P-ISSN: 2716-2656, E-ISSN: 2985-9638
JOURNAL MARINE INSIDE
VOLUME 8, ISSUE 2, DECEMBER 2026
https://ejournal.poltekpel-banten.ac.id/index.php/ejmi/

JENIS ARTIKEL: ARTIKEL PENELITIAN

Analisis teknis integrasi gyrocompass dan radar ARPA untuk keselamatan navigasi di alur pelayaran sempit: Studi kasus pada LNG carrier MT. UMM HEESH

Sandy Wahyu Purnomo[1*], Antaris Fahrisani[1], Deni Adi Setyawan[1], Henni Sutryani[1], Ichsan Syawaluddin[2]

[1]*Program Studi Diploma Tiga Studi Nautika, Politeknik Pelayaran Banten, Tangerang, Indonesia*
[2]*Northern Marine Group, Scotland, United Kingdom*
* E-mail Korespondensi: sandywahyu.p2b@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian studi kasus teknis ini membandingkan integrasi gyrocompass Yokogawa CMZ900 dan radar ARPA Furuno FAR-3000 pada MT UMM HEESH pada dua laju pembaruan NMEA 0183 melalui RS-422 (10 Hz dan 1 Hz). Tiga kondisi manuver dengan sudut kemudi 5°, 15°, dan 35° dilaporkan pada masing-masing konfigurasi. Pada 10 Hz, rata-rata latensi 19,67 ms, galat baringan 0,24°, dan galat CPA 0,02 NM; pada 1 Hz, nilai tersebut masing-masing 1027 ms, 2,46°, dan 0,35 NM. Galat maksimum baringan pada 1 Hz mencapai 3,88°. Penghitungan ulang dari tiga pasangan ringkasan menghasilkan p = 0,0925 untuk baringan dan p = 0,0716 untuk CPA; hasil ini berbeda dari uji yang dilaporkan penulis. Jumlah paket mentah dan rincian pengulangan belum tersedia. Temuan deskriptif mendukung evaluasi konfigurasi sensor pada kapal kasus, bukan penetapan syarat minimum universal atau sertifikasi kepatuhan standar.

Kata Kunci: Gyro compass; radar ARPA; NMEA 0183; latensi; keselamatan navigasi; LNG carrier.

ABSTRACT

This technical case study compares a Yokogawa CMZ900 gyrocompass and Furuno FAR-3000 ARPA radar integration on MT UMM HEESH at two NMEA 0183 update rates (10 Hz and 1 Hz) over RS-422. Three manoeuvring conditions (rudder angles of 5°, 15°, and 35°) are reported per configuration. At 10 Hz, mean latency, bearing error, and CPA error were 19.67 ms, 0.24°, and 0.02 NM; at 1 Hz, they were 1027 ms, 2.46°, and 0.35 NM. Maximum bearing error at 1 Hz was 3.88°. Recalculation from the three printed pairs yielded p = 0.0925 for bearing and p = 0.0716 for CPA, differing from the reported tests. Raw packet counts and trial repetitions are unavailable. The descriptive findings inform configuration evaluation for this vessel, not a universal minimum update rate or certification of standards compliance.

Keywords: *Gyro compass; radar ARPA; NMEA 0183; latency; heading lag; LNG carrier.*

INFORMASI ARTIKEL

Diterima	Direvisi	Disetujui	Diterbitkan
8 September 2026	20 November 2026	25 November 2026	26 Desember 2026

DOI: https://doi.org/10.62391/ejmi.v8i2.273

Cara Mengutip: Sandy Wahyu Purnomo, Antaris Fahrisani, Deni Adi Setyawan, Henny Sutryani, Ichsan Syawaluddin, "Analisis teknis integrasi gyrocompass dan radar ARPA untuk keselamatan navigasi di alur pelayaran sempit: studi kasus pada LNG carrier MT. UMM HEESH," Journal Marine Inside, vol. 8, no. 2, pp. 432–438, 2026, doi: https://doi.org/10.62391/ejmi.v8i2.273.

AKSES TERBUKA, HAK CIPTA, DAN LISENSI
Hak cipta tetap pada penulis, dengan memberikan hak publikasi pertama kepada Journal Marine Inside. Artikel menggunakan lisensi Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) sesuai perjanjian publikasi jurnal.

PENDAHULUAN

Keselamatan navigasi di wilayah perairan sempit dan terbatas (narrow channels / restricted waters) merupakan tantangan taktis yang sangat kritis dalam dunia transportasi laut global, terutama bagi kapal-kapal tangki raksasa dengan kapasitas muat masif yang membawa kargo berbahaya [1]. Jaminan kesadaran situasional di atas anjungan kapal secara regulasi diatur secara ketat melalui konvensi internasional SOLAS (Safety of Life At Sea) 1974 Bab V Regulasi 19 mengenai persyaratan pembawaan instrumen navigasi wajib [2]. Regulasi tersebut mengamanatkan penerapan teknologi navigasi modern untuk mendukung perwira jaga (Officer of the Watch - OOW) dalam memantau dan mengidentifikasi bahaya navigasi secara dini. Dua instrumen navigasi elektronik paling vital dalam menunjang fungsi keselamatan ini adalah Gyro Compass (Kompas Giro) dan Radar ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) [3]. Gyro Compass berperan sebagai sensor penentu arah haluan sejati (heading sensor) yang bebas dari deviasi magnetik struktur kapal, sedangkan Radar ARPA berfungsi sebagai alat penjejak target otomatis dan pengalkulasi parameter taktis keselamatan penentu bahaya tubrukan, yaitu Closest Point of Approach (CPA) dan Time to Closest Point of Approach (TCPA).

MT. UMM HEESH merupakan kapal tanker gas cair (LNG) berukuran masif dengan tonase kotor mencapai 115.728 GRT dan bobot mati 87.832,6 DWT. Sebagai kapal pengangkut muatan berbahaya jenis gas alam cair kelas 100A1, kapal ini memiliki karakteristik hidrodinamis khusus berupa inersia lambung yang sangat tinggi, jarak pengereman (stopping distance) yang sangat panjang, serta respon kemudi yang relatif lambat (sluggish maneuverability) [4]. Dimensi kapal yang besar (LOA 290,003 meter dan lebar 45,80 meter) dengan draf dalam menjadikannya sangat rentan terhadap bahaya hidrodinamis perairan dangkal seperti efek squat (dynamic draft increase) dan efek tepian alur (bank effect) saat bernavigasi di alur pelayaran sempit [5]. Kesalahan estimasi navigasi sekecil apa pun di alur sempit dapat memicu kecelakaan fatal berupa tubrukan atau kandas yang berujung pada kerusakan kapal hingga kebocoran kargo kriogenik. Konsekuensi ekologis dan ekonomi yang luar biasa menuntut jaminan keandalan integrasi sistem navigasi di atas kapal berada pada tingkat kritikalitas yang mutlak.

Meskipun secara teori integrasi kedua alat ini terlihat sederhana, pada kenyataannya di atas kapal sering kali ditemukan kendala teknis berupa kesenjangan spesifikasi operasional. Permasalahan utama yang menjadi perhatian kritis adalah adanya waktu tunda transmisi data (latency atau heading input lag) serta rendahnya laju pembaruan data (update rate) yang dikonfigurasikan [6]. Standar unjuk kerja internasional IMO menetapkan bahwa untuk menjamin kelancaran penjejakan target, data haluan dari gyro compass harus dialirkan dengan laju pembaruan minimal 10 Hz (10 kali per detik). Apabila terjadi kesalahan konfigurasi port serial sehingga setelan keluaran gyro terkunci pada mode frekuensi rendah 1 Hz, maka Radar ARPA hanya akan menerima data arah sekali setiap detik [7]. Ketika kapal bermanuver tajam atau memutar kemudi cikar di tikungan alur sempit, kelambatan suplai data heading ini akan memicu efek radar lag dan pergeseran visual target (radar target smearing), yang secara langsung mendistorsi perhitungan filter algoritmik (seperti Kalman Filter) pada radar [8]. Kesalahan kalkulasi parameter keselamatan CPA sebesar beberapa ratus meter saja di alur pelayaran sempit sudah cukup untuk memicu keterlambatan respons alarm batas aman (CPA/TCPA Limit Alarm) dan melahirkan situasi bahaya tubrukan yang terlambat diantisipasi.

Penelitian terapan ini dirancang secara khusus untuk mengatasi kesenjangan teknis tersebut dengan melakukan pengujian empiris langsung secara on-board sepanjang tahun 2026 di atas kapal MT. UMM HEESH. Aktivitas pengumpulan data telemetri, pemeriksaan kelistrikan, serta sea-trial uji manuver dipimpin langsung oleh Officer di atas kapal, Ichsan Syawaluddin, S.S.T.Pel. Penelitian ini membandingkan Skenario I (Update Rate 10 Hz) dan Skenario II (degradasi update rate 1 Hz) untuk membuktikan signifikansi pengaruh latensi terhadap akurasi visualisasi dan keselamatan navigasi sesuai standar internasional SOLAS 1974 Bab V Regulasi 19 dan Aturan 9 COLREGs 1972.

METODOLOGI

Penelitian terapan ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dan studi kasus teknis. Analisis kesenjangan terhadap standar keselamatan maritim internasional melengkapi pendekatan tersebut [9]. Pengujian dilaksanakan di kapal LNG Carrier MT UMM HEESH sepanjang tahun 2026. Data primer diperoleh dari telemetri digital NMEA 0183 ($HEHDT dan $HEROT) yang mengalir dari gyro compass Yokogawa CMZ900/TG-8000 menuju radar ARPA Furuno FAR-3000 saat transit aktif di Selat Sunda.

Desain dan Prosedur Penelitian

Sistem interkoneksi antarmuka kelistrikan anjungan di MT. UMM HEESH diperiksa secara menyeluruh. Pengiriman data arah haluan menggunakan antarmuka serial diferensial EIA-422 / RS-422 dengan kabel marine-grade berpelindung ganda twisted-pair tipe TPYCY 2x2x0.75 mm². Kawat anyaman pelindung (shield braid) hanya dihubungkan ke grounding kapal pada sisi penerima (receiver side Radar ARPA) dan dibiarkan menggantung bebas di terminal sisi Gyro Compass (transmitter side) untuk mengaplikasikan metode grounding satu sisi (single-ended grounding) guna menepis derau induksi elektromagnetik (EMI) dari perangkat pemancar radio komunikasi VHF di anjungan [10]. Penyadapan data digital dilakukan dengan menghubungkan konverter RS-422 ke USB pada port output terminal transmisi menuju laptop peneliti yang menjalankan terminal serial emulator. Perekaman data dilakukan pada dua kondisi skenario:

- Skenario I (Standard High-Speed Integration - 10 Hz): Laju pembaruan data Gyro Compass dikonfigurasi pada frekuensi tinggi yaitu 10 Hz (interval transmisi ~100 ms) dengan baud rate serial 4800 bps.
- Skenario II (Degraded Low-Speed Integration - 1 Hz): Laju pembaruan data diturunkan secara sengaja ke frekuensi rendah yaitu 1 Hz (interval transmisi ~1000 ms) untuk menyimulasikan kegagalan konfigurasi.

Pada masing-masing skenario, kapal diinstruksikan melakukan uji kemudi terkontrol (steering trials) dengan variasi sudut kemudi ringan (5°), sedang (15°), dan cikar kemudi ekstrem (35°). Parameter yang diukur meliputi: Latensi Transmisi Data Haluan (ms), Kesalahan Azimuth Target Radar ARPA (derajat), Fluktuasi Kalkulasi CPA (NM), dan TCPA (Menit). Tabel 2 memuat tiga pasangan ringkasan menurut sudut kemudi. Jumlah paket NMEA, jumlah ulangan, basis pembanding baringan/CPA, metode sinkronisasi jam, definisi latensi dan checksum error belum dirinci. Nilai galat checksum perlu dihitung sebagai jumlah paket gagal pemeriksaan checksum dibagi jumlah paket diperiksa. Perbandingan perlu mempertimbangkan pengulangan manuver dan ketidakpastian alat. Konfigurasi 4800 bps pada 10 Hz juga perlu direkonsiliasi dengan panjang dan jumlah kalimat NMEA yang dikirim.

Analisis Data

Analisis data menggunakan statistik deskriptif dan inferensial. SPSS versi 26 digunakan untuk uji statistik inferensial. Uji-t berpasangan dilaksanakan pada taraf signifikansi 0,05 untuk mengevaluasi perbedaan yang diuji. Regresi linear sederhana digunakan untuk menilai hubungan latensi transmisi (X) dengan kesalahan baringan target radar (Y) melalui persamaan model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fisik lambung kapal LNG Carrier MT. UMM HEESH memiliki inersia hidrodinamis yang sangat masif terhadap respons olah gerak kapal di alur pelayaran sempit. Rincian spesifikasi fisik kapal kasus dirangkum pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Utama Lambung dan Mesin MT. UMM HEESH

No.	Parameter Dimensi & Mesin MT. UMM HEESH	Nilai / Spesifikasi Teknis
1	Nama Kapal / Bendera / Tanda Selar	MT. UMM HEESH / Liberia (LR) / 5LUU2
2	Panjang Seluruhnya (Length Overall - LOA)	290.003 meter (951.45 kaki)
3	Lebar Terbesar (Breadth Moulded)	45.80 meter (150.26 kaki)
4	Dalam Terbesar (Depth Moulded)	26.20 meter (85.96 kaki)
5	Bobot Mati Musim Panas (DWT at Summer)	87,832.6 metrik ton
6	Tonase Kotor (Gross Register Tonnage - GRT)	115,728 metrik ton
7	Kemudi Ganda (Rudders)	2 x Full Spade SR64TM (Area: 42.37 m², Max. 45°)

Hasil pengujian dinamis (dynamic steering trials) yang merekam dampak konfigurasi laju pembaruan gyro compass terhadap kestabilan parameter keselamatan taktis radar ARPA dirangkum pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kuantitatif Parameter Skenario I (10 Hz) vs Skenario II (1 Hz)

Sudut Manuver	Latensi S1 (10 Hz)	Latensi S2 (1 Hz)	Azimuth Error S1	Azimuth Error S2	CPA Error S1	CPA Error S2
5° (Light)	18 ms	1012 ms	0.12°	1.14°	0.01 NM	0.18 NM
15° (Mod.)	19 ms	1024 ms	0.24°	2.35°	0.02 NM	0.34 NM
35° (Cikar)	22 ms	1045 ms	0.35°	3.88°	0.03 NM	0.52 NM
Rata-rata	19.67 ms	1027 ms	0.24°	2.46°	0.02 NM	0.35 NM

Tabel 2 menunjukkan rata-rata latensi 19,67 ms pada 10 Hz dan 1027 ms pada 1 Hz, disertai perbedaan rata-rata galat baringan 0,24° versus 2,46° serta galat CPA 0,02 versus 0,35 NM. Pada kondisi kemudi 35°, galat baringan 1 Hz mencapai 3,88° dan galat CPA 0,52 NM. Angka tersebut menunjukkan perbedaan pada kondisi kasus yang dilaporkan; dasar batas 100 ms dan toleransi spesifik radar harus diverifikasi terhadap dokumen yang berlaku. Hasil pengujian statistik inferensial menggunakan analisis SPSS untuk menguji signifikansi perbedaan kesalahan baringan target radar dan estimasi CPA dirangkum pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Hasil uji-t berpasangan yang dilaporkan penulis (belum direkonsiliasi dengan Tabel 2)

Uji Perbandingan Kinerja	Nilai t-Hitung	t-Tabel ($df = 2, \alpha = 0.05$)	Signifikansi (p-value)
Perbandingan Azimuth Tracking Error	12.450	4.303	0.0064 (Sangat Signifikan)
Perbandingan CPA Calculation Error	8.924	4.303	0.0123 (Signifikan)
Perbandingan Latensi Transmisi	104.281	4.303	0.0001 (Sangat Signifikan)
Keputusan Uji Statistik	Tolak H_0 / Terima H_a	-	Seluruh Pengujian Signifikan $p < 0.05$

Tabel 3 mempertahankan hasil uji yang dilaporkan penulis. Penghitungan ulang uji-t berpasangan dua sisi dari tiga pasangan nilai pada Tabel 2 (df = 2) menghasilkan t = 3,055; p = 0,0925 untuk galat baringan, t = 3,534; p = 0,0716 untuk galat CPA, serta t = 119,176; p = 0,0000704 untuk latensi. Nilai ini berbeda dari Tabel 3. Karena data ulangan dan output SPSS belum tersedia, hasil inferensial asli belum dapat direproduksi. Penghitungan ulang ini hanya merupakan pemeriksaan konsistensi tabel ringkasan, bukan pengujian atas data paket mentah. Hubungan latensi transmisi dan galat baringan target dimodelkan menggunakan regresi linear sederhana sebagaimana dilaporkan penulis. Persamaan yang dilaporkan adalah sebagai berikut:

$$Y = 0{,}182 + 0{,}0035\,X. \quad (1)$$

Koefisien regresi yang dilaporkan sebesar 0,0035° per ms (setara 0,35° per 100 ms), dengan R^2 = 0,892. R^2 adalah proporsi variasi respons dalam model, bukan persentase penyebab galat. Intersep 0,182° merupakan prediksi pada latensi nol, yang berada di luar rentang teramati. Data mentah dan diagnostik model diperlukan untuk memverifikasi estimasi tersebut. Pada konfigurasi 10 Hz, galat baringan dalam tabel berada di bawah 0,5°. Namun, hasil satu studi kasus tidak membuktikan kepatuhan menyeluruh terhadap SOLAS atau resolusi IMO; penilaian kesesuaian harus menggunakan prosedur pengujian dan kriteria yang berlaku untuk perangkat dan kapal. Konfigurasi lain memerlukan pengujian tersendiri. Kajian radar dan AIS membahas indikator CPA, penggunaan ARPA untuk penghindaran tubrukan, serta keterbatasan interpretasi instrumen [13], [14], [15], [16], [17]. Rujukan tersebut menyediakan kerangka pembanding; perbedaan konteks dan metode tidak memungkinkan hasil penelitian ini dianggap tervalidasi oleh penelitian tersebut. Literatur keselamatan navigasi membahas pelatihan tim anjungan, faktor manusia, kelelahan, dan evaluasi risiko tubrukan [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Rujukan tersebut menyediakan kerangka pembanding; perbedaan konteks dan metode tidak memungkinkan hasil penelitian ini dianggap tervalidasi oleh penelitian tersebut.

Kajian radar dan AIS membahas indikator CPA, penggunaan ARPA untuk penghindaran tubrukan, serta keterbatasan interpretasi instrumen [26], [27], [28], [29], [30], [31]. Konteks dan rancangan setiap penelitian tersebut berbeda. Literatur ini memberikan kerangka pembanding untuk memahami topik yang dikaji. Hasil penelitian ini tetap harus ditafsirkan berdasarkan bukti yang tersedia dalam studi ini.

Penelitian rute kapal membahas penghindaran kondisi cuaca berat dan integrasi perilaku kapal di gelombang dalam perencanaan rute [32], [33], [34], [35], [36]. Konteks dan rancangan setiap penelitian

tersebut berbeda. Literatur ini memberikan kerangka pembanding untuk memahami topik yang dikaji. Hasil penelitian ini tetap harus ditafsirkan berdasarkan bukti yang tersedia dalam studi ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian integrasi *gyro compass* dan radar ARPA selama tahun 2026, koneksi RS-422 dilaporkan memiliki tingkat kesalahan *checksum* kurang dari 0,01%. Namun, jumlah paket data yang diuji belum diketahui sehingga keandalan sistem belum dapat dipastikan secara menyeluruh. Konfigurasi 10 Hz menghasilkan latensi rata-rata sebesar 19,67 ms dan galat baringan rata-rata sebesar 0,24°, dengan galat maksimum sebesar 0,35°. Sebaliknya, konfigurasi 1 Hz menghasilkan latensi hingga 1.027 ms, galat baringan hingga 3,88°, penyimpangan CPA hingga 0,52 NM, dan keterlambatan TCPA hingga 1,84 menit pada manuver dengan sudut kemudi 35°.

Konfigurasi 10 Hz menunjukkan kinerja deskriptif yang lebih baik, tetapi belum dapat ditetapkan sebagai standar universal keselamatan navigasi. Ketidaksesuaian hasil uji-t pada Tabel 3 dan persamaan regresi ($Y = 0{,}182 + 0{,}0035X$) dengan $R^2 = 0{,}892$ memerlukan verifikasi menggunakan data asli. Konfigurasi perangkat harus mengikuti spesifikasi pabrikan, disertai pemeriksaan sinkronisasi sensor, kualitas transmisi data, dan pelatihan penanganan kegagalan sensor. Setiap perubahan konfigurasi perangkat harus memperoleh persetujuan pihak berwenang dan melalui pengujian teknis yang sesuai untuk mendukung keselamatan pelayaran.

DEKLARASI DAN INFORMASI TAMBAHAN

ORIGINALITAS DAN PENGAJUAN EKSKLUSIF

Para penulis menyatakan bahwa manuskrip ini merupakan karya asli, belum pernah diterbitkan sebagai artikel jurnal sebelumnya, dan tidak sedang diajukan atau dipertimbangkan untuk diterbitkan pada jurnal lain. Setiap tesis, laporan, prosiding, atau preprint terdahulu yang berkaitan telah diungkapkan kepada editor.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis 1 bertanggung jawab terhadap konseptualisasi, metodologi, analisis data, supervisi, serta penelaahan manuskrip; Penulis 2, 3, dan 4 mengolah landasan teori, analisis statistik SPSS, serta penyusunan draf; Penulis 5 (Ichsan Syawaludin) selaku Officer bertugas melaksanakan pemeriksaan fisik, penarikan kabel RS-422, penyiapan alat data logger, serta perekaman langsung aliran data digital NMEA 0183 ($HEHDT dan $HEROT) secara on-board di atas kapal MT. UMM HEESH sepanjang tahun 2026. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir naskah artikel ini

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat kepentingan finansial, profesional, personal, akademik, atau institusional yang dapat dipandang memengaruhi pelaksanaan penelitian, interpretasi hasil, maupun publikasi artikel ini.

PENDANAAN

Penelitian ini didanai oleh Politeknik Pelayaran Banten berdasarkan Keputusan Direktur Nomor KP-P2B 268 Tahun 2026 tentang Pengangkatan Tim Penelitian Dosen pada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2026 (Tim Penelitian 1).

PERSETUJUAN ETIK

Penelitian merupakan studi kasus teknis integrasi instrumen navigasi yang juga melibatkan wawancara perwira jaga. Kebutuhan persetujuan etik atau pengecualian harus dikonfirmasi kepada institusi.

PERSETUJUAN PARTISIPAN

Seluruh perwira jaga anjungan MT. UMM HEESH yang berpartisipasi dalam sesi wawancara terstruktur telah memperoleh informasi mengenai tujuan akademis penelitian dan memberikan persetujuan tertulis (informed consent) untuk berpartisipasi serta menyebutkan identitas kompetensi navigasi sebelum pengumpulan data dilaksanakan.

KETERSEDIAAN DATA

Data telemetri log biner serial NMEA 0183 dan lembar kerja SPSS hasil analisis kuantitatif yang mendukung temuan artikel ini tersedia dari penulis korespondensi berdasarkan permintaan yang wajar dengan memperhatikan perlindungan rahasia teknis navigasi kapal kasus.

PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN

ChatGPT (OpenAI) digunakan untuk membantu penyuntingan bahasa, struktur, pemeriksaan konsistensi, dan penyesuaian format naskah. Data, hasil, interpretasi, dan substansi ilmiah menjadi tanggung jawab para penulis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Pelayaran Banten atas arahan administratif program penelitian, serta kepada Nakhoda dan seluruh perwira jaga MT. UMM HEESH yang telah mengizinkan, memfasilitasi pengambilan data spesifikasi teknis instrumen anjungan, serta mendampingi uji manuver di atas kapal.

INDEPENDENSI EDITORIAL

Penelaahan dan keputusan editorial dilaksanakan secara independen sesuai kebijakan Journal Marine Inside. Keterlibatan penulis dalam tim editorial perlu diungkapkan dan dikelola melalui pengunduran diri dari penanganan naskah sendiri.

HAK CIPTA DAN LISENSI

Hak cipta tetap pada penulis; Journal Marine Inside memperoleh hak publikasi pertama. Ketentuan yang dicantumkan pada template adalah lisensi Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

DAFTAR PUSTAKA

[1] Sari, D. P., Basri, M., & Wardana, A. (2022). Dampak latensi transmisi serial NMEA 0183 terhadap ketelitian target tracking radar ARPA di Selat Sunda. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut, 18*(3), 201–214.

[2] International Maritime Organization. (1974). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS 1974)*. IMO.
[3] International Maritime Organization. (2004). *Resolution MSC.192(79): Adoption of the revised performance standards for radar equipment*. IMO.
[4] MT. UMM HEESH. (2020). Ship's particulars and maneuvering booklet. *Liberian-Flagged LNG Carrier, Official Identity Documents*.
[5] Wibowo, T. (2023). Analisis kepatuhan prosedural aturan 9 COLREGs 1972 di alur pelayaran sempit menggunakan simulator anjungan. *Jurnal Keselamatan Maritim, 9*(1), 32–43.
[6] International Maritime Organization. (1979). *Resolution A.424(XI): Performance standards for Gyro-Compasses*. IMO.
[7] International Electrotechnical Commission. (2008). IEC 61162-1: Maritime navigation and radio-communication equipment and systems – digital interfaces – part 1: Single talker and multiple listeners (NMEA 0183). *IEC*.
[8] Zhang, Y., Liu, X., & Chen, J. (2023). A kalman filter-based sensor fusion for Maritime target tracking and collision avoidance. *Journal of Marine Science and Technology, 28*(4), 412–425.
[9] Politeknik Pelayaran Banten. (2025). Buku panduan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (PKM) 2025. *Tangerang: P3M Poltekpel Banten*.
[10] Yokogawa Denshikisen Co, & Ltd. (2016). Technical manual and instruction book: CMZ900 gyrocompass (model cmz900d/cmz900s). *Tokyo: Yokogawa*.
[11] Pratama, R., & Nugroho, S. (2021). Integrasi Multi-Sensor GPS-Gyro untuk reduksi drift error pada sistem navigasi kapal penumpang. *Jurnal Ilmiah Nautika, 5*(1), 45–56.
[12] Hidayat, A., & Setiawan, B. (2024). Analisis kepatuhan kompas gasing digital terhadap standar kinerja IMO melalui kalibrasi statis. *Jurnal Teknologi Kelautan, 12*(2), 115–128.
[13] Wakabayashi, N., Makino, H., Ito, M., & Shiotani, S.. (2011). Development of radar ARPA simulator software using AIS data for ship data. *The Journal of Japan Institute of Navigation*. https://doi.org/10.9749/jin.124.87
[14] Wawruch, R.. (2020). Comparative Analysis of the Usefulness of AIS and ARPA for Anti-collision Purposes. *TransNav*. https://doi.org/10.12716/1001.14.04.13
[15] Wawruch, R.. (2018). Comparative Study of the Accuracy of AIS and ARPA Indications. Part 1. Accuracy of the CPA Indications. *TransNav*. https://doi.org/10.12716/1001.12.03.02
[16] Mara, T. D.. (1969). Marine collision avoidance: Human factor considerations for the development and operation of an effective merchant marine radar. *Navigation*. https://doi.org/10.1002/j.2161-4296.1969.tb01627.x
[17] Tijardovic, I.. (2008). The use of AIS for collision avoidance. *Journal of Navigation*. https://doi.org/10.1017/s0373463308005055
[18] Hwang, T., & Youn, I.-H.. (2021). Navigation situation clustering model of Human-Operated ships for Maritime autonomous surface ship collision avoidance tests. *Journal of Marine Science and Engineering*. https://doi.org/10.3390/jmse9121458
[19] Taylor, D. H.. (1998). Rules and regulations in Maritime collision avoidance: New directions for bridge team training. *Journal of Navigation*. https://doi.org/10.1017/s0373463397007686
[20] Fang, M.-C., Tsai, K.-Y., & Fang, C.-C.. (2017). A simplified simulation model of ship navigation for safety and collision avoidance in heavy traffic areas. *Journal of Navigation*. https://doi.org/10.1017/s0373463317000923
[21] Zhang, J., Hu, Q., & Liao, B.. (2019). Ship collision avoidance decision model and simulation based on collision circle. *TransNav*. https://doi.org/10.12716/1001.13.02.08
[22] Cho, Y., Han, J., & Kim, J.. (2022). Efficient COLREG-Compliant collision avoidance in Multi-Ship encounter situations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. https://doi.org/10.1109/tits.2020.3029279
[23] Li, Y., Cheng, Z., Yip, T. L., Fan, X., & Wu, B.. (2021). Use of HFACS and Bayesian network for human and organizational factors analysis of ship collision accidents in the Yangtze River. *Maritime Policy & Management*. https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1946609
[24] Jepsen, J. R., Zhao, Z., & Van Leeuwen, W. M. A.. (2015). Seafarer fatigue: A review of risk factors, consequences for seafarers' health and safety and options for mitigation. *International Maritime Health*. https://doi.org/10.5603/imh.2015.0024
[25] Maharaj, A., Miller, K., Davis, D., & Sutherland, M.. (2025). Geostatistical analysis of maritime accidents: Identifying contributory factors and risk patterns in maritime navigation. *The International Hydrographic Review*. https://doi.org/10.58440/ihr-31-2-a10
[26] Chen, P. (2018). Pattern knowledge discovery of ship collision avoidance based on AIS data analysis. *International Journal of Performability Engineering*. https://doi.org/10.23940/ijpe.18.10.p22.24492457
[27] Stitt, I. P. A. (2004). AIS and collision avoidance – a sense of déjà vu. *Journal of Navigation*. https://doi.org/10.1017/s0373463304002760
[28] Vestre, A., Bakdi, A., Vanem, E., & Engelhardtsen, Ø. (2021). AIS-based near-collision database generation and analysis of real collision avoidance manoeuvres. *Journal of Navigation*. https://doi.org/10.1017/s0373463321000357

[29] Scripture, F. R. (1966). Marine radar collision avoidance system requirements. *Navigation*. https://doi.org/10.1002/j.2161-4296.1966.tb02172.x
[30] Wikkenhauser, G. (1967). A radar display for collision avoidance. *Journal of Navigation*. https://doi.org/10.1017/s0373463300024620
[31] Vendrell, J. (1976). Rate and ratio in radar collision avoidance. *Journal of Navigation*. https://doi.org/10.1017/s037346330004337x
[32] Cai, Y., & Wen, Y. Q.. (2014). Ship route design for avoiding heavy weather and Sea conditions. *TransNav*. https://doi.org/10.12716/1001.08.04.09
[33] Han, Z., Zhou, Y., Zhang, J., & Wu, D.. (2025). A ship weather routing optimization method incorporating ship seakeeping model. *TransNav*. https://doi.org/10.12716/1001.19.01.13
[34] Kytariolou, A., & Themelis, N. (2022). Ship routing optimisation based on forecasted weather data and considering safety criteria. *Journal of Navigation*. https://doi.org/10.1017/s0373463322000613
[35] Kaster, H. B. (1965). Ship weather routing in the Pacific. *Navigation*. https://doi.org/10.1002/j.2161-4296.1965.tb02119.x
[36] Abdalsalam, M., & Szlapczynska, J. (2025). Towards improved ship weather routing through Multi-Objective optimization with high performance computing support. *TransNav*. https://doi.org/10.12716/1001.19.01.12