

PEMANTAUAN TINGKAT KARBON MONOKSIDA DENGAN SENSOR MQ-9 STUDI KASUS UNIVERSITAS SEMARANG

Alauddin Maulana Hirzan¹, Whisnumurti Adhiwibowo², April Firman Daru³

¹Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Universitas Semarang
Jl. Soekarno-Hatta Tlogosari, Semarang 50196, 024-6702757, e-mail: maulanahirzan@usm.ac.id

²Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Universitas Semarang
Jl. Soekarno-Hatta Tlogosari, Semarang 50196, 024-6702757, e-mail: whisnu@usm.ac.id

³Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Universitas Semarang
Jl. Soekarno-Hatta Tlogosari, Semarang 50196, 024-6702757, e-mail: firman@usm.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received : 5 – September - 2023

Received in revised form : 16 – November - 2023

Accepted : 13 – Agustus - 2024

Available online : 1 – September - 2024

ABSTRACT

Emissions are a very serious matter to be addressed, carbon monoxide gas emissions are the residue of combustion carried out by motor vehicles such as motorbikes and cars. This gas is odourless and colourless, but deadly in high doses. So it needs serious handling to monitor this type of gas. Semarang University is one of the universities with the largest number of students in Central Java, so automatically motorists also increase the content of carbon monoxide gas in the parking area. Therefore, this research aims to design a prototype of carbon monoxide detection using Internet of Things technology that can report when there is gas content in the air. This model is equipped with an MQ-9 sensor that can detect carbon monoxide gas more accurately than previous models. Based on the evaluation results, this model can detect gas with an average of 4.17 ppm from 55 existing detection data stored in the Firebase Realtime Database. Of all the data, the model detected the highest peak reaching 18.365 ppm. Although there is an increase in gas content, this result is still below the recommended safe limit. In addition, the last result obtained from this model is a reporting notification delivered via Telegram Bot.

Keywords: *Carbon Monoxide, Internet of Things, MQ-9, Telegram*

1. PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan hal yang dapat mengganggu kesehatan manusia, khususnya polusi gas karbon monoksida yang dihasilkan oleh kombusi yang tidak sempurna maupun pembakaran lainnya. Gas karbon monoksida yang dilepaskan di udara tidak bisa dengan mudah dideteksi karena sifatnya yang tidak berwarna dan tidak berbau[1]. Sehingga resiko untuk terhirup secara tidak sengaja oleh manusia dapat terjadi di udara terbuka. Jika karbon monoksida terhirup oleh manusia, dapat menyebabkan penyakit yang serius bahkan kematian dalam dosis eksposur yang tinggi. Di tahun 2021, terdapat penelitian yang telah berhasil mengumpulkan data dari 337 kota dari 18 negara. Dari hasil yang didapatkan oleh penelitian tersebut, peneliti mendapatkan tingkat karbon monoksida mencapai 1 mg/m³. Angka ini mengindikasikan resiko yang lebih tinggi untuk meningkatkannya angka mortalitas[2]. Resiko lain yang dapat terjadi apabila

terjadinya keracunan gas karbon monoksida berupa: sakit kepala, mual, muntah, nafas singkat, bahkan kematian[3]. Dari penelitian lain menemukan terjadinya kematian sebanyak 2000 – 5000 kematian yang disebabkan oleh keracunan karbon monoksida di Jepang[4]. Oleh karena bukti-bukti tersebut sangatlah penting untuk memantau konsentrasi gas karbon monoksida di udara.

Hal ini juga menjadi perhatian untuk Universitas Semarang, universitas ini memiliki lebih dari 3000 mahasiswa (data dari Penerimaan Mahasiswa Baru) dan belum termasuk mahasiswa lama aktif di universitas. Peneliti telah melakukan perhitungan secara manual jumlah motor yang *standby* di tempat parkir tersebut. Terdapat kurang lebih 280 pemotor dan lebih dari ratusan motor lalu lalang melewati tempat tersebut. Sehingga bisa dipastikan terdapat konsentrasi gas karbon monoksida di tempat tersebut, apalagi kendaraan yang digunakan tidak memiliki efisiensi emisi yang baik[5]. Dikarenakan Universitas Semarang memusatkan tempat parkir para mahasiswa dan karyawan di satu tempat, maka secara otomatis tingkat konsentrasi karbon monoksida di tempat parkir tersebut cukup signifikan.

Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk mendesain sebuah purwarupa deteksi karbon monoksida menggunakan pendekatan berbasis *Internet of Things* dengan menggunakan sensor MQ-9 untuk mendeteksi tingkat karbon monoksida di area parkir motor Universitas Semarang. Penggunaan teknologi ini sangat cocok karena kemudahan akses informasi di mana pun pengguna berada[6]. Perangkat yang digunakan lainnya berupa ESP32 untuk melakukan pengambilan data sensor dan pra-pemrosesan sebelum dikirimkan ke komputasi awan (*cloud computing*) untuk diproses lebih lanjut dan disimpan secara permanen. Sehingga pengguna dapat melakukan pengecekan data tanpa harus khawatir data hilang ditengah jalan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Di bagian ini peneliti mengumpulkan penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Hal ini dilakukan untuk melakukan analisis kekurangan penelitian sebelumnya dan dioptimalkan di penelitian ini.

Penelitian sebelumnya pada tahun 2019, terdapat beberapa penelitian yang berkaitan dengan pemantauan gas karbon monoksida dengan menggunakan sensao MQ-7. Dari beberapa penelitian tersebut, model yang telah diusulkan mampu mendeteksi karbon monoksida dengan baik. Selain itu model yang diusulkan juga mampu memberikan respon berupa buzzer[7] ketika mencapai tingkat tertentu[8]–[10]. Beberapa model juga menggunakan platform *Thingsspeak*[11] hingga Android[12] untuk memantau tingkat gas karbon monoksida.

Di tahun 2020, penelitian berlanjut dengan memantau keadaan gas di dalam ruangan. Di antaranya terdapat penelitian yang fokus ke penggunaan perangkat berdaya rendah[13], sedangkan untuk model lainnya fokus ke penyimpanan internal berbasis web[14], [15]. Sedangkan model terakhir hanya menerapkan lampu LED untuk bertindak sebagai pemberitahu tingkat gas karbon monoksida. Setahun berikutnya di tahun 2021, model dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan platform *Blynk* untuk mempermudah pengguna mengakses informasi dari sensor MQ-7[16]. Dan penelitian terakhir di tahun 2022 mengembangkan model yang lebih hemat daya dan bisa diakses secara realtime melalui gawai cerdas[17].

2.2. Analisis Penelitian

Peneliti telah mempelajari dan menganalisa kelemahan yang dimiliki oleh model yang dihasilkan oleh penelitian sebelumnya. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, terdapat kelemahan-kelemahan umum seperti: penggunaan sensor MQ-7 di model sebelumnya memiliki akurasi yang rendah dibandingkan sensor MQ-9 yang lebih baru[18]. Sehingga hasil deteksi yang didapatkan oleh model tidak seakurat hasil yang dihadirkan oleh sensor MQ-9. Masalah berikutnya adalah berkaitan dengan lokasi tempat implementasi model tersebut. Meskipun sangat direkomendasikan diimplementasikan dalam ruangan, namun perangkat tidak bekerja secara maksimal apabila tidak ada penghasil gas karbon monoksida seperti motor maupun mobil. Masalah berikutnya adalah platform yang digunakan seperti Web, Blynk, dan Android. Platform ini tidak menyediakan penyimpanan permanen seperti layanan basis data punyai. Khusus platform seperti *Blynk* sangat dibatasi apabila tidak memiliki akun premium sehingga tidak direkomendasikan untuk pengembang personal.

Berdasarkan masalah-masalah tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah model yang membantu berkontribusi dalam hal mendeteksi gas karbon monoksida khususnya di tempat parkir Universitas Semarang. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan papan *ESP32 Devkit*, sensor MQ-9 untuk mendeteksi karbon monoksida, untuk transmisi data menggunakan API khusus berbasis Python yang diunggah ke server, dan penyimpanan permanen di basis data *Realtime Firebase*. Konektivitas untuk perangkat sendiri menggunakan koneksi nirkabel untuk terhubung ke Internet. Untuk notifikasi sendiri, model akan dihubungkan ke Telegram Bot untuk kemudian akses dan penyimpanan permanen. Diharapkan model yang diusulkan dapat membantu memantau keadaan gas karbon monoksida di Universitas Semarang.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Di bagian ini peneliti membahas tahapan-tahapan yang dilakukan oleh peneliti untuk menyelesaikan masalah yang ada. Tahapan dimulai dari pengumpulan dan analisis data permasalahan, desain model, implementasi model, dan evaluasi dari penelitian yang dilakukan.

3.1. Pengumpulan dan Analisis Data Permasalahan

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai masalah polusi gas karbon monoksida di Universitas Semarang, peneliti melakukan observasi langsung di lapangan parkir Universitas Semarang. Berikut ini adalah contoh dokumentasi yang didapatkan selama observasi dilakukan:



(a)



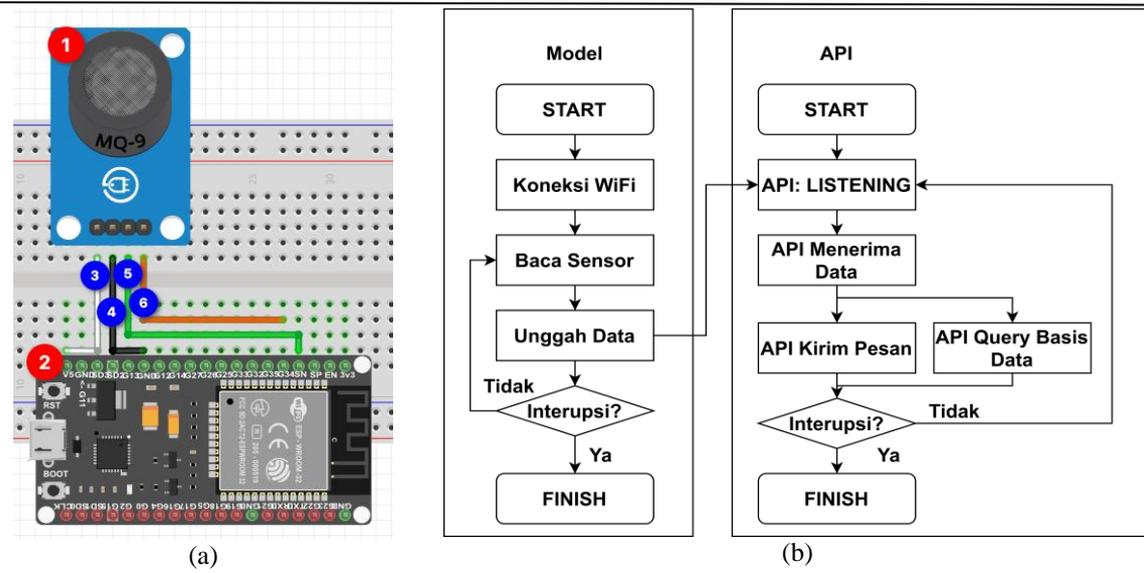
(b)

Gambar 1. Hasil Observasi Lapangan

Berdasarkan Gambar 1, peneliti mendapatkan jumlah pengguna motor baik dari kalangan mahasiswa maupun pegawai mencapai lebih dari 200 pengguna motor. Demi menjaga privasi para pengendara, peneliti telah melakukan sensor dengan mengaburkan angka yang ada di plat nomor masing-masing kendaraan. Jumlah motor tersebut masih berupa kendaraan yang diam dan tidak bergerak. Sedangkan kenyataannya masih terdapat lalu lalang motor naik atau turun yang harus melintasi area ini. Sehingga bisa dikatakan bahwasanya area ini merupakan area aktif kendaraan motor yang berpotensi meningkatkan konsentrasi gas karbon monoksida.

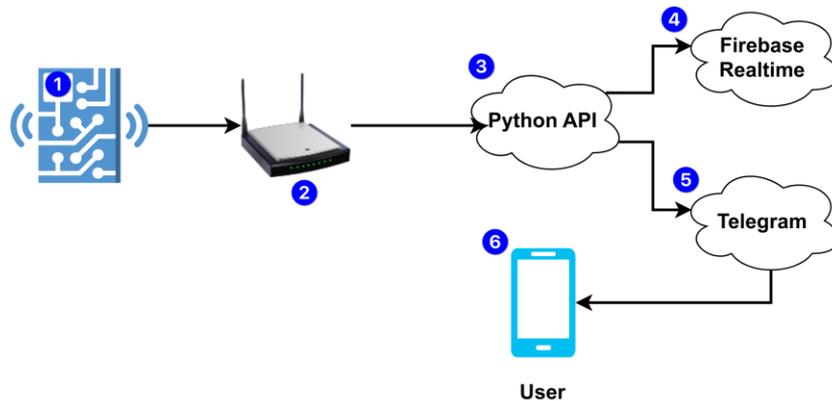
3.2. Desain Model

Dari hasil observasi yang dilakukan dilangkah sebelumnya, peneliti kemudian melanjutkan ke langkah berikutnya yaitu mendesain model perangkat sesuai dengan kebutuhan observasi. Berikut ini adalah desain model yang akan digunakan dalam mendeteksi gas di lapangan parkir:



Gambar 2. Desain Rangkaian Model Deteksi Gas (a), dan Alur Proses Model (b)

Gambar 2 di atas merupakan hasil rangkaian model deteksi gas karbon monoksida. Model ini (a) terdiri dari dua (2) komponen utama seperti sensor MQ-9 (1) dan ESP32 (2). Kedua komponen ini dihubungkan sesuai Pin masing-masing. Sebagai contoh: Pin VCC di kedua sisi dihubungkan kabel putih (3). Pin *Ground* dihubungkan dengan kabel hitam (4). Pin D0 sensor ke GPIO34 (5), dan Pin A0 sensor ke GPIO35 (6). Gambar (b) adalah alur proses dari model yang dibuat. Model ini bekerja dengan menghubungkan diri ke jaringan nirkabel sebelum membaca sensor. Sesudah terhubung, model akan membaca sensor dan mengunggah data tersebut ke API di *cloud*. Proses berikutnya berlanjut di *cloud* dengan API membaca data yang diunggah. Data ini kemudian dilaporkan ke pengguna melalui Telegram dan disimpan ke *Firestore Realtime Database*. Proses ini akan terus menerus berulang hingga terjadi interupsi yang mematikan perangkat secara paksa. Setelah mendesain model, berikutnya adalah mendesain komunikasi perangkat dengan menggunakan jaringan nirkabel. Perhatikan gambar berikut:

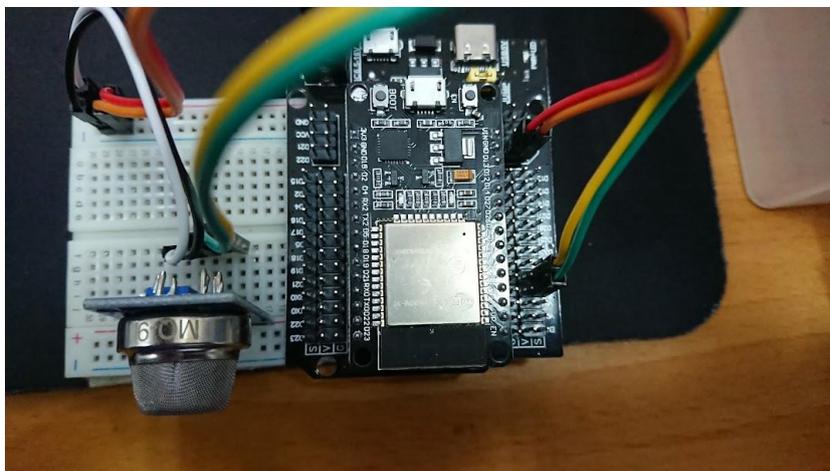


Gambar 3. Topologi Jaringan Model

Gambar 3 merupakan topologi yang akan digunakan oleh model untuk berkomunikasi dengan klien. Ketika model membaca sensor (1), data ini kemudian diunggah ke Internet melalui router nirkabel (2). Data yang dikirim ini diterima oleh API Python sebelum diteruskan ke platform berikutnya yaitu *Firestore Realtime Database* dan *Telegram*. Setelah data diterima oleh API, data ini disusun terlebih dahulu ke dalam format yang lebih mudah dibaca sebelum diunggah ke basis data (4). Data yang berhasil diunggah kemudian dikirimkan ke platform Telegram (5) dan tersampaikan ke pengguna (6).

3.3. Implementasi Model

Setelah selesai mendesain rangkaian serta topologi jaringannya, peneliti kemudian mengimplementasikan perangkat seperti gambar berikut:



Gambar 4. Hasil Implementasi Model

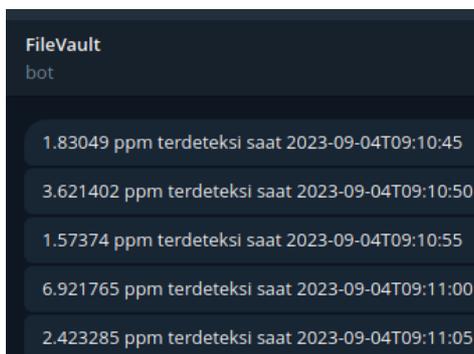
Gambar 4 merupakan hasil implementasi dari desain model yang telah dibuat oleh peneliti. Model yang diimplementasikan menggunakan perangkat ESP32 dan terhubung ke sensor melalui kabel jumper pin. Untuk mempermudah pemasangan purwarupa perangkat, papan ESP32 dibantu dengan *breadboard* untuk kemudahan akses Pin-Pin internal untuk dihubungkan ke eksternal. Sedangkan untuk sensor sendiri diletakkan di *breadboard* untuk kemudahan pemasangan tanpa harus menyolder perangkat secara permanen.

3.4. Evaluasi Model

Tahap ini membahas proses evaluasi dari model yang sudah dilakukan. Untuk melakukan evaluasi model, penelitian ini menggunakan langkah sederhana dengan menguji secara langsung model di tempat. Dengan menempatkan model tepat di tengah-tengah area, model dapat menangkap kandungan gas karbon monoksida di udara.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap ini membahas hasil dari evaluasi yang didapatkan oleh peneliti beserta pembahasannya. Hasil evaluasi ini kemudian dikompilasikan dalam bentuk tabel dan divisualisasikan untuk mempermudah pembacaan data. Berikut ini adalah hasil pelaporan yang dilakukan model melalui *Telegram*



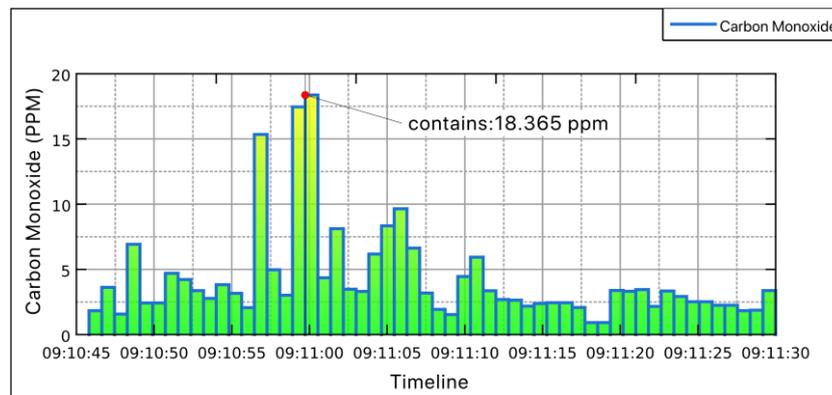
Gambar 5. Hasil Tangkap Gambar Telegram Bot

Hasil yang didapatkan oleh Telegram ditampilkan di Gambar 5. Karena Telegram menangkap banyak notifikasi, maka peneliti hanya bisa menampilkan sebagian pesan yang dikirimkan oleh Bot. Untuk detail lebih lanjut dari data yang didapatkan oleh ditampilkan sebagai tabel berikut:

Tabel 1. Sampel Sepuluh Data Deteksi Model

Tanggal	Kandungan Karbon (ppm)	Hasil
2023-09-04T09:10:45	1.83049	Safe
2023-09-04T09:10:50	3.621402	Safe
2023-09-04T09:10:55	1.57374	Safe
2023-09-04T09:11:00	6.921765	Safe
2023-09-04T09:11:05	2.423285	Safe
2023-09-04T09:11:10	2.423285	Safe
2023-09-04T09:11:15	4.698551	Safe
2023-09-04T09:11:20	4.221674	Safe
2023-09-04T09:11:25	3.370013	Safe
2023-09-04T09:11:30	2.775444	Safe

Tabel 1 merupakan hasil sampel data dari deteksi yang dilakukan oleh model dan tersimpan secara permanen di *Firestore Realtime Database*. Peneliti mengambil data ini untuk dianalisis lebih lanjut untuk melihat kandungan gas karbon monoksida dari waktu ke waktu. Berikut ini adalah hasil visualisasi dari semua data kandungan gas karbon monoksida berdasarkan waktunya:



Gambar 6. Hasil Deteksi Karbon Tiap 5 Menit

Data yang ada di Tabel 1 divisualisasikan menjadi Gambar 6. Jika dilihat dari gambar tersebut, model sempat mengalami fluktuasi tingkat kandungan gas karbon monoksida mencapai 18.365 ppm. Dengan rata-rata deteksi mencapai 4,17 ppm per lima menit. Meskipun hasil deteksi ini masih dianggap aman bagi manusia, namun kewaspadaan untuk potensi kandungan ppm yang lebih tinggi sangat diperlukan.

Dari hasil evaluasi-evaluasi yang sudah dilakukan, peneliti akan membahas dari masing-masing poin yang sudah dituliskan. Bagian pertama adalah berkaitan dengan notifikasi berbasis *Telegram Bot* ini. Peneliti memilih untuk menggunakan Telegram sebagai media komunikasi ini karena kemudahan pengaksesan API baik melalui model langsung maupun melalui API Python. Sehingga dapat menghasilkan respons yang lebih cepat dibandingkan platform lainnya seperti *WhatsApp*, *Blynk*, maupun *Thingspeak*. Poin berikutnya adalah berkaitan dengan data yang dihasilkan dan tersimpan di *Firestore Realtime Database*. Peneliti menggunakan database ini karena tidak memerlukan skema untuk menyimpan data (*scheme-less database*) sehingga menawarkan fleksibilitas dan kecepatan akses yang tinggi hingga hitungan milidetik. Basis data jenis ini sangat cocok untuk aplikasi yang mudah berubah baik isi maupun skemanya. Bagian terakhir adalah data yang disajikan dalam bentuk diagram. Model hanya bisa membaca sedikit kandungan ppm yang ada di udara meskipun banyak motor yang ada di lapangan parkir. Menurunnya angka ppm ini dapat disebabkan oleh: mesin mati (motor tidak dalam keadaan hidup) maka secara otomatis tidak ada gas karbon monoksida yang diproduksi; area parkir yang cukup terbuka dan elevasi tinggi, sehingga gas karbon monoksida sudah terbawa angin terlebih dahulu sebelum terdeteksi; jangkauan sensor yang terbatas; dan aktivitas di area tersebut yang saat itu masih minim pengendara. Meskipun seperti itu, masih bisa dikatakan bahwa model yang diusulkan berhasil untuk mendeteksi kandungan gas di area parkir

tersebut. Sehingga mampu berkontribusi memantau kandungan gas karbon monoksida di area Universitas Semarang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penelitian ini telah sukses mendeteksi kandungan gas karbon monoksida di area parkir Universitas Semarang menggunakan perangkat ESP32 dan sensor MQ-9. Dari hasil deteksi yang dilakukan, model ini mampu mendeteksi gas dengan rata-rata 4,17 ppm. Namun di suatu waktu deteksi mencapai nilai *marginal* yaitu 18.365 ppm. Selain model dapat mendeteksi adanya gas karbon monoksida, model juga dapat melakukan pelaporan melalui aplikasi *Telegram* ke pengguna secara *realtime* tanpa harus menunggu lama. Sehingga dapat membantu Universitas Semarang dalam memantau kandungan gas karbon monoksida di area parkirnya.

Dari penelitian yang sudah dilakukan ini, peneliti menyadari adanya kelemahan dalam mendesain, mengimplementasikan serta mengevaluasi model. Oleh karena itulah penelitian lebih lanjut sangat diperlukan untuk meningkatkan kemampuan model dalam mendeteksi kandungan gas karbon monoksida. Ada beberapa hal yang dapat diperbaiki berupa: penempatan sensor yang lebih baik, penggunaan kipas untuk menyedot gas karbon monoksida, serta menggunakan platform yang lebih baik untuk meningkatkan respons yang lebih baik ke pengguna.

Ucapan Terima Kasih

Kami berterima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi atas skema penelitian dosen pemula yang sudah diberikan kepada tim kami. Selain itu, kami juga berterima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Semarang sebagai pihak yang membantu proses administrasi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Reumuth *et al.*, “Carbon monoxide intoxication: What we know,” *Burns*, vol. 45, no. 3, pp. 526–530, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.burns.2018.07.006>.
- [2] K. Chen *et al.*, “Ambient carbon monoxide and daily mortality: a global time-series study in 337 cities,” *Lancet Planet. Health*, vol. 5, no. 4, pp. e191–e199, Apr. 2021, doi: [10.1016/S2542-5196\(21\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00026-7).
- [3] L. K. Weaver, “Carbon monoxide poisoning,” *Undersea Amp Hyperb. Med. J. Undersea Hyperb. Med. Soc. Inc.*, vol. 47, no. 1, p. 151–169, 2020, doi: [10.22462/01.03.2020.17](https://doi.org/10.22462/01.03.2020.17).
- [4] H. Kinoshita *et al.*, “Carbon monoxide poisoning,” *Toxicol. Rep.*, vol. 7, pp. 169–173, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.01.005>.
- [5] R. Wirosodarmo, B. Suharto, and D. Proborini, “Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Bermotor dan Kecepatan Angin Terhadap Karbon Monoksida di Terminal Arjosari,” *J. Sumberd. Alam Dan Lingkungan.*, vol. 7, no. 2, pp. 57–64, 2020, doi: [10.21776/ub.jsal.2020.007.02.2](https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.007.02.2).
- [6] A. Abusukhon and B. Alghannam, “The Role of the Internet of Things in Monitoring Air Pollution-A Survey,” in *2023 International Conference on Information Technology (ICIT)*, Aug. 2023, pp. 583–585. doi: [10.1109/ICIT58056.2023.10225826](https://doi.org/10.1109/ICIT58056.2023.10225826).
- [7] E. Estrada, M. Moreno, K. Martin, Á. L. Mever, P. M. Rodrigo, and S. Gutiérrez, “Low Cost CO Detector Integrated with IoT,” in *2019 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV)*, Oct. 2019, pp. 1–4. doi: [10.1109/ICEV.2019.8920567](https://doi.org/10.1109/ICEV.2019.8920567).
- [8] H. Gupta, D. Bhardwaj, H. Agrawal, V. A. Tikkiwal, and A. Kumar, “An IoT Based Air Pollution Monitoring System for Smart Cities,” in *2019 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies and Systems (ICSETS)*, Feb. 2019, pp. 173–177. doi: [10.1109/ICSETS.2019.8744949](https://doi.org/10.1109/ICSETS.2019.8744949).
- [9] S. M. Hadj Irid, M. Hadjila, and H. E. Adardour, “Design and Implementation of an IoT Prototype for the Detection of Carbon Monoxide,” in *2019 6th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA)*, Nov. 2019, pp. 1–5. doi: [10.1109/ISPA48434.2019.8966882](https://doi.org/10.1109/ISPA48434.2019.8966882).
- [10] A. A. Şerban, A. Drumea, and C. Marghescu, “Electronic Module for Carbon Monoxide Monitoring and Warning,” in *2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, Oct. 2019, pp. 146–170. doi: [10.1109/SIITME47687.2019.8990824](https://doi.org/10.1109/SIITME47687.2019.8990824).
- [11] A. Biswal, J. Subhashini, and A. K. Pasayat, “Air quality monitoring system for indoor environments using IoT,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2112, no. 1, p. 020180, Jun. 2019, doi: [10.1063/1.5112365](https://doi.org/10.1063/1.5112365).

- [12] R. Rodríguez-Huerta, J. Martínez-Castillo, E. Morales-González, and A. L. Herrera-May, "Development of a Monitoring System for CO/CO₂ with Android," in *2019 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV)*, Oct. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICEV.2019.8920673.
- [13] B. K. Nuhu, O. M. Olaniyi, D. A. Idris, and C. V. Onyema, "SMART ROOM CARBON MONOXIDE MONITORING AND CONTROL SYSTEM," 2020. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:211480718>
- [14] J. Jo, B. Jo, J. Kim, S. Kim, and W. Han, "Development of an IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring Platform," *J. Sens.*, vol. 2020, p. 8749764, Jan. 2020, doi: 10.1155/2020/8749764.
- [15] R. Senthilkumar, P. Venkatakrisnan, and N. Balaji, "Intelligent based novel embedded system based IoT enabled air pollution monitoring system," *Microprocess. Microsyst.*, vol. 77, p. 103172, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103172>.
- [16] M. Lestari, U. Nurbaiti, and F. Fianti, "Efektivitas Penggunaan Sensor Mq-7 Terintegrasi Aplikasi Blynk untuk Mendeteksi Keberadaan Gas Co di Udara," *EnviroScienteeae*, vol. 17, no. 1, pp. 66–75, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.20527/es.v17i1.11358>.
- [17] A. N. Hikmah and C. B. Dwi Kuncoro, "Carbon Monoxide Monitoring System based on IoT with Low Power Sensor Node for Indoor Applications," in *2022 9th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, Oct. 2022, pp. 316–320. doi: 10.23919/EECSI56542.2022.9946627.
- [18] Y. R. Carrillo-Amado, M. A. Califa-Urquiza, and J. A. Ramón-Valencia, "Calibración y estandarización de mediciones de calidad del aire usando sensores MQ," *Respuestas*, vol. 25, no. 1, pp. 70–77, 2020, doi: 10.22463/0122820X.2408.