

## Sistem Steering Gear Kapal Berbasis Arduino dan Relevansinya terhadap SOLAS

<sup>1</sup>Arif Rakhman Suharso, <sup>2</sup>Eko Sutono

<sup>1</sup>Politeknik Maritim Negeri Indonesia, <sup>2</sup> Universitas Pamulang

e-mail : <sup>1</sup>arif.rakhman@polimarin.ac.id, <sup>2</sup>dosen02598@unpam.ac.id

\*Corresponding author, arif.rakhman@polimarin.ac.id

### ABSTRAK

Steering gear merupakan sistem penting pada kapal yang berfungsi mengendalikan arah pelayaran melalui pergerakan daun kemudi. Keandalan sistem ini berpengaruh langsung terhadap keselamatan pelayaran sehingga pengoperasiannya diatur dalam International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). Penelitian ini bertujuan meninjau penerapan sistem steering gear berbasis Arduino serta relevansinya terhadap persyaratan keselamatan yang ditetapkan SOLAS. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan menganalisis berbagai jurnal ilmiah yang berkaitan dengan sistem kemudi kapal, sensor posisi, metode kendali, dan otomasi maritim. Hasil kajian menunjukkan bahwa Arduino dapat digunakan sebagai pengendali pada simulasi dan prototipe steering gear melalui integrasi sensor posisi seperti incremental rotary encoder dan potensiometer serta metode kendali Proportional-Integral-Derivative (PID). Penggunaan sensor posisi memberikan umpan balik yang diperlukan untuk meningkatkan ketelitian pengendalian sudut kemudi. Selain itu, metode PID mampu menghasilkan respons sistem yang stabil pada berbagai kondisi simulasi. Perkembangan teknologi kemudi otomatis juga menunjukkan peluang integrasi Arduino dengan sistem navigasi dan sensor cerdas untuk mendukung penelitian otomasi maritim. Meskipun demikian, penggunaan Arduino masih terbatas pada skala penelitian, simulasi, dan pendidikan, serta belum ditujukan untuk menggantikan sistem steering gear komersial yang harus memenuhi standar keselamatan dan klasifikasi kapal.

**Kata kunci:** Steering Gear, Arduino, Rudder, SOLAS, Mikrokontroler, Rudder.

### ABSTRACT

*Steering gear is an essential ship system that controls a vessel's direction through the movement of the rudder. The reliability of this system directly affects navigation safety; therefore, its operation is regulated by the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). This study aims to review the implementation of Arduino-based steering gear systems and their relevance to the safety requirements established by SOLAS. The research employed a literature review method by analyzing scientific publications related to ship steering systems, position sensors, control methods, and maritime automation. The results indicate that Arduino can be utilized as a controller in steering gear simulations and prototype systems through the integration of position sensors such as incremental rotary encoders and potentiometers, together with the Proportional-Integral-Derivative (PID) control method. The use of position sensors provides the feedback required to improve the accuracy of rudder angle control. In addition, the PID method is capable of producing stable system responses under various simulation conditions. The development of automatic steering technology also demonstrates opportunities for integrating Arduino with navigation systems and intelligent sensors to support maritime automation research. However, the application of Arduino remains limited to research, simulation, and educational purposes and is not intended to replace commercial steering gear systems that must comply with ship classification and safety standards.*

**Keywords:** Steering Gear, Arduino, Rudder, SOLAS, Mikrokontroler, Rudder.

## 1. PENDAHULUAN

Sistem kemudi (steering gear) merupakan salah satu peralatan penting pada kapal yang berfungsi mengubah arah gerak kapal melalui pengendalian daun kemudi. Keandalan sistem steering gear sangat menentukan keselamatan pelayaran karena berhubungan langsung dengan kemampuan manuver kapal dalam berbagai kondisi operasi. Kegagalan sistem kemudi dapat menyebabkan kapal kehilangan kendali, meningkatkan risiko tabrakan, kandas, maupun kecelakaan lainnya. Oleh karena itu, International Maritime Organization (IMO) menetapkan persyaratan teknis dan operasional sistem kemudi melalui International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) untuk menjamin keselamatan pelayaran Regulation 29 SOLAS mengatur bahwa setiap kapal wajib memiliki sistem kemudi utama (main steering gear) dan sistem kemudi bantu (auxiliary steering gear) yang dirancang secara independen sehingga kegagalan salah satu sistem tidak menyebabkan sistem lainnya tidak dapat beroperasi. Seluruh komponen steering gear, termasuk rudder stock, harus memiliki konstruksi yang kuat dan andal, serta memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan oleh administrasi maritim. Pada sistem hidrolik, tekanan desain pipa dan komponen harus mampu menahan setidaknya 1,25 kali tekanan kerja maksimum, serta dilengkapi relief valve untuk mencegah tekanan berlebih yang dapat merusak sistem. Ketentuan ini bertujuan menjamin keandalan dan keselamatan sistem kemudi selama operasi kapal.

SOLAS juga menetapkan kriteria kinerja steering gear. Sistem kemudi utama harus mampu menggerakkan daun kemudi dari 35° kiri ke 35° kanan dan dari 35° ke 30° sisi berlawanan dalam waktu tidak lebih dari 28 detik pada kecepatan layanan maksimum kapal. Sementara itu, sistem kemudi bantu harus mampu menggerakkan kemudi dari 15° kiri ke 15° kanan dalam waktu tidak lebih dari 60 detik pada setengah kecepatan layanan maksimum atau minimal 7 knot. Selain memiliki kekuatan yang memadai, kedua sistem harus tetap berfungsi dalam kondisi darurat dan mampu memberikan kendali yang aman terhadap arah kapal, sehingga keselamatan pelayaran dapat terjamin sesuai standar SOLAS. [1]. Penerapan ketentuan SOLAS pada sistem steering gear mencakup aspek desain, keandalan, pengujian, serta ketersediaan sistem cadangan yang mampu menjamin pengoperasian kemudi dalam kondisi darurat. Penelitian mengenai perawatan steering gear menunjukkan bahwa pemeliharaan yang baik sangat berpengaruh terhadap kinerja dan keandalan sistem kemudi kapal selama operasi pelayaran [3]. Selain itu, gangguan seperti kebocoran minyak hidrolik pada steering gear dapat menurunkan efektivitas pengendalian kapal dan berpotensi mengancam keselamatan apabila tidak segera ditangani [4].

Perkembangan teknologi mikrokontroler telah membuka peluang pengembangan sistem kendali kemudi yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah diimplementasikan. Salah satu platform yang banyak digunakan dalam bidang otomasi adalah Arduino karena memiliki kemampuan pemrograman yang fleksibel, biaya relatif rendah, dan kompatibel dengan berbagai sensor maupun aktuator. Pemanfaatan Arduino pada sistem kendali kapal telah diterapkan pada berbagai penelitian, seperti sistem sandar otomatis dan kapal tanpa awak, yang menunjukkan kemampuan pengendalian gerak kapal secara otomatis dengan tingkat akurasi yang baik [4], [5]. Dalam pengembangan sistem steering gear berbasis Arduino, sensor posisi berperan penting sebagai umpan balik untuk mengetahui sudut daun kemudi secara real-time. Beberapa penelitian telah mengevaluasi penggunaan incremental rotary encoder dan potensiometer pada simulasi kemudi kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua sensor tersebut dapat digunakan untuk mendukung sistem kendali kemudi, meskipun memiliki karakteristik akurasi dan resolusi yang berbeda [7]–[9]. Selain itu, pengaruh variasi beban pada daun kemudi juga perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi respons dan kestabilan sistem kendali [10].

Penggunaan metode kendali otomatis seperti Proportional-Integral-Derivative (PID) juga telah diterapkan pada prototipe kemudi kapal berbasis mikrokontroler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan posisi kemudi dengan tingkat kesalahan yang rendah serta memiliki karakteristik respons yang sesuai untuk aplikasi simulasi steering gear kapal [6]. Berdasarkan perkembangan tersebut, sistem steering gear berbasis Arduino menjadi alternatif yang menarik untuk dikembangkan sebagai media pembelajaran, penelitian, maupun prototipe sistem otomasi kapal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meninjau dan menganalisis penerapan sistem steering gear berbasis Arduino serta relevansinya terhadap persyaratan keselamatan yang diatur dalam SOLAS. Hasil kajian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai potensi pemanfaatan teknologi mikrokontroler dalam mendukung pengembangan sistem kemudi kapal yang aman, andal, dan sesuai dengan standar keselamatan pelayaran internasional.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (literature review) untuk mengkaji perkembangan teknologi sistem

steering gear kapal berbasis Arduino serta relevansinya terhadap ketentuan keselamatan yang diatur dalam Safety of Life at Sea (SOLAS). Metode studi literatur dipilih karena memungkinkan peneliti memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai konsep, prinsip kerja, teknologi pendukung, dan standar keselamatan sistem kemudi kapal berdasarkan hasil penelitian dan dokumen resmi yang telah dipublikasikan sebelumnya. Tahap pertama penelitian dilakukan melalui proses identifikasi dan pengumpulan sumber pustaka yang relevan. Literatur yang digunakan meliputi artikel jurnal nasional dan internasional, prosiding, buku, serta dokumen resmi IMO khususnya SOLAS Consolidated Edition 2018. Referensi yang dipilih berfokus pada topik steering gear, sistem kendali kemudi kapal, mikrokontroler Arduino, sensor posisi kemudi, metode kendali PID, dan teknologi otomasi kapal. Seluruh sumber pustaka diseleksi berdasarkan kesesuaian tema, kredibilitas penerbit, dan keterbaruan publikasi.

Tahap berikutnya adalah analisis dan sintesis literatur. Setiap referensi dipelajari untuk memperoleh informasi mengenai karakteristik sistem steering gear, persyaratan teknis yang ditetapkan SOLAS, implementasi Arduino pada sistem kemudi kapal, serta hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian terdahulu. Data yang diperoleh kemudian dikelompokkan berdasarkan aspek perancangan sistem, komponen perangkat keras, metode pengendalian, sensor yang digunakan, dan kesesuaiannya dengan standar keselamatan pelayaran. Tahap akhir penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil-hasil penelitian yang telah dikumpulkan untuk mengidentifikasi perkembangan teknologi, kelebihan, keterbatasan, dan peluang penerapan sistem steering gear berbasis Arduino. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar untuk menyusun kesimpulan mengenai relevansi teknologi Arduino terhadap persyaratan steering gear yang diatur dalam SOLAS serta potensinya dalam mendukung pengembangan sistem kemudi kapal yang aman, andal, dan ekonomis untuk kebutuhan pendidikan maupun penelitian maritim. [11]

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan, diketahui bahwa steering gear merupakan salah satu sistem vital pada kapal yang berfungsi mengendalikan arah pelayaran melalui pergerakan daun kemudi (rudder). Sistem ini menjadi penghubung antara perintah yang diberikan oleh operator atau sistem autopilot dengan gerakan fisik rudder untuk menghasilkan perubahan arah kapal. Dalam ketentuan SOLAS Consolidated Edition 2018, steering gear dikategorikan sebagai peralatan keselamatan penting yang harus memiliki tingkat keandalan tinggi karena berhubungan langsung dengan keselamatan kapal, awak kapal, muatan, dan lingkungan maritim. Oleh karena itu, setiap kapal diwajibkan memiliki main steering gear dan auxiliary steering gear yang dirancang sedemikian rupa sehingga kegagalan salah satu sistem tidak menyebabkan hilangnya kemampuan kapal untuk dikendalikan. Persyaratan ini menunjukkan bahwa aspek redundansi dan keandalan merupakan prinsip utama dalam perancangan sistem kemudi kapal modern.

SOLAS juga menetapkan persyaratan teknis yang cukup ketat terhadap performa steering gear. Sistem kemudi utama harus mampu menggerakkan daun kemudi dari sudut 35° kiri ke 35° kanan dan dari 35° pada satu sisi menuju 30° pada sisi berlawanan dalam waktu tidak lebih dari 28 detik pada kondisi kapal berlayar dengan kecepatan maksimum. Persyaratan ini bertujuan memastikan bahwa kapal tetap memiliki kemampuan manuver yang memadai ketika menghadapi kondisi darurat, seperti menghindari tabrakan atau melakukan perubahan haluan secara cepat. Selain itu, sistem kemudi bantu harus mampu menggerakkan rudder dari 15° kiri ke 15° kanan dalam waktu maksimal 60 detik pada setengah kecepatan maksimum kapal atau minimal 7 knot [1]. Ketentuan tersebut menunjukkan bahwa performa steering gear tidak hanya diukur dari kemampuannya menghasilkan gerakan, tetapi juga dari kecepatan respons dan keandalannya dalam kondisi operasional yang sebenarnya.

Pentingnya steering gear dalam keselamatan pelayaran juga dibuktikan oleh berbagai penelitian yang membahas perawatan dan kegagalan sistem kemudi kapal. Penelitian Sitompul dkk. menunjukkan bahwa kegiatan perawatan preventif dan inspeksi berkala mampu meningkatkan keandalan steering gear serta mengurangi risiko kerusakan yang dapat mengganggu operasional kapal [2]. Komponen-komponen seperti pompa hidrolis, motor penggerak, pipa hidrolis, katup kontrol, dan aktuator harus diperiksa secara berkala untuk mendeteksi potensi kerusakan sebelum berkembang menjadi kegagalan sistem. Hasil penelitian tersebut sejalan dengan ketentuan SOLAS yang mengharuskan adanya pemeriksaan berkala terhadap sistem kemudi guna memastikan seluruh komponen tetap berada dalam kondisi layak operasi.

Selain masalah perawatan, kegagalan steering gear juga sering disebabkan oleh gangguan pada sistem hidrolis. Penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo dan Achmad mengenai kebocoran minyak hidrolis pada steering gear LPG/C Gas Walio menunjukkan bahwa kebocoran oli dapat menyebabkan penurunan tekanan kerja sistem, berkurangnya kemampuan aktuator

dalam menggerakkan rudder, hingga hilangnya kendali terhadap kapal [3]. Analisis menggunakan metode HAZOP menunjukkan bahwa risiko tersebut dapat diminimalkan melalui inspeksi berkala, pemantauan kondisi sistem hidrolis, dan penggantian komponen yang telah mengalami penurunan kualitas. Temuan ini menunjukkan bahwa aspek keselamatan pada steering gear tidak hanya ditentukan oleh desain sistem, tetapi juga oleh kualitas perawatan yang dilakukan selama masa operasi kapal.

Perkembangan teknologi digital dan mikrokontroler telah membuka peluang baru dalam pengembangan steering gear yang lebih cerdas dan efisien. Salah satu platform yang banyak digunakan adalah Arduino karena memiliki biaya yang relatif rendah, kemudahan pemrograman, serta kemampuan integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator. Penelitian Gunawan dkk. mengenai sistem sandar otomatis berbasis Arduino menunjukkan bahwa mikrokontroler mampu mengendalikan pergerakan kapal secara otomatis berdasarkan data sensor yang diterima [4]. Sistem tersebut dapat mengurangi keterlibatan operator dalam proses pengendalian dan meningkatkan ketepatan manuver kapal saat mendekati dermaga. Pemanfaatan Arduino juga telah diterapkan pada berbagai penelitian kapal tanpa awak (unmanned surface vehicle). Dabit dkk. mengembangkan kapal penebar pakan ikan berbasis mikrokontroler Arduino yang mampu bergerak secara otomatis sesuai jalur yang telah ditentukan [5]. Teknologi serupa juga diterapkan pada kapal tak berawak berbasis Android yang menggunakan sistem color tracking untuk mendeteksi lintasan pelayaran [17]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Arduino mampu menjadi pusat kendali yang efektif dalam mengolah data sensor dan menghasilkan perintah kendali yang diperlukan untuk mengatur pergerakan kapal.

Dalam sistem steering gear berbasis Arduino, sensor posisi memiliki peran yang sangat penting karena berfungsi sebagai sumber data umpan balik (feedback) untuk mengetahui posisi aktual daun kemudi. Tanpa adanya sensor posisi, sistem tidak dapat menentukan apakah sudut rudder yang dihasilkan telah sesuai dengan perintah yang diberikan. Penelitian mengenai pengujian incremental rotary encoder menunjukkan bahwa sensor ini mampu menghasilkan pembacaan sudut yang akurat dengan resolusi yang tinggi sehingga cocok digunakan pada sistem kendali kemudi kapal [7]. Sensor ini bekerja dengan menghitung jumlah pulsa yang dihasilkan selama poros berputar sehingga perubahan posisi dapat diketahui secara presisi. Selain rotary encoder, potensiometer juga banyak digunakan sebagai sensor posisi pada sistem kemudi berbasis Arduino. Penelitian Suharso dkk. yang membandingkan rotary encoder dan potensiometer menunjukkan bahwa rotary encoder memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi, sedangkan potensiometer lebih sederhana dan ekonomis dalam implementasinya [8]. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa potensiometer masih mampu memberikan tingkat ketelitian yang memadai untuk kebutuhan simulasi steering gear kapal [9]. Oleh karena itu, pemilihan sensor harus mempertimbangkan kebutuhan sistem, tingkat akurasi yang diinginkan, serta biaya pengembangan yang tersedia.

Metode kendali merupakan faktor penting lainnya yang menentukan performa steering gear. Dari berbagai metode yang digunakan, PID (Proportional-Integral-Derivative) merupakan algoritma yang paling banyak diterapkan karena memiliki struktur sederhana dan mudah diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino. Penelitian mengenai prototipe kemudi kapal berbasis PID menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai sudut kemudi yang diinginkan dengan tingkat kesalahan yang rendah serta memiliki respons yang stabil terhadap perubahan setpoint [6]. Kinerja PID yang baik disebabkan oleh kemampuannya mengombinasikan aksi proporsional, integral, dan derivatif untuk mengurangi kesalahan serta meningkatkan stabilitas sistem. Keunggulan metode PID juga dibuktikan oleh penelitian Devionita dkk. yang menerapkan sistem waypoint berbasis GPS untuk mengendalikan posisi kapal secara otomatis [14]. Sistem tersebut mampu mempertahankan arah kapal menuju titik tujuan dengan memanfaatkan koreksi kendali PID secara terus-menerus. Hasil ini menunjukkan bahwa PID masih menjadi salah satu metode yang paling efektif untuk diterapkan pada sistem steering gear berbasis Arduino karena mampu memberikan keseimbangan antara kesederhanaan implementasi dan performa pengendalian.

Meskipun PID masih mendominasi, perkembangan teknologi steering gear modern menunjukkan adanya kecenderungan penggunaan metode kendali yang lebih cerdas. Healey dan Lienard mengembangkan metode sliding mode control pada kendaraan bawah air tanpa awak yang memiliki kemampuan lebih baik dalam menghadapi gangguan eksternal dan ketidakpastian parameter sistem [16]. Selain itu, perkembangan teknologi kecerdasan buatan (artificial intelligence) telah mendorong munculnya berbagai metode seperti fuzzy logic, neural network, adaptive control, dan machine learning untuk meningkatkan kemampuan sistem kemudi dalam menghadapi kondisi lingkungan yang dinamis. Kajian komprehensif yang dilakukan oleh Zheng dkk. menunjukkan bahwa teknologi automatic rudder control telah berkembang pesat dari sistem mekanis menjadi sistem digital yang terintegrasi dengan sensor cerdas, sistem navigasi satelit, kecerdasan buatan, dan komunikasi data real-time [13]. Teknologi ini memungkinkan kapal melakukan pengendalian arah secara otomatis dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan sistem konvensional. Perkembangan tersebut sejalan dengan konsep smart ship dan autonomous ship yang saat ini menjadi fokus pengembangan industri maritim global.

Selain aspek kendali, desain daun kemudi juga memiliki pengaruh besar terhadap performa steering gear. Liu dan Hekkenberg menjelaskan bahwa karakteristik hidrodinamika rudder menentukan besarnya gaya dan momen yang diperlukan untuk membelokkan kapal [12]. Bentuk rudder yang lebih efisien dapat mengurangi kebutuhan tenaga aktuator sekaligus meningkatkan kemampuan manuver kapal. Oleh karena itu, desain steering gear harus mempertimbangkan hubungan antara sistem kendali, aktuator, dan karakteristik rudder agar diperoleh performa yang optimal. Penelitian mengenai simulasi daun kemudi dengan variasi beban menunjukkan bahwa peningkatan beban pada rudder menyebabkan peningkatan torsi yang harus dihasilkan oleh aktuator kemudi [10]. Akibatnya, respons sistem menjadi lebih lambat apabila kapasitas aktuator tidak memadai.

Secara keseluruhan, hasil studi literatur menunjukkan bahwa sistem steering gear berbasis Arduino memiliki potensi besar untuk mendukung pengembangan teknologi kemudi kapal modern. Arduino mampu digunakan sebagai pengendali utama yang mengintegrasikan sensor posisi, aktuator, dan algoritma kendali untuk menghasilkan sistem kemudi yang akurat dan responsif. Walaupun masih digunakan pada skala prototipe, simulasi, dan pendidikan, hasil berbagai penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu merepresentasikan prinsip kerja steering gear yang sesungguhnya serta dapat digunakan sebagai sarana penelitian dan pengembangan teknologi otomasi maritim. Namun demikian, penggunaan Arduino pada penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan sistem steering gear komersial yang digunakan pada kapal niaga karena peralatan tersebut harus memenuhi persyaratan klasifikasi kapal, sertifikasi kelautan, redundansi sistem, dan standar keselamatan SOLAS yang lebih ketat [1]. Oleh karena itu, Arduino lebih tepat digunakan sebagai platform penelitian dan pembelajaran untuk mengevaluasi konsep kendali kemudi, pengujian sensor, pengembangan algoritma PID, serta simulasi sistem kemudi otomatis sebelum diimplementasikan pada sistem industri yang sebenarnya [6], [13]. Dengan mengacu pada persyaratan keselamatan yang ditetapkan dalam SOLAS, sistem steering gear berbasis Arduino dapat menjadi media yang efektif untuk mendukung inovasi dan pengembangan teknologi kemudi kapal di masa depan tanpa mengesampingkan aspek keselamatan dan regulasi pelayaran internasional [1], [6], [13].

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur, steering gear merupakan sistem vital yang berperan dalam menjaga kemampuan manuver dan keselamatan pelayaran sehingga pengoperasiannya diatur secara ketat dalam SOLAS. Ketentuan SOLAS menekankan pentingnya keandalan sistem kemudi melalui persyaratan mengenai konstruksi, kinerja, redundansi, dan ketersediaan sistem kemudi bantu untuk menjamin keselamatan kapal dalam berbagai kondisi operasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa Arduino dapat diterapkan sebagai pengendali pada simulasi dan prototipe steering gear melalui integrasi sensor posisi seperti incremental rotary encoder dan potensiometer serta penggunaan metode kendali PID. Kombinasi tersebut mampu menghasilkan pengendalian sudut kemudi yang tepat sehingga sesuai untuk kebutuhan penelitian, pembelajaran, dan pengembangan teknologi otomasi maritim. Meskipun demikian, penggunaan Arduino masih terbatas pada skala penelitian, simulasi, dan pendidikan, serta belum dapat menggantikan sistem steering gear komersial yang digunakan pada kapal niaga. Implementasi pada kapal sebenarnya memerlukan pemenuhan persyaratan klasifikasi, sertifikasi kelautan, keandalan sistem, dan standar keselamatan yang ditetapkan oleh SOLAS.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] *International Maritime Organization, SOLAS Consolidated Edition 2018*. London, U.K.: IMO Publishing, 2018.
- [2] S. E. S. Sitompul, M. H. Syam, S. Irawan, dan I. Syaifudin, "Analisis Perawatan Steering Gear di Kapal MV. CEMTRANS," *Journal of Marine Engineering Research*, vol. 1, no. 1, pp. 33–40, Jan. 2025.
- [3] D. Prasetyo dan N. Achmad W.Lb, "Analisis Kebocoran Minyak Hidraulik Steering Gear LPG/C Gas Walio terhadap Keselamatan Kapal Sesuai HAZOP," *Jurnal 7 Samudra*, vol. 4, no. 1, pp. 47–63, Jun. 2019, doi: 10.54992/7samudra.v4i1.58.
- [4] S. Gunawan, D. Alia, dan J. S. Kustanto, "Rancang Bangun Sistem Sandar Otomatis Menggunakan Arduino," *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*, vol. 3, no. 2, pp. 271–289, Mei 2025, doi: 10.61132/globe.v3i2.841.
- [5] A. S. Dabit, A. E. Lianto, S. A. Branta, H. Nubli, F. B. Laksono, A. R. Prabowo, dan N. Muhayat, "Perancangan Kapal Tanpa Awak Penebar Pakan Ikan di Wilayah Pesisir Pantai Berbasis Microcontroller Arduino," *Mekanika:*

- Majalah Ilmiah Mekanika*, vol. 19, no. 2, pp. 74–83, Sep. 2020, doi: 10.20961/mechanika.v19i2.43671
- [6] A. R. Suharso, A. Hendartono, A. Anwar, 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, pp. 1–8, 2026, doi: 10.26877/asset.v8i2.2739.
- [7] A. R. Suharso, "Incremental Rotary Encoder Accuracy Testing On Ship Rudder Simulation," *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, vol. 1, no. 3, pp. 118–127, 2022.
- [8] A. R. Suharso, G. B. Santoso, A. Hendartono, and R. B. Kumara, "Perbandingan Sensor Incremental Rotary Encoder Dan Potensiometer Pada Simulasi Kemudi Kapal Berbasis Arduino," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, dan Teknik Elektronika*, vol. 11, no. 1, pp. 155–166, 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i1.155.
- [9] A. R. Suharso, A. Hendartono, E. Sirait, R. B. Kumara, and Susanto, "Pengujian Tingkat Ketelitian Potensiometer pada Simulasi Kemudi Kapal," *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, vol. 16, no. 2, pp. 79–86, Dec. 2022.
- [10] A. R. Suharso, A. Hedartono, dan Susanto, "Simulasi Daun Kemudi Kapal Dengan Variasi Beban," *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin dan Manufaktur*, vol. 5, no. 2, pp. 126–133, Sep. 2024, doi: 10.24127/armatur.v5i2.6367
- [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] J. Liu and R. Hekkenberg, "Sixty Years of Research on Ship Rudders: Effects of Design Choices on Rudder Performance," *Ships and Offshore Structures*, vol. 11, no. 4, pp. 495–512, 2016.
- [13] M. Zheng, Q. Chen, D. Yan, dan Y. Zhang, "A Comprehensive Review of Ship Automatic Rudder Technology: Development, Challenges, and Prospects," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 13, no. 5, Art. no. 851, May 2025, doi: 10.3390/jmse13050851.
- [14] S. Devionita, S. Thoha, dan J. Subur, "Rancang Bangun Kontrol Pergerakan Posisi Kapal dengan Sistem Waypoint Berbasis GPS Menggunakan Metode PID," *Media Elektrika*, vol. 13, no. 2, pp. 89–99, Dec. 2020, doi: 10.26714/me.v13i2.6778.
- [15] M. F. Al Hafiz, Bukhari, dan M. Razi, "Perancangan Sistem Kendali Prototipe Kapal Pariwisata Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 9, no. 2, pp. 101–107, Sep. 2025, doi: 10.30811/jmst.v9i2.7848.
- [16] A. J. Healey and D. Lienard, "Multivariable Sliding Mode Control for Autonomous Diving and Steering of Unmanned Underwater Vehicles," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 18, no. 3, pp. 327–339, Jul. 1993.
- [17] K. Joni dan A. F. Abadillah, "Kapal Tak Berawak Menggunakan Andorid Untuk Deteksi Lintasan dengan Color Tracking," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 69–77, Mar. 2015, doi: 10.24912/tesla.v17i1.273.