

Kajian Perkembangan Teknologi Sistem Kendali Kemudi Kapal Berbasis Internet of Things Berdasarkan Regulasi IMO

Arif Rakhman Suharso ^{a,1,*}, Anang Budhi Nugroho ^{a,2}, Rizka Nur Miftakhul Ulum ^{a,3}

^a Politeknik Maritim Negeri Indonesia, Jalan PTP Ngobo, Wringinputih, Bergas, Kabupaten Semarang 50552, Indonesia

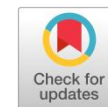
¹ arif.rakhman@polimarin.ac.id*

* Penulis Korespondensi

Diterima 31 Mei 2026; Direvisi 15 Juni 2026; Diterima 19 Juni 2026

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji penerapan teknologi Internet of Things (IoT) pada sistem kemudi kapal untuk mendukung keselamatan pelayaran dan meningkatkan efisiensi operasional. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan menganalisis berbagai jurnal ilmiah, standar internasional, dan penelitian terkait sistem kemudi kapal serta teknologi IoT di bidang maritim. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi sensor digital, GPS, dan sistem monitoring real-time mampu meningkatkan akurasi kemudi, kemampuan manuver, dan efektivitas pengawasan operasional kapal. Selain itu, teknologi IoT mendukung deteksi dini gangguan sistem serta meningkatkan keandalan peralatan kapal. Penerapan teknologi ini juga berpotensi mendukung pemenuhan standar keselamatan pelayaran yang ditetapkan oleh International Maritime Organization (IMO). Dengan demikian, teknologi IoT dapat menjadi solusi dalam pengembangan sistem kemudi kapal yang lebih aman dan efisien.

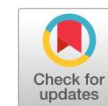


KATA KUNCI

Kemudi
Kapal
Solas
IMO
IoT

ABSTRACT

This study examines the application of Internet of Things (IoT) technology in ship steering systems to support maritime safety and improve operational efficiency. The research employs a literature review method by analyzing scientific journals, international standards, and previous studies related to ship steering systems and IoT technology in the maritime sector. The results indicate that the integration of digital sensors, GPS, and real-time monitoring systems can improve steering accuracy, maneuvering capability, and operational supervision effectiveness. In addition, IoT technology supports early fault detection and enhances the reliability of ship equipment. The implementation of this technology also has the potential to support compliance with maritime safety standards established by the International Maritime Organization (IMO). Therefore, IoT technology can be considered a promising solution for developing safer and more efficient ship steering systems.



KEYWORD

EUCS
User Satisfaction
DANA
Heteroscedasticity
Multiple Linear Regression



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital telah mendorong transformasi pada berbagai sektor transportasi, termasuk industri pelayaran. Konsep kapal pintar (smart ship) semakin berkembang dengan mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT), sensor, sistem komunikasi data, dan perangkat kendali otomatis untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi operasional, serta keandalan navigasi kapal. Penerapan teknologi tersebut memungkinkan pemantauan kondisi kapal secara real-time sehingga awak kapal dapat mengambil keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam menghadapi berbagai situasi pelayaran [1].

Keselamatan pelayaran merupakan aspek utama yang diatur dalam berbagai regulasi internasional. Konvensi Safety of Life at Sea (SOLAS) mewajibkan setiap kapal dilengkapi dengan sistem navigasi dan peralatan keselamatan yang mampu mendukung operasi pelayaran secara aman dalam berbagai kondisi cuaca dan lingkungan laut [2]. Selain itu, kompetensi pelaut dalam mengoperasikan sistem navigasi dan peralatan elektronik juga diatur dalam Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW) yang menekankan pentingnya pemahaman teknologi maritim modern untuk mendukung keselamatan pelayaran [3].

Salah satu perkembangan teknologi yang banyak diterapkan pada sektor maritim adalah Internet of Things (IoT). Teknologi ini memungkinkan pertukaran data secara otomatis antara sensor, aktuator, dan pusat kendali melalui jaringan komunikasi. Implementasi IoT pada sistem monitoring pelayaran telah terbukti mampu menyediakan informasi posisi, kecepatan, dan kondisi operasional kapal secara real-time sehingga meningkatkan efektivitas pengawasan dan pengambilan keputusan selama pelayaran [1].

Di sisi lain, sistem kendali kapal juga mengalami perkembangan melalui penggunaan mikrokontroler dan sensor digital. Penelitian mengenai simulasi sistem kemudi kapal berbasis Arduino menunjukkan bahwa pemanfaatan sensor posisi seperti incremental rotary encoder dan potensiometer dapat meningkatkan akurasi pembacaan sudut kemudi sehingga mendukung pengendalian arah kapal yang lebih presisi [4]. Integrasi teknologi sensor dengan sistem komunikasi IoT berpotensi menghasilkan sistem kemudi dan monitoring kapal yang lebih andal, efisien, serta sesuai dengan tuntutan digitalisasi industri pelayaran.

Berdasarkan perkembangan tersebut, diperlukan kajian mengenai penerapan teknologi IoT dan sistem kendali modern pada kapal guna mendukung keselamatan pelayaran, efisiensi operasional, dan kepatuhan terhadap regulasi internasional. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai manfaat, tantangan, dan peluang pengembangan sistem maritim berbasis IoT dalam mendukung terwujudnya konsep kapal pintar (smart ship) di masa mendatang.

2. Tinjauan Pustaka

Keselamatan pelayaran merupakan aspek utama dalam operasional kapal yang diatur melalui berbagai konvensi internasional. International Maritime Organization (IMO) menetapkan standar keselamatan melalui Safety of Life at Sea (SOLAS) yang mengatur persyaratan minimum terkait konstruksi kapal, peralatan navigasi, sistem kemudi, dan perlengkapan keselamatan lainnya [2]. Selain itu, kompetensi awak kapal dalam mengoperasikan peralatan navigasi dan sistem kendali kapal diatur

dalam konvensi Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW) yang menekankan pentingnya kemampuan teknis dan penguasaan teknologi maritim modern [3].

Dalam mendukung keselamatan navigasi, kapal juga wajib mematuhi Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREG) yang mengatur tata cara olah gerak kapal, penggunaan lampu navigasi, serta tindakan penghindaran tubrukan di laut [5]. Kepatuhan terhadap ketiga regulasi tersebut menjadi dasar pengembangan sistem navigasi dan kemudi kapal yang aman dan andal.

Sistem kemudi (steering gear system) berfungsi mengendalikan arah gerak kapal melalui pengaturan sudut daun kemudi. Menurut persyaratan SOLAS, sistem kemudi harus memiliki tingkat keandalan tinggi, mampu beroperasi dalam kondisi darurat, dan memenuhi standar waktu respon tertentu untuk menjamin keselamatan kapal selama pelayaran [6]. Pengembangan sistem kemudi modern tidak hanya berfokus pada aspek mekanis, tetapi juga mencakup integrasi sensor dan sistem kendali elektronik untuk meningkatkan akurasi pengendalian arah kapal.

Penggunaan sensor posisi seperti incremental rotary encoder dan potensiometer dapat digunakan untuk memonitor sudut kemudi secara presisi pada simulasi kemudi kapal berbasis Arduino [4]. Penelitian lain oleh Suharso dkk. mengembangkan prototipe kendali kemudi kapal berbasis pengendali PID yang mengacu pada persyaratan SOLAS dan menunjukkan peningkatan stabilitas serta akurasi respon sistem kemudi terhadap perubahan setpoint arah kapal [9].

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan komunikasi secara real-time. Dalam bidang maritim, IoT banyak digunakan untuk mendukung pemantauan kondisi kapal, navigasi, keamanan, dan efisiensi operasional. Implementasi IoT pada sistem monitoring pelayaran speed boat berbasis mikrokontroler mampu memberikan informasi posisi dan kondisi operasional kapal secara real-time sehingga meningkatkan efektivitas pengawasan pelayaran [1].

Pemanfaatan IoT pada kapal juga diterapkan pada sistem GPS tracker yang memungkinkan pemantauan posisi kapal dari jarak jauh melalui jaringan internet dan smartphone. Sistem ini memberikan kemudahan bagi operator dalam melakukan pelacakan pergerakan kapal secara berkelanjutan serta memantau informasi lokasi kapal secara real-time sehingga dapat meningkatkan keamanan pelayaran. [10]. Selain itu, penerapan arsitektur multi-sensor berbasis IoT pada sistem keamanan kapal mampu meningkatkan kemampuan deteksi kondisi operasional kapal serta mendukung kepatuhan terhadap regulasi maritim yang berlaku [8].

Perkembangan teknologi digital telah melahirkan konsep smart ship, yaitu kapal yang mengintegrasikan sensor, sistem kendali otomatis, komunikasi data, dan kecerdasan buatan untuk meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasi. Salah satu komponen penting dalam pengembangan smart ship adalah pemanfaatan data real-time yang diperoleh melalui sensor dan perangkat IoT. Integrasi teknologi IoT dan big data mampu membantu proses analisis risiko serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dalam operasi pelayaran [7].

Integrasi sistem kemudi otomatis, sensor navigasi, GPS tracker, serta jaringan komunikasi IoT memungkinkan terciptanya sistem pengawasan dan pengendalian kapal yang lebih efektif. Dengan demikian, penerapan teknologi digital pada sistem kemudi dan navigasi kapal memiliki potensi besar

dalam mendukung keselamatan pelayaran, meningkatkan efisiensi operasional, serta memenuhi standar internasional yang ditetapkan oleh IMO melalui SOLAS, STCW, dan COLREG [2], [3], [5].

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (literature review) untuk mengkaji penerapan teknologi sistem kemudi kapal berbasis Internet of Things (IoT) dalam mendukung keselamatan pelayaran. Data penelitian diperoleh dari berbagai sumber ilmiah, seperti jurnal, buku, standar internasional, dan regulasi maritim yang berkaitan dengan sistem kemudi kapal, navigasi, serta teknologi IoT.

Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, pengumpulan literatur, seleksi referensi yang relevan, analisis data, dan penyusunan hasil kajian. Literatur yang digunakan dipilih berdasarkan kesesuaian topik, kredibilitas sumber, serta keterkaitannya dengan sistem kemudi kapal dan keselamatan pelayaran. Selanjutnya, data dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi perkembangan teknologi, manfaat, serta tantangan penerapan IoT pada sistem kemudi kapal.

Selain itu, penelitian ini juga meninjau aspek olah gerak kapal dalam kondisi cuaca buruk. Kemampuan manuver dan pengendalian kapal yang baik merupakan faktor penting dalam menjaga keselamatan pelayaran, terutama saat menghadapi kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan [11]. Hasil kajian kemudian disusun untuk memberikan gambaran mengenai kontribusi teknologi IoT terhadap peningkatan keselamatan dan efisiensi operasional kapal.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa teknologi Internet of Things (IoT) memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan keselamatan dan efisiensi operasional kapal. Sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan pengiriman data posisi, kecepatan, arah pelayaran, serta kondisi operasional kapal secara real-time kepada operator maupun pusat pengawasan [1], [10]. Selain itu, penerapan IoT pada sistem keamanan kapal dengan pendekatan multi-sensor mampu meningkatkan kemampuan deteksi dini terhadap kondisi yang berpotensi menimbulkan risiko pelayaran [8].

Penggunaan IoT juga mendukung konsep smart ship yang mengintegrasikan sensor, perangkat kendali, dan jaringan komunikasi untuk meningkatkan kinerja navigasi serta efisiensi operasional kapal. Sistem ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat berdasarkan data aktual yang diperoleh dari berbagai perangkat di kapal [7], [16].

Sistem kemudi merupakan salah satu komponen penting yang menentukan kemampuan manuver kapal. Berdasarkan persyaratan SOLAS, sistem kemudi harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi serta mampu beroperasi secara efektif dalam berbagai kondisi pelayaran [2], [6]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sensor posisi seperti incremental rotary encoder dan potensiometer mampu meningkatkan akurasi pembacaan sudut kemudi pada sistem kendali kapal berbasis mikrokontroler [4].

Pengembangan sistem kemudi berbasis pengendali PID juga menunjukkan peningkatan stabilitas dan ketepatan respons terhadap perubahan arah kapal. Sistem tersebut mampu mempertahankan sudut kemudi sesuai nilai yang diinginkan sehingga mendukung keselamatan pelayaran dan memenuhi persyaratan operasional yang ditetapkan oleh SOLAS [9]. Penelitian lain

mengenai sistem presisi manuvering kapal menunjukkan bahwa integrasi sensor dan sistem kendali digital dapat meningkatkan kemampuan pengendalian gerakan kapal secara lebih akurat [17].

Kemampuan manuver kapal sangat berpengaruh terhadap keselamatan pelayaran, terutama saat beroperasi di perairan sempit, kawasan pelabuhan, maupun ketika menghadapi kondisi cuaca buruk. Melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak SURSIM, kemampuan manuver turning kapal ferry penumpang dapat diprediksi sejak tahap desain dan dievaluasi kesesuaiannya dengan kriteria manuver yang direkomendasikan oleh IMO.. [14]. Selain itu, optimasi kontrol manuver menggunakan sistem NI SB-RIO terbukti mampu meningkatkan performa pengendalian kapal pada berbagai kondisi operasi [13].

Pada kondisi cuaca buruk, kemampuan olah gerak kapal menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas dan keselamatan pelayaran. Kapal harus mampu melakukan perubahan haluan dan penyesuaian kecepatan secara tepat untuk mengurangi pengaruh gelombang, arus, dan angin yang kuat. Penelitian pada MT. Nymph Thetis menunjukkan bahwa penerapan teknik olah gerak yang tepat dapat membantu kapal mempertahankan keselamatan pelayaran saat menghadapi cuaca ekstrem [12].

Implementasi sistem kemudi dan monitoring berbasis IoT harus tetap mengacu pada regulasi internasional yang berlaku. SOLAS menetapkan persyaratan terkait keandalan sistem kemudi dan peralatan navigasi kapal [2]. STCW mengatur kompetensi awak kapal dalam mengoperasikan sistem elektronik dan navigasi modern [3], sedangkan COLREG memberikan pedoman mengenai tindakan navigasi dan pencegahan tubrukan di laut [5].

Berdasarkan hasil kajian, integrasi teknologi IoT, sensor digital, GPS tracker, serta sistem kendali otomatis dapat mendukung pemenuhan persyaratan keselamatan yang ditetapkan oleh regulasi internasional tersebut. Oleh karena itu, penerapan teknologi digital pada sistem kemudi kapal berpotensi meningkatkan keselamatan pelayaran sekaligus mendukung transformasi menuju konsep smart ship yang lebih efektif dan efisien [7], [15], [16].

Penutup

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi literatur, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) pada sistem kemudi kapal memberikan kontribusi dalam meningkatkan keselamatan pelayaran dan efisiensi operasional kapal. Integrasi sensor digital, GPS, sistem komunikasi data, dan monitoring real-time mampu meningkatkan akurasi pengendalian kemudi, kemampuan manuver, serta efektivitas pengawasan kondisi kapal. Selain itu, teknologi IoT mendukung deteksi dini gangguan sistem sehingga dapat meningkatkan keandalan peralatan dan mengurangi risiko kecelakaan akibat kegagalan sistem kemudi. Penerapan sistem kemudi berbasis IoT juga sejalan dengan perkembangan konsep smart ship dan mendukung pemenuhan standar keselamatan yang ditetapkan oleh International Maritime Organization (IMO). Dengan demikian, teknologi IoT memiliki potensi untuk menjadi solusi dalam pengembangan sistem kemudi kapal yang lebih aman, andal, dan efisien.

b. Saran

Pengembangan sistem kemudi kapal berbasis IoT perlu terus dilakukan dengan meningkatkan akurasi sensor, keandalan komunikasi data, dan integrasi dengan sistem navigasi kapal. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian langsung pada prototipe atau kapal sebenarnya untuk memperoleh data performa sistem yang lebih akurat. Selain itu, implementasi teknologi IoT harus tetap memperhatikan aspek keamanan siber, keandalan jaringan, serta kesesuaian dengan regulasi dan standar keselamatan yang ditetapkan oleh IMO.

Daftar Pustaka

- [1] M. S. Ramadhan, Hadriansa, dan H. Zulhilmi, "Implementasi IoT Sebagai Sistem Monitoring Pelayaran Speed Boat Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," *Journal of Applied Microcontroller and Autonomous System*, vol. 5, no. 1, pp. 1–5, Jun. 2025.
- [2] International Maritime Organization, *SOLAS Consolidated Edition 2018*, London, UK: IMO Publishing, 2018.
- [3] International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, *STCW Including 2010 Manila Amendments*, London, UK: IMO Publishing, 2017.
- [4] [A. R. Suharso, G. B. Santoso, A. Hendartono, dan R. B. Kumara, "Perbandingan Sensor Incremental Rotary Encoder dan Potensiometer pada Simulasi Kemudi Kapal Berbasis Arduino," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 11, no. 1, pp. 155–166, Jan. 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i1.155..
- [5] International Maritime Organization, *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREG)*, 1972, London, UK: IMO Publishing, 2018.
- [6] R. Govindasamy, "SOLAS Requirement on Steering Gear System," *DieselShip*, 2020. DieselShip Official Website
- [7] M. Mursidi and A. Sarjito, "Inovasi Keselamatan Pelayaran: Peran Big Data dan IoT dalam Mengurangi Risiko," *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan*, vol. 15, no. 1, pp. 162–174, Sep. 2024, doi: 10.30649/japk.v15i1.132.
- [8] S. A. Said dan J. Tandingan, "Implementasi Teknologi Internet of Things (IoT) pada Sistem Monitoring Keamanan Kapal : Pendekatan Arsitektur Multi-Sensor, Analisis Kinerja Jaringan, dan Kepatuhan Regulasi Maritim", *Joule*, vol. 7, no. 1, hlm. 14–19, Feb 2026..
- [9] [A. R. Suharso, A. Hendartono, A. A. Amthori, and S. Supriyadi, "Design and Experimental Evaluation of a PID Based Ship Rudder Control Prototype Referenced to SOLAS," *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET)*, vol. 8, no. 2, Feb.–Apr. 2026, doi: 10.26877/asset.v8i2.2739.
- [10] M. M. Arrozak, A. E. Kristiyono, dan Prihastono, "Rancang Bangun GPS Tracker di Kapal dengan Menggunakan Internet of Things (IoT)," *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 3, no. 3, pp. 22–31, Mei 2025, doi: 10.61132/jupiter.v3i3.822.
- [11] Andre Febrianto, Rusdy A Siroj, and Hartatiana, "Studi Literatur: Landasan Dalam Memilih Metode Penelitian Yang Tepat", *JERD*, vol. 1, no. 2, pp. 259–263, Dec. 2024.
- [12] Y. Sampe, W. Ada', dan I. Mustika, "Optimalisasi Olah Gerak Kapal dalam Pelayaran Menghadapi Cuaca Buruk di MT. Nymph Thetis," *Andromeda*, vol. 2, no. 2, pp. 9–16, Sep. 2025.
- [13] P. Siwindarto, F. N. Eritha, dan M. Aswin, "Optimasi Kontrol pada Maneuvering Kapal Menggunakan NI SB-RIO," *WAVE: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, vol. 13, no. 2, pp. 83–90, Des. 2019, doi: 10.29122/jurnalwave.v13i2.3883.
- [14] M. R. Utina dan C. S. J. Mintarso, "Simulasi Manuver Turning Kapal Ferry Penumpang," *WAVE: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, vol. 3, no. 2, pp. 41–44, Des. 2009, doi: 10.29122/jurnalwave.v3i2.4652.
- [15] S. A. Agustini, I. P. Mulyatno, and W. Amiruddin, "Perancangan Sistem Digitalisasi Monitoring Data RPM Engine dan Temperatur Minyak Lubrikan Kapal Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Metode Simulasi Prototype ESP32," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 11, no. 4, Dec. 2023.
- [16] E. J. Foster, "The Development of Smart Ships: Navigational, Safety, and Operational Benefits," *American Journal of Marine Engineering and Technology*, vol. 4, no. 6, pp. 1–5, 2023.

- [17] Muhamad Ghali Pw Carwito, Antonius Edy Kristiyono, and Henna Nurdiansari, "Rancang Bangun Sistem Presisi Manuvering pada Pergerakan Kapal", JURRITEK, vol. 4, no. 2, pp. 320–332, Jun. 2025.