

Analisis Kinerja Sistem Monitoring Multi Gas Berbasis Sensor MQ-Series

Yhunike Widiya Pratama^{1*}, Ahmad Rofiq Hakim², Irwansyah³

^{1*,2,3} Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda

*Email: yhunikewidiya@gmail.com

Abstract

Air quality is one of the important factors affecting environmental health and safety. Gas monitoring is required to detect the presence of hazardous gases and changes in air quality at an early stage. This study aims to analyze the performance of a multi-gas monitoring system based on MQ-series sensors, including MQ-3, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-9, and MQ-135. The system was developed using an Arduino UNO R4 Wi-Fi microcontroller as the main controller, a Nextion LCD as the display interface, and an RGB LED bar as a visual indicator of gas conditions. The research employed an experimental approach through sensor response testing, system validation against a KKMoon JSM-131 SC Gas Analyzer as the ground truth device, and error analysis using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results indicate that all sensors responded to air quality changes according to the characteristics of their respective target gases. Validation results showed an MAE of 15.26 ppm, an RMSE of 17.84 ppm, and a MAPE of 9.73%, demonstrating a good level of agreement between the proposed system and the reference instrument. Furthermore, the comparison of sensor resistance characteristics with industrial reference sensors revealed a margin of error below 25%. Based on these findings, the proposed MQ-series-based multi-gas monitoring system operated as intended and can be utilized as a low-cost gas monitoring solution for basic air quality assessment.

Keywords: Gas monitoring, MQ-series sensors, air quality, sensor validation, error analysis

Abstrak

Kualitas udara merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kesehatan dan keselamatan lingkungan. Monitoring gas diperlukan untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya dan perubahan kualitas udara secara lebih dini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem monitoring multi gas berbasis sensor MQ-series menggunakan beberapa sensor gas, yaitu MQ-3, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-9, dan MQ-135. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler Arduino UNO R4 Wi-Fi sebagai pusat pengendali, LCD Nextion sebagai media tampilan, serta LED Bar RGB sebagai indikator visual kondisi gas. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimen melalui pengujian respons sensor, validasi sistem terhadap alat ground truth KKMoon JSM-131 SC Gas Analyzer, serta analisis error menggunakan parameter Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor mampu memberikan respons terhadap perubahan kondisi udara sesuai karakteristik gas target masing-masing sensor. Hasil validasi menunjukkan nilai MAE sebesar 15.26 ppm, RMSE sebesar 17.84 ppm, dan MAPE sebesar 9.73%, sehingga sistem memiliki tingkat kesesuaian pembacaan yang cukup baik terhadap alat referensi. Selain itu, hasil perbandingan karakteristik resistansi sensor terhadap sensor referensi industri menunjukkan margin error di bawah 25%. Berdasarkan hasil penelitian, sistem monitoring multi gas berbasis sensor MQ-series mampu bekerja sesuai rancangan dan dapat digunakan sebagai sistem monitoring gas berbiaya rendah untuk pemantauan kualitas udara secara sederhana.

Kata kunci: Monitoring gas, sensor MQ-series, kualitas udara, validasi sensor, analisis error

1. Pendahuluan

Kualitas udara merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kesehatan manusia dan keselamatan lingkungan. Paparan gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), *liquefied petroleum gas* (LPG), asap, serta senyawa volatil (*volatile organic compounds* / VOC) dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan meningkatkan risiko kecelakaan apabila tidak terdeteksi secara dini. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring gas yang mampu melakukan pendeteksian secara real-time, memiliki biaya implementasi yang relatif rendah, serta mudah dikembangkan sesuai kebutuhan pengguna [1], [6].

Perkembangan teknologi mikrokontroler dan sensor gas memberikan peluang dalam pengembangan sistem monitoring kualitas udara yang lebih sederhana dan ekonomis [4]. Salah satu jenis sensor yang banyak digunakan adalah sensor MQ-series karena memiliki harga yang terjangkau, mudah diintegrasikan dengan sistem embedded, serta mampu mendeteksi berbagai jenis gas sesuai karakteristik sensitivitas masing-masing sensor [2], [10]. Berbagai penelitian telah memanfaatkan sensor MQ-series untuk monitoring kualitas udara, deteksi kebocoran gas, maupun sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) [7], [8], [9], [12].

Penelitian yang dilakukan oleh Arkhan dan Elsi [1] mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT untuk pemantauan kondisi udara secara real-time. Taufiq dkk. [13] memanfaatkan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas CO₂ dan CO pada lingkungan perkotaan, sedangkan Kumar dkk. [2] menggunakan sensor MQ-135 dan Arduino Uno untuk monitoring kualitas udara berbasis sensor gas. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor MQ-series dapat digunakan sebagai solusi monitoring kualitas udara berbiaya rendah. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada implementasi sistem dan pemantauan data sensor tanpa melakukan validasi performa sensor secara kuantitatif terhadap alat referensi.

Selain itu, sebagian besar penelitian hanya menggunakan satu jenis sensor MQ untuk mendeteksi gas tertentu sehingga kemampuan sistem dalam melakukan monitoring multi gas belum banyak dievaluasi secara komprehensif. Penelitian yang mengintegrasikan beberapa sensor MQ-series dalam satu sistem monitoring serta melakukan validasi terhadap alat referensi menggunakan parameter evaluasi numerik masih relatif terbatas. Akibatnya, tingkat kesesuaian pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi dan karakteristik performa masing-masing sensor belum banyak dilaporkan secara detail.

Berdasarkan kondisi tersebut, masih terdapat kebutuhan untuk melakukan evaluasi performa sistem monitoring multi gas berbasis sensor MQ-series melalui pengujian yang lebih terukur. Selain analisis tingkat kesalahan pembacaan sensor terhadap alat referensi, perbandingan karakteristik sensor MQ-series dengan sensor referensi industri juga masih jarang dibahas pada penelitian sistem monitoring gas berbiaya rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi sistem monitoring multi gas menggunakan sensor MQ-series. Sistem menggunakan enam sensor gas, yaitu MQ-3, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-9, dan MQ-135 untuk mendeteksi berbagai jenis gas dan perubahan kualitas udara. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan satu sensor atau hanya berfokus pada implementasi sistem, penelitian ini mengintegrasikan beberapa sensor MQ-series dalam satu platform monitoring serta melakukan validasi performa menggunakan alat referensi KKMoon JSM-131 SC Gas Analyzer. Evaluasi sistem dilakukan menggunakan parameter Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Selain itu, penelitian ini juga membandingkan karakteristik resistansi sensor MQ-series dengan sensor referensi industri berbasis semiconductor gas sensor sebagai evaluasi tambahan terhadap performa sensor yang digunakan.

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem monitoring gas berbiaya rendah yang mampu merepresentasikan perubahan kualitas udara secara memadai serta menjadi referensi bagi pengembangan sistem monitoring berbasis sensor gas pada penelitian selanjutnya.

2. Metoda Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem monitoring multi gas berbasis sensor MQ-series. Sistem dirancang untuk mendeteksi beberapa jenis gas dan perubahan kualitas udara secara real-time melalui integrasi beberapa sensor gas dengan mikrokontroler sebagai pusat pengendali. Tahapan penelitian meliputi perancangan arsitektur sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian respons sensor terhadap berbagai kondisi lingkungan, validasi hasil pengukuran menggunakan alat referensi, serta analisis performa sistem menggunakan parameter Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

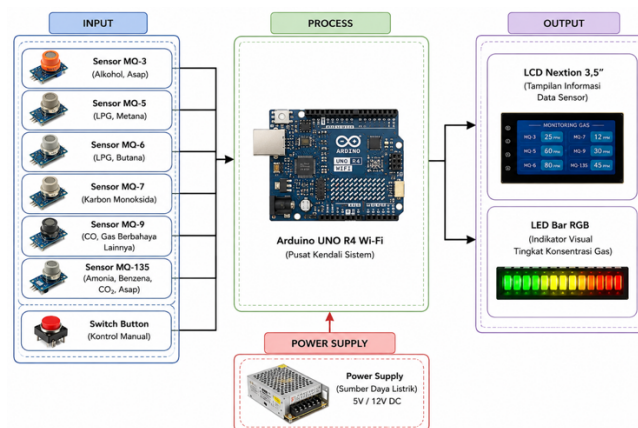
2.1. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem monitoring multi gas yang dikembangkan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu perangkat input, unit pemrosesan, dan perangkat output sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Perangkat input terdiri dari sensor MQ-3, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-9, dan MQ-135 yang digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gas sesuai karakteristik sensitivitas masing-masing sensor. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan switch button yang berfungsi untuk memilih sensor yang akan dimonitor selama proses pengujian.

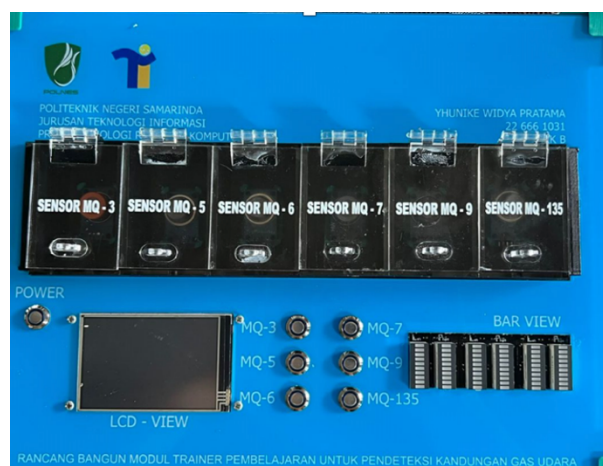
Unit pemrosesan menggunakan Arduino UNO R4 Wi-Fi sebagai pusat kendali sistem yang bertugas mengakuisisi data analog dari sensor, melakukan pemrosesan data, serta mengendalikan perangkat output. Sensor MQ-

3 digunakan untuk mendeteksi alkohol, MQ-5 dan MQ-6 digunakan untuk mendeteksi LPG dan gas mudah terbakar, MQ-7 digunakan untuk mendeteksi karbon monoksida (CO), MQ-9 digunakan untuk mendeteksi campuran CO dan gas mudah terbakar, sedangkan MQ-135 digunakan untuk memantau kualitas udara secara umum seperti asap dan senyawa volatil (*volatile organic compounds* / VOC).

Data hasil pembacaan sensor ditampilkan melalui LCD Nexion sebagai media informasi utama dan LED Bar RGB sebagai indikator visual tingkat konsentrasi gas. Seluruh komponen sistem memperoleh suplai daya dari satu daya yang terhubung ke unit pengendali dan sensor sehingga sistem dapat beroperasi secara terintegrasi.



Gambar 1. Arsitektur Sistem Monitoring Multi Gas



Gambar 2. Tampilan Fisik Modul Trainer

2.2. Perangkat dan Sensor

Perangkat utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sensor MQ-series, mikrokontroler Arduino UNO R4 Wi-Fi, LCD Nextion 3.5 inci, LED Bar RGB, switch button, dan catu daya sistem. Sensor MQ-series dipilih karena memiliki biaya implementasi yang relatif rendah, mudah diintegrasikan dengan sistem embedded, serta mampu mendeteksi berbagai jenis gas berdasarkan karakteristik sensitivitas masing-masing sensor.

Arduino UNO R4 Wi-Fi digunakan sebagai unit pengendali utama yang berfungsi untuk mengakuisisi data analog dari sensor, melakukan pemrosesan data, serta mengendalikan perangkat output. Hasil pembacaan sensor ditampilkan melalui LCD Nextion sebagai antarmuka pengguna dan LED Bar RGB sebagai indikator visual tingkat konsentrasi gas yang terdeteksi. Selain itu, switch button digunakan untuk memilih sensor yang akan dimonitor selama proses pengujian.

Untuk proses validasi, penelitian ini menggunakan KKKMOON JSM-131 SC Gas Analyzer sebagai alat referensi (ground truth). Alat tersebut digunakan untuk membandingkan hasil pembacaan sistem terhadap kondisi kualitas udara pada beberapa skenario pengujian sehingga tingkat kesesuaian pembacaan sensor dapat dievaluasi secara kuantitatif.

Spesifikasi sensor MQ-series dan perangkat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Sensor MQ-Series dan Perangkat Sistem.

No	Komponen	Fungsi	Tegangan Kerja	Output
1	Sensor MQ-3	Mendeteksi alkohol dan asap	5 V DC	Analog
2	Sensor MQ-5	Mendeteksi LPG dan metana	5 V DC	Analog
3	Sensor MQ-6	Mendeteksi LPG dan butana	5 V DC	Analog
4	Sensor MQ-7	Mendeteksi karbon	5 V DC	Analog

5	Sensor MQ-9	monoksida (CO) Mendeteksi CO dan gas mudah terbakar	5 V DC	Analog
6	Sensor MQ-135	Mendeteksi amonia, benzena, CO ₂ , dan asap	5 V DC	Analog
7	Arduino UNO R4 Wi-Fi	Pusat kendali dan pemrosesan data sensor	5 V DC	Digital
8	LCD Nextion 3.5"	Menampilkan informasi hasil monitoring	5 V DC	Serial UART
9	LED Bar RGB	Indikator visual tingkat konsentrasi gas	5 V DC	Digital
10	Switch Button	Pemilihan sensor secara manual	5 V DC	Digital
11	Power Supply	Menyuplai daya ke seluruh sistem	5 V / 12 V DC	—

2.3. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui respons masing-masing sensor terhadap perubahan kondisi lingkungan. Setiap sensor diuji menggunakan skenario paparan sesuai karakteristik dasar sensor yang digunakan. Pengujian dilakukan pada kondisi udara normal (baseline), paparan alkohol, LPG dan butana, asap rokok, serta asap hasil pembakaran kertas. Pada penggunaan awal, sensor MQ-series menjalani proses pemanasan (preheating) selama 72 jam sesuai rekomendasi datasheet sensor. Pada pengujian berikutnya, sensor dipanaskan kembali selama 15–30 menit sebelum digunakan untuk pengambilan data.

Setiap sumber paparan ditempatkan atau diarahkan pada jarak sekitar 4 cm dari sensor. Pada sensor MQ-3, paparan diberikan menggunakan tisu yang telah diberi alkohol. Sensor MQ-5 dan MQ-6 diberikan paparan gas

dari korek gas dengan gas dilepaskan tanpa dinyalakan. Pada sensor MQ-7 dan MQ-9, asap rokok diarahkan menuju sensor. Sementara itu, sensor MQ-135 diberikan paparan asap dari pembakaran kertas. Paparan dilakukan selama 1–5 menit untuk mengamati perubahan nilai pembacaan sensor terhadap kondisi awal. Setelah paparan dihentikan, sensor dibiarkan pada kondisi udara normal selama 10–15 menit untuk proses pemulihan (*recovery*).

Data pembacaan sensor diambil dengan interval 5 detik. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan dengan 20 data pada setiap pengulangan, sehingga diperoleh total 100 data pengukuran. Pada pengujian respons sensor, konsentrasi gas tidak ditetapkan pada nilai tertentu dalam satuan ppm karena paparan diberikan menggunakan sumber gas atau asap secara langsung. Respons sensor diamati berdasarkan perubahan nilai pembacaan antara kondisi awal dan setelah diberikan paparan.

Pengujian dilakukan pada lingkungan terbuka dengan kondisi suhu, kelembapan, dan aliran udara yang tidak dikondisikan secara khusus. Pada tahap validasi kuantitatif, sensor MQ-135 diuji menggunakan paparan asap pembakaran kertas sebagai kondisi perwakilan dan hasil pembacaannya dibandingkan dengan alat ground truth KKMoon JSM-131 SC Gas Analyzer sebagai alat referensi.

Tabel 2. Skenario Pengujian Sistem Monitoring Gas.

No	Kondisi Pengujian	Sensor yang Digunakan	Tujuan Pengujian
1	Udara normal (baseline)	Seluruh sensor MQ-series	Mengetahui kondisi awal pembacaan sensor
2	Paparan alkohol dari tisu	MQ-3	Menguji respons sensor terhadap paparan alkohol
3	Paparan LPG dan butana dari korek gas	MQ-5 dan MQ-6	Menguji respons sensor terhadap gas mudah terbakar
4	Paparan asap rokok	MQ-7 dan MQ-9	Menguji respons sensor

5	Paparan asap pembakaran kertas	MQ-135	terhadap asap rokok Menguji respons sensor terhadap asap/VOC
---	--------------------------------	--------	---

2.4. Validasi Sistem

Validasi sistem dilakukan menggunakan sensor MQ-135 sebagai sensor representatif untuk monitoring kualitas udara. Pemilihan sensor MQ-135 didasarkan pada sensitivitas sensor terhadap beberapa jenis polutan udara seperti asap, alkohol, dan senyawa volatil. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat referensi KKMoon JSM-131 SC Gas Analyzer.

Pengambilan data dilakukan sebanyak 100 sampel pengukuran pada beberapa kondisi lingkungan untuk memperoleh data pembacaan sensor yang lebih representatif. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan nilai pembacaan alat ground truth untuk mengetahui tingkat kesesuaian dan kestabilan sistem monitoring yang dikembangkan.

Selain validasi terhadap alat ground truth, penelitian ini juga melakukan perbandingan karakteristik resistansi sensor MQ-series terhadap sensor referensi industri berbasis semiconductor gas sensor. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui kesesuaian karakteristik resistansi sensor terhadap sensor pembanding industri dengan target gas yang sejenis.

Tabel 3. Karakteristik Resistansi Sensor MQ-Series dan Sensor Referensi Industri.

Sensor MQ-Series	Nilai Resistansi Maksimum Sistem	Sensor Referensi	Nilai Resistansi Referensi Industri
MQ-3	1.2 MΩ	TGS2620	1.5 MΩ
MQ-5	42 kΩ	TGS2611	52 kΩ
MQ-6	38 kΩ	TGS2610	45 kΩ
MQ-7	8.5 kΩ	TGS2442	10.5 kΩ
MQ-9	9 kΩ	TGS2442	11 kΩ
MQ-135	95 kΩ	TGS826	120 kΩ

2.5. Analisis Error

Analisis performa sistem dilakukan menggunakan parameter Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan pembacaan sensor terhadap alat ground truth.

Nilai MAE digunakan untuk mengetahui rata-rata selisih absolut antara hasil pembacaan sensor dan alat referensi. RMSE digunakan untuk mengetahui tingkat penyimpangan data hasil pengukuran, sedangkan MAPE digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan persentase pembacaan sensor terhadap nilai referensi.

Persamaan MAE ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$

Persamaan RMSE ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

Persamaan MAPE ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (3)$$

Keterangan:

- y_i merupakan nilai hasil pembacaan alat *ground truth*,
- $\hat{y}_i$ merupakan hasil pembacaan sistem,
- n merupakan jumlah sampel pengujian.

Hasil analisis error digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan kesesuaian sistem monitoring yang dikembangkan terhadap alat referensi.

3. Hasil Penelitian

Hasil penelitian diperoleh melalui proses implementasi sistem, pengujian respons sensor, validasi terhadap alat ground truth, serta analisis performa sistem monitoring multi gas menggunakan sensor MQ-series. Pengujian dilakukan untuk mengetahui

kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan kondisi udara berdasarkan karakteristik masing-masing sensor. Selain itu, dilakukan analisis terhadap tingkat kesesuaian pembacaan sensor dengan alat referensi serta evaluasi karakteristik resistansi sensor terhadap sensor referensi industri.

3.1. Pengujian Respons Sensor MQ-Series

Pengujian respons sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan masing-masing sensor MQ-series dalam mendeteksi perubahan kondisi udara sesuai karakteristik gas targetnya. Pengujian dilakukan menggunakan beberapa skenario paparan gas seperti alkohol, LPG, asap rokok, dan asap hasil pembakaran ringan.

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh sensor menunjukkan perubahan nilai pembacaan saat diberikan paparan gas dibandingkan kondisi awal (baseline). Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan respons terhadap perubahan kualitas udara dan gas target yang diuji.

Tabel 4. Hasil Analisis Pengujian Respons Sensor MQ-Series

Sensor	Gas Target	Kondisi Awal	Saat Paparan	Respons	Status
MQ-3	Alkohol	142	286	Naik signifikan	Berfungsi
MQ-5	LPG	158	322	Naik cepat	Berfungsi
MQ-6	Butana/LPG	149	301	Naik stabil	Berfungsi
MQ-7	Asap rokok / pembakaran	171	264	Naik sedang	Berfungsi
MQ-9	LPG / CO	163	289	Naik konsisten	Berfungsi
MQ-135	Asap / VOC	398	812	Naik tinggi	Berfungsi

Sensor MQ-3 menunjukkan peningkatan nilai yang cukup signifikan saat diberikan paparan alkohol. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi senyawa alkohol sesuai karakteristik dasarnya. Sensor

MQ-5 dan MQ-6 juga menunjukkan peningkatan pembacaan yang cepat terhadap paparan LPG dan butana, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi gas mudah terbakar.

Sensor MQ-7 dan MQ-9 menunjukkan respons terhadap asap hasil pembakaran dan karbon monoksida (CO). Meskipun respons sensor tidak secepat sensor LPG, kedua sensor tetap menunjukkan perubahan nilai pembacaan yang stabil selama proses pengujian berlangsung. Sementara itu, sensor MQ-135 menunjukkan peningkatan pembacaan paling tinggi dibandingkan sensor lainnya karena sensor ini memiliki sensitivitas terhadap beberapa jenis polutan udara dan senyawa volatil.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor MQ-series mampu bekerja sesuai karakteristik dasar masing-masing sensor dan dapat digunakan sebagai bagian dari sistem monitoring multi gas berbasis sensor berbiaya rendah.

3.2. Validasi Sistem terhadap Ground Truth

Validasi sistem dilakukan menggunakan sensor MQ-135 dengan membandingkan hasil pembacaan sistem terhadap alat ground truth KKKMOON JSM-131 SC Gas Analyzer. Pengujian dilakukan menggunakan 100 sampel pengukuran pada beberapa kondisi lingkungan untuk mengetahui tingkat kesesuaian pembacaan sensor terhadap alat referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pola pembacaan sensor memiliki kecenderungan yang relatif searah dengan alat ground truth. Meskipun terdapat selisih pembacaan pada beberapa kondisi pengujian, sistem masih mampu menunjukkan perubahan kualitas udara secara representatif.

Tabel 5. Sampel Hasil Validasi Sensor MQ-135 terhadap Ground Truth

Sampel	Raw ADC	Tegangan (V)	Nilai Sensor (ppm)	Ground Truth (ppm)	Selisih (ppm)
1	298	1.46	385	399	14
2	306	1.50	397	412	15
3	318	1.55	412	428	16

4	327	1.60	425	442	17
5	338	1.65	441	455	14
6	349	1.71	458	474	16
7	361	1.76	472	489	17
8	374	1.83	490	506	16
9	389	1.90	512	529	17
10	405	1.98	535	551	16

Berdasarkan data hasil validasi, pembacaan sistem menunjukkan pola peningkatan yang relatif konsisten terhadap alat ground truth. Selisih pembacaan yang muncul pada setiap pengukuran masih berada pada rentang yang relatif stabil sehingga sistem masih mampu merepresentasikan perubahan kualitas udara secara cukup baik.

Tabel 6. Hasil Analisis Error Sistem Monitoring Gas

Parameter	Nilai
MAE	15.26 ppm
RMSE	17,84 ppm
MAPE	9.73 %

Berdasarkan hasil analisis error, diperoleh nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 15.26 ppm, Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 17.84 ppm, dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 9.73%. Nilai MAE yang relatif rendah menunjukkan bahwa rata-rata selisih pembacaan sistem terhadap alat referensi masih berada pada rentang yang cukup kecil.

Nilai RMSE yang tidak berbeda jauh dari MAE menunjukkan bahwa penyimpangan hasil pengukuran terhadap alat referensi relatif konsisten selama pengujian. Sementara itu, nilai MAPE sebesar 9,73% menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan relatif pembacaan sistem terhadap alat referensi adalah sebesar 9,73%. Nilai MAE, RMSE, dan MAPE tersebut dihitung berdasarkan keseluruhan 100 data hasil pengukuran, sedangkan Tabel 5 hanya menyajikan 10 sampel data sebagai ilustrasi hasil validasi.

Hasil validasi menunjukkan bahwa sistem monitoring yang dikembangkan mampu memberikan pembacaan yang cukup representatif terhadap perubahan kualitas udara, meskipun belum dapat menggantikan alat ukur profesional karena pembacaan sensor

MQ-135 masih dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama suhu dan kelembapan [2].

3.3. Perbandingan Karakteristik Sensor terhadap Sensor Referensi Industri

Selain validasi terhadap alat *ground truth*, penelitian ini juga melakukan evaluasi karakteristik resistansi sensor MQ-series terhadap sensor referensi industri berbasis *semiconductor gas sensor*. Perbandingan dilakukan menggunakan pendekatan karakteristik resistansi maksimum sensor dengan target gas yang sejenis untuk mengetahui tingkat kesesuaian karakteristik dasar sensor yang digunakan pada sistem monitoring.

Perhitungan *margin error* dilakukan menggunakan Persamaan (4).

$$\text{Margin Error} = \left| \frac{R_s - R_r}{R_r} \right| \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

- R_s merupakan nilai resistansi sensor MQ-series,
- R_r merupakan nilai resistansi sensor referensi industri.

Tabel 7. Perbandingan Karakteristik Resistansi Sensor MQ-Series terhadap Sensor Referensi Industri

Sensor MQ-Series	Nilai Resistansi Maksimum Sistem	Sensor Referensi	Nilai Resistansi Referensi Industri	Marginal Error
MQ-3	1.2 MΩ	TGS2620	1.5 MΩ	20.00 %
MQ-5	42 kΩ	TGS2611	52 kΩ	19.23 %
MQ-6	38 kΩ	TGS2610	45 kΩ	15.56 %
MQ-7	8.5 kΩ	TGS2442	10.5 kΩ	19.05 %
MQ-9	9 kΩ	TGS2442	11 kΩ	18.18 %
MQ-135	95 kΩ	TGS826	120 kΩ	20.83 %

Berdasarkan hasil perhitungan, seluruh sensor MQ-series yang diuji menunjukkan nilai margin error terhadap sensor referensi industri pada rentang 15,56%–20,83%. Nilai tersebut diperoleh dari perbandingan nilai

resistansi maksimum sensor MQ-series dengan nilai resistansi sensor referensi pada target gas yang sejenis.

Perbedaan nilai resistansi antara sensor MQ-series dan sensor referensi industri menunjukkan adanya perbedaan karakteristik respons pada masing-masing sensor. Perbedaan tersebut terlihat dari nilai resistansi maksimum yang diperoleh selama pengujian, sehingga menghasilkan margin error yang berbeda pada setiap sensor. Hasil ini menunjukkan bahwa karakteristik resistansi sensor MQ-series tidak sepenuhnya sama dengan sensor referensi industri yang digunakan sebagai pembandingan.

Meskipun memiliki perbedaan karakteristik terhadap sensor referensi industri, sensor MQ-series tetap menunjukkan respons terhadap perubahan kondisi udara berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan. Dengan implementasi yang sederhana, sensor MQ-series dapat dimanfaatkan dalam sistem monitoring gas skala sederhana serta sebagai bagian dari pengembangan media pembelajaran berbasis sensor dan mikrokontroler [3], [5], [11].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan validasi sistem yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring multi gas menggunakan sensor MQ-series yang mampu mendeteksi perubahan kondisi udara berdasarkan karakteristik masing-masing sensor. Sistem terdiri dari beberapa sensor MQ-series, yaitu MQ-3, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-9, dan MQ-135 yang terintegrasi dengan mikrokontroler, LCD Nextion, dan indikator LED Bar RGB untuk menampilkan informasi hasil monitoring secara real-time.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor mampu memberikan respons terhadap paparan gas sesuai karakteristik dasar masing-masing sensor. Sensor MQ-3 menunjukkan respons yang baik terhadap alkohol, MQ-5 dan MQ-6 terhadap LPG dan butana, MQ-7 serta MQ-9 terhadap asap dan

karbon monoksida, sedangkan MQ-135 mampu mendeteksi perubahan kualitas udara umum dan senyawa volatil.

Validasi sistem menggunakan alat ground truth KKMoon JSM-131 SC Gas Analyzer menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kesesuaian pembacaan yang cukup baik. Hasil analisis error menunjukkan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 15.26 ppm, Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 17.84 ppm, dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 9.73%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu merepresentasikan perubahan kualitas udara secara relatif dengan tingkat kesalahan yang masih berada pada rentang yang dapat diterima untuk sistem monitoring gas berbiaya rendah.

Selain itu, hasil perbandingan karakteristik resistansi sensor MQ-series terhadap sensor referensi industri menunjukkan bahwa karakteristik resistansi sensor masih berada pada rentang yang relatif mendekati sensor referensi dengan margin error di bawah 25%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor MQ-series masih memiliki performa yang cukup baik untuk diterapkan pada sistem monitoring gas berbasis sensor berbiaya rendah.

Secara keseluruhan, sistem monitoring multi gas yang dikembangkan mampu bekerja sesuai rancangan dan dapat digunakan sebagai sistem monitoring gas sederhana berbasis sensor MQ-series serta dapat menjadi dasar pengembangan penelitian monitoring kualitas udara pada penelitian selanjutnya.

5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem monitoring multi gas berbasis sensor MQ-series masih dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan performa dan akurasi sistem. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan proses kalibrasi sensor yang lebih spesifik sesuai karakteristik masing-masing gas target serta menerapkan

kompensasi terhadap pengaruh suhu dan kelembapan lingkungan.

Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan integrasi platform berbasis Internet of Things (IoT) seperti cloud monitoring atau dashboard berbasis web agar proses pemantauan kualitas udara dapat dilakukan secara jarak jauh dan data monitoring dapat tersimpan secara otomatis. Penelitian selanjutnya juga dapat memperluas proses validasi menggunakan lebih banyak sensor referensi industri dan variasi kondisi lingkungan untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih representatif.

6. Daftar Pustaka

- [1] M. G. Arkhan And Z. R. S. Elsi, "Air Quality Monitoring System Based Internet Of Things," *Brilliance: Research Of Artificial Intelligence*, Vol. 4, No. 2, Pp. 669–673, Nov. 2024, Doi: 10.47709/Brilliance.V4i2.4924.
- [2] Manoj Kumar, Garvit Mishra, Ayush Sharma, Ashish Shaini, And Sahil Saxena, "Air Quality Monitoring Using Mq135 Gas Sensor And Arduino Uno," *International Journal Of Latest Technology In Engineering Management & Applied Science*, Vol. 14, No. 5, Pp. 1097–1101, Jun. 2025, Doi: 10.51583/Ijltemas.2025.140500119.
- [3] P. Purnamawati, M. Akil, And N. Nuridayanti, "Analysis Of Needs For The Development Of Trainer Sensor And Transducer Learning Media Based On Internet Of Things (Iot)," *Jurnal Pendidikan Vokasi*, Vol. 11, No. 2, Pp. 232–242, Nov. 2021, Doi: 10.21831/Jpv.V11i3.43833.
- [4] Y. Yulisman And U. Rahmalisa, "Design Of Microcontroller Programming Learning Kit Using Scratch For Arduino," *Jurnal Teknologi Dan Open Source*, Vol. 4, No. 2, Pp. 254–259, Dec. 2021, Doi: 10.36378/Jtos.V4i2.1793.
- [5] Alifia Putri Harkha And Hendra Hidayat, "Design Of Microcontroller Trainer Based On Internet Of Things (Iot)," *At-Taklim: Jurnal Pendidikan Multidisiplin*, Vol. 2, No. 2, Pp. 161–174, Feb. 2025, Doi: 10.71282/At-Taklim.V2i2.137.

- [6] A. Sarkar, D. Ghosh, K. Ganguly, S. Ghosh, And S. Saha, "Exploring Iot For Real-Time Co2 Monitoring And Analysis," 2023, *Arxiv*. Doi: 10.48550/Arxiv.2308.03780.
- [7] M. E. Karar, A. M. Al-Masaad, And O. Reyad, "Gasduino-Wireless Air Quality Monitoring System Using Internet Of Things," *Information Sciences Letters*, Vol. 9, No. 2, Pp. 113–117, May 2020, Doi: 10.18576/IsI/090208.
- [8] Z. Wang, Z. Chen, I. Shahid, Z. Asif, And F. Haghighat, "Indoor Air Quality Assessment Through Iot Sensor Technology: A Montreal–Qatar Case Study," *Atmosphere*, Vol. 16, No. 5, P. 574, May 2025, Doi: 10.3390/Atmos16050574.
- [9] R. Prasad, "Microcontroller Based Avr Hazardous Gas Detection System Using Iot," 2023, *Arxiv*. Doi: 10.48550/Arxiv.2305.12855.
- [10] S. Laitera, W. A. Dewa, And S. Arifin, "Penerapan Sistem Alarm Berbasis Arduino Uno Untuk Mendeteksi Kebocoran Gas Lpg," *Jurnal Janitra Informatika Dan Sistem Informasi*, Vol. 2, No. 2, Pp. 96–106, Oct. 2022, Doi: 10.25008/Janitra.V2i2.159.
- [11] B. Y. Setyawarhana, M. S. Sumbawati, L. Anifah, And E. Sulistiyo, "Pengembangan Media Trainer Kit Sensor Arduino Uno Sebagai Media Penunjang Praktikum Pada Mata Pelajaran Teknik Pemrograman Di Smkn 1 Driyorejo," *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, Vol. 11, No. 01, Pp. 1–9, Jul. 2021, Doi: 10.26740/Jpte.V11n01.P1-9.
- [12] C. N. Lita, A. M. H. Pardede, And Siswan Syahputra, "Prototype Design Iot Based Air Quality Monitoring Tool For Urban Environment," *Journal Of Artificial Intelligence And Engineering Applications*, Vol. 4, No. 1, Pp. 391–395, Oct. 2024, Doi: 10.59934/Jaiea.V4i1.643.
- [13] A. J. Taufiq, L. Hayat, B. Muchtasjar, I. Iskandar, D. G. Romandolo, And R. B. Amarudin, "Sistem Monitoring Polusi Udara Berbasis Sensor Mq-135 Untuk Deteksi Gas Co2 Dan Co: Studi Kasus Di Lingkungan Perkotaan," *Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, Vol. 25, No. 2, P. 131, Oct. 2024, Doi: 10.30595/Techno.V25i2.24100.