



P-ISSN: 2716-2656, E-ISSN: 2985-9638

JOURNAL MARINE INSIDE

VOLUME 8, ISSUE 1, JUNE 2026

Web: <https://ejournal.poltekpel-banten.ac.id/index.php/ejmi/>

Sistem keamanan kualitas udara pada restricted area kapal berbasis Internet of Things (IoT)

Frenki Imanto, Edi Kurniawan, Dianfresta Krisdianto, Jaka Septian Kustanto*

Politeknik Pelayaran Surabaya

E-mail: *jaka.septian@poltekpel-sby.ac.id

ABSTRAK

Kualitas udara pada area terbatas (*restricted area*) di atas kapal, khususnya ruang merokok (*smoking area*), berpotensi menimbulkan risiko kesehatan akibat paparan akumulasi asap rokok dan gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO). Sistem ventilasi konvensional saat ini dinilai belum optimal dalam menyeimbangkan sirkulasi udara dengan fluktuasi jumlah pengguna di dalam ruangan tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan kapasitas ruang dan kontrol sirkulasi udara berbasis Internet of Things (IoT) guna meningkatkan kualitas udara serta kenyamanan pengguna. Metodologi penelitian mencakup perancangan sistem, pembuatan purwarupa (*prototype*), dan pengujian kinerja perangkat keras yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor gas MQ-2, sensor inframerah, pemurni udara (*air purifier*), serta sistem blower. Hasil pengujian menunjukkan bahwa purwarupa sistem secara efektif mampu mendeteksi keberadaan asap rokok, mengaktifkan sirkulasi udara secara otomatis, serta menghitung dan membatasi jumlah pengguna secara real-time melalui antarmuka aplikasi IoT. Implementasi sistem cerdas ini diharapkan dapat mengoptimalkan pengelolaan area terbatas, mereduksi polusi udara dalam ruang, serta mendukung pemenuhan standar keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan maritim.

Kata Kunci: Kualitas udara, *restricted area*, Internet of Things (IoT), sirkulasi udara, purwarupa cerdas.

ABSTRACT

Air quality in restricted areas on board ships, particularly smoking areas, poses potential health risks due to the accumulation of cigarette smoke and hazardous gases such as carbon monoxide (CO). Current conventional ventilation systems are considered suboptimal in balancing air circulation with the fluctuating number of occupants in the room. Therefore, this study aims to design an Internet of Things (IoT)-based capacity monitoring and air circulation control system to improve air quality and user comfort. The research methodology encompasses system design, prototype fabrication, and performance testing of hardware integrating an ESP32 microcontroller, an MQ-2 gas sensor, infrared sensors, an air purifier, and a blower system. The testing results demonstrate that the prototype system effectively detects cigarette smoke, automates air circulation, and tracks as well as limits the number of users in real-time through an IoT application interface. The implementation of this smart system is expected to optimize the management of restricted areas, reduce indoor air pollution, and support occupational health and safety standards in the maritime environment.

Keywords: Air quality, *restricted area*, Internet of Things (IoT), air circulation, smart prototype.



Journal Marine Inside is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Tersedia pada: <https://doi.org/10.62391/ejmi.v8i1.203>

Disubmit pada 18/12/2025	Direview pada 01/05/2026	Direvisi pada 08/05/2026
Diterima pada 20/05/2026	Diterbitkan pada 01/06/2026	

PENDAHULUAN

Kualitas udara pada *restricted area* kapal, seperti kamar mesin, ruang pompa, dan ruang operasional, merupakan salah satu aspek penting dalam menjamin keselamatan dan kesehatan awak kapal. Area-area tersebut memiliki potensi terpapar gas berbahaya, seperti karbon monoksida (CO), LPG, hidrogen, maupun gas hasil pembakaran lainnya yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan, kebakaran, bahkan ledakan apabila tidak terdeteksi secara dini. Oleh karena itu, penerapan sistem pendeteksi gas berbasis sensor menjadi salah satu solusi yang efektif untuk meningkatkan keselamatan melalui deteksi dini kebocoran gas dan pemantauan kondisi udara secara berkelanjutan [1], [2].

Pada umumnya, sistem ventilasi konvensional yang digunakan pada kapal masih bekerja secara statis sehingga belum mampu menyesuaikan perubahan kualitas udara secara dinamis. Kondisi tersebut menyebabkan efektivitas sirkulasi udara menjadi kurang optimal ketika terjadi peningkatan konsentrasi gas berbahaya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai penelitian telah mengembangkan sistem ventilasi cerdas menggunakan metode kendali adaptif, seperti logika fuzzy, yang mampu mengatur sirkulasi udara berdasarkan kondisi lingkungan secara otomatis sehingga kualitas udara di dalam ruang kapal dapat dipertahankan pada tingkat yang aman [3], [4].

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang baru dalam pengembangan sistem monitoring kualitas udara yang lebih efektif. Melalui integrasi sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, dan layanan *cloud*, teknologi IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*, penyimpanan data secara berkelanjutan, serta pengambilan keputusan otomatis berdasarkan data yang diperoleh [5]–[8]. Dalam sektor maritim, penerapan IoT telah dimanfaatkan untuk monitoring kualitas udara di kapal, sistem keamanan berbasis sensor gas, serta pemantauan emisi gas buang sehingga mendukung peningkatan keselamatan operasional kapal [9]–[12].

Pengembangan sistem monitoring berbasis IoT juga didukung oleh berbagai teknologi komunikasi dan visualisasi modern. Pemanfaatan komunikasi satelit memungkinkan proses monitoring tetap berlangsung pada wilayah pelayaran yang tidak terjangkau jaringan komunikasi konvensional [13]. Selain itu, integrasi dengan teknologi *Augmented Reality* (AR) mampu meningkatkan visualisasi kondisi lingkungan sehingga mempermudah operator dalam melakukan pengambilan keputusan. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT mampu meningkatkan keselamatan melalui pemantauan kontinu, sistem peringatan (*early warning system*), serta pemanfaatan metode *machine learning* untuk meningkatkan akurasi analisis kualitas udara [14]–[17].

Keberhasilan sistem monitoring kualitas udara juga sangat dipengaruhi oleh pemilihan sensor yang digunakan. Sensor gas MQ-2 dan MQ-7 merupakan sensor yang banyak diterapkan karena memiliki sensitivitas yang baik terhadap berbagai jenis gas mudah terbakar maupun karbon monoksida. Kedua sensor tersebut telah diimplementasikan pada berbagai sistem

monitoring berbasis ESP32, sistem perhitungan indeks kualitas udara, serta sistem pemantauan parameter lingkungan seperti suhu dan kelembaban yang menunjukkan tingkat akurasi dan respons yang baik [18]–[22].

Meskipun berbagai penelitian mengenai monitoring kualitas udara berbasis IoT telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada fungsi pemantauan kondisi udara tanpa mengintegrasikan mekanisme pengendalian kualitas udara secara otomatis. Selain itu, implementasi pada *restricted area* kapal yang memiliki karakteristik ruang tertutup, risiko akumulasi gas berbahaya, serta kebutuhan respons yang cepat masih relatif terbatas [23]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring serta kontrol kualitas udara pada *restricted area* kapal berbasis Internet of Things (IoT). Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu melakukan pemantauan kualitas udara secara *real-time*, memberikan peringatan dini terhadap keberadaan gas berbahaya, serta mengendalikan sistem ventilasi secara otomatis sehingga dapat meningkatkan keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan lingkungan kerja di atas kapal [24].

METODOLOGI

Internet of Things (IoT) dalam Monitoring Kualitas Udara

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet tanpa memerlukan interaksi langsung dari manusia. Dalam sistem monitoring, IoT mendukung proses akuisisi data secara *real-time*, transmisi data ke *cloud*, serta pengambilan keputusan secara otomatis sehingga mampu meningkatkan efisiensi operasional, keandalan sistem, dan aspek keselamatan [10], [12]. Secara umum, arsitektur IoT terdiri atas tiga lapisan utama, yaitu lapisan persepsi (*perception layer*) yang berfungsi sebagai pengumpul data melalui sensor dan aktuator, lapisan jaringan (*network layer*) yang menangani proses komunikasi data, serta lapisan aplikasi (*application layer*) yang menyediakan fungsi visualisasi, analisis, dan pengendalian sistem [13]. Struktur tersebut bersifat modular dan *scalable* sehingga mudah dikembangkan sesuai kebutuhan aplikasi.

Dalam industri maritim, teknologi IoT telah dimanfaatkan untuk mendukung pemantauan kondisi kapal, deteksi dini potensi bahaya, serta respons otomatis terhadap berbagai kondisi darurat [8], [9], [15], [18]. Sistem monitoring maritim umumnya mengintegrasikan sensor lingkungan, mikrokontroler, modul komunikasi, serta platform *cloud* sehingga informasi kondisi kapal dapat dipantau secara berkelanjutan. Untuk operasional di laut lepas, sistem dapat menggunakan komunikasi satelit, sedangkan pada jaringan internal kapal umumnya memanfaatkan teknologi Wi-Fi atau Bluetooth [3], [14]. Selain itu, integrasi dengan teknologi seperti *Augmented Reality* (AR) mampu meningkatkan efektivitas visualisasi data dan mendukung proses pengambilan keputusan oleh operator [15].

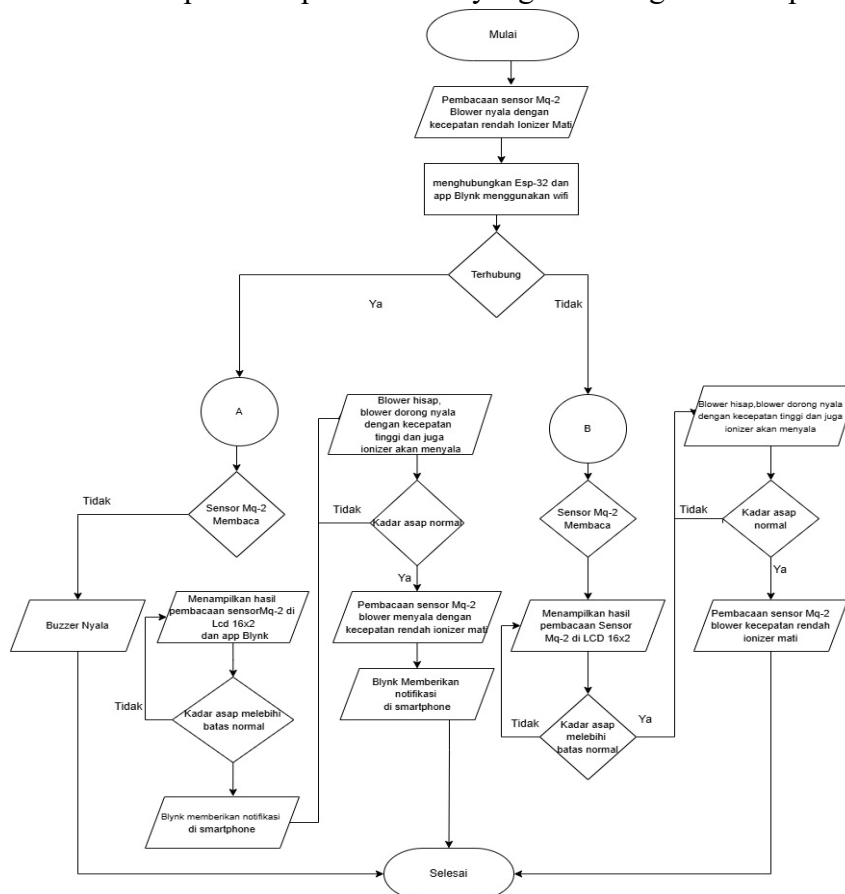
Penerapan IoT pada sistem keamanan kapal telah terbukti efektif dalam mendeteksi kebocoran gas, memantau kualitas udara, serta meningkatkan kewaspadaan operator melalui penyajian informasi secara *real-time* [4], [6]. Monitoring konsentrasi gas berbahaya, seperti karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂), menjadi aspek penting dalam menjaga kesehatan awak kapal dan mencegah terjadinya kecelakaan kerja akibat penurunan kualitas udara [5]. Di samping itu, pemanfaatan teknologi Narrowband Internet of Things (NB-IoT)

memungkinkan proses pelaporan emisi kapal dilakukan secara lebih efisien dan sesuai dengan regulasi internasional mengenai perlindungan lingkungan maritim [16].

Pada penelitian ini digunakan sensor MQ-2 dan MQ-7 sebagai komponen utama dalam proses deteksi gas. Sensor MQ-2 memiliki sensitivitas terhadap berbagai gas mudah terbakar, seperti LPG, metana, hidrogen, dan asap, sedangkan sensor MQ-7 dirancang khusus untuk mendeteksi karbon monoksida (CO) dengan tingkat sensitivitas yang tinggi [10], [21]. Kedua sensor tersebut dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler sehingga mampu menghasilkan sistem monitoring kualitas udara secara *real-time* yang dilengkapi dengan mekanisme peringatan dini (*early warning system*). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT mampu memberikan tingkat akurasi deteksi yang baik serta respons yang cepat dalam mengurangi risiko keselamatan akibat paparan gas berbahaya [17], [18].

Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan proses sistematis untuk merancang dan mengembangkan suatu sistem yang mampu menyelesaikan permasalahan secara efektif dan efisien. Menurut Mulyani (2017), perancangan sistem dilakukan melalui identifikasi kebutuhan, penyusunan arsitektur sistem, serta integrasi seluruh komponen agar mampu bekerja secara optimal. Pada penelitian ini, perancangan difokuskan pada pengembangan sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara pada *restricted area* kapal yang memiliki risiko tinggi terhadap akumulasi asap maupun gas berbahaya. Sistem dirancang untuk melakukan deteksi dini, pemantauan kondisi udara secara *real-time*, serta pengendalian ventilasi secara otomatis sehingga kualitas udara tetap berada pada kondisi yang aman bagi awak kapal.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

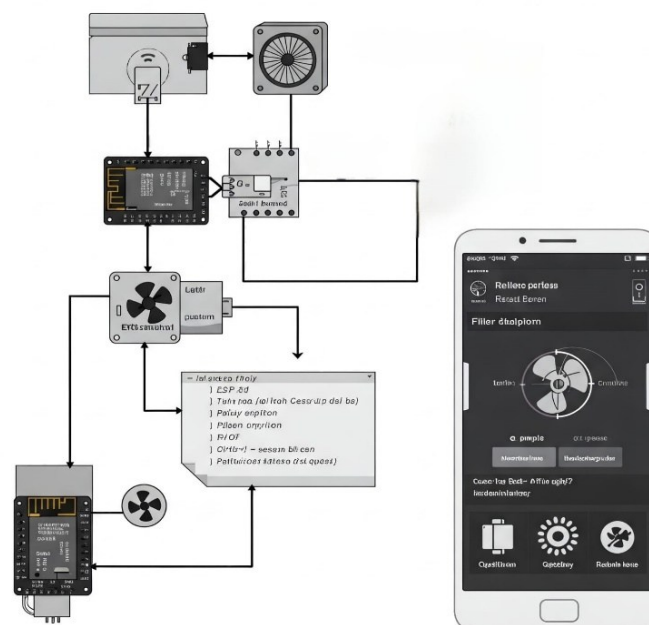
Sistem monitoring menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan sensor MQ-2 dan MQ-7. Data hasil pengukuran dikirimkan ke platform Blynk melalui jaringan internet sehingga kondisi kualitas udara dapat dipantau secara *real-time* menggunakan smartphone. Selain melakukan monitoring, sistem juga dilengkapi dengan mekanisme pembatasan kapasitas ruangan serta sistem filtrasi udara sehingga udara yang dikeluarkan melalui ventilasi memiliki kualitas yang lebih baik.

Sebagai sistem peringatan, buzzer diaktifkan apabila terjadi gangguan pada sensor atau ketika konsentrasi gas melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Selanjutnya, relay berfungsi mengendalikan blower secara otomatis untuk meningkatkan sirkulasi udara. Blower akan aktif ketika konsentrasi gas berada di atas batas aman dan akan berhenti secara otomatis setelah kualitas udara kembali normal. Sistem pembatasan kapasitas ruangan dikendalikan menggunakan Arduino Uno sehingga mampu meningkatkan aspek keselamatan, kenyamanan, dan efisiensi penggunaan ruang. Diagram alir penelitian yang menggambarkan tahapan kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

Perancangan Catu Daya

Sistem dirancang menggunakan dua tingkat tegangan keluaran, yaitu 5 VDC dan 12 VDC, untuk memenuhi kebutuhan daya setiap komponen elektronik. Tegangan 5 VDC digunakan untuk mensuplai sensor, LED indikator, dan modul komunikasi yang memerlukan sumber tegangan stabil. Sementara itu, tegangan 12 VDC digunakan untuk mensuplai beban yang membutuhkan daya lebih besar, seperti blower maupun komponen pendukung lainnya.

Kestabilan tegangan dijaga menggunakan regulator tegangan IC 7805 untuk menghasilkan keluaran 5 VDC dan IC 7812 untuk menghasilkan keluaran 12 VDC. Penggunaan regulator tersebut bertujuan untuk mengurangi fluktuasi tegangan yang dapat memengaruhi kinerja sensor maupun mikrokontroler selama proses monitoring berlangsung. Dengan rancangan catu daya yang terpisah dan stabil, sistem diharapkan memiliki tingkat keandalan yang tinggi, bekerja secara efisien, serta mampu mendukung proses monitoring dan pengendalian kualitas udara berbasis IoT secara berkelanjutan. Rancangan perangkat keras sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.



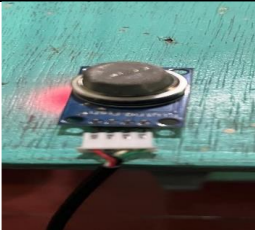
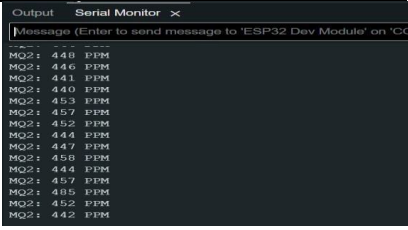
Gambar 2. Perancangan alat.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring kapasitas pengguna dan kontrol sirkulasi udara pada *smoking area* kapal berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat berfungsi sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan. Sistem mampu mendeteksi keberadaan asap rokok menggunakan sensor MQ-2, mengolah data melalui mikrokontroler ESP32, serta mengirimkan hasil pengukuran secara *real-time* ke aplikasi Blynk sehingga kondisi kualitas udara dapat dipantau melalui smartphone.

Hasil pengujian sensor MQ-2 menunjukkan bahwa sensor memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi perubahan konsentrasi asap di dalam ruangan sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Ketika konsentrasi asap melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sistem secara otomatis mengaktifkan blower hisap dan blower dorong untuk mempercepat proses sirkulasi udara. Sebaliknya, apabila kadar asap telah kembali berada pada batas aman, kedua blower akan berhenti beroperasi secara otomatis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mekanisme kontrol yang diterapkan mampu merespons perubahan kondisi lingkungan secara cepat dan bekerja sesuai dengan logika pengendalian yang dirancang.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor MQ-2

No	Kondisi	Serial Monitor
1.		
2.		

Selain pengujian sensor, aplikasi Blynk juga berhasil menampilkan data hasil pengukuran secara *real-time* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Sistem mampu memberikan notifikasi ketika konsentrasi asap melebihi ambang batas sehingga pengguna dapat segera mengetahui kondisi ruangan dan mengambil tindakan yang diperlukan. Kemampuan monitoring jarak jauh ini menjadi salah satu keunggulan sistem karena memungkinkan proses pengawasan dilakukan secara lebih cepat dan efisien.

Pengujian sistem pembatasan kapasitas ruangan menggunakan sensor inframerah dan Arduino Uno menunjukkan bahwa sistem mampu menghitung jumlah pengguna yang masuk dan keluar secara akurat. Ketika jumlah pengguna telah mencapai kapasitas maksimum yang ditentukan, sistem secara otomatis membatasi akses masuk sehingga dapat menghindari terjadinya kepadatan di dalam *smoking area*. Mekanisme tersebut mendukung peningkatan kenyamanan pengguna sekaligus membantu menjaga efektivitas proses sirkulasi udara.

Dari aspek pengendalian kualitas udara, penggunaan *ionizer filter* yang dipadukan dengan sistem ventilasi memberikan hasil yang efektif dalam mengurangi konsentrasi asap di dalam

ruangan. Ketika blower dan *ionizer filter* diaktifkan, konsentrasi asap berangsur menurun hingga kembali berada pada kondisi normal. Dengan demikian, udara yang dikeluarkan melalui sistem ventilasi menjadi lebih bersih sehingga mampu mengurangi potensi pencemaran udara di lingkungan sekitar kapal.

Tabel 2. Hasil pengujian aplikasi Blynk dan Ionizer Filter.

No	Kondisi	Blynk	Gambar
1.	Tanpa Ionizer Ada sedikit asap		
2.	Dengan Ionizer ketika asap banyak		
3.	Dengan Ionizer Ketika asap sangat banyak		

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor MQ-2, mikrokontroler ESP32, Arduino Uno, sistem ventilasi otomatis, *ionizer filter*, serta platform Blynk mampu menghasilkan sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara yang bekerja secara *real-time*, otomatis, dan terintegrasi. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu meningkatkan kualitas udara pada *smoking area* kapal, tetapi juga mendukung aspek keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan pengguna melalui deteksi dini asap, pengendalian ventilasi otomatis, monitoring jarak jauh, serta pembatasan kapasitas ruangan secara cerdas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kapasitas pengguna dan kontrol sirkulasi udara pada *restricted area* kapal berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu mendeteksi keberadaan asap secara *real-time* menggunakan sensor MQ-2, mengolah data melalui mikrokontroler ESP32, serta menampilkan informasi kondisi kualitas udara pada aplikasi Blynk sehingga proses monitoring dapat dilakukan dari jarak jauh secara efektif. Sistem kontrol yang dirancang juga mampu

mengaktifkan dan menonaktifkan blower secara otomatis berdasarkan konsentrasi asap yang terdeteksi, sehingga sirkulasi udara dapat berlangsung secara adaptif dan kualitas udara di dalam ruangan tetap terjaga. Selain itu, sistem pembatasan kapasitas ruangan yang dikendalikan menggunakan sensor inframerah dan Arduino Uno mampu menghitung jumlah pengguna secara akurat serta membatasi akses ketika kapasitas maksimum telah tercapai, sehingga meningkatkan aspek keselamatan dan kenyamanan pengguna.

Integrasi antara sensor gas, sistem kontrol otomatis, platform IoT, dan mekanisme pembatasan kapasitas menghasilkan sistem yang bekerja secara terintegrasi, responsif, dan andal. Penerapan sistem ini berpotensi meningkatkan kualitas udara, mengurangi risiko paparan gas dan asap pada *restricted area* kapal, serta mendukung terciptanya lingkungan kerja yang lebih aman, sehat, dan efisien. Sebagai pengembangan pada penelitian selanjutnya, sistem dapat dilengkapi dengan sensor kualitas udara yang lebih komprehensif, seperti sensor karbon dioksida (CO₂), oksigen (O₂), kelembapan, dan partikulat (PM2.5/PM10), serta memanfaatkan algoritma kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk prediksi kualitas udara dan optimasi pengendalian ventilasi. Selain itu, integrasi dengan jaringan komunikasi maritim dan sistem manajemen kapal (*Ship Management System*) diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem dalam mendukung konsep kapal cerdas (*smart ship*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah memberikan dukungan fasilitas, bimbingan, serta kesempatan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh dosen dan pihak terkait yang telah memberikan arahan, masukan, dan bantuan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kemaritiman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purnama Dewi, N., Nasri, N., Purwanto, S., Retno Gunarti, M., & Dai Robbi, S. (2025). Prototype alat pendeteksi gas berbahaya di kamar mesin untuk menjaga keselamatan ABK berbasis Wemos D1 di kapal MT Plaju. *SIBATIK Journal: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan*, 5(1), 395–408. <https://doi.org/10.54443/sibatik.v5i1.4194>.
- [2] Nugroho, A., Widodo, W. A., & Suryo, I. B. (2025). Enhancing ventilation systems in landing ship tank engine room for adaptive thermal comfort: A computational fluid dynamic simulation and brief review approach. *International Journal of Heat and Technology*, 43(2), 656–670. <https://doi.org/10.18280/ijht.430226>.
- [3] Rohim, S. N., & Saputro, U. A. (2025). Design of an IoT-based air quality system with web integration in a palm oil mill environment. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(4), 1760–1769. <https://doi.org/10.30871/jaic.v9i4.9876>.

- [4] Mallik, S., et al. (2020). IoT utilized gas-leakage monitoring system with adaptive controls applicable to dual fuel powered naval vessels/ships: Development & implementation. *Cybernetics and Information Technologies*, 20(1). <https://doi.org/10.2478/cait-2020-0010>.
- [5] Metreveli, G. (2021). The Internet of Things and indoor air quality on ship. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 872(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/872/1/012015>.
- [6] Darmawan. (2025). Rancang bangun alat monitor kualitas udara berbasis web pada kamar mesin kapal MT. Harsanadi. *JITET: Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(2). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i2.6334>.
- [7] Agamy, A. A., et al. (2020). Neural fuzzy control of the indoor air quality onboard a RO-RO ship garage. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22. <https://doi.org/10.1007/S40815-020-00804-1>.
- [8] Fajar, et al. (2024). Monitoring CO₂ and SO₂ exhaust gas emissions on tanker ships with an IoT-based PLC controller. *Journal of Emerging Supply Chain, Clean Energy, and Process Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.57102/jescee.v3i1.80>.
- [9] Flores-Cortez, J. M., et al. (2021). Design and implementation of an IoT-based LPG and CO gases monitoring system. *Communications in Computer and Information Science*. <https://doi.org/10.5121/CSIT.2021.110803>.
- [10] Rojas-Ascate, C., et al. (2019). Implementation of a CO concentration measurement and alert prototype applying IoT and mobile application. In *2019 IEEE XXVI International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*. <https://doi.org/10.1109/SCLA.2019.8905572>.
- [11] Lizaveta, et al. (2022). Automated environmental compliance monitoring of rivers with IoT and open government data. *Journal of Environmental Management*, 303, 114283. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114283>.
- [12] Sarkar, A., et al. (2023). Exploring IoT for real-time CO₂ monitoring and analysis. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2308.03780>.
- [13] Tahtawi, A. R. A., et al. (2020). Design of quadrotor UAV and Internet-of-Things-based air pollution monitoring systems. *International Journal of Information Technology and Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.22146/IJITEE.51203>.
- [14] Baeza, V. M., et al. (2022). Enhanced communications on satellite-based IoT systems to support maritime transportation services. *Sensors*, 22(17), 6450. <https://doi.org/10.3390/s22176450>.
- [15] Spandonidis, C., et al. (2025). Maritime operational intelligence: AR-IoT synergies for energy efficiency and emissions control. *Sustainability*, 17(17), 7982. <https://doi.org/10.3390/su17177982>.
- [16] Zhao, et al. (2022). A ship exhaust gas monitoring equipment based on NB-IoT. *Frontiers in Science and Engineering*, 2(11). <https://doi.org/10.54691/fse.v2i11.2971>.
- [17] Tahir, M., et al. (2023). Advance multi-gas detection system for optimal safety. *Kardan Journal of Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.31841/kjet.2023.29>.
- [18] Abubeker, K. M., et al. (2025). Internet of Things and LoRaWAN-assisted real-time indoor air quality monitoring and automation system for enhancing passenger safety. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 20. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaf083>.

- [19] Azemi, F., et al. (2021). An IoT-based alarm air quality monitoring system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1755(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1755/1/012035>.
- [20] Ziyodullayevna. (2023). IoT-based air quality monitoring system with machine learning for accurate and real-time data analysis. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2307.00580>.
- [21] IJARIIT Journal. (n.d.). *Calibration of MQ-7 and detection of hazardous carbon monoxide concentration in test canister*.
- [22] Easterline, L. M., et al. (2024). Smart air monitoring with IoT-based MQ-2, MQ-7, MQ-8, and MQ-135 sensors using NodeMCU ESP32. *Procedia Computer Science*, 245, 815–824. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.308>.
- [23] How2Electronics. (n.d.). *IoT-based air quality index monitoring with NodeMCU ESP8266 & MQ135 air quality sensor*. <https://how2electronics.com/iot-air-quality-index-monitoring-esp8266/>.
- [24] Nugroho, A., Wibowo, A., & Triraharjo, B. (2024). Pendeteksi suhu dan kelembaban ruangan menggunakan sensor DHT11 berbasis web server. *Sienna*, 5(2), 153–164. <https://doi.org/10.47637/sienna.v5i2.1644>.