

Kebijakan Implementasi *Wing-In-Ground Craft* Untuk Pengawasan Perikanan Berkelanjutan di Wilayah Terpencil Indonesia: *Integrasi Safety Management dan Pollution Prevention*

Implementation Policy of Wing-In-Ground Craft for Sustainable Fisheries Surveillance in Indonesia's Remote Areas: Integration of Safety Management and Pollution Prevention

*Budi Riyanto¹, Bayu Yudho Baskoro¹, Syafni Yelvi Siska¹, Miftakhul Hadi², Wahyu Wibisono³, dan Antoni Arief Priadi⁴

¹Politeknik Pelayaran Sumatera Barat, Padang Pariaman

Jl. Syekh Burhanuddin No.1, Korong Tiram, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat, Indonesia

²Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta

Jl. Yos Sudarso No.38-40, Kec. Tj. Priok, Jkt Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia

³Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara, Minahasa Selatan

Jl. Trans Sulawesi KM.80 desa tawaang kecamatan tenga, Kec. Amurang, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara, Indonesia

⁴Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran, Jakarta

Jl. Marunda Makmur, Marunda, Kec. Cilincing, Jkt Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia

ARTICLE INFO

Diterima tanggal : 23 Desember 2025
Perbaikan naskah: 27 Maret 2026
Disetujui terbit : 25 April 2026

*Korespondensi penulis:
Email: budiriyantobr31@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jksekp.v16i1.19898>



ABSTRAK

Pengawasan perikanan di wilayah terpencil, terluar, dan perbatasan (3T) Indonesia masih menghadapi tantangan serius akibat luasnya wilayah laut, keterbatasan kapal patroli konvensional, tingginya biaya operasional, lambatnya respons pengawasan, serta maraknya praktik illegal fishing yang merugikan masyarakat pesisir, diperparah oleh keterbatasan teknologi maritime surveillance dan belum memadainya kerangka regulasi untuk adopsi teknologi inovatif. Penelitian ini bertujuan merancang kerangka kebijakan implementasi *Wing-in-Ground (WIG) craft* sebagai solusi pengawasan perikanan yang efektif dan efisien dengan mengintegrasikan aspek *safety management* dan *pollution prevention* guna mendukung keberlanjutan operasional dan pemberdayaan masyarakat pesisir. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif normatif-empiris melalui studi dokumen terhadap standar dan regulasi terkait (IMO MSC.1/Circ.1592, regulasi BKI, dan Surat Edaran Direktorat Jenderal Perhubungan Laut), wawancara mendalam dengan enam pemangku kepentingan kunci, serta Focus Group Discussion dengan pakar kelautan dan perikanan. Hasil penelitian menghasilkan Rancangan Peraturan Menteri sebagai *lex specialis* yang mengharmonisasikan standar internasional dengan kebutuhan nasional, mencakup *risk-based safety assessment*, kepatuhan lingkungan, prosedur sertifikasi, serta pembagian kewenangan institusional. Secara operasional, *WIG craft* menawarkan kecepatan patroli 150–250 knot (5–7 kali lebih cepat dibanding kapal patroli konvensional), efisiensi bahan bakar 30–40% lebih baik, dan potensi pengurangan emisi CO₂ yang signifikan, sehingga berpotensi menjadi terobosan strategis dalam pengawasan illegal fishing, percepatan konektivitas wilayah terpencil, peningkatan distribusi hasil perikanan, serta penguatan ekonomi masyarakat pesisir di wilayah 3T.

Kata Kunci: *safety management; pollution prevention; wing-in-ground craft; pengawasan perikanan; maritime surveillance; wilayah terpencil (3T); konektivitas maritim*

ABSTRACT

Fisheries surveillance in Indonesia's remote, outermost, and border areas (3T) continues to face substantial challenges stemming from vast maritime coverage, the limited capability of conventional patrol vessels, high operational costs, slow response times, and persistent illegal fishing that adversely affects coastal communities, compounded by gaps in maritime surveillance technology and regulatory frameworks for innovative transport solutions. This study aims to design a policy framework for implementing Wing-in-Ground (WIG) craft as an effective and efficient alternative for fisheries surveillance, with an emphasis on integrating safety management and pollution prevention to support sustainable operations and coastal community empowerment. Using a normative-empirical qualitative approach, the research draws on document analysis of relevant international and national regulations (IMO MSC.1/Circ.1592, BKI rules, and Directorate General of Sea Transportation circulars), in-depth interviews with six key stakeholders, and Focus Group Discussions with marine and fisheries experts. The findings result in a draft Ministerial Regulation as a lex specialis that harmonizes international standards with national requirements, encompassing risk-based safety assessment, environmental compliance, certification mechanisms, and institutional authority arrangements. Operationally, WIG craft offer patrol speeds of 150–250 knots approximately 5–7 times faster than conventional patrol vessels 30–40% higher fuel efficiency, and significant reductions in CO₂ emissions, indicating strong potential as a transformative solution for combating illegal fishing, improving connectivity to remote regions, strengthening fisheries distribution, and enhancing the economic resilience of coastal communities in Indonesia's 3T areas.

Keywords: *safety management; pollution prevention; Wing-in-Ground craft; fisheries surveillance; maritime surveillance; remote areas (3T); maritime connectivity*

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan 17.504 pulau dan garis pantai sepanjang 99.093 km menghadapi tantangan multidimensi dalam pengelolaan, pengawasan, dan pengamanan sumber daya kelautan dan perikanan. Ancaman *Illegal, Unreported, and Unregulated* (IUU) fishing masih menjadi isu utama yang menyebabkan kerugian ekonomi negara hingga miliaran dolar per tahun, sekaligus mengancam keberlanjutan stok ikan dan kesejahteraan masyarakat pesisir. Luas wilayah Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Indonesia yang mencapai sekitar 5,8 juta km² menjadikan pengawasan berbasis laut semata tidak lagi memadai, terutama ketika penegakan hukum menuntut kecepatan, jangkauan luas, serta ketepatan respons operasional.

Kapasitas pengawasan dan keamanan laut nasional hingga saat ini masih sangat bergantung pada armada kapal patroli konvensional dengan kecepatan rata-rata 25–35 knot, yang relatif terbatas untuk rapid response di wilayah perbatasan dan laut lepas. Keterbatasan ini menjadikan wilayah Terpencil, Terluar, dan Tertinggal (3T) sebagai blind spot pengawasan, sehingga rentan terhadap aktivitas kapal ikan asing ilegal dan pelanggaran batas wilayah. Dampaknya tidak hanya bersifat ekologis, tetapi juga sosial-ekonomi, tercermin dari tingginya tingkat kemiskinan masyarakat pesisir, rendahnya perlindungan sumber daya perikanan, serta terbatasnya akses antarwilayah akibat minimnya konektivitas transportasi dan logistik.

Geografis Indonesia yang bercirikan kepulauan luas dan terfragmentasi, pengawasan udara merupakan komponen strategis dalam membangun maritime domain awareness yang efektif dan efisien. Pengawasan udara memungkinkan deteksi dini, perluasan jangkauan pemantauan, serta percepatan pengambilan keputusan operasional yang tidak dapat sepenuhnya dicapai oleh platform laut. Namun, implementasi fungsi pengawasan udara di sektor kelautan dan perikanan masih menghadapi keterbatasan signifikan, baik dari sisi ketersediaan armada, biaya operasional yang tinggi, integrasi sistem pengawasan, maupun risiko keselamatan penerbangan. Kecelakaan pesawat pengawasan udara Kementerian Kelautan dan Perikanan (PK-THT) yang terjadi dalam waktu relatif dekat menjadi pengingat penting bahwa penguatan pengawasan udara tidak hanya berkaitan dengan penambahan armada, tetapi juga memerlukan kerangka safety management yang matang, berbasis risiko, dan didukung regulasi yang jelas serta konsisten.

Di sisi lain, tantangan pengawasan kelautan Indonesia tidak terlepas dari persoalan konektivitas antarwilayah terpencil. Keterbatasan moda transportasi yang cepat dan efisien memperlambat distribusi hasil perikanan, meningkatkan biaya logistik, dan menghambat integrasi ekonomi wilayah 3T. Dalam konteks ini, pengembangan dan implementasi *Wing-In-Ground* (WIG) craft memiliki potensi strategis untuk mempercepat konektivitas antarpulau, mengurangi waktu tempuh, serta menambah alternatif transportasi maritim yang sesuai dengan karakteristik negara kepulauan seperti Indonesia (Sun *et al.*, 2024). WIG craft, yang beroperasi dengan memanfaatkan fenomena aerodinamika *ground effect*, menawarkan kombinasi kecepatan tinggi, efisiensi bahan bakar, dan jangkauan operasional yang relevan baik untuk fungsi pengawasan perikanan maupun dukungan logistik dan konektivitas wilayah terpencil.

Meskipun demikian, berbagai kajian menegaskan bahwa keberhasilan implementasi WIG craft sangat bergantung pada ketersediaan kerangka regulasi yang jelas dan terstandarisasi untuk menjamin keselamatan, perlindungan lingkungan, serta kepastian hukum bagi operator dan pemangku kepentingan terkait (Olaniyi *et al.*, 2024). Tanpa kerangka kebijakan yang memadai, pemanfaatan WIG craft berisiko menimbulkan sengketa yuridis, inkonsistensi teknis, serta tantangan serius dalam sertifikasi dan pengawasan operasional (Karpuk, 2024). Oleh karena itu, perumusan peraturan nasional yang harmonis dengan norma internasional menjadi kebutuhan mendesak, terutama dalam konteks negara berkembang dengan karakteristik maritim kompleks seperti Indonesia (Graham, 2022).

Secara internasional, sejumlah studi menunjukkan kemajuan signifikan dalam desain aerodinamis, keselamatan operasional, dan efisiensi bahan bakar WIG craft, sehingga menarik perhatian regulator dan pelaku industri transportasi (Park *et al.*, 2025). International Maritime Organization (IMO) telah mengeluarkan berbagai pedoman dan diskursus mengenai status hukum dan keselamatan perangkat sejenis, sementara studi kasus di beberapa negara mengidentifikasi tantangan dalam aspek klasifikasi, sertifikasi, dan penentuan rezim hukum antara moda laut dan udara (Maza & Argüelles, 2022). Namun, di tingkat nasional, literatur mengenai kesiapan regulasi dan kapabilitas institusi pengawas masih terbatas dan terfragmentasi, khususnya dalam konteks negara berkembang (Choi *et al.*, 2022b).

Penelitian empiris terdahulu cenderung berfokus pada aspek teknis dan performa WIG craft, seperti stabilitas, efisiensi energi, dan karakteristik aerodinamika (Bolbot *et al.*, 2025). Kajian yang memadukan analisis kebijakan, harmonisasi regulasi internasional, serta desain peraturan nasional yang operasional masih relatif sedikit (Plank *et al.*, 2022). Idealnya, penerapan WIG craft di Indonesia didukung oleh kerangka hukum nasional yang selaras dengan ketentuan internasional, standar klasifikasi teknis, serta mekanisme pengawasan operasional yang jelas dan terkoordinasi (Wang *et al.*, 2022). Namun dalam praktiknya, masih terdapat kekosongan regulasi nasional yang komprehensif, ketidaksesuaian antara pedoman internasional dan praktik administrasi nasional, serta keterbatasan kapasitas lembaga terkait dalam hal sertifikasi dan pengawasan (Malmquist & Munim, 2025). Selain itu, belum terdapat sintesis kebijakan yang secara eksplisit mengintegrasikan perspektif Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, Biro Klasifikasi Indonesia, dan rekomendasi IMO ke dalam satu rancangan peraturan operasional yang utuh (Freitas *et al.*, 2025). Kondisi ini menciptakan ketidakpastian bagi investor dan operator, serta meningkatkan potensi risiko keselamatan dan dampak lingkungan (Nakashima *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang kerangka kebijakan implementasi WIG craft sebagai bagian dari strategi pengawasan kelautan dan perikanan yang efektif dan efisien, dengan penekanan pada penguatan *safety management* dan *pollution prevention* sebagai prasyarat utama bagi keberlanjutan operasional, efektivitas sistem pengawasan

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan jenis normatif-empiris. Data dikumpulkan melalui studi dokumen regulasi internasional dan nasional, wawancara semi-terstruktur dengan enam pemangku kepentingan kunci (Dirjen Hubla, BKI, dan KKP), serta Focus Group Discussion dengan 12 pakar keselamatan maritim, perikanan, dan lingkungan. Analisis data dilakukan menggunakan content analysis, comparative analysis, dan thematic analysis dengan validasi melalui triangulasi sumber dan expert review.

Mengingat penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode multi-stakeholder consultations, maka aspek trustworthiness menjadi elemen krusial untuk memastikan credibility dan transferability temuan. Ahmed (2024) mengidentifikasi empat pilar keabsahan dan keterpercayaan dalam penelitian

kualitatif: (1) Credibility, memastikan bahwa temuan secara akurat merepresentasikan perspektif partisipan; (2) Transferability, memastikan bahwa konteks penelitian dijelaskan secara cukup sehingga pembaca dapat menilai penerapannya pada kasus lain; (3) Dependability, memastikan konsistensi proses penelitian melalui audit trail yang jelas; serta (4) Confirmability, memastikan bahwa interpretasi berbasis data, bukan bias peneliti.

Dalam penelitian ini, credibility dijaga melalui triangulasi sumber (regulasi, wawancara, FGD), member checking (validasi temuan oleh partisipan), dan prolonged engagement (interaksi berulang dengan key stakeholders selama 8 bulan). Transferability dijaga melalui deskripsi mendalam dan secara rinci terhadap konteks operasional perikanan Indonesia, karakteristik wilayah 3T, dan landscape regulasi yang ada. Dependability dijaga melalui systematic documentation terhadap seluruh tahapan penelitian, dari protocol development hingga data analysis. Confirmability dijaga melalui Praktik reflektivitas (reflexivity practices) dan audit eksternal oleh pakar independen perlu diterapkan sebagai mekanisme pengendalian mutu dan akuntabilitas kebijakan

Ayre & McCaffery (2022) dalam catatan penelitian tentang tematik analisis menekankan pentingnya Proses pengodean yang transparan dan reliabilitas antar-koder diterapkan untuk memastikan rigor penelitian. Dalam penelitian ini, Analisis tematik dilakukan secara iteratif dengan melibatkan dua pengode independen, yang menghasilkan tingkat kesepakatan antar-pengode sebesar 89% dan menunjukkan reliabilitas yang tinggi. Tema-tema yang teridentifikasi keunggulan operasional, kesenjangan regulasi, imperatif keselamatan, keberlanjutan lingkungan, dan pemberdayaan sosial ekonomi selanjutnya divalidasi melalui penelaahan panel ahli yang melibatkan tujuh pakar lintas disiplin, meliputi keselamatan maritim, pengelolaan perikanan, hukum lingkungan, dan kebijakan teknologi.

Potensi WIG craft untuk Pengawasan Perikanan

Hasil analisis menunjukkan bahwa WIG craft memiliki keunggulan signifikan dibanding kapal patroli konvensional yang dapat menjadi solusi transformatif bagi pengawasan perikanan Indonesia. WIG craft mampu beroperasi pada kecepatan 150–250 knot dengan jangkauan patroli harian hingga 2.000–3.000 NM, sementara kapal patroli konvensional hanya mencapai 400–600 NM per hari dengan kecepatan maksimal 25–35 knot. Keunggulan ini sejalan dengan temuan Karpuk

(2024) yang menegaskan bahwa *ground-effect vehicle* memiliki efisiensi aerodinamis superior dalam operasi jarak menengah hingga jauh, terutama untuk misi yang memerlukan rapid response.

Analisis performa hidrodinamis menunjukkan bahwa WIG craft memanfaatkan fenomena ground effect yang menghasilkan gaya angkat hingga 40–60% lebih tinggi dibanding operasi normal, sekaligus mengurangi drag sebesar 25–35% (Pereowei & Hu, 2023). Karakteristik ini memungkinkan respons cepat terhadap aktivitas IUU fishing, terutama di wilayah ZEE berisiko tinggi seperti perairan Natuna, Laut Sulawesi, dan Selat Malaka. Lebih lanjut, Park et al. (2025) mengembangkan algoritma fuel-efficient pathfinding khusus untuk WIG craft generasi baru yang membuktikan bahwa optimalisasi rute patroli dapat meningkatkan efektivitas surveillance hingga 35% dengan tetap menjaga konsumsi bahan bakar yang minimal.

Dalam konteks operasional, WIG craft menawarkan fleksibilitas strategis yang tidak dimiliki kapal patroli konvensional maupun pesawat maritime patrol. Sun et al. (2024) mengidentifikasi bahwa *high-speed ground effect vehicle* memiliki potensi besar dalam maritime transportation karena kemampuannya beroperasi pada kondisi laut dengan ketinggian gelombang hingga 2,5 meter sambil mempertahankan stabilitas dan efisiensi tinggi. Temuan ini sangat relevan dengan kondisi perairan Indonesia yang dinamis, di mana kapal patroli konvensional seringkali terhambat oleh cuaca buruk dan gelombang tinggi.

Aspek keunggulan operasional WIG craft juga terlihat dari kemampuannya melakukan manuver yang lebih adaptif. Wang et al. (2022) melalui simulasi berbasis moving wavy ground test membuktikan bahwa WIG craft mampu mempertahankan kontrol longitudinal yang stabil bahkan pada kondisi laut bergelombang, suatu tantangan yang sering menghambat operasi kapal cepat konvensional. Lebih jauh, Mo et al. (2024) menunjukkan bahwa wing-in-ground effect oscillating hydrofoil dapat dioptimalkan untuk ekstraksi energi kinetik dari gelombang laut, membuka peluang untuk pengembangan WIG craft hibrida yang lebih berkelanjutan di masa depan.

Dari perspektif pengawasan perikanan, kecepatan tinggi WIG craft memungkinkan peningkatan dramatik dalam coverage area dan response time. Berdasarkan perhitungan operasional, satu unit WIG craft dapat menggantikan peran 5–7 kapal patroli konvensional dalam hal jangkauan

wilayah per hari. Hal ini sejalan dengan prinsip efficiency-driven maritime operations yang diajukan Godet et al. (2023), yang menekankan pentingnya *benchmarking operational cycles* untuk meningkatkan *ship energy efficiency*. Dalam konteks ini, WIG craft tidak hanya menawarkan kecepatan, tetapi juga efisiensi energi yang secara langsung berkontribusi pada pengurangan biaya operasional pengawasan hingga 30–40% per tahun.

Konektivitas Wilayah 3T dan Pemberdayaan Masyarakat

Selain fungsi pengawasan, WIG craft berperan strategis dalam meningkatkan konektivitas wilayah 3T (Terpencil, Terluar, dan Tertinggal) yang selama ini menjadi bottleneck pembangunan maritim Indonesia. Waktu tempuh distribusi logistik dan hasil perikanan yang sebelumnya memakan waktu lebih dari 24–36 jam dengan kapal konvensional dapat dipangkas menjadi kurang dari 6 jam menggunakan WIG craft. Percepatan ini berdampak langsung pada peningkatan efektivitas cold chain management hasil perikanan, memperluas akses pasar, dan membuka peluang lapangan kerja baru bagi masyarakat pesisir.

Penelitian Hasnur & Yatno (2025) menekankan pentingnya memperkuat manajemen transportasi maritim masa depan melalui cognitive flexibility dan entrepreneurial mindset, terutama di kalangan generasi muda maritim. Dalam konteks ini, adopsi WIG craft tidak hanya sebagai inovasi teknologi, tetapi juga sebagai katalis perubahan mindset dalam pengelolaan sumber daya maritim. Ketika konektivitas meningkat, masyarakat pesisir memiliki akses lebih baik terhadap informasi pasar, teknologi penangkapan berkelanjutan, dan pelatihan vokasional, yang pada gilirannya meningkatkan daya saing ekonomi lokal.

Dari sisi sosial-ekonomi, implementasi WIG craft diproyeksikan dapat meningkatkan pendapatan nelayan tradisional hingga 25–30% melalui percepatan distribusi hasil tangkapan ke pasar utama. Hal ini sejalan dengan prinsip pemberdayaan masyarakat pesisir yang diadvokasi oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan, di mana akses terhadap infrastruktur transportasi cepat menjadi salah satu kunci pengentasan kemiskinan. Lebih jauh, keberadaan WIG craft base di wilayah 3T akan menciptakan multiplier effect berupa tumbuhnya industri pendukung seperti maintenance, repair, and overhaul (MRO), logistik, dan hospitality, yang semuanya menyerap tenaga kerja lokal.

Namun, keberhasilan integrasi WIG craft dalam sistem konektivitas maritim nasional memerlukan pendekatan polycentric governance yang melibatkan koordinasi multi-stakeholder. Van der Plank *et al.* (2022) dalam studinya tentang polycentric governance di Karibia menekankan pentingnya coordination and capacity building untuk memastikan efektivitas implementasi kebijakan maritim inovatif. Dalam konteks Indonesia, hal ini berarti perlunya sinergi antara Kementerian Perhubungan, Kementerian Kelautan dan Perikanan, BKI, dan pemerintah daerah untuk membangun infrastruktur base port, menyediakan fasilitas maintenance, dan mengembangkan program pelatihan SDM yang berkelanjutan.

Safety Management Operasi WIG craft

Manajemen keselamatan WIG craft dirancang dengan pendekatan risk-based safety assessment yang mengintegrasikan metodologi safety management systems (SMS) dengan karakteristik unik operasi ground-effect vehicle. Goerlandt *et al.* (2022) dalam landscape review terhadap penelitian SMS menekankan bahwa implementasi sistem manajemen keselamatan harus bersifat context-specific dan adaptive terhadap teknologi baru. Dalam konteks WIG craft, hal ini berarti perlunya framework khusus yang berbeda dari safety management kapal laut konvensional maupun pesawat udara.

Kerangka safety management yang diusulkan mengadopsi tiga tahapan sequential assessment: (1) Functional Hazard Assessment (FHA) untuk mengidentifikasi potensi failure modes pada sistem propulsi, kontrol, dan navigasi WIG craft; (2) Preliminary System Safety Assessment (PSSA) untuk mengevaluasi likelihood dan severity dari setiap hazard scenario; serta (3) System Safety Assessment (SSA) untuk memvalidasi efektivitas risk mitigation measures yang diimplementasikan. Pendekatan ini sejalan dengan metodologi yang dikembangkan Shiokari *et al.* (2024) dalam structure model-based hazard identification untuk autonomous ships, yang menekankan pentingnya systematic hazard identification di tahap early design.

Aspek sertifikasi keselamatan menjadi elemen krusial dalam operasionalisasi WIG craft. Hasil penelitian mengusulkan penerbitan Wing-in-Ground Craft Safety Certificate oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sebagai lembaga klasifikasi yang telah memiliki kompetensi dalam Rules for Classification and Construction of WIG craft (BKI, 2006). Sertifikasi ini mencakup inspeksi berkala terhadap struktur hull, sistem propulsi, perangkat

navigasi, sistem kontrol otomatis, dan emergency equipment. Li & Seta (2022) menunjukkan bahwa classification societies memainkan peran expanding dalam konservasi lingkungan maritim, tidak hanya terbatas pada aspek teknis-struktural tetapi juga compliance terhadap environmental regulations.

Manajemen keselamatan operasional WIG craft juga harus mempertimbangkan kompleksitas human-machine interaction. Basnet *et al.* (2023) dalam studinya tentang cost-effective risk control untuk advanced maritime operations mengintegrasikan STPA-BN-Influence Diagram untuk mengidentifikasi critical control points dalam sistem. Temuan mereka menunjukkan bahwa sebagian besar maritime accidents disebabkan oleh kombinasi technical failures dan human errors, bukan semata-mata technical malfunction. Oleh karena itu, training competency untuk awak WIG craft harus bersifat hibrida maritim-aeronautika, mencakup pengetahuan tentang maritime regulations (COLREGS, SOLAS), aerodynamics fundamentals, ground-effect phenomena, dan emergency procedures khusus WIG craft.

Dimensi keselamatan operasi remote-controlled atau autonomous WIG craft juga perlu diantisipasi mengingat tren menuju Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). Ahmed *et al.* (2024) mengidentifikasi bahwa regulatory frameworks untuk MASS harus mencakup aspek liability, cyber-security, dan remote operation protocols. Dalam konteks WIG craft untuk pengawasan perikanan, opsi remote surveillance operation dapat meningkatkan efisiensi sekaligus mengurangi risiko keselamatan awak di wilayah berbahaya. Namun, implementasinya memerlukan robust communication infrastructure dan layered cybersecurity measures sebagaimana direkomendasikan Størkersen (2021).

Pendekatan perancangan kapal berbasis tujuan (goal-based ship design) yang dikemukakan oleh Kujala *et al.* (2023) juga relevan untuk pengembangan Wing-in-Ground (WIG) craft, khususnya dalam konteks operasi pada kondisi perairan ekstrem. Meskipun Indonesia tidak memiliki perairan tertutup es (ice-covered waters), prinsip perancangan berbasis tujuan (goal-based design) yang menekankan standar berbasis kinerja (performance-based standards) dibandingkan aturan preskriptif (prescriptive rules) memberikan fleksibilitas yang lebih besar bagi perancang WIG craft untuk mengembangkan solusi inovatif. Pendekatan ini tetap memastikan terpenuhinya tingkat keselamatan yang dapat diterima (acceptable level of safety) sesuai dengan tujuan keselamatan

yang ditetapkan.

Peran Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sebagai Organisasi yang Diakui (Recognized Organization/RO) dalam siklus hidup Wing-in-Ground (WIG) craft mencakup persetujuan desain (plan approval), pengawasan konstruksi (construction survey), penyaksian uji laut (sea trial witnessing), inspeksi berkala (periodic inspections), serta penilaian kerusakan (damage assessment). Liang *et al.* (2024), dalam tinjauan mengenai manajemen kesehatan prediktif (prognostics health management) dari perspektif lembaga klasifikasi, menekankan pentingnya pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*) pada peralatan maritim untuk mencegah waktu henti tak terjadwal (*unscheduled downtime*) dan kegagalan katastropik (*catastrophic failures*). Penerapan pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-based maintenance/CBM*) dengan pemantauan sensor waktu nyata (*real-time sensor monitoring*) pada sistem kritis WIG craft berpotensi meningkatkan ketersediaan operasional (*availability*) hingga 90–95%, jauh lebih tinggi dibandingkan pemeliharaan terjadwal konvensional (*scheduled maintenance*) yang umumnya hanya mencapai 75–80%.

Pollution Prevention dan Keberlanjutan

WIG craft diwajibkan mematuhi standar MARPOL Annex I–VI yang mencakup pencegahan pencemaran minyak, noxious liquid substances, harmful substances in packaged form, sewage, garbage, dan emisi udara. Alvarez (2021) menekankan bahwa evolusi dari maritime salvage hingga IMO 2020 Strategy menunjukkan *shifting paradigm* dari *reactive pollution response* menuju *proactive pollution prevention*. Dalam konteks WIG craft, desain inherent pollution prevention mencakup penggunaan *fuel-efficient engines*, *adoption of alternative fuels* (LNG, hydrogen, atau electric propulsion), serta sistem waste management terintegrasi.

Efisiensi bahan bakar WIG craft menghasilkan emisi CO₂ sekitar 0,15–0,20 kg/NM, sekitar 40–50% lebih rendah dibanding kapal patroli cepat konvensional yang mencapai 0,30–0,40 kg/NM, dan jauh lebih rendah dibanding maritime patrol aircraft yang mencapai 0,80–1,20 kg/NM. Martínez-Lopez *et al.* (2024) dalam assessment terhadap emerging technologies untuk high-speed crafts decarbonization menemukan bahwa kombinasi *lightweight materials*, *hybrid propulsion systems*, dan *hull optimization* dapat menghasilkan pengurangan emisi hingga 60% dibanding *baseline conventional vessels*.

Operasi WIG craft yang melayang 0,5–5 meter di atas permukaan laut juga meminimalkan gangguan terhadap ekosistem bawah air, terutama coral reefs dan seagrass beds yang rentan terhadap physical disturbance dari propeller wash kapal konvensional. Sezer *et al.* (2025) dalam studi D-S evidence-based FMECA untuk ballast water system menunjukkan bahwa ship operations dapat menyebabkan biological invasions melalui discharge of untreated ballast water. WIG craft, dengan karakteristik operasinya yang tidak memerlukan ballast water system, mengeliminasi risiko ini sepenuhnya, menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan.

Garbage Management Plan (GMP) untuk WIG craft dirancang berbasis zero-discharge policy, di mana seluruh waste yang dihasilkan selama operasi harus disimpan on-board dan didisposisi di port reception facilities sesuai standar MARPOL Annex V. Argüello *et al.* (2022) dalam studinya tentang regulation of ships at anchor menekankan bahwa improper waste disposal dari vessels merupakan kontributor signifikan terhadap marine pollution. Oleh karena itu, training waste segregation dan strict enforcement of GMP menjadi bagian integral dari operational procedures WIG craft.

Selain aspek operasional, pollution prevention juga harus mempertimbangkan end-of-life management WIG craft.. Ruini *et al.* (2025) mengajukan normative and empirical solutions untuk upcycling dilemma dalam industri maritim, menekankan pentingnya circular economy principles dalam ship recycling. WIG craft yang mencapai akhir *operational life* harus dibongkar di *approved ship recycling facilities* dengan memperhatikan proper handling of hazardous materials seperti *asbestos*, *heavy metals*, dan *oily waste*, sesuai Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships.

Kontribusi WIG craft terhadap sustainable fisheries tidak hanya terbatas pada aspek enforcement terhadap *IUU fishing*, tetapi juga pada pengurangan carbon footprint dari fisheries surveillance operations. Xu *et al.* (2025) dalam multi-criteria feature selection untuk maritime emission abatement alternatives menunjukkan bahwa optimalisasi vessel selection berbasis environmental performance dapat menghasilkan substantial reductions dalam greenhouse gas emissions tanpa mengorbankan operational effectiveness. Dalam konteks ini, substitusi sebagian armada patrol vessels konvensional dengan WIG craft dapat berkontribusi terhadap pencapaian NDC (*Nationally Determined Contribution*) Indonesia dalam Paris Agreement.

Gap Regulasi dan Rancangan Kebijakan

Analisis regulasi menunjukkan adanya lacuna regulasi yang signifikan terkait operasionalisasi WIG craft di Indonesia. Meskipun IMO telah menerbitkan MSC.1/Circ.1592 (2018) sebagai Interim Guidelines for WIG craft, dan BKI telah menyusun Rules for Classification and Construction of WIG craft sejak 2006, namun belum ada pengaturan khusus dalam UU No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran maupun peraturan turunannya yang secara eksplisit mengatur status hukum, persyaratan teknis, dan prosedur operasional WIG craft.

Gap regulasi yang teridentifikasi meliputi: (1) Ambiguitas status hukum WIG craft apakah dikategorikan sebagai kapal (ship), pesawat (aircraft), atau kategori hybrid tersendiri; (2) Ketiadaan sertifikasi requirements yang jelas untuk construction, operation, dan crew competency; (3) Belum jelasnya kewenangan pengawasan, apakah di bawah Ditjen Perhubungan Laut atau Ditjen Perhubungan Udara; (4) Absennya operational procedures untuk navigation, collision avoidance, dan emergency response khusus WIG craft; serta (5) Ketiadaan insurance framework yang mengakomodasi unique risk profile WIG craft.

Ahmed *et al.* (2024) dalam studi tentang regulatory and legal frameworks untuk Maritime Autonomous Surface Ships menekankan pentingnya early regulatory development untuk mencegah technology-regulation gap yang dapat menghambat adoption. Mereka merekomendasikan pendekatan adaptive regulation yang memungkinkan iterative refinement berbasis operational experience. Dalam konteks WIG craft, hal ini berarti regulasi awal dapat bersifat interim/pilot-scheme-based, dengan mekanisme periodic review dan update berbasis lessons learned dari operational trials.

Rancangan Peraturan Menteri (RPM) yang diusulkan dirancang sebagai *lex specialis* yang mengharmonisasikan standar internasional (IMO Guidelines) dengan kebutuhan dan konteks nasional Indonesia. RPM ini disusun berdasarkan prinsip-prinsip: (1) Risk-based regulation fokus pada outcomes (safety & environmental performance) ketimbang prescriptive requirements; (2) Technology neutrality, tidak membatasi inovasi desain sepanjang memenuhi performance standards; (3) Proportionality, regulatory burden sesuai dengan risk level operasi; (4) Clarity and certainty, menghilangkan ambiguitas untuk memberikan legal certainty bagi investors dan operators; serta (5) Stakeholder inclusiveness melibatkan industry,

academia, dan civil society dalam regulatory development process.

Cairney (2021) dalam analisisnya tentang politics of policy design menekankan bahwa effective policy requires not only technical soundness but also political feasibility and stakeholder buy-in. Oleh karena itu, proses penyusunan RPM melibatkan extensive consultations dengan stakeholders kunci melalui serial Focus Group Discussions, expert hearings, dan public consultations untuk memastikan bahwa regulasi yang dihasilkan tidak hanya sound secara teknis tetapi juga implementable dan acceptable secara politis dan sosial.

Struktur RPM yang diusulkan mencakup:

BAB I: Ketentuan Umum — definisi, ruang lingkup, prinsip-prinsip dasar;

BAB II: Persyaratan Teknis Konstruksi, standar material, struktur, sistem propulsi, stability, seaworthiness;

BAB III: Sertifikasi dan Inspeksi, *prosedur plan approval, construction survey, sea trials, statutory certificates*;

BAB IV: Keselamatan Operasional, ISM Code compliance, *navigation rules, collision avoidance, weather limitations*;

BAB V: Pollution Prevention, MARPOL *compliance, emission standards, waste management*;

BAB VI: *Crew Competency, training standards, certification requirements, medical fitness*;

BAB VII: Pengawasan dan *Enforcement* — *port state control, flag state responsibilities, sanctions*;

BAB VIII: Kelembagaan, pembagian kewenangan Kemenhub-KKP-BKI-TNI AL dalam pengawasan operasi WIG craft.

Aspek kelembagaan sangat krusial mengingat kompleksitas stakeholder landscape dalam operasi WIG craft untuk fisheries surveillance. Olaniyi *et al.* (2024) dalam studinya tentang smart regulations in maritime governance menekankan pentingnya clear delineation of authority dan effective inter-agency coordination untuk menghindari regulatory overlaps dan enforcement gaps. Dalam konteks Indonesia, koordinasi antara Kementerian Perhubungan (aspek transportasi dan keselamatan), Kementerian Kelautan dan Perikanan (aspek *fisheries surveillance*), dan TNI Angkatan Laut (aspek kedaulatan maritim) harus diatur secara eksplisit dalam RPM untuk memastikan operational efficiency dan avoid jurisdictional conflicts.

Harmonisasi dengan international conventions juga menjadi pertimbangan penting. Meskipun WIG craft bukan ship dalam pengertian konvensional SOLAS, namun prinsip-prinsip SOLAS terkait safety of life at sea tetap relevan dan harus diadopsi mutatis mutandis. Joseph & Dalaklis (2021) menunjukkan bahwa SOLAS Convention sejak adopsi tahun 1974 telah berevolusi menjadi comprehensive framework yang mengintegrasikan berbagai risk mitigation measures. WIG craft regulation harus mengadopsi SOLAS principles seperti subdivision and stability, life-saving appliances, radio communications, dan safety navigation, dengan adaptasi sesuai karakteristik operasi WIG craft.

Implikasi Sosial-Ekonomi

Implementasi WIG craft untuk pengawasan perikanan memiliki multiplier effects yang melampaui aspek law enforcement semata. Dari perspektif sosial-ekonomi, kehadiran WIG craft diproyeksikan dapat: (1) Menekan praktik illegal fishing hingga 40–50% melalui peningkatan surveillance coverage dan rapid response capability; (2) Meningkatkan pemulihan stok ikan di wilayah yang sebelumnya over-exploited; (3) Menaikkan pendapatan nelayan hingga 25–30% melalui percepatan distribusi dan akses pasar yang lebih baik; serta (4) Menciptakan lapangan kerja baru di sektor maintenance, operasi, dan supporting industries.

Riyadi & Erliyani (2025) dalam studi tentang penguatan maritime safety governance Indonesia menekankan pentingnya insight from ship accident trends untuk merancang effective regulatory oversight. Data menunjukkan bahwa mayoritas accidents di wilayah 3T disebabkan oleh delayed emergency response akibat keterbatasan speed dan range kapal patroli. WIG craft, dengan response time 5–7 kali lebih cepat, dapat mengurangi response delay secara dramatik, sehingga meningkatkan survival rate dalam search and rescue operations sekaligus strengthening maritime safety culture.

Pemberdayaan ekonomi masyarakat pesisir melalui WIG craft terjadi melalui beberapa mekanisme: (1) Market access improvement — dengan cold chain yang lebih efektif, hasil tangkapan nelayan dapat mencapai pasar premium dengan freshness terjaga, sehingga meningkatkan harga jual hingga 35–40%; (2) Input logistics efficiency — pengiriman bahan bakar, es balok, dan fishing gears ke wilayah terpencil menjadi lebih cepat dan murah; (3) Knowledge transfer — mobilitas yang lebih tinggi memfasilitasi penyuluhan teknik

penangkapan berkelanjutan dan regulasi perikanan kepada nelayan di wilayah terpencil; serta (4) Tourism potential — WIG craft dapat difungsikan ganda sebagai fast transportation untuk eco-tourism, membuka revenue stream baru bagi masyarakat pesisir.

Shih (2024) dalam studinya tentang ocean governance in practice di Taiwan menunjukkan bahwa application of marine science and technology research techniques to maritime law enforcement secara signifikan meningkatkan effectiveness of enforcement sekaligus public acceptance. Dalam konteks Indonesia, transparansi data surveillance dari WIG craft operations (misalnya melalui publication of patrol routes dan enforcement statistics) dapat meningkatkan public trust dan compliance voluntary dari fishing communities.

Dimensi keadilan sosial (*social equity*) juga perlu dipertimbangkan. Osmundsen *et al.* (2022) dalam studinya tentang aquaculture policy menekankan pentingnya designing licenses for environmental regulation yang tidak hanya efektif tetapi juga equitable. Dalam konteks fisheries surveillance, kebijakan WIG craft harus memastikan bahwa enforcement tidak diskriminatif terhadap *small-scale fishers*, sambil tetap tegas terhadap *industrial-scale illegal fishing*. Hal ini dapat dicapai melalui differentiated enforcement approaches yang mempertimbangkan scale of operations, repeat offender status, dan ecological impact severity.

Lebih jauh, keterlibatan masyarakat pesisir dalam operasi WIG craft melalui community-based surveillance programs dapat meningkatkan legitimacy dan effectiveness. Van der Plank *et al.* (2022) menunjukkan bahwa polycentric governance dengan melibatkan local communities dalam decision-making dan monitoring menghasilkan better compliance dan sustainable outcomes. Model ini dapat diadaptasi melalui pembentukan “WIG craft Fisheries Observers” yang direkrut dari masyarakat pesisir lokal, sehingga mereka tidak hanya sebagai objek enforcement tetapi juga aktor aktif dalam sustainable fisheries governance.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa Wing-in-Ground (WIG) craft merupakan inovasi teknologi yang memiliki potensi transformatif dalam menjawab keterbatasan sistem pengawasan perikanan dan konektivitas wilayah kepulauan Indonesia. Keunggulan WIG craft dalam hal kecepatan operasional, jangkauan patroli, dan efisiensi energi memungkinkan peningkatan signifikan terhadap surveillance coverage dan response time, sehingga mampu menggantikan peran beberapa kapal patroli

konvensional secara simultan. Dalam konteks wilayah Terpencil, Terluar, dan Tertinggal (3T), WIG craft tidak hanya berfungsi sebagai instrumen penegakan hukum terhadap praktik IUU fishing, tetapi juga sebagai pengungkit konektivitas maritim yang berdampak langsung pada efisiensi distribusi hasil perikanan dan penguatan ekonomi masyarakat pesisir.

Namundemikian, efektivitas dan keberlanjutan implementasi WIG craft sangat ditentukan oleh keberadaan kerangka kebijakan dan regulasi yang komprehensif, adaptif, dan berbasis risiko. Integrasi safety management dan pollution prevention dalam rancangan kebijakan menjadi prasyarat fundamental untuk menjamin keselamatan operasional, kepastian hukum, serta perlindungan lingkungan laut. Dengan pendekatan regulasi sebagai *lex specialis* yang mengharmonisasikan standar internasional IMO dengan konteks nasional, implementasi WIG craft berpotensi menjadi instrumen strategis negara dalam memperkuat kedaulatan maritim, meningkatkan efektivitas pengawasan perikanan, serta mendorong pembangunan maritim yang inklusif dan berkelanjutan.

IMPLIKASI KEBIJAKAN-

Berdasarkan temuan penelitian, pemerintah perlu mengambil langkah strategis dan terukur melalui penyusunan serta implementasi kebijakan nasional yang komprehensif terkait Wing-in-Ground (WIG) craft. Prioritas utama adalah finalisasi dan pengesahan Rancangan Peraturan Menteri (RPM) tentang WIG craft sebagai *lex specialis* yang mengatur secara spesifik status hukum, standar keselamatan, dan perlindungan lingkungan WIG craft. Proses finalisasi RPM harus dilakukan melalui harmonisasi lintas sektor, khususnya antara Kementerian Perhubungan sebagai otoritas keselamatan transportasi, Kementerian Kelautan dan Perikanan sebagai pengguna operasional pengawasan perikanan, serta Biro Klasifikasi Indonesia sebagai lembaga klasifikasi dan sertifikasi teknis. Harmonisasi ini penting untuk mencegah tumpang tindih kewenangan, memperkuat kepastian hukum, dan memastikan keselarasan dengan pedoman internasional IMO.

Selanjutnya, implementasi kebijakan perlu diawali dengan pelaksanaan pilot project operasional WIG craft di wilayah strategis dan berisiko tinggi terhadap praktik IUU fishing, seperti Natuna atau Merauke. Proyek percontohan ini berfungsi sebagai *proof of concept* untuk menguji efektivitas WIG craft dalam pengawasan perikanan udara-laut terpadu, mengevaluasi kinerja keselamatan dan

kepatuhan lingkungan, serta mengukur dampak ekonomi tidak langsung terhadap konektivitas wilayah dan distribusi hasil perikanan. Hasil pilot project diharapkan menjadi dasar empiris bagi penyempurnaan RPM, penyusunan standar operasional prosedur (SOP), dan skema pembiayaan jangka menengah. Selain aspek regulasi dan uji operasional, pengembangan infrastruktur dan sumber daya manusia (SDM) menjadi prasyarat keberhasilan implementasi WIG craft secara berkelanjutan. Pemerintah perlu berinvestasi pada penyediaan base port dan fasilitas pendukung yang memadai di wilayah Terpencil, Terluar, dan Tertinggal (3T), termasuk fasilitas pemeliharaan, pengisian bahan bakar, dan sistem logistik pendukung. Di sisi SDM, diperlukan pembentukan pusat pelatihan nasional atau skema pelatihan tersertifikasi untuk mencetak operator, teknisi, dan pengawas WIG craft yang kompeten, dengan kurikulum yang mengintegrasikan aspek keselamatan, manajemen risiko, dan pencegahan pencemaran. Pendekatan ini akan memperkuat kapasitas institusional nasional sekaligus mendukung keberlanjutan operasional WIG craft sebagai instrumen pengawasan perikanan yang efektif dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para responden/partisipan penelitian atas waktu, informasi, dan dukungan yang telah diberikan. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Politeknik Pelayaran Sumatera Barat yang telah mendanai publikasi penelitian ini melalui Keputusan Direktur Politeknik Pelayaran Sumatera Barat Nomor: KP-POLTEKPEL.SBR 129 Tahun 2026 tentang Insentif Publikasi Karya Ilmiah Politeknik Pelayaran Sumatera Barat Tahun 2026.

PERNYATAAN KONTRIBUSI PENULIS

Budi Riyanto dan Bayu Yudho Baskoro berperan dalam perumusan ide, desain penelitian, serta penyusunan kerangka artikel. Syafni Yelvi Siska dan Miftakhul Hadi berkontribusi dalam pengumpulan data, telaah dokumen, dan analisis hasil wawancara serta FGD. Wahyu Wibisono dan Antoni Arief Priadi berperan dalam penelaahan regulasi, pendalaman substansi kelautan dan perikanan, serta penyempurnaan naskah akhir. Seluruh penulis menyetujui versi final manuskrip.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, S. K. (2024). The pillars of trustworthiness in qualitative research. *Journal of Medicine , Surgery , and Public Health*, 2(January), 0–3. <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100051>.

- Ahmed, Y. A., Theotokatos, G., Maslov, I., Wenersberg, L. A. L., & Nesheim, D. A. (2024). Regulatory and legal frameworks recommendations for short sea shipping maritime autonomous surface ships. *Marine Policy*, 166(May), 106226. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106226>.
- Alamouh, A. S., Ölçer, A. I., & Ballini, F. (2024). Drivers, opportunities, and barriers, for adoption of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). *Journal of Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 8(4). <https://doi.org/10.1080/25725084.2024.2411183>.
- Alsos, O. A., Saghafian, M., Veitch, E., Petermann, F., Sitompul, T. A., Park, J., Papachristos, E., Eide, E., Breivik, M., & Smogeli, Ø. (2024). Lessons learned from the trial operation of an autonomous urban passenger ferry. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 26(June). <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101142>.
- Alvarez, P. S. (2021). From maritime salvage to IMO 2020 strategy : Two actions to protect the environment. *Marine Pollution Bulletin*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112590>.
- Argüello, G., Krabbe, N., Langlet, D., Hasselov, I.-M., Martinson, C., & Helmstad, A. (2022). Regulation of ships at anchor : Safety and environmental implications. *Marine Policy*, 140(April). <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105052>.
- Ayre, J., & McCaffery, K. J. (2022). Research Note : Thematic analysis in qualitative research. *Journal of Physiotherapy*, 68, 76–79. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2021.11.002>
- Bao, J., Yu, Z., Li, Y., & Wang, X. (2022). A novel approach to risk analysis of automooring operations on autonomous vessels. *Maritime Transport Research*, 3(December 2021), 100050. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2022.100050>.
- Basnet, S., BahooToroody, A., Montewka, J., Chaal, M., & Banda, O. A. V. (2023). Selecting cost-effective risk control option for advanced maritime operations; Integration of STPA-BN-Influence diagram. *Ocean Engineering*, 280(February), 114631. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114631>.
- Baum-talmor, P., & Kitada, M. (2022). Industry 4 . 0 in shipping: Implications to seafarers' skills and training. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 13(May 2021), 100542. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100542>.
- Biçen, S., & Celik, M. (2024). A deep learning approach to analyse ship inspection reports via natural language processing integrated with artificial neural network. *Journal of Marine Engineering & Technology* ISSN:, 4177. <https://doi.org/10.1080/20464177.2024.2353407>.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2025). Rules for the Classification and Construction of Wing-in-Ground Craft. Jakarta: BKI.
- BKI. (2006). Rules for Classification and Construction of Wing-In-Ground Craft (WIG craft). Biro Klasifikasi Indonesia.
- Blacklock, J. D., Baird, J., & Stensaker, B. (2025). Evolutionary stages in risk-based quality regulation in Australian higher education 2011 – 2024. *Policy Reviews in Higher Education*, 2969, 240–262. <https://doi.org/10.1080/23322969.2025.2493115>.
- Bolbot, V., Bergstrom, M., Rahikainen, M., & Banda, O. A. V. (2025). Investigation into safety acceptance principles for autonomous ships Victor. *Reliability Engineering and System Safety*, 257(November 2024). <https://doi.org/10.1016/j.res.2025.110810>.
- Borton, D. (2024). Sustainability in Ship Design and Operations. *Proceedings of the 4th Sustainability in Ship Design and Operations Conference*, 2(1).
- Brandt, P., Munim, Z. H., Chaal, M., & Kang, H. S. (2024). Maritime accident risk prediction integrating weather data using machine learning. *Transportation Research Part D*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104388>.
- Browne, T., Tran, T. T., Veitch, B., Smith, D., Khan, F., & Taylor, R. (2022). A method for evaluating operational implications of regulatory constraints on Arctic shipping. *Marine Policy*, 135(August 2021), 104839. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104839>.
- Cairney, P. (2021). The politics of policy design. *EURO Journal on Decision Processes*, 9(August), 100002. <https://doi.org/10.1016/j.ejdp.2021.100002>.
- Choi, J., Lee, S., & Kim, S. (2022a). Improving the current regulatory issues concerning training ships for maritime institutions_ The South Korean case. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 38(3), 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2022.02.001>.
- Choi, J., Lee, S., & Kim, S. (2022b). Improving the current regulatory issues concerning training ships for maritime institutions: The South Korean case. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 38(3), 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2022.02.001>.
- Dashtimanesh, A., Ghaemi, M. H., Wang, Y., Karczewski, A., Bilandi, R. N., & Hirdaris, S. (2022). Digitalization of High Speed Craft Design and Operation Challenges and Opportunities. *Procedia Computer Science*, 200(2021), 566–576. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.254>.
- Dilaver, H. M., Akçay, A., & Houtum, G. Van. (2023). Integrated planning of asset-use and dry-docking for a fleet of maritime assets.

- International Journal of Production Economics, 256(November 2022), 108720. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108720>.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. (2019). Surat Edaran No. 61 Tahun 2019 tentang Petunjuk Teknis Pemeriksaan Kapal WIG.
- Dirjen Hubla. (2019). Surat Edaran Nomor. SE.61/PK/DK/2019 Tentang Penerapan Guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft. Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Rome: FAO.
- Freitas, A., Albergamo, A., Leite, M., Leston, S., & Bella, G. Di. (2025). Proceedings of the 1st International Conference - BeSafeBeeHoney (BEEkeeping Products Valorization and Biomonitoring for the SAFETY of BEEs and HONEY). *Bee World*, 101(3-4), 82-108. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2024.2434330>.
- Friedman, S. (2024). The interaction of the BBNJ agreement and the legal regime of the Area, and its influence on the implementation of the BBNJ agreement. *Marine Policy*, 167(May), 106235. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106235>.
- Ghosh, S., Emad, G. R., & Ravi, A. (2025). Investigating the characteristics of skills and competency frameworks through a systematic literature review: a feasibility study to revise the STCW Code for seafarer training. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 17(4), 616-632. <https://doi.org/10.1080/18366503.2024.2374606>.
- Godet, A., Nurup, J. N., Saber, J. T., Panagakos, G., & Barfod, M. B. (2023). Operational cycles for maritime transportation: A benchmarking tool for ship energy efficiency. *Transportation Research Part D*, 121(June), 103840. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103840>.
- Goerlandt, F., Li, J., & Reniers, G. (2022). The landscape of safety management systems research: A scientometric analysis. *Journal of Safety Science and Resilience*, 3(3), 189-208. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2022.02.003>.
- Graham, R. E. D. (2022). Achieving greater policy coherence and harmonisation for marine litter management in the North-East Atlantic and Wider Caribbean Region. *Marine Pollution Bulletin*, 180(December 2021), 113818. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113818>.
- Guo, Y., Jin, Y., Hu, S., Yang, Z., Xi, Y., & Han, B. (2023). Risk evolution analysis of ship pilotage operation by an integrated model of FRAM and DBN. *Reliability Engineering and System Safety*, 229(September 2022), 108850. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108850>.
- Hasnur, J., & Yatno, L. D. (2025). Strengthening Future Maritime Transportation Management Through Cognitive Flexibility and Entrepreneurial Mindset Among Generation Z Maritime Students. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 15(2), 123-135.
- IMO. (2018a). Guidelines for Wing-In-Ground Craft (Vol. 44, Issue 0). International Maritime Organization.
- IMO. (2018b). ISM Code; International Safety Management Code with Guidelines for its Implementation. International Maritime Organization.
- International Maritime Organization (IMO). (2018). MSC.1/Circ.1592: Interim Guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft. London: IMO.
- Iva, P. (2023). Can the International Regulatory Framework on Ships' Routing, Ship Reporting, and Vessel Traffic Service (VTS) Accommodate Marine Autonomous Surface Ships (MASS)? *Ocean Development & International Law*, 54(2), 163-180. <https://doi.org/10.1080/00908320.2023.2211781>.
- Joseph, A., & Dalaklis, D. (2021). The international convention for the safety of life at sea: highlighting interrelations of measures towards effective risk mitigation. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 5(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/25725084.2021.1880766>.
- Kanwal, S., Muram, F. U., & Javed, M. A. (2024). Systematic review on contract-based safety assurance and guidance for future research. *Journal of Systems Architecture*, 146(October 2023), 103036. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2023.103036>.
- Karki, B. R., Basnet, S., Xiang, J., Montoya, J., & Porras, J. (2022). Digital maintenance and the functional blocks for sustainable asset maintenance service - A case study. *Digital Business*, 2(2), 100025. <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100025>.
- Karpuk, S. (2024). Constraint analysis methodology for ground-effect vehicle conceptual design. *Ocean Engineering*, 308(April), 118252. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118252>.
- Kayesa, N. K., & Shung-king, M. (2021). The role of document analysis in health policy analysis studies in low and middle-income countries: Lessons for HPA researchers from a qualitative systematic review. *Health Policy OPEN*, 2(December 2020), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.hpopen.2020.100024>.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2025). Laporan Tahunan Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan. Jakarta: KKP.
- Kujala, P., Bergström, M., & Hirdaris, S. (2023). Goal-based Ship Design Towards Safe and Sustainable Shipping in Ice-Covered Waters. *Transportation Research Procedia*, 72(2022), 3956-3963. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.484>.
- Li, Z., & Seta, M. (2022). The Expanding Role of Classification Societies in Conserving the Marine Environment: The Case of the 2004

- BWM Convention. *Ocean Development & International Law*, 53(4), 318–345. <https://doi.org/10.1080/00908320.2022.2148793>.
- Liang, Q., Knutsen, K. E., Vanem, E., Æsøy, V., & Zhang, H. (2024). A review of maritime equipment prognostics health management from a classification society perspective. *Ocean Engineering*, 301(November 2023).
- Liangrokapart, J., & Sittiwatethanasiri, T. (2023). Strategic direction for aviation maintenance, repair, and overhaul hub after crisis recovery. *Asia Pacific Management Review*, 28(2), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.03.003>.
- Liou, J., & Tseng, P. (2024). Exploring the ship operation safety indicators of international ports in Taiwan. *Maritime Transport Research*, 6(April), 100111. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2024.100111>.
- Maidana, R. G., Parhizkar, T., Martin, G. S., & Utne, I. B. (2024). Dynamic probabilistic risk assessment with K-shortest-paths planning for generating discrete dynamic event trees. *Reliability Engineering and System Safety*, 242(August 2023), 109725. <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109725>.
- Malmquist, S. M., & Munim, Z. H. (2025). Exploring the barriers to autonomous shipping. *Maritime Transport Research*, 9(September 2024), 100135. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2025.100135>.
- Martínez-Lopez, A., Marrero, 'Africa, & Romero-filgueira, A. (2024). Assessment of emerging technologies for high-speed-crafts decarbonization under the European Union regulation. *Research in Transportation Economics*, 108(November). <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2024.101497>.
- Maza, J. A. G., & Argüelles, R. P. (2022). COLREGs and their application in collision avoidance algorithms: A critical analysis. *Ocean Engineering*, 261(August), 112029. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112029>.
- Meissner, R., Rahn, A., & Wicke, K. (2021). Developing prescriptive maintenance strategies in the aviation industry based on a discrete-event simulation framework for post-prognostics decision making. *RESS*, 214(May), 107812. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107812>.
- Mekkaoui, S. El, Benabbou, L., & Berrado, A. (2022). Machine Learning Models for Efficient Port Terminal Operations : Case of Vessels' Arrival Times Prediction. *IFAC PapersOnLine*, 55(10), 3172–3177. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.217>.
- Menhub. (2012). Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 45 Tahun 2012 tentang Manajemen Keselamatan Kapal. Menteri Perhubungan Republik Indonesia.
- Mo, W., He, G., Wang, J., Zhang, Z., Wang, J., Liu, P., Ghassemi, H., & Yang, H. (2024). Hydrodynamic characteristics of wing-in-ground effect oscillating hydrofoil on power extraction performance. *Energy Reports*, 11(November 2022), 2991–3004. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.02.052>.
- Naisola-ruiter, V. (2022). The Delphi technique: a tutorial. *Research in Hospitality Management*, 3534. <https://doi.org/10.1080/22243534.2022.2080942>.
- Nakashima, T., Moser, B., & Hiekata, K. (2023). Accelerated adoption of maritime autonomous vessels by simulating the interplay of stakeholder decisions and learning. *Technological Forecasting & Social Change*, 194(November 2022), 122710. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122710>.
- Nam, D., & Kim, M. (2021). Implication of COVID-19 outbreak on ship survey and certification. *Marine Policy*, 131(May), 104615. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104615>.
- Naso, P. (2024). Delegation of environmental regulation and perceived corruption in South Africa. *Resource and Energy Economics*, 79–80(October 2023), 101462. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2024.101462>.
- Nebylov, A., Nebylov, V., & Fabre, P. (2015). WIG-Craft Flight Control Above the Waved Sea. *IFAC-PapersOnLine*, 48(9), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.08.067>.
- Oanta, G. A. (2022). The application of administrative sanctions in the fight against IUU fishing : An assessment of Spanish practice. *Marine Policy*, 144(July), 105211. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105211>.
- Olaniyi, E. O., Solarte-vasquez, M. C., & Inkinen, T. (2024). Smart regulations in maritime governance: Efficacy , gaps , and stakeholder perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 202(April), 116341. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116341>.
- Osmundsen, T. C., Olsen, M. S., Gauteplass, A., & Asche, F. (2022). Aquaculture policy: Designing licenses for environmental regulation. *Marine Policy*, 138(April 2021), 104978. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104978>.
- Paek, C. S. (2006). The viability of commercializing Wing-In-Ground (WIG) craft in connection with technical , economic and safety aspects followed by IMO legislation. In *The Maritime Commons : Digital Repository of the World*. World Maritime University.
- Park, J., Park, M., Park, J., Park, J. H., Song, C., Nam, B. W., & Kim, D. K. (2025). A fuel-efficient pathfinding algorithm for next-generation WIG craft s. *Ships and Offshore Structures*, 20(5), 638–646. <https://doi.org/10.1080/17445302.2024.2356468>.
- Pastra, A., Johansson, T. M., Alexandropoulou, V., Trivyza, N. L., & Kontaxaki, K. (2024). Addressing the hazards of remote inspection techniques : a safety-net for vessel surveys (Vol.

- 9961). <https://doi.org/10.1080/17579961.2023.2287390>.
- Pereweei, G. O., & Hu, Z. (2023). Dynamic lift characteristics of a water borne WIGcraft. *Ocean Engineering*, 288(P2), 116069. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116069>
- Plank, S. Van Der, Cox, S., Cumberbatch, J., Mahon, R., Thomas, B., Tompkins, E. L., & Corbett, J. (2022). Polycentric Governance , Coordination and Capacity: The Case of Sargassum Influxes in the Caribbean. *Coastal Management*, 50(4), 285–305. <https://doi.org/10.1080/08920753.2022.2078172>.
- Ponzini, F., Hamme, D. Van, & Martelli, M. (2025). Human detection in marine disaster search and rescue scenario : a multi-modal early fusion approach. *Ocean Engineering*, 340(P2), 122341. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.122341>.
- Raja, V., R, A. P., Kumar, A., & Pacheco, D. A. D. J. (2023). Multi-disciplinary engineering design of a high-speed nature-inspired unmanned aquatic vehicle. *Ocean Engineering*, 270(December 2021), 113455. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113455>.
- Relling, T., Lützhöft, M., Ostnes, R., & Hildre, H. P. (2022). The contribution of Vessel Traffic Services to safe coexistence between automated and conventional vessels. *Maritime Policy & Management*, 49(7), 990–1009. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1937739>.
- Retouniotis, A., Papadopoulos, Y., & Sorokos, I. (2025). Andromeda : A model-connected framework for safety assessment and Assurance. *The Journal of Systems & Software*, 220(October 2024), 112256. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2024.112256>.
- Riyadi, S., & Erliyani, D. (2025). Strengthening Indonesia's Maritime Safety Governance: Insight from Ship Accident Trends and Regulatory Oversight. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 15(2), 123–135.
- Riyanto, B., et al. (2026). Studi Akademik Rancangan Regulasi Wing-In-Ground Craft di Indonesia. Laporan Penelitian BKI.
- Ruini, A., Bundgaard, A. M., Mosgaard, M. A., Løkke, S., & Pizzol, M. (2025). Normative and empirical solutions to the upcycling dilemma. *Sustainable Production and Consumption*, 54(February), 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.01.022>.
- Ruponen, P., Altintas, E., Matusiak, J., & Mikkola, T. (2025). A practical approach for simplified operational guidance to avoid parametric roll resonance. *Ocean Engineering*, 330(April), 121215. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.121215>.
- Saha, R. (2023). Mapping competence requirements for future shore control center operators center operators. *Maritime Policy & Management*, 50(4), 415–427. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1930224>.
- Sezer, S. I., Ceylan, B. O., Akyuz, E., & Arslan, O. (2025). D-S evidence based FMECA approach to assess potential risks in ballast water system (BWS) on-board tanker ship. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 10(4), 509–520. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2022.06.040>.
- Sheriff, A. M., Anantharaman, M., Islam, R., & Nguyen, H.-O. (2025). A review of port state control inspections : critical issues and emerging trends in maritime oversight. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 6503, 1–23. <https://doi.org/10.1080/18366503.2025.2554348>.
- Shih, Y. (2024). Ocean governance in practice : A study of the application of marine science and technology research techniques to maritime law enforcement in Taiwan. *Marine Policy*, 163(1), 106081. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106081>.
- Shiokari, M., Itoh, H., Yuzui, T., Ishimura, E., Miyake, R., Kudo, J., & Kawashima, S. (2024). Structure model-based hazard identification method for autonomous ships. *Reliability Engineering and System Safety*, 247(February 2023), 110046. <https://doi.org/10.1016/j.res.2024.110046>.
- SOLAS, I. (2004). International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. In *Commercial Shipping Handbook*. <https://doi.org/10.4324/9781315774695-86>.
- Solski, J. J. (2023). The Polar Code Process and Sovereignty Bargains : Comparing the Approaches of Canada and Russia to POLARIS. *Ocean Development & International Law*, 54(2), 111–134. <https://doi.org/10.1080/00908320.2023.2190940>.
- Stępień, B. (2024). Towards a New Horizon : 1972 COLREG in the Era of Autonomous Ships. *Ocean Development & International Law*, 55(1–2), 170–184. <https://doi.org/10.1080/00908320.2024.2359908>.
- Størkersen, K. V. (2021). Safety management in remotely controlled vessel operations. *Marine Policy*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104349>
- Sun, J., Sun, J., Wang, C., Zheng, D., Sun, Z., Liu, H., Sheng, Z., Zhang, S., & Zhao, W. (2024). The future and technique challenges of high-speed ground effect vehicle enrolled in maritime transportation. *Aerospace Traffic and Safety*, 1(1), 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.aets.2024.05.002>.
- Sutardjo, A. (2024). “Analisis Dampak Illegal Fishing terhadap Ekonomi Masyarakat Pesisir Natuna”. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan*, 15(2), 112-125.
- Tao, J., Liu, Z., Wang, X., Cao, Y., Zhang, M., Loughney, S., Wang, J., & Yang, Z. (2024). Hazard identification and risk analysis of maritime autonomous surface ships : A systematic review and future directions. *Ocean Engineering*,

- 307(May), 118174. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118174>.
- Torben, T. R., Smogeli, Ø., Glomsrud, J. A., Utne, I. B., & Sørensen, A. J. (2023). Towards contract-based verification for autonomous vessels. *Ocean Engineering*, 270(October 2022), 113685. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113685>.
- Trivyza, N. L., Johansson, T. M., Pastra, A., & Dalaklis, D. (2024). User-centric approaches to remote inspection techniques for seagoing vessels : The impact of end-User feedback on technological accuracy and policy development. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 8(3). <https://doi.org/10.1080/25725084.2024.2385187>.
- Tyagi, A., Tripathi, R., & Bouarfa, S. (2023). Learning from past in the aircraft maintenance industry : An empirical evaluation in the safety management framework. *Heliyon*, 9(11), e21620. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21620>.
- Vassalos, D., Paterson, D., Mauro, F., Mujeeb-ahmed, M. P., & Boulougouris, E. (2022). Process, methods and tools for ship damage stability and flooding risk assessment. *Ocean Engineering*, 266(P4), 113062. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113062>.
- Wang, L., Yang, K., Yue, T., & Liu, H. (2022). Wing-in-ground craft longitudinal modeling and simulation based on a moving wavy ground test. *Aerospace Science and Technology*, 126.
- Wei, R., Foster, S., Mei, H., Yan, F., Yang, R., Habli, I., Halloran, C. O., Tudor, N., Kelly, T., & Nemouchi, Y. (2024). ACCESS : Assurance Case Centric Engineering of Safety – critical Systems ☆. *The Journal of Systems & Software*, 213(July 2022), 112034. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2024.112034>.
- Weide, T. Van Der, Deng, Q., & Santos, B. F. (2022). Robust long-term aircraft heavy maintenance check scheduling optimization under uncertainty. *Computers and Operations Research*, 141(December 2021).
- Wiedemann, M., Liang, M., Keremane, G., & Quigley, K. (2024). Advanced Air Mobility : A comparative review of policies from around the world — lessons for Australia. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 24(July 2023), 100988. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100988>.
- Xing, W. (2024). Contemplating Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) under the international law on ship-source pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 207(September), 116884. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116884>.
- Xu, K., Brito, M. P., & Beullens, P. (2025). Multi-criteria feature selection on maritime emission abatement alternatives. *Research in Transportation Business & Management*, 59(November 2024), 101288. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101288>.
- Yunanda, R. & Hartono, D. (2023). “Penerapan Teknologi Ground Effect untuk Efisiensi Transportasi Maritim Antar Pulau”. *Jurnal Transportasi Laut*, 8(1), 45-58.
- Zaniboni, A., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2024). GIS-Based land suitability analysis for the optimal location of integrated multi-trophic aquaponic systems. *Science of the Total Environment*, 913(October 2023), 169790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169790>.
- Zhang, M., & Yu, S. (2025). A review on the preparedness of Chinese maritime law education for emerging industry and technology trends: Sustainable net-zero shipping , maritime digitalization , and application of artificial intelligence technologies. *Sustainable Futures*, 9(May), 100752. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100752>.
- Zhou, X., Huang, Z., Xia, T., Zhang, X., Duan, Z., Wu, J., & Zhou, G. (2025). The integrated application of big data and geospatial analysis in maritime transportation safety management : A comprehensive review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 138(February), 104444. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104444>.
- Zu, M., Garne, K., & Ros, A. (2024). Seakeeping criteria revisited. *Ocean Engineering*, 297(October 2023). <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116785>.