

Quantifying Differences in Navigational Behavior Between Novice and Experienced Officers in a High-Fidelity Ship-Handling Simulator

(Kuantifikasi Perbedaan Perilaku Navigasi Perwira Pemula dan Berpengalaman pada Simulator Olah Gerak Kapal Fidelitas Tinggi)

Yeddy Teddy Theodorus Ombuh^{1*}, Hiroaki Kobayashi², Samuel Palembang¹, Iskandar³,
Yustiani Frastika¹, Frisca Mareyta Pongoh¹

¹ North Sulawesi Maritime Polytechnic, Indonesia

² Tokyo University of Marine Science and Technology, Japan

³ Semarang Maritime Polytechnic, Indonesia *Corresponding author: yto168gf@gmail.com

Manuscript received: 19 April, 2026. Revision accepted: 17 June 2026

Abstract. This study aimed to quantify differences in navigational behavior between novice and experienced officers during ship-handling simulator exercises. A quantitative descriptive approach was applied using empirical data obtained from high-fidelity simulator trials conducted at the Tokyo University of Marine Science and Technology. Navigational behavior was assessed based on three elemental techniques: look-out, positioning, and maneuvering. The results showed that experienced officers performed more frequent and consistent cross-instrument verification using radar/ARPA, bearing compass, and binoculars. They also demonstrated stronger integration between positioning and maneuvering tasks, which resulted in smoother vessel trajectories and smaller lateral deviations from the planned route. In contrast, novice officers tended to perform look-out, positioning, and maneuvering as isolated tasks, with lower verification frequency and more reactive steering responses during dynamic traffic encounters. These findings indicate that navigational expertise is reflected not only in technical knowledge, but also in structured behavioral routines, continuous information verification, and integrated task execution. The study provides empirical support for developing behavior-based simulator assessment and adaptive training systems in maritime education.

Keywords: high-fidelity ship-handling simulator; navigational behavior; novice officers; experienced officers; ship handling; maritime education and training.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengkuantifikasi perbedaan perilaku navigasi antara perwira pemula dan perwira berpengalaman pada skenario simulator olah gerak kapal fidelitas tinggi. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif berdasarkan data empiris eksperimen simulator yang dilaksanakan di Tokyo University of Marine Science and Technology (TUMSAT). Indikator perilaku dikelompokkan ke dalam tiga teknik dasar navigasi, yaitu look-out, penentuan posisi, dan manuver. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perwira berpengalaman memiliki frekuensi dan konsistensi verifikasi informasi yang lebih tinggi melalui radar/ARPA, kompas baringan, dan binokular. Kelompok ini juga memperlihatkan integrasi yang lebih kuat antara pemeriksaan posisi dan tindakan manuver, sehingga lintasan kapal lebih stabil dan deviasi lateral terhadap rencana pelayaran lebih kecil. Sebaliknya, perwira pemula cenderung menjalankan tugas navigasi secara terpisah, reaktif, dan tidak konsisten, khususnya pada kondisi lalu lintas dinamis. Temuan ini menegaskan bahwa keselamatan navigasi tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan teknologi anjungan, tetapi juga oleh kemampuan operator dalam memverifikasi dan mengintegrasikan informasi secara berkelanjutan. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan asesmen simulator yang lebih objektif, adaptif, dan berorientasi pada faktor manusia.

Kata kunci: simulator olah gerak kapal; perilaku navigasi; perwira pemula; perwira berpengalaman; look-out; faktor manusia

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi navigasi maritim telah meningkatkan ketersediaan data operasional secara cepat dan rinci bagi perwira jaga di anjungan. Sistem anjungan modern, seperti Automatic Radar Plotting Aid (ARPA), Automatic Identification System (AIS), dan *Electronic Chart Display and Information System* (ECDIS), menyediakan informasi spasial, vektor pergerakan kapal target, serta data rute untuk mendukung pelayaran yang aman pada perairan padat lalu lintas. Akan tetapi, peningkatan otomatisasi dan integrasi sistem digital tidak secara otomatis menghilangkan risiko kecelakaan. Kompleksitas antarmuka, kebutuhan multitasking, dan tekanan pengambilan keputusan justru dapat meningkatkan beban kognitif apabila informasi tidak diverifikasi dan diintegrasikan secara disiplin (Pazouki et al., 2018; Kim et al., 2021).

Dalam keselamatan pelayaran, elemen manusia tetap menjadi faktor penting karena kecelakaan sering berhubungan dengan kegagalan membangun kesadaran situasional, keterlambatan memahami dinamika lalu lintas, atau pengambilan keputusan yang tidak berbasis

informasi memadai. Chauvin et al. (2013) menunjukkan bahwa kecelakaan maritim tidak semata-mata disebabkan oleh kegagalan teknis, tetapi juga oleh interaksi faktor organisasi, komunikasi, persepsi, dan keputusan operator. Kerangka kesadaran situasional yang dikembangkan Endsley (1995) menjelaskan bahwa keputusan operasional yang aman membutuhkan tiga proses yang saling terkait, yaitu persepsi terhadap elemen situasi, pemahaman makna situasi, dan proyeksi perkembangan situasi ke depan.

Untuk mengurangi risiko tersebut, simulator olah gerak kapal telah digunakan secara luas dalam *Maritime Education and Training* (MET). Simulator memungkinkan peserta menghadapi skenario padat, kompleks, dan berisiko tanpa menimbulkan konsekuensi fisik terhadap kapal, awak kapal, maupun lingkungan. Dalam konteks pendidikan maritim, simulator fidelitas tinggi tidak hanya berfungsi sebagai media latihan teknis, tetapi juga sebagai sarana observasi perilaku, asesmen kompetensi, dan penguatan proses pengambilan keputusan berbasis pengalaman (Kobayashi, 2005; Sellberg, 2017; Kim et al., 2021).

Kendati demikian, tantangan utama masih terdapat pada cara menilai kompetensi peserta. Banyak asesmen simulator menitikberatkan pada luaran akhir, misalnya apakah peserta berhasil menghindari tubrukan atau mengikuti rencana pelayaran. Pendekatan tersebut belum sepenuhnya menangkap proses kognitif dan perilaku yang mengantarkan peserta pada keputusan tersebut. Literatur terbaru mengenai asesmen simulator menekankan perlunya instrumen penilaian yang lebih objektif, terstruktur, dan mampu merekam hubungan antara eksekusi teknis, beban kerja, serta kesadaran situasional peserta (Ghosh et al., 2014; de Abreu et al., 2023; Tusher et al., 2023; Karahalil et al., 2023). Pendekatan tersebut memungkinkan simulator tidak hanya berfungsi sebagai sarana pelatihan, tetapi juga sebagai sumber data perilaku yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kompetensi dan reliabilitas operator secara lebih komprehensif.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menganalisis perbedaan perilaku navigasi antara perwira pemula dan perwira berpengalaman berdasarkan tiga teknik dasar navigasi, yaitu look-out, penentuan posisi, dan manuver. Data diperoleh dari uji simulator olah gerak kapal fidelitas tinggi dengan skenario lalu lintas yang melibatkan situasi *crossing* dan *overtaking* secara berurutan. Fokus penelitian bukan untuk mengubah desain pelatihan atau menilai kepatuhan prosedural semata, melainkan untuk menyusun gambaran empiris mengenai bagaimana pengalaman profesional membentuk pola verifikasi informasi, integrasi tugas, dan karakter manuver dalam kondisi navigasi dinamis.

2. Tinjauan Pustaka

Kompetensi perwira navigasi berkembang sejalan dengan kemampuan mengelola perhatian, memproses informasi, dan memproyeksikan kondisi lalu lintas ke depan. Dalam konteks anjungan kapal, kompetensi tidak hanya tercermin dari pengetahuan terhadap aturan pelayaran, tetapi juga dari cara perwira menyusun rutinitas pengamatan, memanfaatkan instrumen, serta menghubungkan informasi visual dan elektronik menjadi dasar keputusan. Kobayashi (2005) menempatkan simulator sebagai instrumen penting untuk mengamati proses tersebut karena simulator memungkinkan pengukuran perilaku operasional secara berulang dan terkendali.

Kerangka kesadaran situasional atau *situational awareness* (SA) relevan untuk menjelaskan proses tersebut. Endsley (1995) mendeskripsikan SA sebagai proses bertingkat yang mencakup persepsi terhadap elemen lingkungan, pemahaman makna situasi, dan proyeksi keadaan pada waktu mendatang. Pada operasi anjungan, persepsi mencakup pengamatan terhadap baringan target, CPA/TCPA, lintasan kapal sendiri, serta posisi relatif terhadap rute. Pemahaman muncul ketika informasi tersebut dikaitkan dengan aturan pertemuan kapal dan

prioritas manuver, sedangkan proyeksi dibutuhkan untuk memperkirakan risiko tubrukan sebelum situasi menjadi kritis. Penelitian simulator laut juga menunjukkan bahwa otomatisasi dan beban kerja dapat memengaruhi tingkat kesadaran situasional operator (Müller-Plath et al., 2023). Selain itu, Mahadevan et al. (2025) menunjukkan bahwa simulator olah gerak kapal dapat digunakan sebagai instrumen yang efektif untuk mengukur dan mengevaluasi situational awareness navigator dalam berbagai tingkat kompleksitas operasi pelayaran.

Perbedaan antara operator pemula dan operator berpengalaman dapat dipahami melalui kapasitas membangun skema mental dan rutinitas kerja. Operator berpengalaman cenderung mengenali pola situasi secara lebih cepat, memverifikasi informasi melalui beberapa kanal, dan melakukan koreksi kecil sebelum deviasi berkembang menjadi risiko. Sebaliknya, operator pemula lebih mudah mengalami fragmentasi perhatian ketika harus membaca beberapa instrumen, mempertahankan look-out, serta melakukan manuver dalam waktu yang bersamaan. Dalam sistem anjungan yang semakin terotomatisasi, ketergantungan pada satu sumber data dapat memperbesar risiko kehilangan kesadaran situasional apabila operator tidak membangun kebiasaan verifikasi silang (Pazouki et al., 2018; Müller-Plath et al., 2023).

Dalam pendidikan dan pelatihan maritim, simulator tidak lagi hanya berfungsi sebagai alat familiarisasi terhadap kemudi, radar, atau tata letak anjungan. Simulator juga dapat dimanfaatkan sebagai sarana asesmen autentik untuk mengevaluasi bagaimana peserta menggabungkan eksekusi teknis dengan pengelolaan beban kognitif. Ghosh et al. (2014) menekankan bahwa asesmen pelaut perlu bergerak menuju pendekatan autentik yang lebih dekat dengan tuntutan kerja nyata. Sellberg (2017) juga menunjukkan bahwa bukti empiris mengenai praktik pembelajaran dan asesmen simulator masih perlu diperkuat agar hasil penilaian menjadi lebih valid dan reliabel.

Dengan demikian, asesmen perilaku berbasis simulator dapat memberikan informasi yang lebih kaya dibandingkan penilaian konvensional. Data seperti frekuensi pemeriksaan radar, penggunaan kompas baringan, penggunaan binokular, pencatatan posisi, dan koreksi kemudi dapat membentuk profil kuantitatif perilaku navigasi. Pendekatan ini sejalan dengan perkembangan kajian MET yang menekankan asesmen formatif, umpan balik berbasis bukti, dan desain kurikulum simulator yang lebih sistematis (Wiig et al., 2023; Tusher et al., 2023; Karahalil et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini memosisikan perilaku navigasi sebagai indikator penting untuk membedakan proses kerja perwira pemula dan perwira berpengalaman.

3. Metode Penelitian

3.1 Lingkungan Simulasi dan Spesifikasi Teknis

Eksperimen dilakukan di laboratorium simulator olah gerak kapal fidelitas tinggi milik Tokyo University of Marine Science and Technology (TUMSAT). Simulator yang digunakan merupakan replika anjungan *full-mission bridge* yang dirancang untuk merepresentasikan lingkungan operasional kapal niaga modern. Sistem visual simulator memiliki sudut pandang horizontal 240 derajat dengan proyeksi *seamless* sehingga peserta memperoleh pengalaman visual yang imersif, termasuk representasi kondisi siang hari, keadaan laut, dan *visibilitas meteorologis*.

Antarmuka anjungan simulator dilengkapi perangkat fisik dan tampilan yang menyerupai anjungan kapal komersial. Perangkat utama meliputi radar X-band/ARPA, ECDIS dengan peta navigasi elektronik wilayah Teluk Tokyo, terminal AIS, repeater gyro/bearing compass, roda kemudi, serta engine order telegraph. Model hidrodinamika simulator menggunakan formulasi non-linear untuk mereplikasi respons kapal sendiri atau *own ship* terhadap perubahan kemudi, kondisi perairan, pengaruh angin, arus, dan efek lingkungan

lainnya. Penggunaan simulator tersebut memungkinkan pengumpulan data perilaku secara terukur tanpa mengganggu keselamatan pelayaran nyata.

3.2 Partisipan dan Kelompok Eksperimen

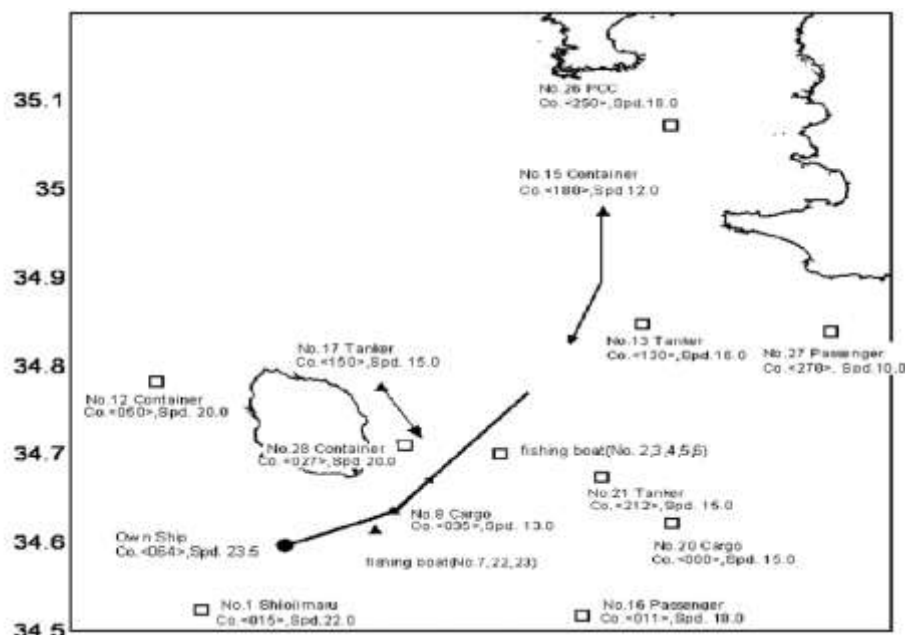
Penelitian melibatkan dua kelompok partisipan dengan jumlah masing-masing empat orang. Kelompok pertama adalah perwira berpengalaman, yaitu perwira kapal niaga berlisensi yang memiliki sertifikat STCW 1978 beserta amandemenya pada tingkat operasional atau manajemen. Kelompok ini merepresentasikan navigator yang telah memiliki pengalaman jaga dan pembentukan skema kerja profesional dalam operasi anjungan.

Kelompok kedua adalah perwira pemula yang terdiri atas taruna senior akademi pelayaran atau perwira junior yang baru lulus dengan pengalaman jaga aktif kurang dari 12 bulan. Kelompok ini merepresentasikan peserta yang telah memperoleh dasar pengetahuan navigasi dan prosedur, tetapi belum memiliki pengalaman operasional yang cukup dalam menghadapi tekanan lalu lintas padat secara mandiri.

3.3 Desain Skenario dan Kondisi Navigasi

Skenario eksperimen dirancang untuk mengevaluasi kinerja peserta dalam kondisi operasional yang realistis. Area simulasi adalah koridor pelayaran dari Pulau Oshima menuju Teluk Tokyo, suatu perairan yang dikenal memiliki kepadatan lalu lintas tinggi, rute kompleks, dan interaksi perpotongan kapal yang sering terjadi. Durasi simulasi untuk setiap peserta diseragamkan selama 40 menit. Kondisi lingkungan dibuat identik, yaitu visibilitas siang hari yang baik, keadaan laut tenang pada *Beaufort Scale 2*, dan pengaruh arus pasang surut yang diabaikan agar perilaku manusia dapat diamati tanpa bias dari anomali lingkungan.

Arsitektur lalu lintas dalam skenario diprogram untuk menghadirkan tantangan taktis secara bertahap. Kapal sendiri pada awal skenario berlayar dengan haluan 064 derajat dan kecepatan 23,5 knot. Selama simulasi, peserta menghadapi lima peristiwa utama, yaitu interaksi dengan armada kapal ikan lokal di sisi haluan kanan, perubahan haluan wajib menuju 035 derajat pada *waypoint*, situasi *crossing* jarak dekat dengan kapal target No. 17, skenario *overtaking* terhadap kapal target No. 8, dan situasi *crossing* akhir dengan kapal target No. 15 dalam parameter ruang manuver yang terbatas.



Gambar 1. Kondisi navigasi dan arsitektur lalu lintas dari Pulau Oshima menuju Teluk Tokyo

3.4 Pengumpulan Data dan Indikator Perilaku

Sistem pencatatan data simulator secara otomatis merekam dan memberi timestamp terhadap seluruh input fisik dan taktis yang dilakukan peserta. Indikator perilaku didefinisikan sebagai tindakan yang dapat diukur, sehingga penilaian tidak bergantung pada interpretasi subjektif pengamat. Tiga teknik dasar navigasi yang dianalisis adalah look-out, penentuan posisi, dan manuver.

Indikator look-out mencakup frekuensi peserta berinteraksi dengan instrumen untuk memperoleh informasi target, meliputi pengamatan visual, pemeriksaan kompas baringan, penggunaan radar/ARPA, dan penggunaan binokular. Indikator penentuan posisi mencakup frekuensi dan waktu pemeriksaan posisi kapal pada antarmuka peta atau chart. Indikator manuver mencakup frekuensi, waktu, dan pola perubahan perintah kemudi, yang kemudian dikaitkan dengan lintasan kapal dan deviasi lateral terhadap rencana pelayaran.

4. Analisis Tugas

Evaluasi operasi penanganan kapal dilakukan dengan memecah skenario simulasi ke dalam lima peristiwa kronologis. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih tajam terhadap perubahan beban kognitif peserta ketika kompleksitas operasi meningkat. Pada setiap peristiwa, peserta dituntut untuk menyeimbangkan tugas *look-out*, pemeriksaan posisi, dan eksekusi manuver secara berkelanjutan.

4.1 Tahap 1: Penentuan Posisi Awal dan Pertemuan Armada Kapal Ikan

Skenario dimulai ketika kapal sendiri berlayar pada perairan relatif terbuka dan menghadapi beberapa kapal ikan yang bergerak dari sisi kanan. Tahap awal ini mengevaluasi pola pengamatan dasar peserta. Perwira jaga harus segera membangun rutinitas look-out melalui pengamatan visual dan radar untuk menilai risiko tubrukan dengan target kecil yang kemungkinan memiliki reflektivitas radar rendah. Pada saat yang sama, perwira perlu melakukan pemeriksaan posisi awal untuk memastikan kapal tetap berada dalam koridor pelayaran yang aman sebelum perubahan lalu lintas berikutnya terjadi.

4.2 Tahap 2: Perubahan Haluan Utama pada Waypoint

Sekitar menit ke-12, kapal sendiri mendekati *waypoint* yang mengharuskan perubahan haluan signifikan dari 064 derajat menjadi 035 derajat. Peristiwa ini mengubah karakter tugas dari pemantauan pasif menjadi manuver aktif. Perwira harus mengoordinasikan waktu perintah kemudi dengan plot posisi yang tepat agar kapal tidak melewati track line baru secara berlebihan. Manuver ini juga harus dilakukan tanpa menghentikan rutinitas look-out karena titik buta dan sektor pengamatan berubah seiring perubahan haluan kapal.

4.3 Tahap 3: Crossing Jarak Dekat dengan Kapal Target No. 17

Setelah perubahan haluan, peserta memasuki situasi crossing kritis dengan kapal target No. 17 yang merupakan kapal tanker besar. Berdasarkan prinsip COLREGs, pertemuan ini menciptakan kewajiban *give-way* bagi kapal sendiri karena kapal target datang dari sisi kanan. Peristiwa ini merepresentasikan beban kognitif tertinggi dalam simulasi. Peserta perlu memverifikasi data radar dengan pengukuran kompas baringan fisik untuk mendeteksi perubahan baringan target. Keputusan manuver harus dilakukan secara cukup awal, jelas, dan tegas, sambil tetap memantau target lain di sekitar area navigasi (IMO, 1972).

4.4 Tahap 4: Interaksi Overtaking dengan Kapal Target No. 8

Setelah bebas dari interaksi dengan kapal target No. 17, kapal sendiri mendekati kapal target No. 8 yang berkecepatan lebih rendah dan bergerak pada arah relatif sama. Sesuai COLREG Rule 13, peserta harus melakukan manuver overtaking secara aman. Tugas ini

menuntut peserta menentukan sisi lewat yang paling tepat berdasarkan ruang yang tersedia, kondisi lalu lintas sekitar, dan batasan rute. Peristiwa ini menguji kemampuan menjaga kesadaran spasial sambil memastikan jarak lewat tetap aman (IMO, 1972).

4.5 Tahap 5: Crossing Akhir Multi-Kapal dengan Kapal Target No. 15

Skenario diakhiri dengan interaksi crossing pada kepadatan lalu lintas yang lebih tinggi terhadap kapal target No. 15, yaitu kapal kontainer yang bergerak cepat. Peristiwa akhir ini menguji ketahanan peserta terhadap kelelahan kognitif. Peserta harus mensintesis seluruh teknik dasar navigasi dalam ruang manuver yang terbatas, mengatur sudut kemudi, memeriksa posisi secara kontinu, dan menyesuaikan keputusan dengan kecepatan serta lintasan kapal target.

5. Hasil

5.1 Profil Kuantitatif Interaksi Instrumen

Data simulator menunjukkan adanya perbedaan kuantitatif yang jelas antara kelompok perwira berpengalaman dan perwira pemula. Perbedaan tersebut tampak pada cara kedua kelompok mendistribusikan pengamatan, memeriksa posisi, dan mengeksekusi perintah kemudi selama skenario 40 menit. Tabel 1 menyajikan kompilasi input perilaku yang terekam pada tiga teknik dasar navigasi, yaitu look-out, penentuan posisi, dan manuver.

Tabel 1. Perbandingan kuantitatif perilaku perwira navigasi berdasarkan teknik dasar navigasi

Teknik dasar	Kapal target	Perwira A	Perwira B	Perwira C	Perwira D	Pemula A	Pemula B	Pemula C	Pemula D
1. Look-out - kompas baringan (kali)	#8	0	3	4	4	2	0	0	0
	#17	4	4	6	1	2	0	0	3
	#15	3	3	0	1	1	0	0	0
1. Look-out - radar/ARPA (kali)	#8	3	4	5	8	3	2	2	1
	#17	5	5	5	3	5	3	3	3
	#15	5	3	5	2	2	2	4	1
1. Look-out - binokular (kali)	#8	2	4	5	2	2	3	4	1
	#17	3	5	4	5	2	2	3	7
	#15	6	2	4	2	2	3	5	1
2. Penentuan posisi - pemeriksaan posisi kapal	-	8	10	6	11	2	4	5	4
3. Manuver - perintah kemudi (kali)	-	9	13	15	12	7	11	9	4

5.2 Kinerja Look-out dan Pola Verifikasi Silang

Analisis perilaku look-out memperlihatkan bahwa perwira berpengalaman tidak bergantung pada satu sumber informasi. Mereka membangun pola verifikasi silang melalui penggunaan radar/ARPA, kompas baringan, dan binokular. Pada pemeriksaan menggunakan kompas baringan, perbedaan paling jelas tampak ketika kapal target No. 17 memasuki area risiko. Perwira berpengalaman melakukan rata-rata 3,75 pemeriksaan kompas baringan, sedangkan kelompok pemula hanya melakukan rata-rata 1,25 pemeriksaan. Pada beberapa pertemuan, dua peserta pemula tidak menggunakan kompas baringan sama sekali, sehingga

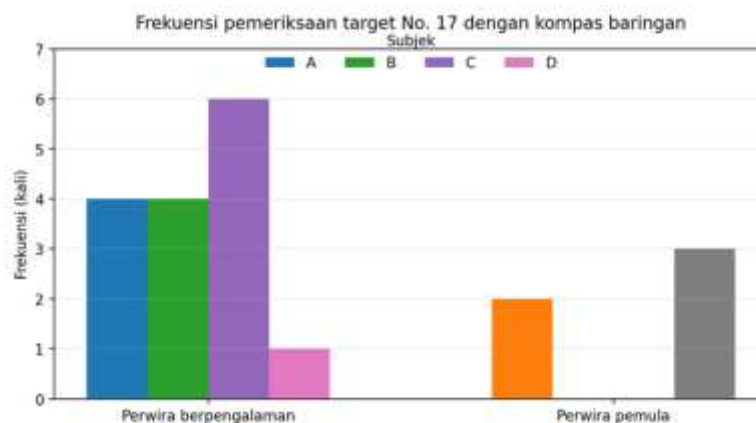
interpretasi risiko sangat bergantung pada data elektronik dari ARPA.



Gambar 2. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 8 menggunakan kompas baringan



Gambar 3. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 15 menggunakan kompas baringan

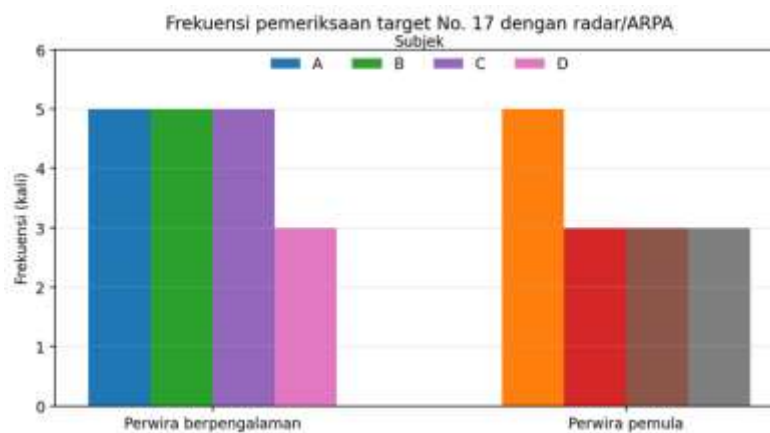


Gambar 4. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 17 menggunakan kompas baringan

Penggunaan radar/ARPA menunjukkan bahwa frekuensi total pada kedua kelompok tidak selalu berbeda secara ekstrem, tetapi pola operasionalnya berbeda. Perwira berpengalaman menggunakan radar secara lebih stabil, teratur, dan berulang untuk memperbarui gambaran mental terhadap seluruh kapal target. Sebaliknya, perwira pemula memperlihatkan pola yang lebih fluktuatif. Mereka cenderung mengoperasikan radar beberapa kali secara cepat ketika ancaman sudah dekat, tetapi menghentikan pemantauan saat mulai mengeksekusi perintah kemudi. Pola ini membuat pemula lebih rentan terhadap perubahan lalu lintas sekunder yang terjadi selama manuver.



Gambar 5. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 8 menggunakan radar/ARPA.

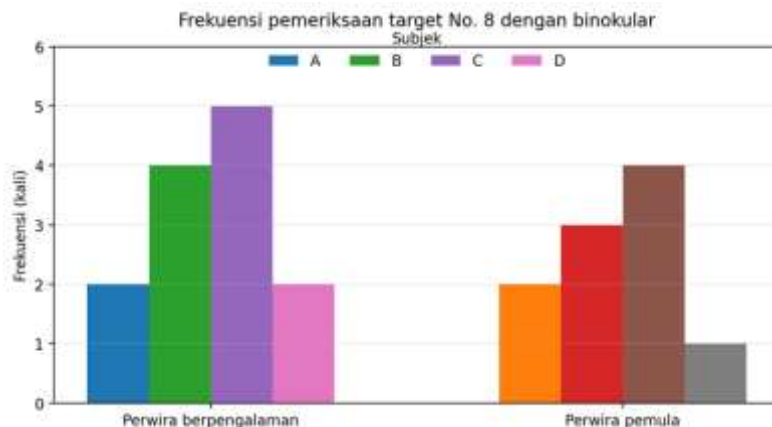


Gambar 6. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 17 menggunakan radar/ARPA.

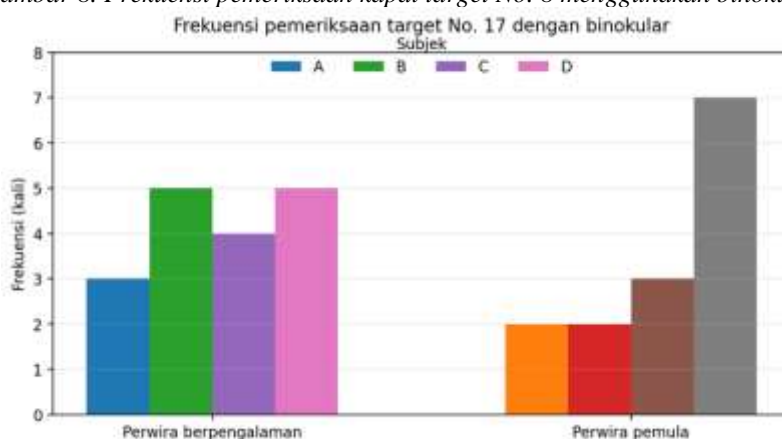


Gambar 7. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 15 menggunakan radar/ARPA

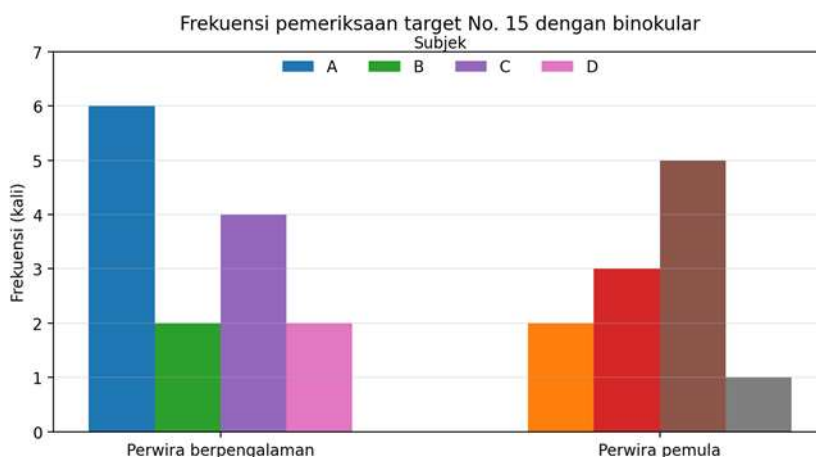
Penggunaan binokular memperkuat temuan tersebut. Perwira berpengalaman menggunakan binokular sebagai bagian dari siklus verifikasi yang terintegrasi: data target dibaca melalui radar, aspek visual diperiksa dengan binokular, bearing relatif divalidasi melalui kompas bearing, dan CPA kembali dikonfirmasi melalui radar. Siklus ini dilakukan secara berulang, sehingga informasi elektronik dan visual saling menguatkan. Pada kelompok pemula, binokular lebih sering digunakan secara reaktif, yaitu setelah target dianggap sudah terlalu dekat atau setelah ancaman menjadi tampak secara visual.



Gambar 8. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 8 menggunakan binokular



Gambar 9. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 17 menggunakan binocular



Gambar 10. Frekuensi pemeriksaan kapal target No. 15 menggunakan binokular

5.3 Penentuan Posisi dan Integrasi Tugas

Frekuensi pemeriksaan posisi kapal menunjukkan perbedaan perilaku yang kuat antara kedua kelompok. Kelompok perwira berpengalaman melakukan pemeriksaan posisi dengan rata-rata 8,75 kali selama skenario, setara dengan interval sekitar lima menit. Sebaliknya, kelompok perwira pemula melakukan pemeriksaan posisi rata-rata 3,75 kali. Perbedaan ini menunjukkan bahwa perwira berpengalaman mempertahankan pemantauan spasial secara disiplin, sedangkan

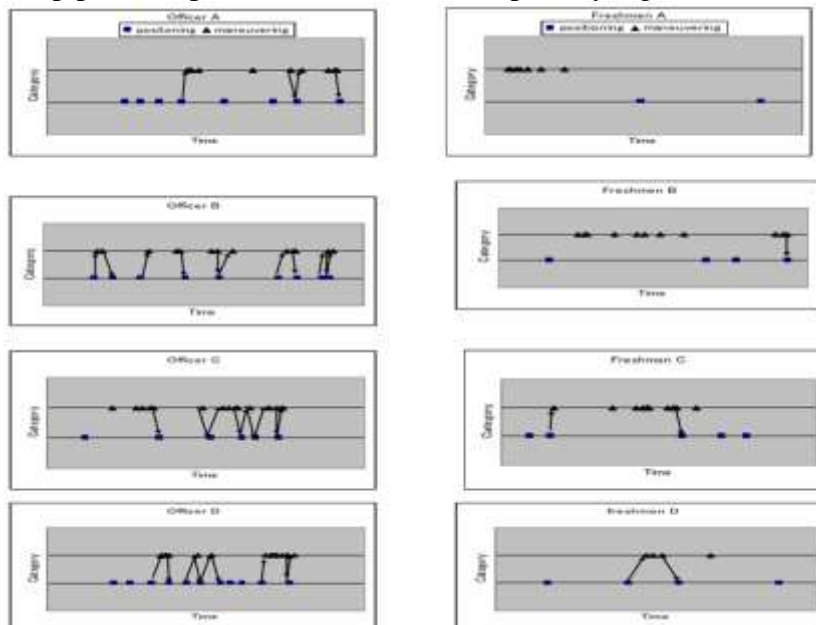
pemula cenderung menunda pemeriksaan posisi ketika beban lalu lintas meningkat.



Gambar 11. Perbandingan frekuensi pemeriksaan posisi kapal antara kelompok perwira berpengalaman dan perwira pemula

Analisis integrasi tugas menunjukkan bahwa perwira berpengalaman mampu menghubungkan pemeriksaan posisi dengan tindakan manuver secara lebih sinkron. Sebelum mengubah haluan, perwira berpengalaman cenderung memeriksa posisi, mengeksekusi perubahan kemudi, kemudian kembali memeriksa posisi untuk mengevaluasi pengaruh manuver terhadap kesesuaian lintasan. Pola ini membentuk umpan balik taktis yang rapat antara posisi dan manuver.

Sebaliknya, perwira pemula sering memperlakukan pemeriksaan posisi dan perintah kemudi sebagai tindakan yang terpisah. Pada fase penghindaran tubrukan, beberapa peserta pemula dapat melewati periode panjang tanpa memplot posisi, karena perhatian terkonsentrasi pada target terdekat dan kontrol kemudi. Kondisi ini memperbesar kemungkinan kehilangan kesadaran terhadap posisi kapal sendiri relatif terhadap rute yang telah direncanakan.



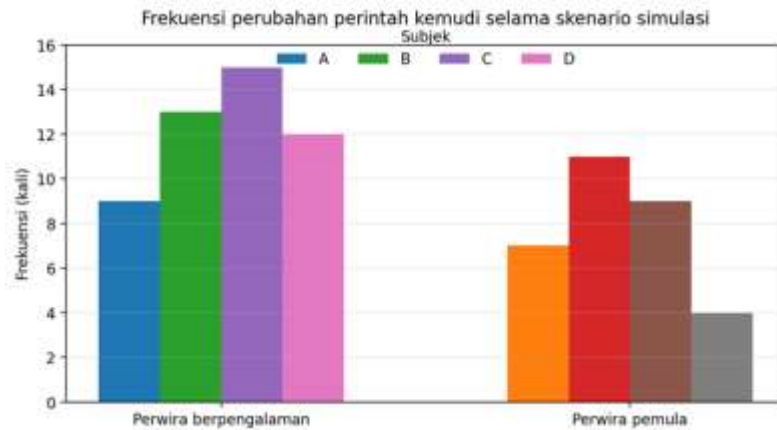
Gambar 12. Analisis integrasi tugas antara pemeriksaan posisi dan tindakan manuver

5.4 Olah Gerak Kapal dan Trajektori Kapal

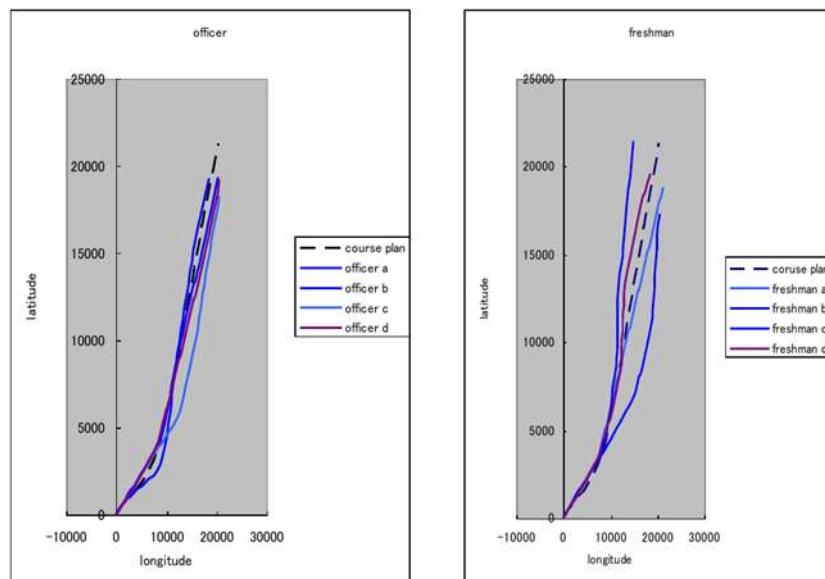
Data pengendalian kemudi memperlihatkan bahwa perwira berpengalaman melakukan perintah kemudi lebih sering, tetapi dengan karakter koreksi yang lebih kecil dan lebih halus.

Kelompok perwira berpengalaman mencatat rata-rata 12,25 koreksi kemudi selama skenario. Koreksi tersebut terutama berupa penyesuaian mikro yang bertujuan menjaga keselarasan kapal dengan rute, mengimbangi respons hidrodinamis, dan menghindari perubahan haluan yang terlalu besar.

Kelompok perwira pemula mencatat rata-rata 7,75 perintah kemudi. Meskipun frekuensinya lebih rendah, keputusan kemudi cenderung lebih reaktif dan menggunakan sudut kemudi yang lebih besar. Keputusan sering tertunda hingga target mendekati zona jarak dekat, sehingga respons yang diberikan menjadi agresif. Akibatnya, lintasan kapal menjadi lebih berfluktuasi dan menunjukkan deviasi lateral yang lebih besar terhadap rencana pelayaran.



Gambar 13. Frekuensi perubahan perintah kemudi selama skenario simulasi.



Gambar 14. Perbandingan lintasan spasial kapal antara perwira berpengalaman dan perwira pemula.

6. Pembahasan

6.1 Kerangka Teoretis Kesadaran Situasional dan Elemen Manusia

Temuan penelitian ini konsisten dengan konsep kesadaran situasional pada lingkungan dinamis berisiko tinggi. Perwira berpengalaman menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam berpindah dari persepsi data, pemahaman struktur lalu lintas, hingga proyeksi kondisi beberapa menit ke depan. Pola tersebut tampak pada penggunaan instrumen yang lebih seimbang dan berulang, terutama melalui kombinasi radar/ARPA, kompas baringan, binokular,

serta pemeriksaan posisi. Dengan demikian, pengalaman tidak hanya meningkatkan keberanian mengambil keputusan, tetapi juga membentuk kebiasaan verifikasi informasi yang sistematis.

Dalam kerangka Endsley (1995), penggunaan radar, kompas baringan, dan binokular mendukung level persepsi karena operator memperoleh informasi dari beberapa kanal. Ketika informasi tersebut dikaitkan dengan aturan pertemuan kapal, rencana lintasan, dan kewajiban give-way, perwira memasuki level pemahaman. Selanjutnya, saat operator memperkirakan perubahan CPA/TCPA, respons kapal target, dan dampak manuver kapal sendiri terhadap lintasan, operator memasuki level proyeksi. Pada kelompok berpengalaman, ketiga level tersebut tampak bekerja sebagai siklus berulang, bukan sebagai tindakan yang terpisah.

Sebaliknya, pola kerja perwira pemula menunjukkan gejala fragmentasi tugas dan beban kognitif tinggi. Pemula belum sepenuhnya mengotomatisasi penggunaan instrumen dasar, sehingga sebagian kapasitas mental terserap untuk membaca layar, mengoperasikan radar, atau mengendalikan kemudi. Ketika kepadatan lalu lintas meningkat, perhatian mereka cenderung terkunci pada ancaman yang paling dekat. Kondisi ini dapat menjelaskan mengapa pemeriksaan posisi terhenti selama fase manuver tertentu dan mengapa penggunaan kompas baringan tidak konsisten pada beberapa peserta.

Temuan ini sejalan dengan kajian faktor manusia maritim yang menempatkan integrasi informasi sebagai komponen utama keselamatan navigasi. Selain itu penelitian ini juga mendukung hasil penelitian Mahadevan et al. (2025) yang menunjukkan bahwa navigator dengan tingkat situational awareness yang lebih tinggi cenderung memperlihatkan pola verifikasi informasi yang lebih sistematis dan kemampuan proyeksi situasi yang lebih baik. Dalam penelitian ini, karakteristik tersebut tampak pada kelompok perwira berpengalaman yang secara konsisten mengintegrasikan informasi visual dan elektronik sebelum mengambil keputusan manuver.

Pazouki et al. (2018) menunjukkan bahwa interaksi manusia-otomasi pada operasi maritim dapat menciptakan risiko apabila operator terlalu bergantung pada keluaran sistem tanpa mempertahankan pemahaman situasi. Müller-Plath et al. (2023) juga menunjukkan bahwa beban kerja dan otomatisasi dapat memengaruhi kesadaran situasional pada eksperimen simulator laut. Dalam konteks penelitian ini, perbedaan antara kedua kelompok tampak bukan pada ketersediaan informasi, melainkan pada kemampuan menggunakan informasi tersebut secara teratur, lintas instrumen, dan tepat waktu.

6.2 Keterkaitan dengan Kerangka STCW dan Standar Kompetensi

Perbedaan perilaku antara perwira berpengalaman dan perwira pemula memiliki implikasi langsung terhadap pemenuhan standar kompetensi internasional. COLREG Rule 5 menekankan pentingnya proper look-out melalui penglihatan, pendengaran, dan seluruh sarana yang tersedia untuk menilai situasi serta risiko tubrukan, sedangkan STCW Section A-VIII/2 menempatkan tugas jaga navigasi sebagai tanggung jawab keselamatan yang berkelanjutan (IMO, 1972; IMO, 2011). Dalam kerangka ini, look-out tidak dapat dipahami sebagai tindakan pasif melihat ke luar jendela anjungan, tetapi sebagai proses aktif untuk mengumpulkan dan memverifikasi informasi.

Hasil penelitian menunjukkan adanya celah antara pengetahuan regulasi dan pelaksanaan operasional. Perwira pemula dapat memahami kewajiban look-out secara teoritis, tetapi dalam tekanan skenario padat mereka cenderung bergantung pada radar/ARPA dan mengurangi pemeriksaan melalui kompas baringan atau binokular. Ketergantungan tersebut berisiko karena informasi elektronik tetap memerlukan validasi terhadap aspek visual, baringan relatif, dan perubahan posisi kapal target.

Kelompok perwira berpengalaman memperlihatkan pola yang lebih mendekati prinsip

penggunaan all available means. Mereka tidak hanya membaca vektor elektronik, tetapi juga mengonfirmasi baringan secara fisik dan mengevaluasi aspek visual target. Pola ini penting karena perubahan kecil pada baringan, sudut pandang, atau respons kapal target sering kali menjadi indikator awal risiko tubrukan. Dengan kata lain, keunggulan kelompok berpengalaman terletak pada pembentukan loop umpan balik antara observasi, interpretasi, dan tindakan.

Temuan ini memperlihatkan keterbatasan pendekatan asesmen simulator yang hanya menilai apakah peserta berhasil menghindari tubrukan. Seorang peserta dapat mencapai luaran aman pada akhir skenario, tetapi tetap menunjukkan pola kerja yang rapuh, misalnya berhenti memeriksa posisi, terlalu bergantung pada satu instrumen, atau menunda tindakan sampai risiko berada pada jarak dekat. Karena itu, indikator perilaku perlu dimasukkan dalam rubrik penilaian simulator agar instruktur dapat menilai proses pengambilan keputusan, bukan hanya hasil akhirnya.

6.3 Implikasi terhadap Asesmen Simulator Berbasis Perilaku

Berdasarkan hasil penelitian, indikator perilaku yang terekam otomatis oleh simulator dapat digunakan sebagai dasar penyusunan rubrik asesmen yang lebih tajam. Rubrik tersebut sebaiknya tidak hanya mencatat apakah peserta berhasil menghindari tubrukan, tetapi juga menilai bagaimana peserta membangun informasi sebelum mengambil keputusan. Indikator seperti jumlah pemeriksaan kompas baringan, pola penggunaan radar/ARPA, frekuensi penggunaan binokular, interval pemeriksaan posisi, serta hubungan temporal antara plotting posisi dan perintah kemudi dapat dikembangkan menjadi parameter capaian pembelajaran yang terukur.

Asesmen berbasis perilaku juga relevan untuk memperkuat pelatihan adaptif. Apabila simulator mampu menampilkan pola kerja peserta secara visual setelah latihan, peserta dapat melihat kesenjangan antara perilaku mereka dan pola kerja perwira berpengalaman. Hal ini sejalan dengan arah pengembangan MET modern yang menekankan pembelajaran berbasis bukti, asesmen formatif, dan rancangan skenario yang terhubung langsung dengan kompetensi operasional (Tusher et al., 2023; Karahalil et al., 2023; Karahalil et al., 2024). Pendekatan serupa juga didukung oleh Nizar et al. (2024) yang menunjukkan bahwa data simulator dapat dimanfaatkan untuk membangun model evaluasi reliabilitas manusia dan mendukung pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis perilaku navigator.

6.4 Keterbatasan Penelitian dan Arah Kajian Lanjutan

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Jumlah partisipan relatif terbatas, sehingga hasil lebih tepat diposisikan sebagai profil perilaku empiris pada skenario tertentu, bukan sebagai generalisasi menyeluruh terhadap seluruh populasi perwira navigasi. Skenario simulasi juga dilakukan pada kondisi visibilitas siang hari dan keadaan laut yang relatif tenang, sehingga belum menggambarkan variasi kondisi operasi seperti visibilitas terbatas, cuaca buruk, gangguan peralatan, atau tekanan komunikasi anjungan yang lebih kompleks.

Kajian lanjutan disarankan melibatkan jumlah partisipan yang lebih besar, variasi tingkat pengalaman yang lebih luas, serta skenario dengan kompleksitas lingkungan dan lalu lintas yang berbeda. Integrasi data tambahan seperti eye-tracking, komunikasi anjungan, perubahan workload subjektif, atau parameter fisiologis dapat memperkaya pemahaman mengenai hubungan antara perilaku instrumen, beban kognitif, dan kualitas keputusan navigasi. Dengan demikian, hasil penelitian dapat menjadi fondasi bagi pengembangan model asesmen simulator yang lebih prediktif dan lebih dekat dengan kondisi operasional nyata.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan perilaku navigasi yang terukur antara perwira pemula dan perwira berpengalaman dalam skenario simulator olah gerak kapal fidelitas tinggi. Perwira berpengalaman memperlihatkan pola kerja yang lebih terstruktur melalui verifikasi silang instrumen, pemeriksaan posisi yang lebih konsisten, dan koreksi kemudi yang lebih halus. Pola tersebut menghasilkan lintasan kapal yang lebih stabil dan lebih dekat dengan rencana pelayaran.

Sebaliknya, perwira pemula cenderung mengalami beban kognitif tinggi yang memunculkan fragmentasi tugas, penggunaan instrumen yang tidak konsisten, dan keputusan manuver yang reaktif. Meskipun memiliki pengetahuan teoritis, kelompok pemula belum sepenuhnya mampu menghubungkan pemeriksaan target, plotting posisi, dan perintah kemudi sebagai satu siklus kerja yang berkelanjutan. Kondisi ini menunjukkan bahwa kompetensi navigasi tidak cukup dinilai dari hasil akhir manuver, tetapi juga harus dinilai dari proses perilaku yang terjadi selama skenario. Temuan ini juga memperkuat kecenderungan terbaru dalam pendidikan dan pelatihan maritim yang mengarah pada pemanfaatan simulator sebagai instrumen asesmen berbasis perilaku dan kesadaran situasional, bukan hanya sebagai sarana latihan teknis semata (Sriantini & Supangat, 2026).

Dengan demikian, hal ini menegaskan bahwa keselamatan navigasi tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi anjungan, tetapi pada kemampuan manusia untuk memproses, memverifikasi, dan mengintegrasikan informasi di bawah tekanan. Institusi pendidikan dan pelatihan maritim perlu mengembangkan model asesmen simulator yang mencakup indikator perilaku kuantitatif, umpan balik formatif, dan desain skenario yang merepresentasikan tuntutan operasional nyata. Dengan demikian, simulator dapat berfungsi bukan hanya sebagai media latihan, tetapi juga sebagai instrumen diagnosis kompetensi dan penguatan pengambilan keputusan calon perwira jaga..

DAFTAR PUSTAKA

- Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J. P., & Langard, B. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 26-37. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.006>
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- Ghosh, S., Bowles, M., Ranmuthugala, D., & Brooks, B. (2014). Reviewing seafarer assessment methods to determine the need for authentic assessment. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 6(1), 49-63. <https://doi.org/10.1080/18366503.2014.888133>
- International Maritime Organization. (1972). *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs), as amended*. London: International Maritime Organization.
- International Maritime Organization. (2011). *STCW: International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, including 2010 Manila Amendments*. London: International Maritime Organization.
- Karahalil, M., Lützhöft, M., & Scanlan, J. (2023). Formative assessment in maritime simulator-based higher education. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 22(2), 181-207. <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00313-6>
- Karahalil, M., Lützhöft, M., Wahl, A. M., & Scanlan, J. (2024). Factors impacting curricula in maritime simulator-based education. *WMU Journal of Maritime Affairs*.

- <https://doi.org/10.1007/s13437-024-00351-8>
- Kim, T.-e., Sharma, A., Bustgaard, M., Gyldensten, W. C., Nymoen, O. K., Tusher, H. M., & Nazir, S. (2021). The continuum of simulator-based maritime training and education. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 20(2), 135-150. <https://doi.org/10.1007/s13437-021-00242-2>
- Kobayashi, H. (2005). Use of simulators in assessment, learning and teaching of mariners. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 4, 57-75. <https://doi.org/10.1007/BF03195064>
- Müller-Plath, G., Lehleitner, J., Maier, J., Silva-Löbbling, J., Zhang, H., Zhang, X., & Zhou, S. (2023). How does maritime situation awareness depend on navigation automation and mental workload? A sea simulator experiment. *TransNav*, 17(4), 963-969. <https://doi.org/10.12716/1001.17.04.23>
- Pazouki, K., Forbes, N., Norman, R. A., & Woodward, M. D. (2018). Investigation on the impact of human-automation interaction in maritime operations. *Ocean Engineering*, 153, 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.01.103>
- Sellberg, C. (2017). Simulators in bridge operations training and assessment: A systematic review and qualitative synthesis. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 16, 247-263. <https://doi.org/10.1007/s13437-016-0114-8>
- Tusher, H. M., Nazir, S., Ghosh, S., & Rusli, R. (2023). Seeking the best practices of assessment in maritime simulator training. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 17(1), 105-114. <https://doi.org/10.12716/1001.17.01.10>
- Wiig, A. C., Sellberg, C., & Solberg, M. (2023). Reviewing simulator-based training and assessment in maritime education: A topic modelling approach for tracing conceptual developments. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 22(2), 143-164. <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00307-4>
- de Abreu, D. T. M. P., Ferreira, P., Silva, J., & Coelho, H. (2023). On the use of simulators to gather human performance data for human reliability analysis. In *Proceedings of the 33rd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2023)* (pp. 2280–2287).
- Mahadevan, H. S., Kumar, A., Grundmann, R., & Schwarze, A. (2025). Assessment of situational awareness in relation to advanced navigation systems using ship handling simulators. *Engineering Proceedings*, 88(1), 36. <https://doi.org/10.3390/engproc2025088036>
- Nizar, A. M., Miwa, T., & Uchida, M. (2024). Simulator-based human reliability analysis using Bayesian network: A case study on situation awareness in engine resources management. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 18(3), 593–599. <https://doi.org/10.12716/1001.18.03.13>
- Sriantini, A., & Supangat. (2026). Enhancing seafarers' self-awareness and emergency decisions through bridge simulator training. *Maritime Park: Journal of Maritime Technology and Society*, 5(1), 170–177.