

Smart Air Quality Guardian: Pengawasan Polusi Udara Berbasis ESP32 dengan Sensor Gas MQ-2 dan MQ-135

Rifki Fajar Nugraha¹, Fitria Nurul Husna¹, Sandi¹, Amanda Fairuz Syahla¹, Yogi Aldi Saputra¹,
Rahmat Hidayat¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Teluk Jambe Timur, Karawang, 41361, Indonesia

*Penulis Korespondensi : Rifki Fajar Nugraha (e-mail: 2110631160020@student.unsika.ac.id)

ABSTRAK

Kawasan kampus Universitas Singaperbangsa Karawang mengalami peningkatan tingkat polusi udara akibat pertumbuhan aktivitas perkotaan. Aktivitas sehari-hari seperti lalu lintas, konstruksi, dan kegiatan industri merupakan indikator penyebab peningkatan emisi polutan udara seperti PM_{2.5}, karbon monoksida (CO), dan senyawa organik volatil. Kurangnya data polusi udara dalam waktu nyata dapat menghambat upaya identifikasi sumber polusi dan pengambilan tindakan yang tepat untuk mengurangi polusi udara di kampus. Untuk mengatasi hal ini diperlukannya solusi dalam mengurangi emisi polutan yang berkelanjutan. Penerapan dari konsep solusi berkelanjutan kami tuangkan dalam penelitian melalui rancangan sistem pengawasan polusi udara yang disebut *Smart Air Guardian*. Pengawasan ini dilakukan berbasis mikrokontroler dengan menggunakan sensor gas MQ-2 dan MQ-135 yang akan mengawasi udara secara *real-time*. Sensor gas MQ-2 dan MQ-135 menggunakan struktur multilayer sensor yang memiliki sensitifitas tinggi terhadap kandungan CO dan CO₂. Sistem ini dilengkapi kemampuan mode ganda Bluetooth dan terintegrasi dengan fitur IoT (*Internet of Things*) sehingga dapat memproses dan menampilkan output data sensor melalui LCD yang mudah mendeteksi kualitas udara. Penerapan sistem ini digunakan sebagai upaya pengawasan kualitas udara kampus Universitas Singaperbangsa Karawang untuk meningkatkan kesadaran mengenai pentingnya menjaga kualitas udara.

KATA KUNCI Smart Air Guardian 2; Kualitas Udara 3; Sistem Monitoring.

ABSTRACT

The campus area of Singaperbangsa Karawang University has increased air pollution levels due to the growth of urban activities. Daily activities such as traffic, construction, and industrial activities are indicators of increased emissions of air pollutants such as PM_{2.5}, carbon monoxide (CO), and volatile organic compounds. The lack of real-time air pollution data can hamper efforts to identify sources of pollution and take appropriate action to reduce air pollution on campus. To overcome this, solutions are needed to reduce sustainable pollutant emissions. The application of the concept of sustainable solutions is poured into research through the design of an air pollution monitoring system called Smart Air Guardian. This supervision is carried out based on a microcontroller using the MQ-2 and MQ-135 gas sensor which will monitor the air in real-time. Gas sensors MQ-2 and MQ-135 use a multilayer sensor structure that has high sensitivity to CO and CO₂ content. This system is equipped with Bluetooth dual-mode capabilities and is integrated with IoT (Internet of Things) features so that it can process and display sensor data output through an LCD that easily detects air quality. The application of this system is used as an effort to monitor the air quality of the Singaperbangsa Karawang University campus to increase awareness about the importance of maintaining air quality.

KEYWORD Smart Air Guardian 2; Air Quality 3; Monitoring System.

1. PENDAHULUAN

Polusi udara adalah masalah lingkungan yang semakin mendesak dan relevan, terutama di kawasan perkotaan dan universitas. Karawang salah satu kota Industri terbesar di Indonesia Kota ini hadir dilengkapi dengan perusahaan yang saat ini berada di atas lahan penduduk Karawang, dengan jumlah perusahaan Industri yang setiap tahunnya mengalami peningkatan [1]. Akan tetapi dengan adanya perusahaan-perusahaan industri tersebut, tentu saja ini tidak terlepas dari dampak negatif yang pasti bermunculan, seperti polusi dimana kegiatan produksi dari pabrik akan menyebabkan lingkungan-lingkungan yang ada di sekitarnya merasakan perubahan ataupun penurunan tingkat kelestarian [2]. Kawasan kampus Universitas Singaperbangsa Karawang mengalami peningkatan tingkat polusi udara akibat pertumbuhan aktivitas perkotaan, termasuk lalu lintas kendaraan bermotor dan pembangunan infrastruktur [3]. Tingkat polusi ini dapat memberikan dampak negatif pada kesehatan dan kenyamanan mahasiswa, staf, dan pengunjung kampus. Masalah utama yang dihadapi di kawasan kampus Universitas Singaperbangsa Karawang adalah tingkat polusi udara yang dapat membahayakan kesehatan dan kenyamanan penghuni kampus. Aktivitas sehari-hari seperti lalu lintas, konstruksi, dan kegiatan industri dapat menyebabkan peningkatan emisi polutan udara seperti PM_{2.5}, karbon monoksida (CO), dan senyawa organik volatil [4]. Pada dasarnya polusi udara dalam ruangan dapat membahayakan kesehatan manusia, yang paling sering dijumpai adalah penyakit pneumonia atau paru-paru basah [5]. Hal ini disebabkan oleh zat-zat yang terkandung dalam udara yang telah terkontaminasi masuk ke dalam paru-paru dan menyebabkan peradangan. Peradangan ini lebih sering terjadi pada anak-anak karena sistem imun yang lebih lemah dari pada orang dewasa [6]. Kurangnya informasi dan kesadaran tentang kualitas udara di kampus juga menjadi masalah, sehingga masyarakat kampus kesulitan untuk mengambil tindakan pencegahan yang tepat. Proses pemantauan dan deteksi dapat menjadi salah satu solusi untuk mengetahui kondisi ruangan apakah CO₂ di dalam ruangan tersebut aman, kurang aman, dan berbahaya [7].

Referensi dari penelitian sebelumnya menjadi landasan penting untuk mengembangkan solusi terhadap masalah ini. Penelitian oleh Sari, Y., dan Waliyuddin, A. tentang "Deteksi Polusi Udara Dalam Ruangan Berbasis *Internet Of Things* (IoT)" telah menggunakan beberapa komponen utama seperti Wemos D1 R1, Arduino Uno, Sensor MQ2, Buzzer, LCD I2C, dan ESP32-CAM untuk mendeteksi polusi udara dalam ruangan [8]. Ketika polusi terdeteksi, kamera mengambil gambar yang kemudian dikirim dan ditampilkan melalui aplikasi Telegram [9]. Selain itu, penelitian oleh Sembaga, M.W., Zulham., dan Gustiana, Z. tentang "Prototype Deteksi Polusi Udara Menggunakan Sensor Asap Berbasis Arduino Uno" juga menggunakan sensor MQ2

yang berbasis mikrokontroler Arduino Uno untuk mendeteksi tingkat asap dalam ruangan [10].

Melalui referensi-referensi ini, terdapat kesamaan dalam pendekatan menggunakan sensor-sensor tertentu dan platform mikrokontroler untuk mendeteksi polusi udara dalam ruangan. Pendekatan berbasis *Internet of Things* (IoT) menjadi fokus penting dalam pengembangan solusi yang lebih canggih dan terintegrasi untuk memantau polusi udara di lingkungan perkotaan dan kampus. Melalui tinjauan terhadap penelitian-penelitian tersebut, peneliti tertarik untuk menggabungkan pendekatan dan teknologi yang telah dikembangkan sebelumnya untuk menghasilkan solusi yang lebih efektif dan terpadu dalam mendeteksi, memantau polusi di kampus Universitas Singaperbangsa [11].

Tabel 1. Tabel Perbandingan *State-of-the-Art*

Aspek Penelitian	Penelitian Sebelumnya	Penelitian yang Sedang Dilakukan
Metode Pemantauan	Menggunakan sensor MQ-2, Arduino Uno, dan pemrosesan data sederhana.	Mengadopsi sensor MQ-2 dan MQ-135 dengan mikrokontroler yang lebih canggih serta integrasi IoT untuk pemrosesan dan visualisasi data.
Kemampuan Pemrosesan Data	Terbatas pada output dasar pada layar lokal.	Memiliki kemampuan mode ganda Bluetooth dan terintegrasi dengan fitur IoT, sehingga memungkinkan pemrosesan data yang lebih kompleks dan output visual yang lebih informatif.
Identifikasi Polutan Udara	Fokus utama pada CO.	Mengembangkan kemampuan untuk mendeteksi CO, CO ₂ , dan partikel PM _{2.5} secara simultan, memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai kualitas udara.
Kontribusi pada Kesadaran Lingkungan	Memberikan pemahaman dasar terhadap polusi udara.	Meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat kampus akan pentingnya menjaga kualitas udara, serta memberikan wawasan yang diperlukan untuk pengambilan tindakan yang tepat.

Tujuan utama penelitian ini adalah membangun sistem pengawasan yang mampu memonitor secara *real-time* kualitas udara dengan menggunakan sensor gas MQ-2 dan MQ-135. Melalui pemanfaatan teknologi

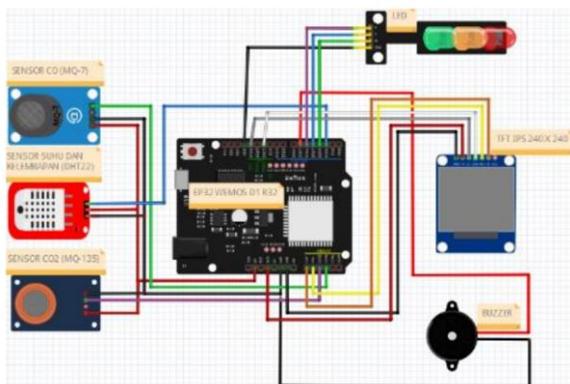
mikrokontroler dan integrasi *Internet Of Things*, sistem ini dapat mengolah data sensor dan menampilkan informasi kualitas udara pada layar LCD dengan kemudahan dan kecepatan akses [12]. Selain itu, proyek ini juga bertujuan untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat kampus akan pentingnya menjaga kualitas udara di sekitar lingkungan mereka [13]. Dengan memanfaatkan data yang terkumpul dari pemantauan polusi udara, penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam mengidentifikasi sumber polusi yang mungkin terjadi, sehingga dapat diambil langkah-langkah preventif atau korektif yang tepat untuk mengurangi polusi [14]. Selain sebagai alat pemantauan, *Smart Air Guardian* diharapkan juga dapat memotivasi partisipasi aktif dari komunitas kampus, memberikan pengertian akan peran individu dalam menjaga kualitas udara, serta menginspirasi langkah-langkah konkrit untuk menjaga lingkungan yang lebih bersih dan sehat.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada model prototipe yang akan dibuat. Penelitian ini dimulai dengan proses studi literatur dengan mengumpulkan data, berita, artikel, jurnal, buku, serta referensi lain yang berkaitan dengan mekanisme, fungsi, dan kebutuhan alat tersebut. Melalui studi literatur ini, peneliti dapat memperoleh pemahaman yang mendalam tentang isu-isu terkait polusi udara dan teknologi yang ada untuk mengatasi masalah tersebut [15]. Dan yang kedua, dilakukan riset terhadap kebutuhan masyarakat yang akan membentuk dasar untuk perancangan alat yang sesuai dengan tantangan lingkungan yang dihadapi.

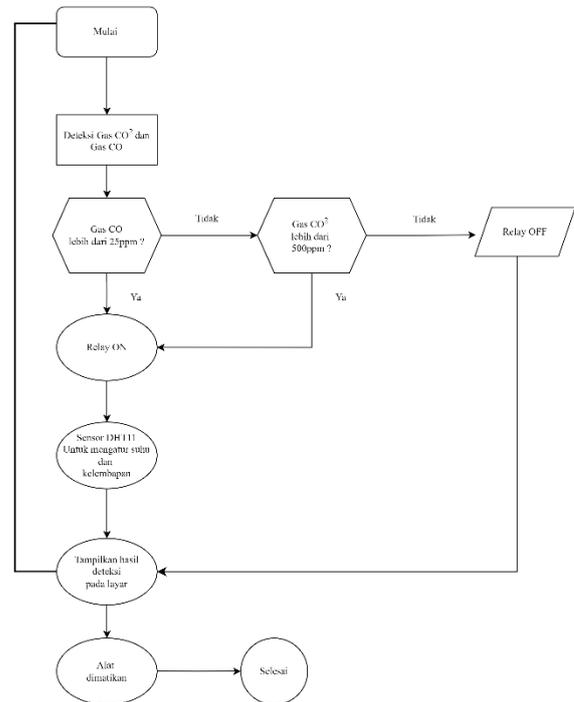
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kasus dan pendekatan konseptual. Pendekatan kasus berupa pencarian data yang mencakup pemahaman mengenai kebutuhan masyarakat dalam pengawasan olusi udara pada lingkungan kampus, sedangkan Pendekatan konseptual didasari oleh konsultasi dengan ahli bidang Teknik yang bertujuan untuk mendapatkan informasi tambahan dalam memahami studi kasus yang diteliti. Kemudian, dari data-data diperoleh peneliti melakukan penerapan sistem dengan melakukan pembuatan dan pengujian alat yang selanjutnya akan dibahas lebih lanjut pada hasil dan pembahasan penelitian.

2.1 Perancangan Instalasi Komponen



Gambar 1. Rancangan Skematik Alat

2.2 Perancangan Software



Gambar 2. Flowchart Main Program

2.3 Perancangan Prototipe Alat



Gambar 3. Tampilan Konstruksi Alat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tampilan Konstruksi Alat



Gambar 4. Tampilan Konstruksi Alat

3.2 Tampilan Pengujian Alat pada LCD



Gambar 5. Display Deteksi Suhu dan Kadar Asap Kondisi Aman



Gambar 6. Display Kondisi Tidak Aman

3.3 Tampilan Pada Aplikasi Dashboard



Gambar 7. Tampilan Aplikasi pada Dashboard

3.4 Pengujian Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT 11)

Pengujian akan dilakukan untuk melihat apakah sensor suhu dan kelembaban DHT11 akurat dan beroperasi dengan benar dalam mendeteksi suhu perangkat. Hasil tes akan dicatat dalam tabel. Setelah data hasil pengujian dimasukkan ke dalam tabel, langkah selanjutnya adalah

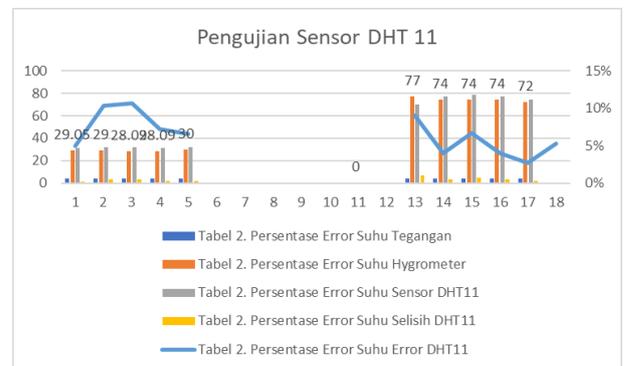
mencari nilai error. Hasil yang diperoleh akan dirangkum dalam penyajian nilai kesalahan

Tabel 2. Persentase Error Suhu

Tegangan	Hygrometer	Sensor DHT11	Selisih	Error
4.075	29.05	31	01.05	5%
4.080	29	32	3	10.3%
4.081	28.09	32	03.01	10.7%
4.076	28.09	31	02.01	7.2%
4.060	30	32	2	6.6%
Rata-rata error (%)				7.96%

Tabel 3. Persentase error kelembapan

Tegangan	Hygrometer	Sensor DHT11	Selisih	Error
4.075	77	70	7	9%
4.080	74	77	3	4%
4.081	74	79	5	6.7%
4.076	74	77	3	4%
4.060	72	74	2	2.7%
Rata-rata error (%)				5.28%



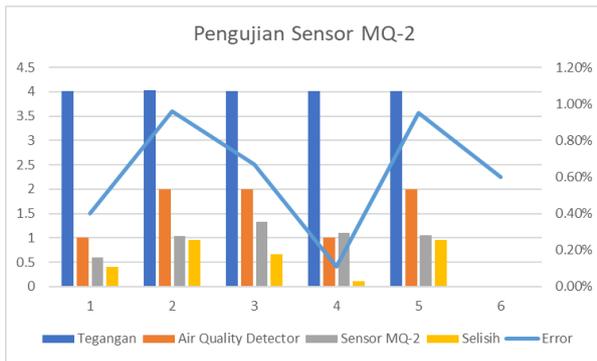
Gambar 8. Grafik Pengujian Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT 11)

3.5 Pengujian Sensor Gas CO (MQ-2)

Pengujian pada sensor gas CO MQ-2 bertujuan untuk mengetahui apakah sensor dapat bekerja secara efektif dan efisien dalam mendeteksi kadar gas CO pada peralatan.

Tabel 4. Persentase Error Gas CO (MQ-2)

Tegangan	Air Quality Detector	Sensor MQ-2	Selisi h	Error
4.007	1	0.6	0.4	0.4%
4.023	2	1.04	0.96	0.96%
4.015	2	1.33	0.67	0.67%
4.013	1	1.11	0.11	0.11%
4.011	2	1.05	0.95	0.95%
Rata-rata error (%)				0.6%



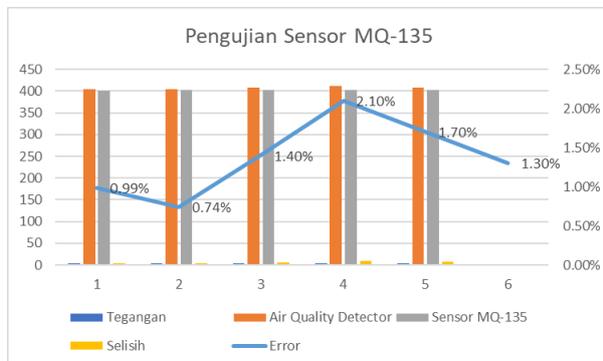
Gambar 9. Grafik Pengujian Sensor Gas MQ-2

3.6 Pengujian Sensor Gas CO₂ (MQ-135)

Sensor gas CO₂ MQ-135 sedang diuji untuk melihat apakah sensor tersebut dapat mendeteksi jumlah gas CO₂ di dalam alat secara akurat dan efektif.

Tabel 5. Persentase Error Gas CO₂ (MQ-135)

Tegangan	Air Quality Detector	Sensor MQ-135	Selisih	Error
4.062	404	400	4	0.99%
4.080	405	402	3	0.74%
4.081	409	403	6	1.4%
4.076	411	402	9	2.1%
4.060	409	402	7	1.7%
Rata-rata error (%)				1.3%



Gambar 10. Grafik Pengujian Sensor Gas MQ-135

3.7 Pengujian Keseluruhan Sensor Pada Alat

Tabel 6. Hasil Pengujian Keseluruhan

PPM	Notifikasi Blink	LED Hijau dan Buzzer 10<	LED Kuning dan Buzzer 50>	LED Merah dan Buzzer >101
0	Off	On	Off	Off
88	On (Warning Poor Air Quality)	Off	On	Off

240	On (Danger Critical Air Quality)	Off	Off	On
-----	----------------------------------	-----	-----	----

3.8 Pembahasan & Analisis

Berdasarkan hasil sensor suhu dan kelembaban DHT11, dapat disimpulkan bahwa sensor tersebut menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik. Sensor suhu memiliki rata-rata kesalahan sebesar 7,96%, sementara sensor kelembaban menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih rendah, yakni 5,28%. Khususnya, sensor suhu cenderung memiliki kesalahan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sensor kelembaban, kemungkinan disebabkan oleh faktor-faktor seperti suhu lingkungan, kondisi sensor, dan cara pemasangan. Secara umum, sensor suhu dan kelembaban DHT11 terbukti sangat cocok untuk mengukur suhu dan kelembaban udara dengan akurat. Untuk sensor gas CO MQ-2, hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi yang memuaskan, dengan rata-rata kesalahan sebesar 0,6%. Kesalahan yang hampir tidak signifikan pada sensor gas CO mengonfirmasi keandalannya dalam mendeteksi tingkat gas CO dengan tepat.

Sementara itu, sensor gas CO₂ MQ-135 juga menunjukkan tingkat akurasi yang dapat diandalkan, dengan rata-rata kesalahan sebesar 1,3%. Kesalahan yang minim pada sensor gas CO₂ menegaskan kemampuannya dalam mendeteksi konsentrasi gas CO₂ secara akurat. Kemampuan mendeteksi tingkat gas CO dan CO₂ secara akurat serta memberikan pemberitahuan tepat waktu berdasarkan kondisi udara. Alat ini menggunakan sistem LED berkode warna dan bel untuk indikasi yang jelas: dalam kondisi udara normal (PPM < 10), LED hijau dan bel aktif; dalam kondisi udara buruk (PPM > 50), LED kuning dan bel aktif; dan pada kondisi udara kritis (PPM > 101), LED merah dan buzzer aktif.

Tabel 7. Hasil Pengujian Sensor Gas

Sensor	Jenis Gas	Udara Bersih (ppm)	Asap (ppm)
MQ-135	CO ₂	325	1023
MQ-2	CO	7	70

Pada pengujian kualitas udara menggunakan sensor MQ-135 dan MQ-2, terdapat dua kategori polusi asap yang diukur. Sensor MQ-135 untuk deteksi CO₂ dan asap menunjukkan hasil konsentrasi udara bersih sebesar 325 ppm CO₂, sedangkan asap terdeteksi sebanyak 1023 ppm. Penelitian sebelumnya, yang berjudul "Perancangan Prototipe Alat Deteksi Asap Rokok dengan Sistem Purifier Menggunakan Sensor MQ-135 dan MQ-2" (Rombang et al, 2022). Dalam penelitian tersebut, prototipe alat deteksi asap rokok mampu membersihkan udara dengan waktu yang bervariasi sesuai dengan kategori ruangan. Kategori kecil memerlukan waktu rata-rata 34,52 menit, menghasilkan konsentrasi CO₂ setelah pembersihan

sebanyak 1055 ppm, dengan tingkat CO₂ setelah pembersihan sebesar 19 ppm. Ruangan kategori sedang dan ganda menunjukkan pola serupa dengan waktu pembersihan dan tingkat CO₂ yang berbeda sesuai kategorinya.

Sementara itu hasil dari penelitian ini yang berjudul "Smart Air Quality Guardian: ESP32-Based Air Pollution Monitoring with the MQ-2 and MQ-135 Gas Sensors" menguji sensor MQ-2 dan MQ-135 untuk deteksi gas CO dan CO₂. Sensor gas CO pada MQ-2 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata kesalahan sebesar 0,6%, sementara sensor gas CO₂ pada MQ-135 memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata kesalahan sebesar 1,3%. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sensor dapat diandalkan untuk mendeteksi konsentrasi gas CO dan CO₂ secara akurat. Penggunaan prototipe alat deteksi asap rokok dengan sensor MQ-135 dan MQ-2 dapat memberikan pemantauan kualitas udara yang efektif dan efisien, dengan hasil yang dapat disesuaikan dengan ukuran ruangan yang berbeda.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini sejalan dengan tujuannya untuk membangun sistem pengawasan kualitas udara menggunakan sensor gas MQ-2 dan MQ-135. Berikut adalah hasil kesimpulan yang dapat ditarik:

1. Sensor suhu dan kelembapan DHT11 menunjukkan tingkat akurasi yang memadai, walaupun perbedaan tingkat error antara sensor suhu (7.96%) dan sensor kelembapan (5.28%) terdapat. Faktor-faktor seperti suhu lingkungan, kondisi sensor, dan metode pemasangan dapat mempengaruhi tingkat error.
2. Sensor gas CO MQ-2 memiliki tingkat akurasi yang baik, dengan rata-rata error sebesar 0.6%. Hal ini menegaskan kemampuan sensor ini untuk mendeteksi kadar gas CO secara akurat.
3. Sensor gas CO₂ MQ-135 juga menunjukkan tingkat akurasi yang memuaskan, dengan rata-rata error sebesar 1.3%. Sensor ini dapat diandalkan untuk mendeteksi jumlah gas CO₂ dengan cukup akurat.
4. Secara keseluruhan, alat yang menggunakan sensor-sensor ini mampu beroperasi dengan baik. Alat dapat mengukur kadar gas CO dan CO₂ dengan cukup akurat, serta memberikan notifikasi sesuai dengan kondisi udara. Pada kondisi udara normal, alat mengaktifkan LED hijau dan buzzer; pada kondisi udara buruk, mengaktifkan LED kuning dan buzzer; dan pada kondisi udara kritis, mengaktifkan LED merah dan buzzer.
5. Kesimpulan menyatakan bahwa alat ini dapat diandalkan untuk pemantauan kualitas udara, sementara respons notifikasi sesuai dengan tingkat keparahan kondisi udara dapat membantu pengguna mengambil tindakan yang diperlukan.

Penelitian ini juga berhasil mencapai tujuan tambahan, yaitu meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat kampus tentang pentingnya menjaga kualitas udara di sekitar lingkungan mereka. Dengan data yang terkumpul, penelitian ini diharapkan dapat membantu identifikasi sumber polusi dan mendorong partisipasi aktif dari komunitas kampus untuk menjaga lingkungan yang lebih bersih dan sehat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Rahmat Hidayat, AMd.T., S.Pd., M.Pd., M.T., atas peran pentingnya dalam penelitian kami. Bapak Hidayat tidak hanya memberikan bimbingan teknis yang berharga, tetapi juga menjadi sumber inspirasi dan dukungan selama seluruh proses penelitian. Kesabaran dan dedikasi beliau menciptakan lingkungan yang mendukung pengembangan keterampilan dan pengetahuan kami.

Wawasan kritis dan pandangan mendalam Bapak terhadap metodologi penelitian memperkaya cara kami memandang dan memahami permasalahan. Kami menghargai dukungan penuh beliau terhadap ide inovatif kami, yang tidak hanya memantik kreativitas tetapi juga membantu mengatasi tantangan selama penelitian. Semua arahan Bapak menjadi landasan kuat bagi keberhasilan penelitian ini. Kami merasa beruntung bisa belajar di bawah bimbingan beliau, dan tanpa dukungan berkelanjutan beliau, hasil penelitian ini tidak mungkin tercapai. Harapan kami adalah bahwa penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Asmazori, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi NO_x dan CO Berbasis Mikrokontroler ESP32 dengan Notifikasi Via Telegram dan Suara," *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, vol. 5, no. 02, pp. 57–62, Sep. 2021, doi: 10.25077/jitce.5.02.57-62.2021.
- [2] "NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial," *Dwi Juliawati, Kariena Febriantini, Dadan Kurniansyah*, vol. 9, pp. 2295–2300, 2022, doi: 10.31604/jips.v9i6.2022.2295-2300.
- [3] Fauziah S, Fuad Rachmadi R, and Kurniawan A, "Perangkat Portable Pemantau Polusi Menggunakan Sensor PM, CO, dan O₃ Berbasis," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 10, no. 2, 2021.
- [4] M. Mustafa and A. Mutmainnah, "PENGEMBANGAN ALAT MONITORING KADAR GAS KARBON MONOKSIDA (CO) BERBASIS INTERNET OF THINGS," 2020.
- [5] M. Wahyu Sembaga and Z. Gustiana, "PROTOTYPE DETEKSI POLUSI UDARA MENGGUNAKAN SENSOR ASAP BERBASIS ARDUINO UNO," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, 2023, doi: 10.46576/djtechno.
- [6] Handayani, "Alasan Polusi Udara Berisiko Tinggi Sebabkan Pneumonia," halodoc.com. Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.halodoc.com/artikel/alasan-polusi-udara-berisiko-tinggi-sebabkan-pneumonia>
- [7] R. D. Saputra, "Pembuatan Prototipe Sistem Telemetri Kualitas Udara melalui Telegram," *PRISMA FISIKA*, vol. 10, no. 3, pp. 396–401, 2022.
- [8] Y. Sari and A. Waliyuddin, "ALAT DETEKSI POLUSI UDARA DALAM RUANGAN

- BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT),” 2021.
- [9] Y. Sari and A. Waliyuddin, “ALAT DETEKSI POLUSI UDARA DALAM RUANGAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT),” 2021.
- [10] M. Wahyu Sembaga and Z. Gustiana, “PROTOTYPE DETEKSI POLUSI UDARA MENGGUNAKAN SENSOR ASAP BERBASIS ARDUINO UNO,” *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, 2023, doi: 10.46576/djtechno.
- [11] L. Hanum, “Rancang Bangun Pemantau Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet Of Things,” vol. 4, no. 2, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.473.
- [12] F. Rivaldi, R. Maulana, M. Hannats, and H. Ichsan, “Sistem Deteksi Pencemaran Gas Beracun CO, HC, NOx dalam Ruangan Tertutup dengan Metode Support Vector Machine,” 2022. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [13] M. A. Satryawan and E. Susanti, “PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI KUALITAS UDARA DENGAN IoT (Internet of Things) MENGGUNAKAN WEMOS ESP32 D1 R32,” *Sigma Teknika*, vol. 6, no. 2, pp. 410–419, 2023.
- [14] F. Fachrizal, J. Julham, and A. Antoni, “Sistem Monitoring Polusi Udara Menggunakan Sensor Nitrogen Carbon Berbasis Internet of Thing,” *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, vol. 4, no. 1, p. 199, Oct. 2022, doi: 10.30865/json.v4i1.4903.
- [15] Grace C. Rumampuk, Vecky C. Poekoel, and Arthur M. Rumagit, “Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet of Things,” 2021.