



Rancang Bangun Detektor Karbon Monoksida (CO) dengan MQ-7 Berbasis Internet of Things

Pramudito Herlambang^{1*}, Antonius Edy Kristiyono², Eddi³

^{1,2,3}Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Korespondensi penulis: pramuditoh1@gmail.com

Abstract. The detection of hazardous gases, such as carbon monoxide (CO), is crucial for ensuring human safety and health, especially in enclosed environments or areas with a high potential for exposure to toxic gases. Carbon monoxide is a colorless, odorless gas that is extremely dangerous when inhaled in large amounts. Therefore, a CO detection system that can provide early warnings is essential. This research aims to design a carbon monoxide (CO) detector using the MQ-7 sensor, which can detect CO concentrations in the air. The detection system is developed based on Internet of Things (IoT) technology, enabling real-time CO detection data to be transmitted to a cloud platform or user devices via an internet connection. This allows users to monitor CO levels in their environment anytime and anywhere. The system consists of the MQ-7 sensor to detect CO levels, a microcontroller as the controller, and a communication module to send data to the internet. The main advantage of this system is its ability to notify users if CO levels exceed a safe threshold. Thus, this detector can function as a preventive tool against CO exposure accidents. The use of IoT in this system also facilitates remote monitoring, improving the effectiveness and efficiency of managing a safe environment.

Keywords: CO, IoT, MQ-7 Sensor, Remote Monitoring.

Abstrak. Pendekslian gas berbahaya, seperti karbon monoksida (CO), sangat penting untuk menjaga keselamatan dan kesehatan manusia, terutama di lingkungan tertutup atau area dengan potensi tinggi paparan gas beracun. Karbon monoksida adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan sangat berbahaya apabila terhirup dalam jumlah banyak. Oleh karena itu, sistem deteksi CO yang dapat memberikan peringatan dini sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah detektor karbon monoksida (CO) menggunakan sensor MQ-7, yang dapat mendekripsi konsentrasi CO dalam udara. Sistem deteksi ini dikembangkan berbasis Internet of Things (IoT), yang memungkinkan data deteksi CO dikirimkan secara real-time ke platform cloud atau perangkat pengguna melalui koneksi internet. Dengan demikian, pengguna dapat memantau kadar CO di lingkungan mereka kapan saja dan di mana saja. Sistem ini terdiri dari sensor MQ-7 untuk mendekripsi kadar CO, mikrokontroler sebagai pengendali, dan modul komunikasi untuk mengirim data ke internet. Keuntungan utama dari sistem ini adalah kemampuannya untuk memberikan notifikasi kepada pengguna jika kadar CO melebihi ambang batas yang aman. Dengan demikian, detektor ini dapat berfungsi sebagai alat pencegah kecelakaan akibat paparan CO. Penggunaan IoT pada sistem ini juga mempermudah monitoring kondisi secara jarak jauh, sehingga meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengelolaan lingkungan yang aman.

Kata Kunci: CO, IoT, Pemantauan Jarak Jauh, Sensor MQ-7.

1. PENDAHULUAN

Karbon monoksida (CO) adalah gas beracun yang tidak memiliki warna, bau, atau rasa. Gas ini dapat terbentuk akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna, seperti yang terjadi pada mesin diesel, generator, dan sistem pemanas bahan bakar. Jika manusia terpapar gas CO dalam kadar tinggi dapat menyebabkan keracunan serius yang berpotensi merusak organ tubuh serta dapat menimbulkan masalah kesehatan, bahkan berujung pada kematian. Oleh karena itu, pemantauan kadar gas CO secara terus-menerus sangatlah penting untuk menjaga keselamatan manusia, terutama di lingkungan yang berisiko tinggi terhadap paparan,

seperti area mesin utama, generator, dan sistem pemanas bahan bakar. (Sumber : Keracunan yang Disebabkan Gas Karbon Monoksida – POM)

Kapal curah memainkan peran penting dalam industri transportasi global, terutama dalam pengangkutan berbagai jenis muatan seperti bijih, batu bara, dan produk pertanian. Kandungan gas yang ada di dalam palka setelah muatan berganti dengan muatan yang baru juga patut diwaspadai mengingat gas karbon monoksida ini tidak terdeteksi dengan indra penciuman manusia. Perlunya sistem pendekripsi kadar gas karbon monoksida pada ruang mesin dan ruang tertentu di atas kapal menjadi salah satu penunjang keselamatan para pekerja, hal ini memiliki tujuan agar para pekerja dapat bekerja dengan resiko bahaya yang cukup rendah. Sering kita ketahui kecelakaan kerja yang terjadi di atas kapal Indonesia dapat mengakibatkan kerugian yang sangat besar, maka dari itu teknologi perlu dikembangkan guna mendukung para pekerja dalam melakukan tugasnya di atas kapal agar mencapai hasil yang maksimal. Namun, peningkatan jumlah kecelakaan kerja secara keseluruhan di Indonesia menjadi perhatian serius.

Dalam konteks industri perkapalan, khususnya pada area mesin induk dan generator yang rentan terhadap paparan gas beracun seperti karbon monoksida (CO), pemantauan dan pencegahan sangatlah penting untuk mengurangi resiko kecelakaan dan dampak kesehatan yang serius. Perlu adanya tindakan lebih lanjut untuk mengurangi resiko bahaya gas beracun di atas kapal.

Penelitian ini bertujuan untuk mendalami implementasi sistem pendekripsi gas beracun di atas kapal, mencakup teknologi yang digunakan, tantangan yang dihadapi, manfaat yang diharapkan, serta evaluasi terhadap performa sistem dalam konteks lingkungan maritim.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Rancang Bangun

Rancang bangun merupakan penggambaran, perencanaan, dan pembuatan sketsa atau pengaturan dari beberapa elemen yang terpisah ke dalam satu kesatuan yang utuh dan berfungsi, dengan maksud lain rancang bangun sebuah kegiatan menerjemah hasil analisa ke dalam bentuk paket perangkat lunak kemudian akan menciptakan sistem atau memperbaiki sistem yang ada (Gunawan et al., 2021).

Karbon Monoksida (CO)

Menurut Fardiaz (1995), karbon monoksida (CO) adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu di atas -1920C. Komponen ini mempunyai berat sebesar 96,5% dari berat air dan tidak larut dalam air.

Sensor MQ7

Sensor MQ-7 merupakan sensor yang memiliki kepekaan tinggi terhadap gas Karbon Monoksida (CO) dan hasil kalibrasinya stabil serta tahan lama. Sensor MQ-7 terdiri dari tabung mikrokeramik, lapisan sensitif timah dioksida (SnO_2). Ini memiliki elektroda pengukur dan pemanas sebagai lapisan kulit yang terbuat dari plastik dan permukaan jaringan baja tahan karat. Heater menyediakan kondisi kerja yang diperlukan agar komponen sensitif.

Esp32

ESP32 adalah sistem mikrokontroler yang kuat dan serbaguna yang telah mendapatkan popularitas signifikan di dunia *IoT* dan sistem tertanam. Ini adalah perangkat berbiaya rendah, berdaya rendah, dan berkinerja tinggi dengan berbagai fitur dan kemampuan. ESP32 adalah modul serbaguna yang ideal untuk aplikasi yang memerlukan koneksi nirkabel, pemrosesan cepat, dan fleksibilitas pengembangan yang tinggi.

Buzzer

Buzzer merupakan sebuah komponen yang digunakan untuk mengubah arus listrik menjadi suara. *Buzzer* terdiri dari diafragma yang memiliki kumparan, yang berfungsi mengubah arus listrik menjadi *electromagnet*. Kumparan yang terletak pada diafragma menyebabkan diafragma akan bergetar secara bolak-balik, sehingga membuat udara bergetar dan menghasilkan suara. (Efrianto et al., 2016)

Blynk

Blynk adalah platform pengembangan aplikasi IoT (*Internet of Things*) yang memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol berbagai jenis perangkat dari jarak jauh melalui internet. Pengguna dapat membuat prototipe aplikasi IoT dengan mudah secara visual menggunakan aplikasi *Blynk* yang tersedia di Android dan iOS.

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimental. Penulis menganggap metode ini sangat cocok karena penelitian ini melakukan pengembangan sebuah alat dan melakukan penelitian berupa eksperimen untuk menguji efektivitas suatu alat (*prototype*). Rencana pengujian untuk alat deteksi kadar CO menggunakan sensor MQ-7 bertujuan untuk memastikan alat bekerja dengan baik sesuai fungsinya. Pengujian dimulai dengan menginisialisasi sistem untuk memastikan semua komponen berfungsi tanpa kesalahan. Selanjutnya, pengujian sensor MQ-7 dilakukan dengan meletakkannya di berbagai lingkungan untuk memeriksa apakah sensor mendeteksi kadar CO secara akurat. Sistem kemudian diuji untuk memastikan dapat mendeteksi kadar CO tinggi dan mengaktifkan *buzzer* sebagai peringatan visual dan audio. Pengujian juga mencakup kondisi di mana sistem harus mati, memastikan bahwa sistem dapat menghentikan operasinya sesuai dengan kondisi tertentu, seperti tombol reset atau waktu operasi yang terlampaui. Selain itu, pengujian siklus kerja ulang dilakukan untuk memastikan sistem dapat beroperasi secara terus-menerus tanpa gangguan, kembali ke pemantauan normal setelah mendeteksi kadar CO tinggi, dan mematikan sistem jika diperlukan. Terakhir, pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja secara sinergis dan tidak ada kegagalan selama operasi. Dengan rencana pengujian ini, alat deteksi CO dapat diuji secara menyeluruh untuk memastikan keefektifan dan keandalannya dalam mendeteksi kadar CO tinggi dan memberikan peringatan dengan tepat waktu.

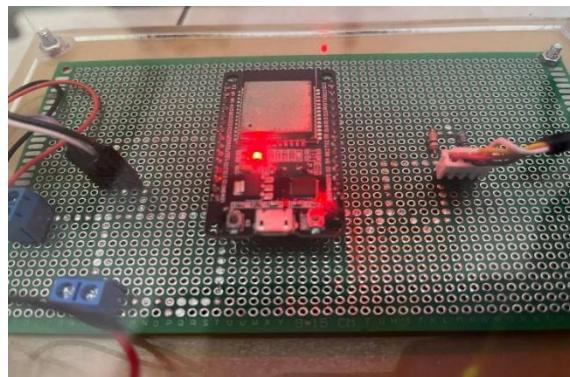
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Pengujian Statis

a. Pengujian ESP32

Pengujian mikrokontroller ESP32 dilakukan dengan memberikan tegangan melalui kabel USB ke laptop atau computer atau sumber tegangan yang lainnya sesuai dengan kebutuhan tegangan pada mikrokontroller ESP32.

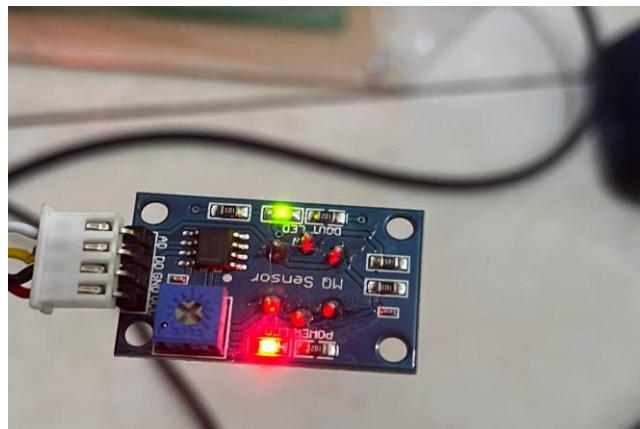


Sumber: Hasil Dokumentasi

Gambar 1. Pengujian Esp 32

b. Pengujian sensor MQ-7

Pengujian sensor dengan cara memberikan gas CO apakah sensor bisa bekerja dengan normal dan dapat membaca berapa kadar gas CO yang dihasilkan atau tidak.



Sumber: Hasil Dokumentasi

Gambar 2. Pengujian sensor MQ-7

c. Pengujian LCD 16x2

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan ESP32 dengan LCD 16x2 yang sudah diprogram dengan kata bertuliskan “Kadar udara CO sebesar :” dan akan muncul pada layar LCD.

Pada pengujian ini dikatakan berhasil atau LCD dalam keadaan normal dan baik, pada *display* LCD menampilkan tulisan “Monitoring IOT CO :” jika sudah menunjukkan seperti yang sudah diatur oleh peneliti, berarti LCD 16x2 berjalan dengan normal.



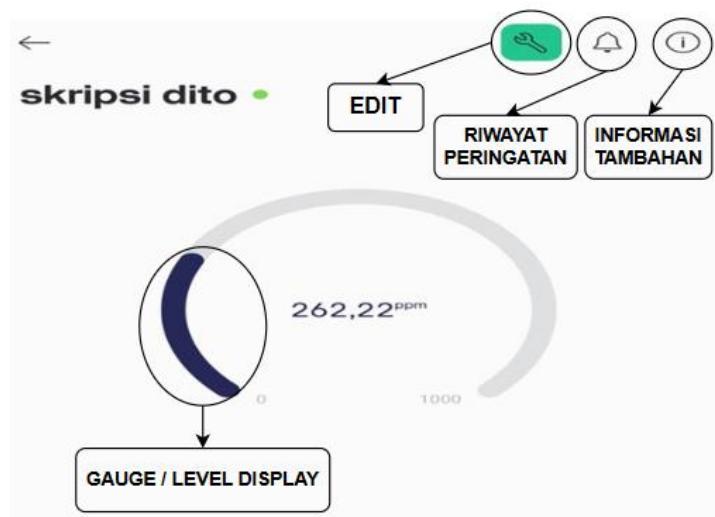
Sumber : Hasil Dokumentasi

Gambar 3. Pengujian LCD 16x2

d. Pengujian Akses *Blynk* IoT

Pengujian *Blynk* IoT dilakukan dengan cara mengirim data dari ESP 32 pada server dan aplikasi *Blynk* untuk mengetahui apakah dapat dilakukan komunikasi dari *Blynk* dengan ESP 32, Komunikasi tersebut nanti digunakan untuk memonitoring sistem IoT.

Pengujian ini dikatakan berhasil ketika aplikasi *Blynk* dapat diakses melalui smartphone atau computer. Dalam aplikasi tersebut ditampilkan kualitas udara dengan melihat nilai kadar gas CO.

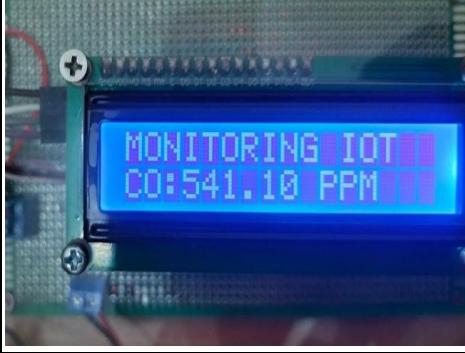
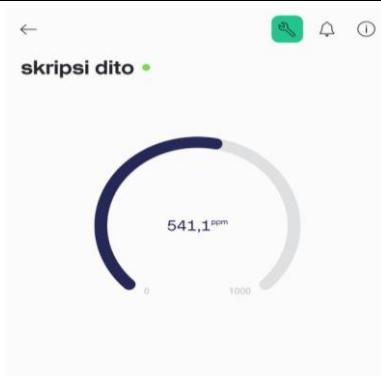


Sumber: Hasil dokumentasi

Gambar 4. Pengujian Akses *Blynk* melalui Smartphone

Pengujian Dinamis

Tabel 1. Pengujian Alat

NO	Keadaan	LCD	Blynk
1	NORMAL		
2	MENENGAH		
3	BERBAHAYA		

Penyajian Data

Untuk menghasilkan data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan, dilakukan serangkaian pengujian terhadap alat yang dikembangkan. Data yang disajikan merupakan hasil dari evaluasi sistem secara keseluruhan, khususnya melalui sensor MQ-7 yang berfungsi mendeteksi gas karbon monoksida (CO).

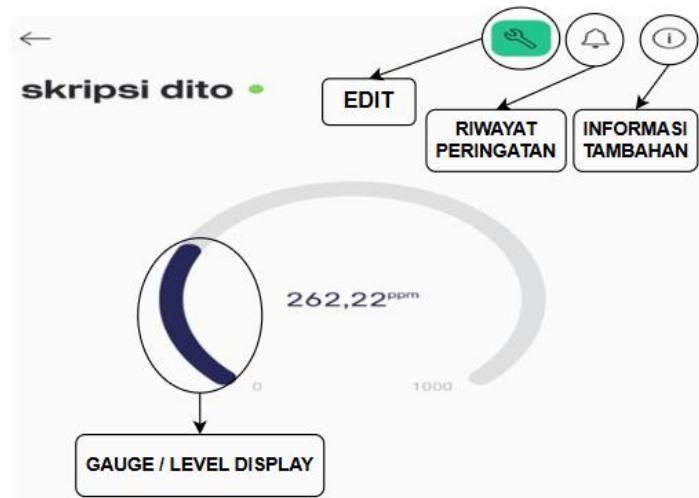
Tahapan pengujian ini berperan penting dalam memastikan bahwa sistem beroperasi secara optimal sesuai dengan spesifikasi rancangan. Aspek-aspek yang diuji meliputi kinerja sistem, validasi akurasi sensor, serta keandalan dalam penyajian data. Seluruh hasil pengujian dapat diakses melalui tampilan LCD maupun aplikasi pada smartphone secara *real-time*.



Sumber: Hasil Dokumentasi

Gambar 4. Penyajian data pada LCD 16x2

Berdasarkan gambar 5 , dapat dilihat besar kandungan gas CO yang dibaca oleh sensor MQ-7 yang ditampilkan melalui LCD 16x2.



Sumber: Hasil dokumentasi

Gambar 5. Penyajian data pada Blynk melalui Smartphone

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat monitoring melalui aplikasi Blynk di *Smartphone*. Besarnya kandungan ditampilkan melalui meteran yang menunjukkan jumlah gas CO yang dibaca melalui sensor.

Tabel 2. Rentang konsentrasi CO

NO	Keterangan	Rentang CO (PPM)
1	Konsentrasi rendah	0 – 50 PPM
2	Konsentrasi sedang	>50 – 400 PPM
3	Konsentrasi tinggi	>400 – 800 PPM
4	Konsentrasi sangat tinggi	>800 PPM

1) Kondisi I

Pengujian dengan asap knalpot sepeda motor menggunakan bahan bakar *pertalite*.

Tabel 3. Pengujian asap sepeda motor

No.	CO	Keterangan
1.	0,24 PPM	Konsentrasi rendah
2.	07,18 PPM	Konsentrasi rendah
3.	18,57 PPM	Konsentrasi rendah
4.	118,23 PPM	Konsentrasi sedang
5.	218,01 PPM	Konsentrasi sedang
6.	370,81 PPM	Konsentrasi sedang
7.	518,72 PPM	Konsentrasi tinggi
8.	693,44 PPM	Konsentrasi tinggi
9.	719,06 PPM	Konsentrasi tinggi
10.	1024,68 PPM	Konsentrasi sangat tinggi

2) Sensitivitas alat

Pengujian sensitivitas alat dilakukan dengan mendekatkan sensor MQ-7 terhadap sumber polusi karbon monoksida, yaitu asap dari kendaraan bermotor. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif sensor mendeteksi konsentrasi gas CO pada jarak tertentu.

Tabel 4. Pengujian sensitivitas alat

No.	Jarak	CO	Keterangan
1.	5 cm	1047,02 PPM	Konsentrasi tinggi
2.	10 cm	960,81 PPM	Konsentrasi tinggi
3.	30 cm	639,22 PPM	Konsentrasi sedang
4.	40 cm	562,08 PPM	Konsentrasi sedang
5.	60 cm	408,37 PPM	Konsentrasi rendah
6.	80 cm	249,72 PPM	Konsentrasi rendah
7.	100 cm	141,49 PPM	Konsentrasi rendah

Sensor MQ-7 memiliki sensitivitas yang sangat baik dalam mendeteksi karbon monoksida pada jarak dekat hingga menengah. Namun, untuk jarak lebih dari 1 meter atau untuk konsentrasi gas yang sangat rendah, akurasi pembacaan mulai berkurang. Oleh karena itu, untuk aplikasi pemantauan kualitas udara berbasis kendaraan, penempatan sensor sebaiknya berada dalam jarak maksimal 50 cm dari sumber emisi untuk mendapatkan hasil yang optimal.

3) Jarak modul dan delay pada internet

Pengujian jarak modul dan delay pada internet yang mempengaruhi aplikasi blynk sangat penting karena, Sensor MQ-7 memiliki sensitivitas yang sangat baik dalam mendeteksi karbon monoksida pada jarak dekat hingga menengah. Namun, untuk jarak lebih dari 1 meter atau untuk konsentrasi gas yang sangat rendah, akurasi

pembacaan mulai berkurang. Oleh karena itu, untuk aplikasi pemantauan kualitas udara berbasis kendaraan, penempatan sensor sebaiknya berada dalam jarak maksimal 50 cm dari sumber emisi untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Tabel 4. Jarak Modul dan Delay pada internet

Jarak Modul ke Router	Kualitas Sinyal WiFi	Estimasi Delay Internet	Keterangan
0 – 5 meter	Sinyal sangat kuat	0,5 – 2 detik	Pengiriman data sangat cepat dan stabil
5 – 10 meter	Sinyal kuat – sedang	2 – 4 detik	Masih stabil, namun kadang ada fluktuasi kecil
10 – 20 meter	Sinyal sedang – lemah	4 – 8 detik	Delay mulai terasa, data kadang lambat diterima
> 20 meter atau banyak hambatan (tembok, beton)	Sinyal sangat lemah	> 8 detik bahkan bisa gagal kirim data	Perlu penguat sinyal (WiFi repeater) atau memperpendek jarak

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa jarak antara perangkat IoT dan sumber jaringan WiFi memiliki pengaruh signifikan terhadap delay pengiriman data. Semakin dekat jarak perangkat dengan router, semakin kecil delay yang terjadi, sehingga data dari sensor dapat diterima secara real-time dan akurat. Oleh karena itu, dalam perancangan dan instalasi sistem monitoring berbasis IoT, penempatan perangkat dengan memperhatikan jarak optimal menjadi faktor penting untuk menjaga stabilitas koneksi dan keandalan sistem secara keseluruhan.

Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sensor MQ-7 menunjukkan kinerja yang baik dalam mendeteksi konsentrasi gas karbon monoksida (CO). Pengujian yang dilakukan menggunakan asap knalpot sepeda motor berbahan bakar pertalite menunjukkan bahwa sensor mampu membaca variasi kadar CO dengan cukup akurat, mulai dari konsentrasi rendah hingga sangat tinggi. Dalam Tabel 4.1, hasil pengukuran berkisar dari 0,24 PPM hingga 1024,68 PPM, yang secara konsisten sesuai dengan klasifikasi rentang konsentrasi CO, yaitu rendah (0–50 PPM), sedang (>50–400 PPM), tinggi (>400–800 PPM), dan sangat tinggi (>800 PPM). Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyajikan data yang valid dan sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang.

Selain itu, dari pengujian sensitivitas sensor terhadap jarak pada Tabel 4.2, diketahui bahwa sensor MQ-7 memiliki responsivitas yang tinggi dalam mendeteksi CO pada jarak dekat. Konsentrasi tertinggi terdeteksi pada jarak 5 cm sebesar 1047,02 PPM, kemudian menurun seiring bertambahnya jarak, hingga mencapai 141,49 PPM pada jarak 100 cm.

Penurunan ini menunjukkan bahwa efektivitas sensor menurun pada jarak lebih dari 50 cm. Oleh karena itu, penempatan sensor sebaiknya berada dalam jarak maksimal 50 cm dari sumber emisi untuk memperoleh hasil yang optimal dan akurat, terutama dalam konteks pemantauan kualitas udara berbasis kendaraan.

Selanjutnya, analisis terhadap pengaruh jarak perangkat terhadap koneksi internet juga penting dalam sistem monitoring berbasis IoT. Berdasarkan Tabel 4.3, semakin dekat perangkat dengan router WiFi, semakin kecil delay pengiriman data. Pada jarak 0–5 meter, sinyal sangat kuat dengan delay hanya 0,5–2 detik, sedangkan pada jarak lebih dari 20 meter atau terdapat banyak hambatan, sinyal menjadi sangat lemah dan delay bisa melebihi 8 detik bahkan berisiko gagal mengirim data. Oleh karena itu, penempatan perangkat IoT dalam sistem ini harus mempertimbangkan jarak optimal terhadap router untuk menjaga kestabilan koneksi dan memastikan data dari sensor dapat diterima secara real-time. Kombinasi antara akurasi sensor, sensitivitas terhadap jarak, dan kestabilan koneksi menjadi faktor utama dalam keberhasilan implementasi sistem monitoring kualitas udara ini.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian, perancangan, serta analisis terhadap rumusan masalah pada rancang bangun detektor karbon monoksida berbasis sensor MQ-7 yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT), dapat disimpulkan bahwa sistem ini memiliki potensi signifikan dalam meningkatkan keselamatan di kapal. Untuk meningkatkan kinerja sistem, diperlukan kalibrasi sensor secara berkala guna menjaga akurasi deteksi, serta penempatan sensor dalam jarak optimal kurang dari satu meter dari potensi sumber gas. Selain itu, kestabilan koneksi internet juga harus dijaga dengan memastikan jarak maksimal 10 meter dari router atau dengan menggunakan repeater. Pengintegrasian sistem notifikasi peringatan dini ke perangkat smartphone menjadi langkah strategis untuk memberikan respons cepat terhadap potensi bahaya. Perangkat juga harus dilindungi dari gangguan lingkungan seperti getaran dan suhu ekstrem dengan menggunakan casing yang tahan air dan panas. Uji coba jangka panjang dalam kondisi nyata perlu dilakukan untuk memastikan keandalan sistem selama operasional kapal. Lebih lanjut, untuk mengoptimalkan efektivitas sistem dalam ruang kapal yang terbatas, penempatan sensor harus dilakukan secara strategis, khususnya di area yang rawan atau dekat dengan sumber karbon monoksida (CO). Dalam menghadapi keterbatasan daya, pemilihan sensor yang hemat energi serta penerapan teknologi penghematan daya seperti mode tidur pada mikrokontroler sangat disarankan. Teknologi IoT memungkinkan pengiriman data yang efisien, yang jika dipadukan dengan manajemen daya yang cerdas, akan menjamin sistem tetap

berfungsi optimal dalam jangka panjang tanpa membebani sumber daya. Secara keseluruhan, penempatan sensor yang tepat dan pengelolaan energi yang efisien menjadikan sistem deteksi CO mampu bekerja secara optimal, bahkan dalam ruang terbatas dengan sumber daya terbatas.

Berdasarkan pengembangan dan pengujian alat yang dilakukan, peneliti menemukan sejumlah kekurangan yang perlu ditindaklanjuti untuk meningkatkan efektivitas dan keandalan sistem deteksi karbon monoksida. Pertama, diperlukan kalibrasi rutin pada sensor MQ-7 agar akurasi pembacaan tetap terjaga. Penambahan fitur untuk mendeteksi gas berbahaya lainnya akan memperluas fungsi alat dan meningkatkan keamanan. Integrasi sistem dengan perangkat keamanan seperti alarm otomatis juga penting agar sistem dapat memberikan respons langsung ketika terdeteksi kadar karbon monoksida yang tinggi. Kedua, rancangan sistem sebaiknya mempertimbangkan efisiensi energi, misalnya dengan mengaktifkan mode tidur pada mikrokontroler saat alat tidak digunakan. Perbaikan antarmuka pengguna aplikasi juga perlu dilakukan agar data dapat diakses dan dipantau secara cepat dan efisien. Uji lapangan di berbagai kondisi lingkungan sangat diperlukan untuk memastikan keandalan alat dalam situasi nyata. Pelatihan bagi pengguna mengenai cara penggunaan alat secara benar juga akan sangat bermanfaat. Terakhir, penelitian lebih lanjut terkait pengembangan teknologi sensor yang lebih sensitif serta algoritma pemrosesan data yang lebih canggih sangat dianjurkan. Dengan langkah-langkah ini, diharapkan detektor karbon monoksida berbasis IoT dapat berfungsi lebih efektif dan memberikan manfaat yang lebih luas, khususnya dalam meningkatkan keselamatan pelayaran di lingkungan kapal.

REFERENSI

- Amin, M., & Rahardjo, B. (2019). Sistem pemantauan kualitas udara menggunakan sensor MQ-135 dan ESP8266 berbasis IoT. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 7(2), 98–104. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.7.2.98-104>
- Ardiansyah, D., & Hidayat, F. (2020). Pemantauan kualitas udara dengan platform ThingSpeak dan sensor gas MQ135. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 6(1), 45–52.
- Fahreza, R. M., & Yusuf, A. (2022). Sistem monitoring udara berbasis ESP32 dan MQTT pada lingkungan industri. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), A136–A140. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.98264>
- Farizi, S. A., Pramukantoro, E. S., & Nurwarsito, H. (2018). Pengembangan sistem deteksi karbon monoksida berbasis IoT. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(10), 4164–4170.

- Handayani, A., & Putra, R. P. (2021). Monitoring kualitas udara dalam ruangan menggunakan sensor DHT22 dan MQ135 berbasis IoT. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 10(3), 189–195.
- Ismail, A., & Rahmawati, D. (2022). Sistem pemantauan gas berbahaya berbasis NodeMCU dan sensor gas MQ. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(1), 1–7.
- Kusuma, R., & Anggraini, T. (2020). Penerapan IoT untuk deteksi polusi udara menggunakan mikrokontroler ESP8266. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 16(2), 57–63.
- Munabbih, M. I., Widianto, E. D., Windarto, Y. E., & Indrasto, E. Y. (2020). Rancang bangun sistem pemantau kualitas udara menggunakan Arduino dan LoRa berbasis jaringan sensor nirkabel. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 22(1), 6–14.
- Nugroho, H., & Prasetyo, D. (2023). Monitoring udara real-time berbasis ESP8266 dan Firebase. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 18(1), 22–28.
- Prakoso, A., & Wellem, T. (2022). Perancangan dan implementasi sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT menggunakan Wemos D1 Mini dan Android. *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, 4(3), 1246–1254.
- Putri, D. A., & Saputra, Y. (2021). Sistem monitoring kualitas udara berbasis web dan IoT. *Jurnal Teknik Informatika*, 12(1), 70–78.
- Rochmania, A., Sucahyo, I., & Yantidewi, M. (2021). Monitoring kandungan CO₂ berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan sensor MQ135. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 17(3), 249–259.
- Setiawan, R., & Lestari, P. (2019). Pemantauan kualitas udara berbasis sensor dan jaringan nirkabel menggunakan Blynk. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(3), 214–220.
- Ulaan, G. C., Poekoel, V. C., & Ontowirjo, A. H. J. (2022). Pembuatan aplikasi sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 93–104.
- Wijaya, A., & Hidayat, M. (2023). Aplikasi pemantauan kualitas udara berbasis IoT untuk lingkungan sekolah. *Jurnal Inovasi dan Teknologi*, 9(1), 34–40.