

SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA BERBASIS ESP32 MENGGUNAKAN SENSOR GAS MQ-135 DAN MQ-2

Sophia Maratu Solihat^{1*}, Salwa Salsabila², Susilawati, M. Si³

^{1,2,3}Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl.HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361, Telp. (0267) 641177

Keywords:

IoT;
Sensor MQ-2;
Sensor MQ-135;
ESP32;
Air Quality.

Corespondent Email:

2110631170037@student.unsika.ac.id



Copyright © [JITET](#) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstrak. Indonesia menghadapi masalah polusi udara yang semakin mengkhawatirkan, terutama di kota-kota besar dengan kepadatan penduduk yang tinggi dan aktivitas industri yang signifikan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 dengan memanfaatkan sensor gas yang sesuai, seperti MQ-135 dan MQ-2. Sistem ini dirancang untuk memantau kualitas udara dengan mendeteksi gas berbahaya, seperti CO, CO2, NH3, dan H2, yang dihasilkan dari jalan raya dengan lalu lintas padat. Melalui perancangan perangkat keras yang dilakukan, penelitian ini berhasil mengembangkan sistem yang mampu memantau kualitas udara di suatu wilayah dan menyediakan informasi terkait kategori kualitas udara yang terukur.

Abstract. *Indonesia is facing an increasingly concerning problem of air pollution, especially in major cities with high population density and significant industrial activity. This study aims to design an air quality monitoring system based on ESP32 by utilizing suitable gas sensors, such as MQ-135 and MQ-2. The system is designed to monitor air quality by detecting hazardous gases such as CO, CO2, NH3, and H2, which are produced from busy roadways. Through the hardware design conducted, this research successfully developed a system capable of monitoring air quality in a specific area and providing information related to the measured air quality categories.*

1. PENDAHULUAN

Kualitas udara merupakan salah satu indikator penting dalam menjaga kesehatan masyarakat dan keberlanjutan ekosistem. Karena Udara adalah kebutuhan paling penting untuk kelangsungan hidup semua makhluk hidup, terutama manusia[1]. Udara yang bebas dari polusi dapat dihasilkan dengan menciptakan lingkungan yang sehat atau dengan menjaga perilaku yang tidak mencemari udara [2].

Berbagai jenis gas, seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO2), amonia (NH3), dan hidrogen (H2), memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas udara.

Karbon monoksida (CO), yang dihasilkan terutama dari pembakaran bahan bakar fosil dan kendaraan bermotor, merupakan gas beracun yang dapat menyebabkan masalah kesehatan serius. Di sisi lain, karbon dioksida (CO2) berperan penting dalam proses fotosintesis, namun dalam konsentrasi yang berlebihan dapat memperburuk pemanasan global dan menurunkan kualitas udara. Gas lainnya, seperti NH3 dan H2, juga berkontribusi terhadap polusi udara dengan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia.



Gambar 1. Rangking Kualitas Udara
Sumber: (© 2024 IQAir.)

Pada Gambar 1 diatas menjelaskan bahwa negara Indonesia, masalah polusi udara semakin mengkhawatirkan, terutama di kota-kota besar yang padat penduduk dan aktivitas industri. Data dari AQI US (*Air Quality Index*) menunjukkan bahwa pada beberapa bulan terakhir, South Tangerang mencatat AQI sebesar 262, yang mengindikasikan kualitas udara yang sangat tidak sehat. Jakarta dan Kota Tangerang juga menunjukkan angka AQI yang tidak sehat, sementara kota-kota lain seperti Bogor dan Bekasi memiliki nilai di atas 100.

Tren peningkatan polusi udara ini berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan, seperti penyakit pernapasan hingga kondisi kronis.

Penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan untuk memantau kualitas udara. Penelitian pertama merancang sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan menggunakan berbagai sensor, seperti MQ-135, MG811, dan lainnya, dengan data yang dikirim secara real-time ke platform IoT OVoRD[3]. Penelitian kedua mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-135 dengan Arduino Uno, memantau parameter seperti gas, asap, suhu, dan kelembaban secara real-time[4]. Penelitian ketiga memfokuskan pada pengawasan kualitas udara di kampus Universitas Singaperbangsa Karawang menggunakan sensor gas MQ-2 dan MQ-135, dengan fitur IoT dan mode ganda Bluetooth untuk menampilkan data real-time[5].

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi dalam pemantauan kualitas udara, masih terdapat kesenjangan dalam penerapan teknologi yang lebih efektif, terutama dalam konteks lokal Indonesia. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada pengawasan real-time tanpa memanfaatkan teknologi IoT secara optimal untuk analisis data dan prediksi tren polusi di masa depan. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk mengembangkan sistem yang tidak hanya memantau kualitas udara secara akurat tetapi juga mampu memprediksi pola polusi berdasarkan data historis, memberikan solusi yang relevan untuk kebutuhan masyarakat lokal.

Dalam konteks ini, penelitian bertujuan untuk merancang sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 dengan memanfaatkan sensor gas yang paling sesuai, seperti MQ-135 dan MQ-2. Sistem ini dapat memantau kualitas udara dengan mendeteksi gas berbahaya, seperti CO, CO₂, NH₃, dan H₂, yang dihasilkan dari jalan raya dengan lalu lintas padat. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem yang dikembangkan dapat memberikan kontribusi positif dalam upaya meningkatkan pemahaman dan cara mengatasi dampak polusi udara di lokasi yang berdekatan dengan raya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sensor MQ-135 adalah sensor gas yang mendeteksi berbagai gas berbahaya, termasuk nitrogen dioksida (NH₃). Sensor ini memiliki nilai resistansi yang berubah saat terkena gas dan dilengkapi pemanas untuk menghindari kontaminasi. Selain itu, sensor MQ-2 juga berfungsi untuk mendeteksi berbagai gas termasuk karbon monoksida (CO), gas LPG, dan asap. Sensor MQ-2 memiliki sensitivitas tinggi, stabil, dan efektif untuk digunakan dalam mendeteksi kebocoran gas di berbagai aplikasi, baik di rumah tangga maupun industri.

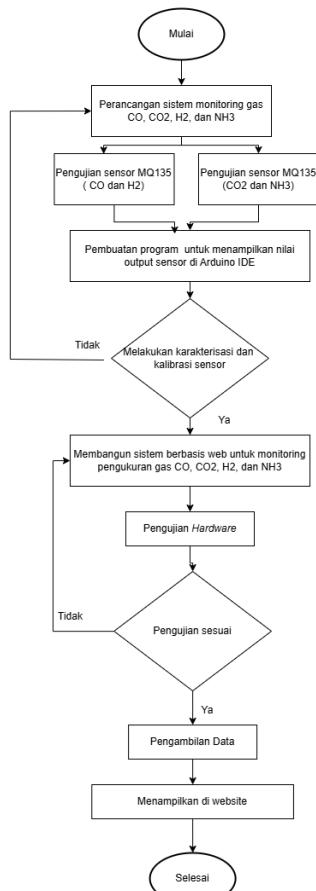
3. METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan dua unsur utama, yaitu perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software).

Metode pengembangan sistem memiliki tahapan yang sistematis dan berurutan, mulai

dari *analysis* hingga *maintenance*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir

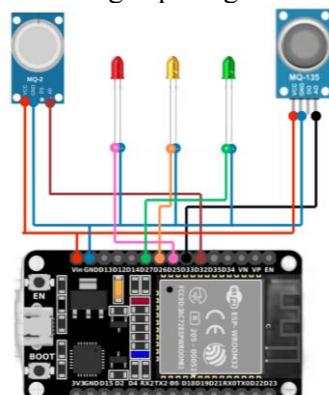
Gambar 2 menunjukkan diagram yang dimulai dengan merancang sistem monitoring gas untuk mendeteksi CO, CO₂, H₂, dan NH₃ menggunakan sensor MQ135. Selanjutnya, dilakukan pengujian sensor untuk masing-masing gas, diikuti dengan pembuatan program di Arduino IDE untuk menampilkan nilai output sensor. Setelah itu, dilakukan karakterisasi dan kalibrasi sensor untuk memastikan akurasi pengukuran.

Sistem berbasis web kemudian dikembangkan untuk memonitor data gas secara real-time. Tahapan berikutnya adalah pengujian perangkat keras dan evaluasi kesesuaian hasil dengan parameter yang diharapkan. Setelah sistem dinyatakan sesuai, data diambil dan ditampilkan melalui website sebagai antarmuka pengguna. Proses ini diakhiri dengan penyelesaian dan dokumentasi penelitian.

Setiap tahap dalam metode ini dilaksanakan secara berurutan agar pengembangan sistem pemantauan kualitas udara menjadi terstruktur, terencana, dan optimal, serta meminimalkan risiko kesalahan.

3.2. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada sistem pemantauan kualitas udara terdapat beberapa komponen. Sensor yang digunakan adalah sensor MQ-135 dan MQ-2 untuk mendeteksi kandungan CO dan CO₂. Perhatikan Gambar 2 untuk melihat rancangan perangkat keras.



Gambar 3. Rancangan Perangkat Keras

Gambar 3 menjelaskan sensor MQ-135 dan sensor MQ-2 dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 menggunakan board penghubung, yang menyediakan jalur untuk aliran data dan memberikan dukungan dalam pengolahan sinyal.

Tabel 1. Konfigurasi ESP32 dan MO-135

ESP 32	MQ-135
5V	VCC
GND	GND
PIN GPIO 33	A0 (Output)

Tabel 2. Konfigurasi ESP32 dan MO-2

ESP 32	MQ-2
5V	VCC
GND	GND
PIN GPIO 32	A0 (Output)

Tabel 3. Konfigurasi ESP32 dan LED

ESP 32	LED		
	GREEN	YELLOW	RED
GND	(-)	(-)	(-)
PIN 25			(+)
PIN 26		(+)	
PIN 27	(+)		

Tabel 1 dan Tabel 2 menggambarkan secara rinci hubungan alur konfigurasi ESP32 dengan sensor MQ-135 dan MQ-2, termasuk cara koneksi antara mikrokontroler dan masing-masing sensor. Sedangkan Tabel 3 menjelaskan hubungan alur konfigurasi ESP32 dengan lampu LED, mencakup pengaturan pin yang digunakan untuk mengendalikan lampu LED.

Setelah mikrokontroler ESP32 akan membaca data yang dihasilkan oleh sensor, data tersebut akan diproses dan diteruskan menggunakan modul WiFi yang terintegrasi pada ESP32. Proses pengiriman data ini dilakukan melalui platform Arduino IDE, di mana kode pemrograman ditulis untuk mengatur pembacaan dan pengiriman data secara *real-time*.

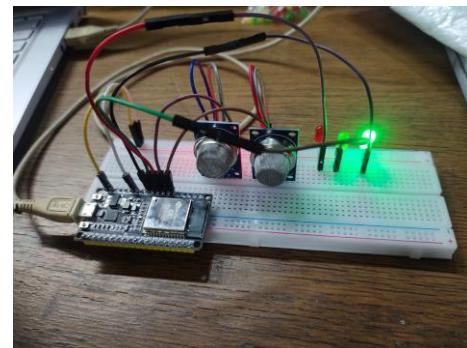
Selanjutnya, data yang telah diproses akan diunggah ke sebuah halaman web yang telah dirancang sebelumnya. Halaman web ini menampilkan data dalam bentuk tabel yang berisi angka-angka hasil pengukuran serta keterangan terkait, seperti jenis gas yang terdeteksi dan konsentrasi. Dengan tampilan yang user-friendly, pengguna dapat dengan mudah memantau kualitas udara secara langsung melalui antarmuka web. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan aksesibilitas informasi, tetapi juga memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis lebih lanjut terhadap data kualitas udara yang dikumpulkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tampilan Rangkaian Sistem

Perangkat keras yang telah dirangkai dapat dilihat pada Gambar 4, yang menunjukkan semua komponen utama dari sistem pemantauan kualitas udara. Komponen tersebut meliputi sensor MQ-135 dan MQ-2,

mikrokontroler ESP32, serta lampu LED yang berfungsi sebagai indikator kualitas udara. Konfigurasi ini memungkinkan sistem untuk mendeteksi dan menampilkan informasi mengenai kondisi udara di sekitar secara real-time.



Gambar 4. Rangkaian Sistem

4.2. Program Sistem Arduino IDE

Dalam proses pemrograman, kode berikut digunakan untuk mengatur konektivitas dan pengolahan data dengan menggunakan platform Arduino IDE. Kode ini mencakup konfigurasi awal untuk menghubungkan mikrokontroler ESP32 ke jaringan WiFi, serta logika pemrograman untuk membaca data dari sensor MQ-135 dan MQ-2. Data yang diperoleh kemudian akan diproses dan dikirim ke server untuk analisis lebih lanjut. Berikut adalah rincian kode yang digunakan:

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>

// Konfigurasi WiFi
const char* ssid = "slw";
const char* password = "";
const char* serverName =
"http://192.168.43.104/submitkualitas.php"; // Ganti dengan alamat server Anda

// Pin sensor
const int mq135Pin = 33; // Pin untuk sensor MQ-135
const int mq2Pin = 32; // Pin untuk sensor MQ-2

// Pin LED
const int ledMerah = 25; // LED merah untuk "Berbahaya"
const int ledKuning = 26; // LED kuning untuk "Sedang/Tidak Sehat"
const int ledHijau = 27; // LED hijau untuk
```

```

"Baik"

// Variabel baseline
int mq135Baseline = 0;
int mq2Baseline = 0;

// Fungsi untuk konversi nilai analog menjadi
PPM
float calculatePPM(int analogValue, int
sensorType, int gasType) {
    // Kalibrasi rumus berdasarkan jenis sensor dan
gas
    if (sensorType == 135) { // MQ-135
        if (gasType == 1) return (float)analogValue *
(5.0 / 4096.0) * 100; // CO2
        if (gasType == 2) return (float)analogValue *
(5.0 / 4096.0) * 80; // NH3
    } else if (sensorType == 2) { // MQ-2
        if (gasType == 1) return (float)analogValue *
(5.0 / 4096.0) * 50; // CO
        if (gasType == 2) return (float)analogValue *
(5.0 / 4096.0) * 30; // H2
    }
    return 0;
}

// Fungsi setup
void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Setup pin LED
    pinMode(ledMerah, OUTPUT);
    pinMode(ledKuning, OUTPUT);
    pinMode(ledHijau, OUTPUT);

    // Koneksi WiFi
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println("Menghubungkan ke WiFi...");
    }
    Serial.println("Terhubung ke WiFi");

    // Pemanasan sensor
    Serial.println("Memanaskan sensor...");
    delay(30000); // Pemanasan 30 detik

    // Kalibrasi sensor
    Serial.println("Kalibrasi sensor...");
    for (int i = 0; i < 50; i++) {
        mq135Baseline += analogRead(mq135Pin);
        mq2Baseline += analogRead(mq2Pin);
        delay(100);
    }
    mq135Baseline /= 50;
    mq2Baseline /= 50;
}

```

```

Serial.print("Baseline MQ-135: ");
Serial.println(mq135Baseline);
Serial.print("Baseline MQ-2: ");
Serial.println(mq2Baseline);
}

void loop() {
    int mq135Analog = max(0,
analogRead(mq135Pin) - mq135Baseline);
    int mq2Analog = max(0, analogRead(mq2Pin) -
mq2Baseline);

    float co2PPM = calculatePPM(mq135Analog,
135, 1);
    float nh3PPM = calculatePPM(mq135Analog,
135, 2);
    float coPPM = calculatePPM(mq2Analog, 2, 1);
    float h2PPM = calculatePPM(mq2Analog, 2, 2);

    // Evaluasi kualitas udara
    String airQuality =
evaluateAirQuality(co2PPM, nh3PPM, coPPM,
h2PPM);

    Serial.print("CO2 (PPM): ");
    Serial.println(co2PPM);
    Serial.print("NH3 (PPM): ");
    Serial.println(nh3PPM);
    Serial.print("CO (PPM): ");
    Serial.println(coPPM);
    Serial.print("H2 (PPM): ");
    Serial.println(h2PPM);
    Serial.print("Kualitas Udara: ");
    Serial.println(airQuality);

    // Kirim data ke server
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        HTTPClient http;
        http.begin(serverName);
        http.addHeader("Content-Type",
"application/x-www-form-urlencoded");

        String httpRequestData = "co2=" +
String(co2PPM) + "&nh3=" + String(nh3PPM) +
"&co=" + String(coPPM) +
"&h2=" + String(h2PPM) +
"&quality=" + airQuality;
        int httpResponseCode =
http.POST(httpRequestData);

        if (httpResponseCode > 0) {
            String response = http.getString();
            Serial.println(httpResponseCode);
            Serial.println(response);
        } else {
            Serial.print("Error pada pengiriman data: ");
            Serial.println(httpResponseCode);
        }
    }
}

```

```

    }
    http.end();
}

delay(10000); // Kirim data setiap 10 detik
}

// Fungsi untuk mengevaluasi kualitas udara dan
// mengontrol LED
String evaluateAirQuality(float co2, float nh3,
float co, float h2) {
  if (co2 < 50 && nh3 < 40 && co < 20 && h2 <
15) { // Udara Baik
    digitalWrite(ledHijau, HIGH);
    digitalWrite(ledKuning, LOW);
    digitalWrite(ledMerah, LOW);
    return "Baik";
} else if (co2 < 100 && nh3 < 80 && co < 50
&& h2 < 40) { // Udara Sedang
    digitalWrite(ledHijau, LOW);
    digitalWrite(ledKuning, HIGH);
    digitalWrite(ledMerah, LOW);
    return "Sedang";
} else if (co2 < 150 && nh3 < 120 && co < 80
&& h2 < 60) { // Udara Tidak Sehat
    digitalWrite(ledHijau, LOW);
    digitalWrite(ledKuning, HIGH);
    digitalWrite(ledMerah, LOW);
    return "Tidak Sehat";
} else { // Udara Berbahaya
    digitalWrite(ledHijau, LOW);
    digitalWrite(ledKuning, LOW);
    digitalWrite(ledMerah, HIGH);
    return "Berbahaya";
}
}
}

```

4.3. Hasil Pengujian Sensor

Sistem pemantauan kualitas udara dirancang untuk mendeteksi kadar gas CO₂, NH₃, CO, dan H₂ menggunakan sensor MQ-135 dan MQ-2. Data yang dihasilkan dikirimkan ke server lokal untuk disimpan dalam database MySQL melalui protokol HTTP. Sistem juga dilengkapi dengan LED sebagai indikator visual untuk menilai kualitas udara secara langsung, dengan tiga kategori: **Baik**, **Sedang/Tidak Sehat**, dan **Berbahaya**.

Hasil pengukuran gas yang dikirimkan ke database disajikan dalam tabel berikut. Data diambil selama pengujian dengan jeda pengiriman setiap 10 detik. Nilai PPM dihitung menggunakan rumus konversi pada Arduino yang telah dikalibrasi untuk masing-masing sensor.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor

CO ₂ (ppm)	NH ₃ (ppm)	CO (ppm)	H ₂ (ppm)
18.43	14.75	3.66	2.2
13.79	11.04	3.05	1.83
16.11	12.89	6.23	3.74
18.07	14.45	7.69	4.61
17.82	14.26	6.77	4.06

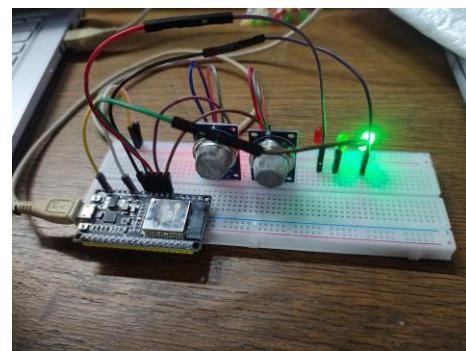
Data tersebut menunjukkan berbagai nilai yang diukur untuk masing-masing gas (CO₂, NH₃, CO, dan H₂) dalam 5 sampel yang diambil pada waktu yang berbeda.

Kualitas udara dievaluasi berdasarkan ambang batas berikut:

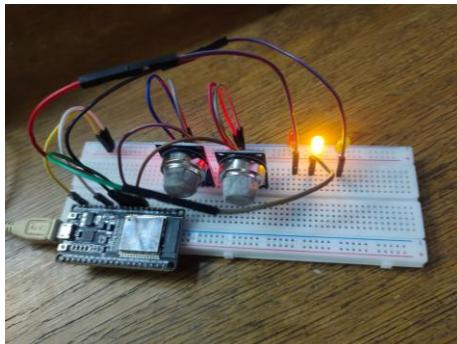
- **Baik:** CO₂ < 50 PPM, NH₃ < 40 PPM, CO < 20 PPM, H₂ < 15 PPM.
- **Sedang/Tidak Sehat:** CO₂ < 100 PPM, NH₃ < 80 PPM, CO < 50 PPM, H₂ < 40 PPM.
- **Berbahaya:** CO₂ ≥ 150 PPM, NH₃ ≥ 120 PPM, CO ≥ 80 PPM, H₂ ≥ 60 PPM.

Setiap kategori memicu LED indikator yang sesuai:

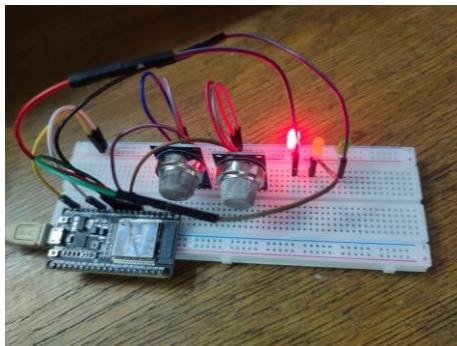
- Hijau: Udara Baik.
- Kuning: Udara Sedang/Tidak Sehat.
- Merah: Udara Berbahaya.



Gambar 5. LED Hijau (Udara Baik)



Gambar 6. LED Kuning (Udara Sedang/Tidak Sehat)



Gambar 7. LED Merah (Udara Berbahaya)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa LED indikator berubah warna secara akurat sesuai dengan nilai PPM yang diperoleh.

4.4. Tampilan Halaman Data Kualitas Udara di Website

Perhatikan gambar dibawah ini, yang menunjukkan tampilan halaman web yang menyajikan kategori kualitas udara berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan.



Gambar 8. Halaman dengan Kualitas Baik



Gambar 9. Halaman dengan Kualitas Sedang



Gambar 10. Halaman dengan Kualitas Tidak Sehat



Gambar 11. Halaman dengan Kualitas Berbahaya

5. KESIMPULAN

- Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan kualitas udara berbasis ESP32 yang menggunakan sensor gas MQ-2 dan MQ-135 berhasil dikembangkan.
- Perangkat yang dikembangkan mampu mendeteksi dan memantau kualitas udara secara real-time dengan akurasi yang baik di sistem.
- Hasil pengukuran disajikan dalam tabel yang mencakup nilai PPM untuk setiap gas yang diukur selama pengujian, dengan interval pengiriman data setiap 10 detik. Nilai-nilai ini telah dikalibrasi menggunakan rumus konversi yang sesuai dengan masing-masing sensor.
- Ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan selanjutnya yaitu menambahkan model prediksi berbasis *Artificial*

intelligence (AI), seperti regresi atau klasifikasi, untuk memprediksi tingkat polusi di masa mendatang berdasarkan data historis. Selain itu, pengujian dan validasi model dengan dataset yang lebih besar juga dapat meningkatkan kualitas hasil prediksi, menjadikan sistem pemantauan kualitas udara sebagai alat proaktif dalam manajemen polusi di sekitar jalan raya lalu lintas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ulaan, G. C., Poekoel, V. C., & Ontowirjo, A. H. J. (2020). *Making Indoor Air Quality Monitoring System*. 1–12.
- [2] Suryawan, M. A., Hasiri, E. M., & Yulianto, A. (2024). Alat Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Sensor Mq-5 Dan Mq-135 Berbasis Wireless Sensor Network. *Jurnal Informatika*, 13(1), 31-40.
- [3] VCPAMR, G. C. R. (2021). Internet of Things-Based Indoor Air Quality Monitoring System Design. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 11-18.
- [4] Lestary, F. D., Hidayat, A., Fadhilatunisa, D., & Eka, A. (2023). Prototype Sistem Monitoring Pendekripsi dan Penyaringan Udara pada Ruangan Berbasis *Internet of Things* (IoT). *Jurnal MediatIK*, 1-8.
- [5] Nugraha, R. F., Husna, F. N., Sandi, S., Syahla, A. F., Saputra, Y. A., & Hidayat, R. (2024). Smart Air Quality Guardian: Pengawasan Polusi Udara Berbasis ESP32 dengan Sensor Gas MQ-2 dan MQ-135. *Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, 2(2), 1-7.
- [6] Muhammad, I. Z., & Astutik, R. P. (2024). Rancang Bangun Alat Monitoring Suhu dan Kualitas Udara di Taman Hutan Raya Raden Soerjо berbasis Node RED dan Telegram. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(4), 2495-2504.
- [7] Mayola Prantica. (2022). Sistem Monitoring Kadar Gas Karbon Monoksida, Karbon Dioksida, Hidrogen, Dan Amonia Menggunakan Sensor MQ-2 Dan MQ-135 Berbasis Nodemcu Esp32 Sebagai Pemantau Pencemaran Udara.
- [8] Prasetyo, D. P. D., Lamada, I. L. I., & Adzillah, W. N. A. W. N. (2021). Implementasi Monitoring Kualitas Udara menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-131 berbasis Internet Of Things. *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 15(3), 239-245. <https://doi.org/10.23960/elc.v15n3.2184>
- [9] Rombang, I. A., Setyawan, L. B., & Dewantoro, G. (2022). Perancangan Prototipe Alat Deteksi Asap Rokok dengan Sistem Purifier Menggunakan Sensor MQ-135 dan MQ-2. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 21(1), 131-144.
- [10] Rosa, A. A., Simon, B. A., & Lieanto, K. S. (2020). Sistem Pendekripsi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 12(1), 23–28. <https://doi.org/10.31937/sk.v12i1.1611>
- [11] Salim, S., & Amirah, A. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Udara Pada Kawasan Industri Berbasis Internet Of Things (IoT). In *SISITI: Seminar Ilmiah Sistem Informasi dan Teknologi Informasi* (Vol. 11, No. 1, pp. 143-152).
- [12] Satryawan, M. A., & Susanti, E. (2023). Perancangan Alat Pendekripsi Kualitas Udara dengan IoT (Internet of Things) Menggunakan Wemos ESP32 D1 R32. *Sigma Teknika*, 6(2), 410-419.
- [13] Harpad, B., Salmon, S., & Saputra, R. M. (2022). Sistem Monitoring Kualitas Udara Di Kawasan Industri Dengan Nodemcu Esp32 Berbasis IoT. *Jurnal Informatika Wicida*, 12(2), 39-47.
- [14] Hasanuddin, M., & Herdianto, H. (2023). Sistem Monitoring dan Deteksi Dini Pencemaran Udara Berbasis Internet Of Things (IOT). *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, 4(4), 976-984. <https://doi.org/10.47065/josyc.v4i4.4034>
- [15] Hidayati, R. (2024). Sistem Pemantauan Kualitas Udara Secara *Real-Time* Menggunakan Esp32 Dan Teknologi IoT. *Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi*, 5(2), 232-245.
- [16] Waworundeng, J. M., & Lengkong, O. (2018). Sistem Monitoring Dan Notifikasi Kualitas Udara Dalam Ruangan Dengan Platform IoT. *Cogito Smart Journal*, 4(1), 94-103.
- [17] Majiid, M. I., & Assomadi, A. F. (2023). Rancang Bangun Alat Pemantau Kualitas Udara Dengan Pemanfaatan IoT (Internet Of Things) Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Sensor Mq-135 Dan Mq-136 Pada Wilayah Kabupaten Ponorogo (Parameter Co2 Dan So2). *Jurnal Purifikasi*, 22(1), 12-19. <https://doi.org/10.12962/j25983806.v22.i1.444>