/5) sebagai acuan dan menampilkan saran perbaikan “Cek Evap” atau “Evap Beku” pada layar.



Gambar 5. Deteksi pembekuan evaporator

c. Skenario Anomali Ganda (Kendaraan Operasional Tinggi)

Pengujian *stress-test* dilakukan pada armada taksi online (Toyota Avanza G 2019) dengan jam terbang tinggi. Sistem mendeteksi kegagalan majemuk: kelembapan tinggi mencapai 84.2% (indikasi evaporator jenuh) dan kadar CO₂ mencapai 1524PPM serta CO 32PPM (indikasi kebocoran polusi internal). Logika diagnosis merespons tingkat keparahan ini dengan menghasilkan output prioritas tertinggi (Level 5), yaitu rekomendasi “Ganti Komponen”. Kasus ini membuktikan efektivitas sistem dalam

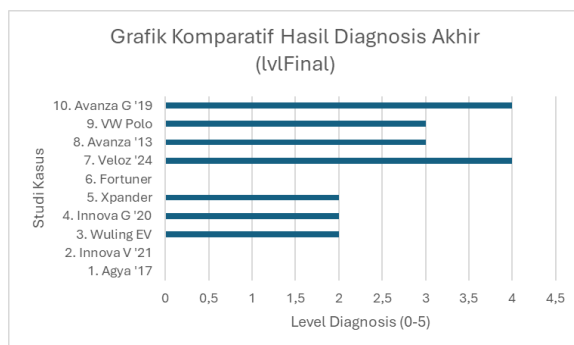
memprioritaskan keselamatan pada kondisi kerusakan parah.



Gambar 6. Deteksi anomali kerusakan parah

4.3. Evaluasi Logika Fuzzy

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 10 unit kendaraan dengan kondisi operasional yang berbeda, dilakukan analisis komparatif untuk memvalidasi konsistensi logika *Worst-Case Scenario* yang diterapkan. Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 7, sistem menunjukkan pola polarisasi yang jelas dalam memetakan kondisi kesehatan kendaraan.



Gambar 7. Grafik perbandingan level diagnosis akhir

Grafik diatas memperlihatkan polarisasi yang jelas antara kendaraan sehat dan bermasalah. Pada studi kasus 6, grafik melonjak ke titik terendah (Level 0/Performa Optimal), memvalidasi ketiadaan *false alarm*. Sebaliknya grafik melonjak ke titik puncak (Level 4/5) pada studi kasus 7 dan 10. Hal ini berkorelasi dengan temuan fisik di lapangan, di mana kedua kendaraan tersebut mengalami anomali ganda (kelembapan tinggi > 84% dan paparan CO2 > 1200PPM).

Kemampuan sistem dalam membedakan tingkat keparahan masalah juga terlihat pada Studi kasus 4 dan 9 (Level 3), yang dipicu oleh faktor tunggal polusi udara, berbeda dengan studi kasus 3 dan 5 (Level 2) yang dipicu oleh faktor tunggal performa evaporator. Pola grafik ini menegaskan bahwa algoritma *Worst-Case* berhasil memetakan prioritas perbaikan secara akurat tanpa intervensi manual.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan prototipe *self-diagnostic* AC mobil berbasis Arduino Uno dengan algoritma *Worst-Case Scenario* yang terbukti akurat dalam mendeteksi

anomali kabin. Berdasarkan hasil evaluasi mendalam terhadap 10 studi kasus lapangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa poin utama: Keandalan Deteksi Kondisi Rill: sistem berhasil memvalidasi kondisi *baseline* pada kendaraan sehat (seperti Agya, Innova V, Fortuner) dengan nilai diagnosis Level 0, yang membuktikan bahwa algoritma tidak menghasilkan *false alarm* pada sistem AC yang optimal. Akurasi Diagnosis Anomali: pengujian menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi anomali spesifik, mulai dari masalah performa termal tunggal seperti evaporator beku pada Xpander (Level 2), hingga masalah kualitas udara tunggal pada Avanza 2013 dan VW Polo dengan level diagnosis (Level 3). Respons Terhadap Kondisi Kritis: pada skenario anomali ganda (seperti pada unit Veloz 2024 dan Avanza 2019), sistem secara konsisten memberikan diagnosis Level 4-5. Hal ini membuktikan efektivitas algoritma *Worst-Case* dalam memprioritaskan keselamatan penumpang ketika terdeteksi kadar CO2 diatas 1200PPM dan kelembapan ekstrem diatas 84% secara konstan. Integritas Data: Melalui visualisasi grafik komparatif, terlihat pola polarisasi diagnosis yang stabil sesuai dengan kondisi fisik aktual kendaraan, sehingga rekomendasi perawatan yang dihasilkan bersifat objektif dan dapat dipertanggungjawabkan secara teknis.

Secara keseluruhan, prototipe ini efektif mentransformasi data sensor kompleks menjadi instruksi perawatan yang preventif bagi pengguna kendaraan guna memitigasi risiko kesehatan akibat buruknya sirkulasi udara kabin.

Guna meningkatkan fungsionalitas sistem di masa mendatang, disarankan beberapa pengembangan sebagai berikut: Implementasi IoT: Mengintegrasikan sistem dengan modul ESP32 untuk pemantauan jarak jauh berbasis *cloud* agar riwayat diagnosis bisa diakses melalui aplikasi atau web. Penerapan Machine Learning: Mengembangkan basis aturan menggunakan algoritma pembelajaran mesin untuk mengklasifikasikan jenis kerusakan komponen (seperti kebocoran freon atau kerusakan kompresor) secara lebih spesifik. Peningkatan Presisi: penggunaan sensor dengan standar industri yang memiliki durabilitas lebih tinggi terhadap suhu ekstrem di dalam ruangan mesin kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. I. Sari, Y. E. Putri, and N. Selvia, "Indonesian Research Journal on Education," vol. 4, pp. 1067–1075, 2024.
- [2] S. Pora, R. A. M. Djen, and D. Muksin, "Pemulihan Kualitas Udara Provinsi Jakarta di Era Anies Baswedan : Solusi dan Tantangan Air Quality Recovery In Jakarta Province In The Era Of Anies Baswedan : Solutions And Challenges," vol. 4, pp. 802–819, 2025.
- [3] J. O. Ogundiran, J. K. B. Nyembwe, J. Ogundiran, A. Salgueiro, N. Ribeiro, and M. Gameiro, "A Systematic Review of Indoor

- Environmental Quality in Passenger Transport Vehicles of Tropical and Subtropical Regions,” 2025.
- [4] A. Jurkowska and A. Tabernacka, “Antibiotic Resistance in Filters from Car Air Conditioning Systems,” pp. 1–15, 2025.
- [5] L. Melders and R. Smigins, “Recent Advances in Vehicle Driver Health Monitoring Systems,” pp. 1–33, 2025.
- [6] A. L. Salma, “Tinjauan Paparan Karbon Monoksida (CO) dan Dampaknya terhadap Kesehatan Pedagang Kaki Lima di Wilayah Perkotaan Padat Lalu Lintas,” vol. 5, no. 2, pp. 85–97, 2025.
- [7] B. Alfano *et al.*, “A Review of Low-Cost Particulate Matter Sensors from the Developers’ Perspectives,” 2020.
- [8] A. J. Taufiq *et al.*, “SISTEM MONITORING POLUSI UDARA BERBASIS SENSOR MQ-135 UNTUK DETEKSI GAS CO₂ DAN CO: STUDI KASUS DI,” vol. 25, no. 2, pp. 131–138, 2024.
- [9] Pramudito and A. E. Kristiyono, “Rancang Bangun Detektor Karbon Monoksida (CO) dengan MQ-7 Berbasis Internet of Things Politeknik Pelayaran Surabaya , Indonesia di atas kapal , mencakup teknologi yang digunakan , tantangan yang dihadapi , manfaat yang,” vol. 3, 2025.
- [10] A. Gunawan, Q. Ahmad, M. F. Ramadhan, and M. Nizaar, “Perancangan Prototype Penetralisir Gas Karbondioksida (CO₂) Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor MQ135,” vol. 9, no. 1, pp. 149–157, 2025.
- [11] K. W. Setiady and J. A. Ginting, “PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SECURITY DAN SISTEM KENDALI OTOMATIS SMART HOME MENGGUNAKAN,” vol. VI, no. 1, pp. 543–552, 2023.
- [12] V. N. Sari and F. Antony, “Rancang bangun sistem pendeteksi kebakaran berbasis iot dan sms gateway menggunakan arduino,” no. 629, 2023.
- [13] L. Joshua and M. S. M. Teady, “ENGINE HEALTH MONITORING PADA SEPEDA MOTOR BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY INFERENCE SYSTEM TSUKAMOTO [Engine Health Monitoring on Arduino-Based Motorcycles Using Tsukamoto ’ s Fuzzy Inference System Algorithm],” no. 02, pp. 697–707, 2024.
- [14] K. Kim, D. Chun, and W. Yang, “IoT-based filter management system using reinforced ANFIS for VOCs reduction in urban industrial facilities,” pp. 1–19, 2025.
- [15] F. Q. Ramadani and Y. R. Nasution, “Design and Implementation of a Dual-Cloud IoT Air Quality Monitoring System Using Fuzzy Mamdani Method,” vol. 4, no. 3, pp. 212–223, 2025.
- [16] M. I. Khalif and A. Muis, “Fuzzy Logic Optimization to Control Air Conditioner (AC) Conditions Using Rule-Based Algorithm,” vol. 17, no. 1, pp. 38–45, 2025.
- [17] D. Kurniawan, S. R. Sulistiyanti, U. Murdika, J. Teknik, and E. Universitas, “SISTEM PEMANTAU KANDUNGAN GAS KARBON MONOKSIDA (CO) DAN KARBON DIOKSIDA (CO₂) MENGGUNAKAN MQ-7 MQ-135 TERINTEGRASI DENGAN TELEGRAM,” vol. 11, no. 2, pp. 200–206, 2023.
- [18] R. Mubarak and A. A. Syukron, “Pengembangan Alat Pendingin Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Dengan Sensor Dht 22 JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN],” vol. 6, no. 3, pp. 1554–1561, 2025.
- [19] I. Santosa, S. I. Trigunarso, and A. K. Udara, “Pengaruh Suhu , Kelembaban Dan Kecepatan Angin Air Conditioner (AC) Terhadap Jumlah Angka Kuman Udara Ruangan The Effect of Temperature , Humidity and Wind Speed of Air Conditioner (AC) on Total Germ Numbers of Room Air,” vol. 11, no. 1, 2022.