

Integrasi Sistem Informasi Geografis, Maritime Domain Awareness, dan Penataan Ruang Laut sebagai Decision Support System Keamanan Maritim Nasional Indonesia

Yeni Rahmawati^{1*}, Muhammad Risahdi², Ferdinand Hasudungan Siagian³, Nefra Firdaus⁴, Harri Dolli Hutabarat⁵, Yuniar⁶, Lukman Yudho Prakoso⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

yeni.rahmawati@km.idu.ac.id^{1*}, muhammad.risahdi@km.idu.ac.id², fhgian@gmail.com³,
nefra.firdaus@idu.ac.id⁴, harri.dolli@idu.ac.id⁵, yuniar@idu.ac.id⁶, lukman.prakoso@idu.ac.id⁷

*Corresponding Author

Article Info

Article history:

Received : 07 Juli, 2026

Revised : 07 Juli, 2026

Accepted : 08 Juli, 2026

Kata Kunci:

Arsitektur Federative;
Decision Support System;
Keamanan Maritim;
Maritime Domain Awareness;
Penataan Ruang Laut;
Sistem Informasi Geografis.

Abstrak

Indonesia menghadapi ancaman keamanan maritim yang bersifat multidimensi dan spasial, mencakup *illegal fishing*, penyelundupan, perdagangan manusia, pencemaran laut, pelanggaran wilayah, bencana pesisir, risiko siber, dan konflik pemanfaatan ruang laut. Indonesia juga telah memiliki berbagai sistem digital sektoral yang beroperasi secara terpisah: OSS, CEISA, INSW/NLE, AIS, VTS, InaRISK, dan KKPRL. Artikel ini menganalisis integrasi Sistem Informasi Geografis (SIG), *Maritime Domain Awareness* (MDA), dan penataan ruang laut sebagai *Decision Support System* (DSS) untuk memperkuat keamanan maritim nasional. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif melalui studi literatur, analisis kebijakan, dan pemodelan konseptual. Kerangka analisis mengacu pada matriks keamanan maritim Christian Bueger yang menghubungkan *sea power*, *marine safety*, *blue economy*, dan *resilience*. Artikel ini berargumen bahwa ketiga konsep membentuk DSS melalui relasi hierarkis: SIG berperan sebagai platform integrasi geospasial, MDA sebagai proses pembentukan kesadaran situasional lintas sektoral, dan penataan ruang laut sebagai instrumen legalitas dan pengendalian yang memberi konteks spasial bagi interpretasi ancaman. Hasil kajian merekomendasikan arsitektur federatif dan interoperabel di mana sistem-sistem digital sektoral tidak perlu dilebur, melainkan dihubungkan melalui standar metadata, API, katalog data, data exchange layer, hak akses bertingkat, dan tata kelola keamanan siber. Roadmap empat tahap menuju Indonesia Emas 2045 diusulkan: fondasi interoperabilitas (2025–2030), integrasi operasional lintas fungsi (2030–2035), analitik prediktif berbasis AI (2035–2040), dan DSS maritim nasional adaptif (2040–2045).

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau, garis pantai sepanjang 99.093 km, dan luas perairan mencapai 6,4 juta km². Posisi geografis ini menempatkan Indonesia sebagai poros maritim global yang strategis bagi pertahanan, ekonomi, konektivitas, sumber daya alam, dan keberlanjutan ekosistem laut. Kompleksitas spasial tersebut juga menciptakan kerentanan yang signifikan. Ancaman

keamanan maritim Indonesia bersifat multidimensi: meliputi *illegal fishing*, penyelundupan, perdagangan manusia, pencemaran laut, pelanggaran wilayah, konflik pemanfaatan ruang laut, kecelakaan pelayaran, bencana pesisir, dan gangguan siber terhadap infrastruktur maritim (Bueger, 2015; Germond, 2015). Ancaman-ancaman ini bergerak mengikuti jalur kapal, musim, pola pelabuhan, dan kondisi cuaca, sehingga penanganannya membutuhkan sistem analisis berbasis lokasi yang mampu membaca pola, relasi antarvariabel, dan risiko secara terpadu.

Sistem Informasi Geografis (SIG) memiliki kapasitas strategis untuk menjawab kebutuhan tersebut. Secara teoritis, SIG merupakan sistem informasi yang dirancang untuk mengelola, menganalisis, dan menyajikan data berbasis lokasi atau referensi spasial (Longley et al., 2015). Dalam konteks keamanan maritim, SIG berfungsi melampaui pemetaan konvensional, sebagai sistem integrasi data, analisis spasial, visualisasi, dan rekomendasi keputusan. SIG dapat menghubungkan data *Automatic Identification System* (AIS), radar, citra satelit, drone, data izin pemanfaatan ruang laut, data risiko bencana, data hidrografi, dan data kepabeleanan dalam satu platform analitis (Patera et al., 2022; Rawson et al., 2022). Kemampuan ini menjadikan SIG sebagai komponen inti dalam pengembangan *Decision Support System* (DSS) keamanan maritim.

DSS didefinisikan sebagai sistem berbasis komputer yang mendukung pengambilan keputusan dalam situasi semi terstruktur melalui integrasi data, model analitik, dan antarmuka pengguna (Power, 2002). DSS tidak sekadar menyajikan data, melainkan menghasilkan rekomendasi berbasis analisis yang dapat ditindaklanjuti. Dalam keamanan maritim, DSS harus mampu memproses data dari berbagai sensor dan sistem, menganalisis pola ancaman, memetakan risiko, dan menghasilkan rekomendasi operasional bagi pengambil keputusan di berbagai tingkatan.

Maritime Domain Awareness (MDA) merupakan konsep yang menghubungkan kapabilitas pengawasan dengan proses pengambilan keputusan. Secara resmi, MDA didefinisikan sebagai "*effective understanding of anything associated with the maritime domain that could impact security, safety, economy, or environment*" (U.S. Department of Homeland Security, 2005). Bueger & Edmunds (2017) mengoperasionalkan MDA sebagai kemampuan memahami, mengawasi, dan merespons secara proaktif segala aktivitas di wilayah maritim secara lintas sektoral. Dengan demikian, MDA bukan sekadar pemantauan kapal, melainkan sistem kesadaran situasional yang menghubungkan pertahanan, keselamatan pelayaran, ekonomi biru, tata ruang laut, dan keamanan siber.

Penataan ruang laut menyediakan basis hukum dan spasial yang esensial bagi MDA dan DSS. Ehler dan Douvere (2009) mendefinisikan *marine spatial planning* (MSP) sebagai proses berbasis ekosistem untuk menganalisis dan mengalokasikan distribusi spasial dan temporal aktivitas manusia di wilayah laut guna mencapai tujuan ekologi, ekonomi, dan sosial. Douvere (2008) menegaskan bahwa MSP merupakan komponen kritis dalam kemajuan manajemen berbasis ekosistem di wilayah laut, memungkinkan pemerintah mendefinisikan secara spasial aktivitas yang sesuai maupun yang tidak sesuai dengan kapasitas daya dukung lingkungan. Dalam konteks keamanan, penataan ruang laut menetapkan fungsi, batas, dan aturan pemanfaatan ruang yang menentukan standar aktivitas yang sesuai atau menyimpang. Tanpa integrasi dengan MDA, MSP berisiko menjadi instrumen administratif semata (Reimer et al., 2023; Wen et al., 2022).

Artikel ini menggunakan matriks keamanan maritim Christian Bueger sebagai kerangka konseptual. Bueger (2015) memetakan keamanan maritim melalui empat dimensi: *sea power* (kedaulatan, pertahanan), *marine safety* (keselamatan pelayaran, SAR), *blue economy* (sumber daya laut, perdagangan, perikanan), dan *resilience* (ketahanan pesisir, mitigasi bencana). Germond (2015) secara komplementer

menekankan bahwa dimensi geopolitik keamanan maritim, termasuk pengendalian jalur pelayaran strategis, tidak dapat dipisahkan dari kapabilitas pengawasan berbasis data. Kerangka Bueger memungkinkan SIG dan MDA dipahami sebagai instrumen lintas dimensi yang menjembatani operasi pertahanan, keselamatan pelayaran, perlindungan sumber daya, dan mitigasi risiko secara simultan.

Indonesia telah memiliki berbagai sistem informasi maritim yang beroperasi secara sektoral: neraca sumber daya laut dan *ocean accounts* (KKP, 2025b; United Nations Statistics Division, 2021); InaRISK sebagai platform WebGIS risiko bencana (BNPB, 2022; UU. No 24 Tahun 2007, 2007); perizinan Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang Laut (KKPRL) dan E-SEA (KKP, 2025a; PP No 21 Tahun 2021, 2021); data dan layanan hidrooseanografi (Pushidrosal, 2023; UU No 32 Tahun 2014, 2014); prakiraan cuaca maritim (BMKG, 2024; UU No 31 Tahun 2009, 2009); AIS dan VTS Kementerian Perhubungan (Kemenhub, 2024; Permenhub PM 18 Tahun 2022, 2015); sistem informasi maritim TNI (Perpres No. 178 Tahun 2014, 2014); sistem perizinan berusaha OSS (BKPM, 2023; PP No 28 Tahun 2025, 2025); sistem kepabeanaan CEISA (DJBC, 2022; UU No 17 Tahun 2006, 2006); serta ekosistem logistik INSW/NLE (Kemenkeu, 2023). Keberadaan sistem-sistem ini merupakan modal penting, namun fragmentasi data, perbedaan standar, dan keterbatasan interoperabilitas mencegah terbentuknya DSS keamanan maritim yang koheren.

Keberadaan banyak sistem digital tidak berarti seluruh aplikasi perlu dilebur ke dalam satu sistem tunggal. Integrasi yang dibutuhkan adalah integrasi data dan fungsi strategis melalui arsitektur federatif. DSS keamanan maritim nasional tidak perlu menggantikan OSS, CEISA, INSW/NLE, Esea KKP, InaRISK, AIS, atau VTS, melainkan menghubungkan data terpilih dari sistem-sistem tersebut untuk mendukung analisis kepatuhan, deteksi ancaman, pengawasan ekonomi maritim, keselamatan pelayaran, dan pengendalian pemanfaatan ruang laut.

Kesenjangan penelitian yang ada bukan pada absennya sistem informasi maritim, melainkan pada belum tersedianya model arsitektur integrasi yang memungkinkan sistem-sistem tersebut beroperasi secara federatif sebagai DSS keamanan maritim yang koheren. Meskipun masing-masing konsep, SIG, MDA, dan penataan ruang laut, telah diteliti secara terpisah, belum ada kajian yang secara eksplisit menyusun kerangka integrasi ketiganya sebagai komponen DSS dalam konteks keamanan maritim Indonesia yang mencakup dimensi lintas sektoral secara komprehensif. Artikel ini bertujuan mengisi kesenjangan tersebut dengan: (1) menganalisis relasi konseptual antara SIG, MDA, dan penataan ruang laut sebagai komponen DSS; (2) memetakan fungsi sistem ke dalam dimensi matriks Bueger; (3) menyusun model arsitektur federatif dan interoperabel; serta (4) merumuskan roadmap pengembangan menuju Indonesia Emas 2045.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif dengan metode studi literatur, analisis kebijakan, dan pemodelan konseptual. Pendekatan ini dipilih karena tujuan utama artikel adalah menyusun kerangka integrasi konseptual antara SIG, MDA, penataan ruang laut, dan sistem data lintas Kementerian/Lembaga, bukan menguji model statistik atau melaporkan hasil empiris lapangan.

Sumber data terdiri atas tiga kelompok. Pertama, literatur akademik tentang *maritime security*, MDA, *marine spatial planning*, GIS, *vessel anomaly detection*, DSS, interoperabilitas geospasial, dan digital twin, yang diperoleh melalui Scopus, *Web of Science*, dan Google Scholar dengan kata kunci utama: *maritime domain awareness*, *marine*

spatial planning, geographic information systems, maritime security decision support system, geospatial interoperability, vessel anomaly detection, dan kombinasinya. Cakupan temporal literatur akademik dibatasi pada publikasi 2008–2026, dengan pengecualian sumber definitif (Ehler dan Douvere, 2009; Power, 2002; Turban, Jay E. Aronsori, 2005). Sumber dipilih berdasarkan relevansi terhadap pertanyaan penelitian, kualitas publikasi (jurnal terindeks internasional), dan kontribusi substantif terhadap kerangka konseptual. Kedua, dokumen kebijakan dan regulasi nasional yang relevan, termasuk Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, dan Peraturan Presiden yang mengatur sistem maritim nasional. Ketiga, informasi sistem dan platform nasional yang telah beroperasi atau sedang dikembangkan.

Penting untuk ditegaskan bahwa referensi situs web resmi lembaga pemerintah dalam artikel ini digunakan semata-mata sebagai data faktual dan kontekstual mengenai keberadaan, fungsi, dan perkembangan sistem informasi nasional yang relevan, bukan sebagai sumber akademik untuk membangun kerangka konseptual. Kerangka teoritis dan analitis artikel ini dibangun di atas literatur akademik terindeks dan dokumen kebijakan resmi bertanggal. Penggunaan sumber regulasi (Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Peraturan Presiden) sebagai referensi utama untuk mendeskripsikan sistem nasional diprioritaskan karena memiliki kekuatan hukum dan keterverifikasian yang lebih tinggi dibandingkan laman web yang dapat berubah sewaktu-waktu.

Analisis dilakukan melalui empat tahap berurutan. Pertama, identifikasi dimensi keamanan maritim berdasarkan kerangka Bueger. Kedua, pemetaan fungsi SIG, MDA, dan penataan ruang laut ke dalam setiap dimensi, termasuk analisis relasi dan hierarki antar ketiga konsep. Ketiga, analisis fungsi sistem berdasarkan mandat kelembagaan, mencakup data sumber daya, risiko bencana, pemantauan ruang laut, informasi pertahanan, pengawasan ekonomi maritim, logistik, kepabeanan, perizinan, keselamatan pelayaran, hidrografi, cuaca maritim, SAR, keamanan siber, dan analitik AI. Keempat, penyusunan model konseptual arsitektur federatif dan roadmap implementasi. Kerangka analisis dirumuskan sebagai alur konseptual sebagaimana gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Analisis Penelitian
(Sumber: Analisis Penulis, 2026)

HASIL DAN PEMBAHASAN

SIG sebagai Platform DSS Keamanan Maritim

Dalam literatur DSS, Power (2002) membedakan model driven DSS, data driven DSS, document driven DSS, dan communication driven DSS. Dalam konteks keamanan maritim, SIG berfungsi sebagai data driven dan model driven DSS secara bersamaan: ia mengelola data geospasial dari berbagai sensor sekaligus menjalankan model analitik untuk menghasilkan rekomendasi. Turban, Jay E. Aronsori (2005) menekankan bahwa DSS yang efektif harus memiliki komponen basis data, basis model, dan antarmuka pengguna yang terintegrasi di mana ketiganya terpenuhi dalam SIG modern yang dilengkapi geodatabase, model spasial, *cloud computing*, dan dashboard interaktif. Longley et al. (2015) menegaskan bahwa kekuatan analitik SIG terletak pada kemampuannya mengintegrasikan data dari berbagai sumber dalam referensi koordinat yang sama,

memungkinkan penemuan pola spasial yang tidak dapat teridentifikasi dari analisis data tunggal.

Sebagai DSS, SIG menjalankan empat fungsi utama. Pertama, integrasi data: menghubungkan AIS, radar, citra satelit, drone, data KKPRL, risiko bencana, cuaca maritim, hidrografi, kepabeanean, logistik, perizinan usaha, dan pencarian pertolongan dalam satu geodatabase atau data *exchange* layer. Kedua, analisis spasial: *overlay* spasial, *hotspot analysis*, *buffer*, *trajectory analysis*, *conflict use analysis*, *risk mapping*, *suitability analysis*, dan *anomaly detection* (Lee et al., 2024; Rawson et al., 2022). Ketiga, visualisasi: dashboard geospasial berisi peta kerawanan, peta konflik ruang laut, peta kapal mencurigakan, peta risiko bencana, peta arus barang, dan peta prioritas patroli (Davret et al., 2024; Patera et al., 2022). Keempat, rekomendasi: menghasilkan rekomendasi operasional yang dapat langsung ditindaklanjuti oleh pengambil keputusan.

Rawson et al., (2022) menunjukkan bahwa integrasi *Discrete Global Grid System* ke dalam analitik risiko maritim meningkatkan kemampuan penilaian risiko pada perairan dengan lalu lintas padat, temuan yang relevan untuk perairan strategis Indonesia seperti Selat Malaka, Laut Natuna Utara, Laut Sulawesi, Laut Arafura, dan Alur Laut Kepulauan Indonesia. (Huang et al., 2024) mengembangkan framework ekstraksi trajektori berbasis AIS yang dapat menjadi dasar analisis pola pergerakan kapal dan deteksi anomali secara *real time*.

MDA: Konsep, Komponen, dan Relevansi untuk Indonesia

MDA melampaui pemantauan posisi kapal. U.S. Department of Homeland Security (2005) mendefinisikan MDA sebagai pemahaman efektif atas segala sesuatu yang terkait dengan domain maritim yang dapat berdampak pada keamanan, keselamatan, ekonomi, atau lingkungan. Bueger & Edmunds (2017) menekankan bahwa MDA hanya dapat dicapai melalui koordinasi antara lembaga pertahanan, penegak hukum, otoritas pelabuhan, badan keselamatan pelayaran, lembaga lingkungan, otoritas bencana, serta pengelola sistem ekonomi dan logistik maritim.

Dalam konteks Indonesia, MDA perlu mencakup: pengawasan pertahanan dan kedaulatan wilayah, keselamatan pelayaran dan navigasi, perlindungan ekonomi biru, pengurangan risiko bencana pesisir, pengendalian pemanfaatan ruang laut, pengawasan kepabeanean, kepatuhan perizinan, arus logistik pelabuhan, dan perlindungan infrastruktur maritim dari risiko siber. Komponen teknis MDA meliputi sensor layer, data *fusion layer*, *analytic layer*, dan *decision support layer*. Wolsing et al. (2022), Ribeiro et al. (2023), dan Stach et al. (2023) menunjukkan bahwa deteksi anomali berbasis AIS dan VTS paling efektif ketika menggabungkan pendekatan statistik, aturan operasional, dan pembelajaran mesin secara terpadu.

Kerangka Bueger membantu memastikan cakupan MDA tetap komprehensif. Data pertahanan mendukung dimensi *sea power*. Data AIS, VTS, hidrografi, cuaca maritim, dan SAR mendukung *marine safety*. Data *ocean accounts*, KKPRL, OSS (PP No 28 Tahun 2025, 2025), CEISA (UU No 17 Tahun 2006, 2006), INSW/NLE (Kemenkeu, 2023), dan kepabeanean mendukung *blue economy*. Data InaRISK (BNPB, 2022; UU. No 24 Tahun 2007, 2007), cuaca ekstrem (BMKG, 2024; UU No 31 Tahun 2009, 2009), kawasan konservasi, dan jalur evakuasi mendukung *resilience*. Dengan demikian, MDA dalam DSS tidak hanya memantau kapal, tetapi membaca situasi maritim lintas dimensi secara simultan.

Penataan Ruang Laut sebagai Instrumen Keamanan Maritim

Penataan ruang laut memberi kontribusi penting yang sering kurang terlihat dalam diskusi keamanan maritim. Ia menyediakan basis hukum dan spasial untuk mendefinisikan aktivitas yang seharusnya terjadi di setiap zona laut. (Douvere, 2008)

menunjukkan bahwa MSP merupakan instrumen esensial untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan ekonomi, sosial, dan ekologis di wilayah laut, sekaligus menjadi mekanisme untuk mengidentifikasi dan mengelola konflik antarpemanfaatan ruang sebelum konflik tersebut terwujud di lapangan. Tanpa basis ini, MDA tidak memiliki tolak ukur untuk menilai apakah suatu aktivitas merupakan ancaman, pelanggaran, atau pemanfaatan yang sah.

Galparsoro et al. (2021) menunjukkan bahwa operasionalisasi jasa ekosistem dalam MSP memungkinkan konflik antarpemanfaatan ruang diidentifikasi secara spasial dan kuantitatif. Pataki & Kitsiou (2022) menegaskan bahwa GIS dan *multi criteria analysis* dapat digunakan untuk menilai intensitas konflik aktivitas laut. Dalam konteks Indonesia, data KKPR, rencana tata ruang, AIS, citra satelit, neraca sumber daya laut, data perizinan usaha, dan informasi pertahanan dapat dioverlay untuk menilai kesesuaian aktivitas terhadap fungsi ruang laut. Reimer et al. (2023) menekankan perlunya instrumen penilaian kuantitatif untuk mengukur kualitas implementasi MSP.

Davret et al. (2024) menunjukkan bahwa *ocean geoportal* menjadi instrumen penting dalam transformasi digital perencanaan laut global. Indonesia memiliki peluang mengembangkan geoportal maritim nasional yang menghubungkan KKPR, rencana tata ruang, neraca sumber daya laut, informasi risiko bencana, data keamanan maritim, dan data legalitas kegiatan ekonomi. Namun, Wen et al. (2022) mengidentifikasi bahwa hambatan implementasi MSP di Indonesia terutama terletak pada koordinasi lintas K/L dan regulasi yang tumpang tindih. Keberhasilan integrasi tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada reformasi tata kelola.

Relasi Konseptual: SIG, MDA, dan Penataan Ruang Laut sebagai DSS

Kontribusi utama artikel ini adalah menempatkan SIG, MDA, dan penataan ruang laut sebagai tiga komponen yang saling bergantung dalam DSS keamanan maritim, bukan tiga sistem yang beroperasi secara independen. SIG berperan sebagai platform integrasi geospasial: menerima, menyimpan, mengolah, dan menyajikan data dari berbagai sumber dalam referensi koordinat yang sama. Tanpa SIG sebagai platform, data AIS, citra satelit, KKPR, OSS, CEISA, INSW/NLE, dan risiko bencana hanya menjadi informasi sektoral yang sulit dianalisis secara terpadu.

MDA berperan sebagai proses pembentukan *situational awareness*: mengubah data terintegrasi dari SIG menjadi pemahaman situasional yang dapat ditindaklanjuti. Proses ini menjawab pertanyaan operasional: kapal mana yang mencurigakan? Zona mana yang rawan pelanggaran? Arus barang mana yang tidak wajar? Izin apa yang terkait dengan aktivitas tertentu? Aset mana yang harus diprioritaskan untuk respons?, sedangkan Penataan ruang laut berperan sebagai instrumen legalitas dan pengendalian spasial: menyediakan batas, fungsi, dan kriteria kesesuaian ruang sehingga MDA dapat menilai deviasi sebagai risiko, pelanggaran, atau ancaman.

Dengan demikian, DSS tidak hanya menjawab di mana aktivitas terjadi, tetapi juga apakah aktivitas tersebut sesuai ruang, apa risikonya, apakah legalitas perizinannya terpenuhi, siapa pemangku mandatnya, dan tindakan apa yang perlu diprioritaskan. Relasi ini menunjukkan bahwa sistem digital sektoral tidak perlu dilebur. OSS tetap menjadi sistem perizinan berusaha, CEISA tetap menjadi sistem pelayanan kepabeanan, INSW/NLE tetap menjadi ekosistem logistik, KKPR tetap menjadi instrumen kesesuaian pemanfaatan ruang laut, dan InaRISK tetap menjadi sumber informasi risiko bencana. DSS geospasial bekerja sebagai lapisan integrasi dan analitik yang membaca data strategis dari sistem-sistem tersebut sesuai hak akses dan kebutuhan keputusan.

Tabel 1. Pemetaan Dimensi Keamanan Maritim terhadap Fungsi SIG-MDA dalam DSS

Dimensi Keamanan Maritim	Fokus Keamanan	Fungsi SIG-MDA	Output DSS
<i>Sea Power</i>	Kedaulatan, pertahanan, patroli wilayah	Deteksi kapal asing, anomali AIS, pelanggaran wilayah, <i>surveillance</i> pulau terluar	Peta kerawanan, rekomendasi patroli, peringatan dini ancaman pertahanan
<i>Marine Safety</i>	Keselamatan pelayaran, navigasi, SAR	Integrasi AIS, VTS, cuaca maritim, hidrografi, rute SAR berbasis GIS	Dashboard pelayaran, rute aman, peringatan cuaca, prioritas SAR
<i>Blue Economy</i>	Sumber daya laut, perikanan, perdagangan, konservasi	Neraca sumber daya laut, KKPRL, OSS, CEISA, INSW/NLE, monitoring perikanan (Trenggono et al., 2025)	Peta konflik pemanfaatan, peringatan pelanggaran izin, prioritas pengawasan ekonomi
<i>Resilience</i>	Ketahanan pesisir, mitigasi bencana, perlindungan ekosistem	InaRISK (BNPB, 2022; UU. No 24 Tahun 2007, 2007), data cuaca ekstrem, batimetri, kawasan konservasi, jalur evakuasi	Peta risiko bencana, rekomendasi mitigasi, prioritas perlindungan infrastruktur

(Sumber: Analisis penulis, 2026)

Arsitektur Federatif Sistem Geospasial Keamanan Maritim Nasional

Model integrasi yang tepat bukan peleburan seluruh sistem maritim ke dalam satu aplikasi tunggal, melainkan arsitektur federatif. Dalam model ini, setiap sistem tetap dikelola oleh instansi pemilik mandat, tetapi terhubung melalui standar interoperabilitas yang disepakati bersama. Pendekatan monolitik berisiko menimbulkan persoalan kelembagaan, keamanan, teknis, dan hukum karena data pertahanan, kepabeaan, keselamatan, lingkungan, dan perizinan memiliki klasifikasi serta kebutuhan akses yang berbeda.

Untuk memperjelas model integrasi yang diusulkan, arsitektur federatif DSS geospasial keamanan maritim nasional dapat dimodelkan dalam lima lapis fungsional. Model ini tidak menempatkan sistem sektoral seperti OSS, CEISA, INSW/NLE, KKPRL, InaRISK, AIS, VTS, maupun data pertahanan sebagai aplikasi yang harus dilebur ke dalam satu sistem tunggal. Sebaliknya, setiap sistem tetap berjalan sesuai mandat kelembagaannya, sedangkan data strategis yang relevan dihubungkan melalui lapisan interoperabilitas, analitik, keputusan, serta tata kelola keamanan. Dengan pendekatan ini, transformasi data berlangsung secara bertahap dari data mentah sektoral menjadi informasi, pengetahuan situasional, dan rekomendasi keputusan strategis. Model arsitektur tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur Federatif DSS Geospasial Keamanan Maritim Nasional
(Sumber: Analisis penulis, 2026)

Gambar 2 menunjukkan bahwa lapis pertama berfungsi sebagai sumber data yang tetap berada pada sistem sektoral masing-masing. Lapis kedua menyediakan mekanisme interoperabilitas melalui metadata, standar OGC, *Application Programming Interface* (API)/*Representational State Transfer* (REST), *catalog service*, *data exchange gateway*, validasi data, dan hak akses bertingkat. Lapis ketiga menjalankan analitik spasial dan prediktif, seperti *overlay spasial*, *risk mapping*, *conflict use analysis*, *trajectory analysis*, *vessel anomaly detection*, *predictive patrol*, dan *AI based alert*. Lapis keempat menerjemahkan hasil analitik menjadi keluaran keputusan melalui dashboard MDA nasional, peta kerawanan, peringatan dini, rekomendasi patroli, prioritas pengawasan, dan dukungan operasi. Lapis kelima memastikan seluruh proses berjalan dalam tata kelola yang aman melalui kebijakan, koordinasi antar K/L, keamanan siber, audit trail, klasifikasi informasi, serta evaluasi dan pembaruan sistem. Bagian ini memperjelas bahwa arsitektur federatif tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga kelembagaan. Keberhasilan DSS geospasial keamanan maritim nasional bergantung pada kemampuan menghubungkan sistem sektoral tanpa mengambil alih mandatnya, sekaligus memastikan data yang dipertukarkan tetap relevan, aman, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Secara teknis, lapisan interoperabilitas dalam arsitektur tersebut perlu didukung oleh standar metadata SNI ISO 19115-1:2017 (Badan Standardisasi Nasional, 2017), katalog data nasional, OGC Web Map Service /WMS (OGC, 2006), Web Feature Service (WFS), GeoPackage, OGC API Features (OGC, 2022), REST API, *data exchange gateway*, dan validasi kualitas data. OGC (2022) menegaskan bahwa OGC API Features sebagai standar terbaru dirancang khusus untuk mendukung interoperabilitas data geospasial terdistribusi melalui arsitektur RESTful yang ringan dan mudah diimplementasikan. Pada saat yang sama, lapisan tata kelola dan keamanan perlu mengatur klasifikasi informasi, hak akses sesuai mandat kelembagaan, enkripsi, audit penggunaan data, dan keamanan siber. (IMO, 2025) menekankan bahwa *maritime cyber risk management* perlu mengidentifikasi, menganalisis, menilai, mengomunikasikan, dan memitigasi risiko siber sampai tingkat yang dapat diterima.

Dalam arsitektur ini, sistem seperti OSS, CEISA, INSW/NLE, KKPRL, InaRISK, AIS, VTS, dan data hidrografi tidak ditempatkan sebagai aplikasi yang harus disatukan secara fisik, melainkan sebagai node data dan layanan yang menyediakan elemen data terpilih, seperti legalitas usaha, status perizinan, manifest, arus barang, informasi kapal, risiko bencana, atau fungsi ruang laut, sesuai hak akses yang ditetapkan dalam *governance layer*. Prinsip minimal *necessary* data diterapkan agar integrasi tidak menambah beban birokrasi dan risiko keamanan siber.

Tabel 2. Model Fungsi Sistem dalam DSS Keamanan Maritim Nasional

Fungsi Sistem	Contoh Data	Kontribusi DSS	Dimensi Keamanan Maritim
Neraca sumber daya laut dan ocean accounts (KKP, 2025b; United Nations Statistics Division, 2021)	Ekosistem, stok ikan, kawasan konservasi, tekanan pemanfaatan	Penilaian nilai dan kerentanan sumber daya, deteksi tekanan berlebih	<i>Blue Economy, Resilience</i>
Informasi risiko bencana (InaRISK/BNPB)	Tsunami, abrasi, banjir pesisir, gempa bumi, cuaca ekstrem	Peta risiko, jalur evakuasi, prioritas perlindungan infrastruktur	<i>Resilience</i>
Pemantauan ruang laut (KKPRL; calon fungsi OMS/MSU)	Citra satelit, AIS, drone, data izin KKPRL, laporan lapangan, dan data pengembangan OMS/MSU	Deteksi pelanggaran zonasi, aktivitas tidak sesuai izin, dan tekanan pada ruang strategis	<i>Blue Economy, Sea Power</i>
Fusi informasi pertahanan (Pusinfomar TNI, Pushidrosal)	Data patroli, pergerakan kapal, sensor pertahanan, situasi maritim	Rekomendasi operasi, deteksi ancaman, perlindungan jalur strategis	<i>Sea Power, Marine Safety</i>
Pengawasan ekonomi maritim, logistik, dan kepabeanaan (CEISA, INSW/NLE, OSS)	Manifest, dokumen ekspor-impor, status perizinan, arus barang, lokasi penindakan	Deteksi pola penyelundupan, kepatuhan perizinan, analisis arus barang, prioritas patroli	<i>Sea Power, Blue Economy</i>
Keselamatan pelayaran (AIS, VTS, Kemenhub)	AIS, VTS, alur pelayaran, batimetri, data kapal	Dashboard MDA, rute aman, peringatan tabrakan	<i>Marine Safety</i>
Cuaca dan oseanografi (BMKG)	Prakiraan cuaca, gelombang, angin, arus laut	Peringatan dini cuaca ekstrem, rekomendasi operasi laut	<i>Marine Safety, Resilience</i>
Hidrografi (Pushidrosal)	Peta laut, kedalaman, bahaya navigasi, garis pantai	Navigasi aman, rute SAR, perencanaan operasi laut	<i>Marine Safety</i>
Pencarian dan pertolongan (Basarnas)	Posisi insiden, sumber daya SAR, jalur pencarian, cuaca	Optimasi rute SAR, koordinasi sumber daya, peringatan darurat	<i>Marine Safety, Resilience</i>
Keamanan siber maritim (IMO, 2025)	Log sistem, anomali jaringan, insiden siber maritim	Perlindungan infrastruktur kritis, deteksi intrusi, audit penggunaan data	<i>Sea Power</i>
Riset dan analitik AI (Hanmante et al., 2026; Li et al., 2025)	Model prediktif, dark vessel detection, anomali AIS, klasifikasi citra	Analitik prediktif, rekomendasi adaptif, peringatan otomatis	Semua dimensi

(Sumber: Analisis penulis, 2026)

Kesiapan Teknologi Pendukung: AI, Iot, Cloud Computing, dan Digital Twin

Arsitektur federatif yang diusulkan mendapat dukungan dari perkembangan teknologi transformasi digital, namun setiap teknologi memerlukan prasyarat kesiapan yang perlu dinilai dalam konteks Indonesia. Kejelasan mengenai kesiapan ini penting agar perencanaan roadmap bersifat realistis dan bertahap. *Artificial Intelligence* (AI) dapat

digunakan untuk *dark vessel detection* melalui fusi data SAR, optik, dan AIS. Li et al. (2025) menunjukkan bahwa kolaborasi sensor optik dan SAR dapat memperkuat deteksi kapal gelap secara signifikan. Hanmante et al. (2026) mengulas pentingnya teknik AI multimodal yang menggabungkan AIS, SAR, dan data optik untuk pengawasan maritim komprehensif. Namun, efektivitas AI di Indonesia sangat bergantung pada standarisasi data historis, kualitas label, mekanisme validasi manusia, dan regulasi penggunaan AI agar rekomendasi otomatis tidak menggantikan penilaian profesional dalam keputusan strategis.

Big Data diperlukan karena volume data maritim melampaui kapasitas pemrosesan konvensional. Lee et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi SAR dengan AIS dan V Pass meningkatkan kemampuan deteksi kapal, tetapi memerlukan infrastruktur komputasi yang memadai. *Cloud computing* mendukung penyimpanan dan pemrosesan lintas lembaga dengan skalabilitas elastis. IoT melalui buoy, sensor pesisir, radar pantai, dan sensor kualitas air meningkatkan kerapatan data, namun membutuhkan jaringan komunikasi yang stabil di wilayah pesisir dan pulau kecil. Digital twin dapat mensimulasikan skenario ancaman, kepadatan pelayaran, dan bencana pesisir, namun hanya reliabel apabila data dasar geospasial, hidrografi, cuaca, lalu lintas kapal, perizinan, dan rencana ruang laut telah akurat. Oleh karena itu, teknologi-teknologi ini lebih tepat diposisikan sebagai kapabilitas lanjutan pada tahap ketiga dan keempat roadmap, bukan sebagai prasyarat infrastruktur awal.

Tantangan Implementasi

Keberhasilan model federatif bergantung pada penyelesaian lima tantangan implementasi yang bersifat saling berkaitan. Pertama, tantangan interoperabilitas teknis: setiap sistem menggunakan standar data, format koordinat, frekuensi pembaruan, dan protokol komunikasi yang berbeda. Pengalaman internasional seperti pembangunan HELCOM Baltic Sea Portal (Davret et al., 2024) dan EMODnet di Eropa menunjukkan bahwa standar OGC (2006;2022) dan ISO 19115 (Badan Standardisasi Nasional, 2017) terbukti efektif sebagai jembatan interoperabilitas lintas organisasi.

Kedua, tantangan tata kelola data dan klasifikasi: data pertahanan, kepabeanan, logistik, keselamatan, lingkungan, perizinan usaha, dan risiko bencana tidak dapat dibuka dengan tingkat akses yang sama. Diperlukan kerangka hukum yang mengatur klasifikasi data, hak akses, data *sharing agreement*, dan audit penggunaan data lintas K/L. Ketiga, tantangan kapasitas sumber daya manusia: DSS geospasial membutuhkan personel yang memahami SIG, analitik data, keamanan siber, kebijakan maritim, logistik, kepabeanan, dan operasi lapangan, kombinasi kompetensi yang masih langka di Indonesia.

Keempat, tantangan keberlanjutan anggaran: infrastruktur federatif, sensor, *cloud*, keamanan siber, pemeliharaan data, dan integrasi API lintas instansi membutuhkan pembiayaan jangka panjang yang tidak tergantung pada siklus anggaran tahunan. Kelima, tantangan koordinasi kelembagaan: Wen et al. (2022) menunjukkan bahwa ego sektoral dan tumpang tindih kewenangan masih menjadi hambatan struktural dalam implementasi penataan ruang laut Indonesia. DSS geospasial memerlukan mekanisme koordinasi lintas K/L yang dilembagakan, bukan hanya koordinasi ad hoc. Selain itu, banyaknya sistem digital sektoral menuntut penerapan prinsip minimal *necessary* data agar integrasi tidak menambah beban birokrasi dan risiko keamanan.

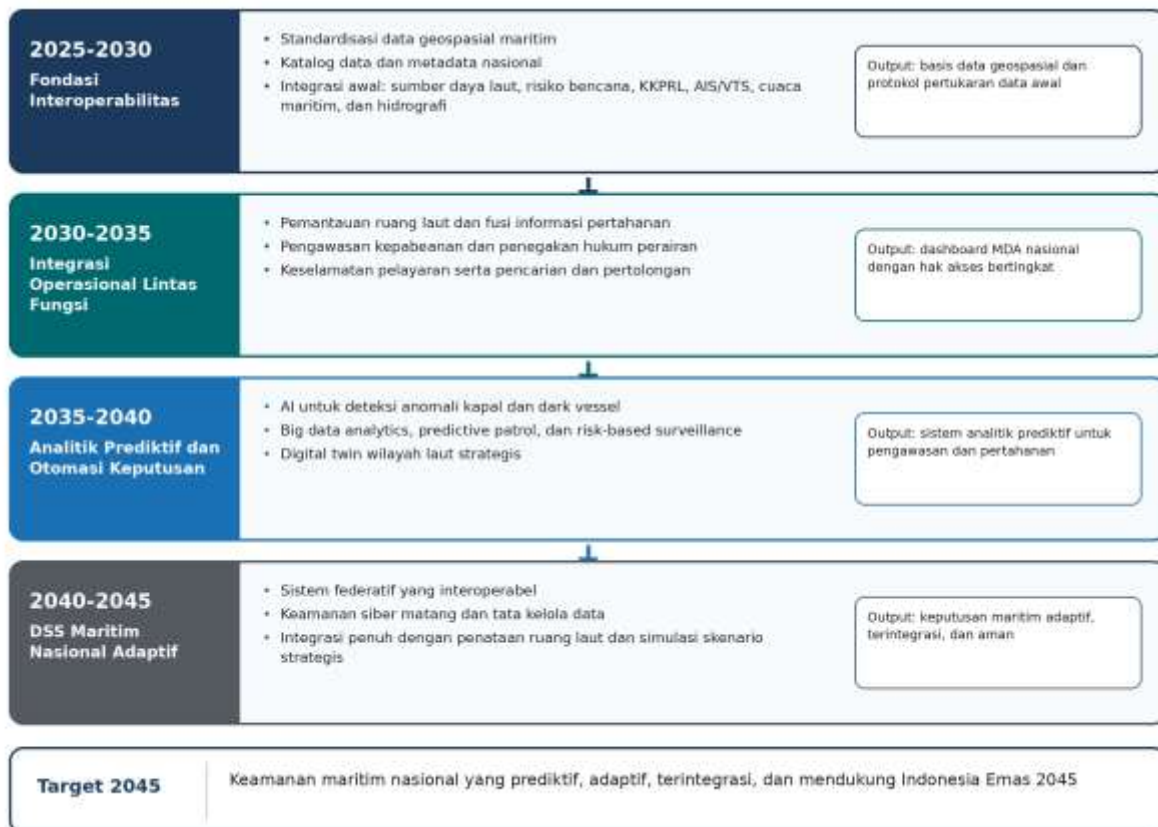
Roadmap Pengembangan Menuju Indonesia Emas 2045

Pengembangan DSS keamanan maritim berbasis SIG yang federatif dan interoperabel perlu dilakukan secara bertahap menuju Indonesia Emas 2045. Tahap pertama (2025–2030): Fondasi Interoperabilitas. Agenda mencakup standarisasi data geospasial maritim mengacu pada SNI ISO 19115-1:2017 (Badan Standardisasi Nasional, 2017) dan

OGC API Features (OGC, 2022), penyusunan katalog data dan metadata nasional, integrasi awal neraca sumber daya laut, InaRISK, KKPRL, AIS, VTS, informasi cuaca maritim, data hidrooseanografi, pemetaan kebutuhan integrasi data strategis dari OSS, CEISA, INSW/NLE, dan calon fungsi OMS/MSU, serta perumusan regulasi berbagi data lintas K/L.

Tahap kedua (2030–2035): Integrasi Operasional Lintas Fungsi. Pemantauan ruang laut, fusi informasi pertahanan, pengawasan kepabeayan, logistik, keselamatan pelayaran, SAR, dan penegakan hukum perairan dihubungkan dalam dashboard MDA nasional dengan hak akses bertingkat. Unit koordinasi DSS maritim lintas K/L dioperasikan. Tahap ketiga (2035–2040): Analitik Prediktif dan Otomasi Keputusan. AI untuk *dark vessel detection*, anomali AIS, *predictive patrol*, *big data analytics*, *risk based surveillance*, *anomaly scoring*, dan digital twin wilayah laut strategis mulai dioperasikan. Indikator kuantitatif untuk mengukur efektivitas DSS dikembangkan sebagai instrumen evaluasi berkelanjutan.

Tahap keempat (2040–2045): DSS Maritim Nasional Adaptif. Sistem geospasial keamanan maritim diharapkan matang secara kelembagaan, interoperabel secara teknis, aman secara siber, terhubung penuh dengan penataan ruang laut, dan mampu mendukung simulasi skenario strategis sebagai landasan keputusan keamanan maritim nasional yang prediktif dan berbasis bukti dalam menyambut Indonesia Emas 2045.



Gambar 3. Roadmap Pengembangan DSS Geospasial Keamanan Maritim Nasional Menuju Indonesia Emas 2045

(Sumber: Analisis penulis, 2026)

Implikasi Strategis terhadap Keamanan Maritim Nasional

Integrasi SIG, MDA, dan penataan ruang laut memiliki implikasi strategis yang dapat dibedakan antara implikasi operasional jangka pendek-menengah dan implikasi struktural jangka panjang. Pada dimensi operasional: (1) Deteksi ancaman lebih akurat, data kapal, izin ruang, legalitas kegiatan, arus barang, ekosistem, risiko bencana, dan operasi dapat dibaca secara simultan sehingga anomali dapat diidentifikasi dengan

konteks yang lebih kaya; (2) Efisiensi patroli meningkat, prioritas patroli ditentukan berbasis risiko dan pola historis, bukan rutinitas, sehingga alokasi sumber daya pengawasan lebih optimal (Stach et al., 2023); (3) Penegakan KKPRL lebih efektif, deviasi aktivitas dari zonasi yang ditetapkan dapat dideteksi secara otomatis melalui overlay AIS dan citra satelit dengan layer KKPRL; (4) Keselamatan pelayaran meningkat melalui integrasi real time AIS, VTS, cuaca maritim, dan hidrografi.

Pada dimensi struktural jangka panjang: (5) Pengawasan ekonomi maritim lebih kuat, data kepabeanan, logistik, perizinan berusaha, dan pergerakan kapal dapat dianalisis secara terpadu tanpa mengambil alih sistem sektoral, mendukung visi *blue economy* Indonesia (Trenggono et al., 2025); (6) Keputusan strategis berbasis bukti, pimpinan dapat mengakses dashboard MDA nasional yang menyajikan situasi maritim lintas dimensi secara komprehensif sebagai dasar keputusan jangka panjang yang konsisten dan terdokumentasi.

KESIMPULAN, REKOMENDASI, DAN KETERBATASAN

Artikel ini menunjukkan bahwa SIG, MDA, dan penataan ruang laut membentuk tiga komponen yang saling melengkapi dalam DSS keamanan maritim nasional. SIG menyediakan platform integrasi geospasial, MDA menghasilkan *situational awareness* melalui proses lintas sektoral, dan penataan ruang laut memberikan konteks hukum spasial yang memungkinkan MDA mengklasifikasikan aktivitas sebagai sesuai, menyimpang, atau berisiko. Kerangka Bueger berguna untuk memastikan DSS yang dibangun mencakup *sea power*, *marine safety*, *blue economy*, dan *resilience* secara simultan dan komprehensif.

Rekomendasi utama artikel ini adalah bahwa Indonesia tidak perlu membangun satu sistem informasi maritim tunggal. Pilihan yang lebih tepat, secara teknis, kelembagaan, dan hukum, adalah arsitektur federatif dan interoperabel. Setiap sistem tetap dikelola oleh instansi pemilik mandat, tetapi dihubungkan melalui standar metadata, API, katalog data nasional, data *exchange layer*, layanan OGC (OGC, 2006, 2022), standar SNI ISO 19115-1:2017 (Badan Standardisasi Nasional, 2017), hak akses bertingkat, dan tata kelola keamanan siber. Sistem digital sektoral seperti OSS (BKPM, 2023; PP No 28 Tahun 2025, 2025), CEISA (UU No 17 Tahun 2006, 2006), INSW/NLE (Kemenkeu, 2023), KKPRL (KKP, 2025a; PP No 21 Tahun 2021, 2021), InaRISK (BNPB, 2022; UU. No 24 Tahun 2007, 2007), AIS, VTS, dan sistem pengembangan OMS/MSU sebaiknya diposisikan sebagai sumber data atau layanan interoperabel, bukan sebagai aplikasi yang harus dilebur. Regulasi berbagi data lintas K/L, pembentukan atau penguatan unit koordinasi DSS maritim nasional, dan investasi kapasitas SDM geospasial perlu diprioritaskan sebagai prasyarat nonteknis yang menentukan keberhasilan model ini.

Keterbatasan artikel ini terletak pada sifatnya yang konseptual. Model yang diusulkan belum diuji melalui data empiris, simulasi spasial, atau studi kasus wilayah spesifik. Penelitian lanjutan perlu: (1) menguji kerangka ini pada wilayah strategis seperti Selat Malaka, Laut Natuna Utara, Laut Sulawesi, Laut Arafura, atau Alur Laut Kepulauan Indonesia; (2) mengembangkan indikator kuantitatif untuk mengukur efektivitas DSS berbasis SIG terhadap efisiensi patroli, kecepatan deteksi ancaman, kepatuhan KKPRL, keselamatan pelayaran, pengawasan ekonomi maritim, dan ketahanan pesisir; serta (3) menganalisis aspek tata kelola dan regulasi berbagi data antar K/L sebagai prasyarat nonteknis implementasi.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Home - BSN - Badan Standardisasi Nasional* -

- National Standardization Agency of Indonesia - Setting the Standard in Indonesia ISO SNI WTO*. <https://www.bsn.go.id/>
- BKPM. (2023). *OSS RBA - Sistem Perizinan Berusaha Terintegrasi Secara Elektronik*. <https://oss.go.id/id>
- BMKG. (2024). *Prakiraan Cuaca Maritim Indonesia - BMKG*. <https://maritim.bmkg.go.id/>
- BNPB. (2022). *inaRISK*. <https://inarisk.bnpb.go.id/>
- Bueger, C. (2015). What is maritime security? *Marine Policy*, 53, 159–164. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2014.12.005>
- Bueger, C., & Edmunds, T. (2017). Beyond seablindness: a new agenda for maritime security studies. *International Affairs*, 93(6), 1293–1311. <https://doi.org/10.1093/IA/IIX174>
- Davret, J., Trouillet, B., & Toonen, H. (2024). The digital turn of marine planning: a global analysis of ocean geoportals. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 26(1), 75–90. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2023.2283081>
- DJBC. (2022). *Situs Resmi Direktorat Jenderal Bea dan Cukai - Layanan Pabean & Cukai Indonesia*. <https://www.beacukai.go.id/>
- Douvere, F. (2008). The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management. *Marine Policy*, 32(5), 762–771. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2008.03.021>
- Ehler dan Douvere. (2009). *Marine spatial planning A Step-by-Step Approach*.
- Galparsoro, I., Pınarbaşı, K., Gissi, E., Culhane, F., Gacutan, J., Kotta, J., Cabana, D., Wanke, S., Aps, R., Bazzucchi, D., Cozzolino, G., Custodio, M., Fetissoff, M., Inácio, M., Jernberg, S., Piazzzi, A., Paudel, K. P., Ziemba, A., & Depellegrin, D. (2021). Operationalisation of ecosystem services in support of ecosystem-based marine spatial planning: insights into needs and recommendations. *Marine Policy*, 131, 104609. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2021.104609>
- Germond, B. (2015). The geopolitical dimension of maritime security. *Marine Policy*, 54, 137–142. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2014.12.013>
- Hanmante, S., Kolhar, S., & Patil, S. (2026). A comprehensive review of multimodal artificial intelligence techniques in maritime surveillance using AIS, SAR, and optical data fusion. *Array*, 30, 100931. <https://doi.org/10.1016/J.ARRAY.2026.100931>
- Huang, I. L., Lee, M. C., Chang, L., & Huang, J. C. (2024). Development and Application of an Advanced Automatic Identification System (AIS)-Based Ship Trajectory Extraction Framework for Maritime Traffic Analysis. *Journal of Marine Science and Engineering* 2024, Vol. 12, Page 1672, 12(9), 1672. <https://doi.org/10.3390/JMSE12091672>
- IMO. (2025). *GUIDELINES ON MARITIME CYBER RISK MANAGEMENT*. <https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/MS-C-FAL.1-Circ.3-Rev.3.pdf>
- Kemenhub. (2024). *Home - Pelayanan Pendaftaran Kapal*. <https://kapal.dephub.go.id/>
- Kemenkeu. (2023). *National Logistics Ecosystem Terobosan Dorong Performa Logistik*. <https://www.kemenkeu.go.id/informasi-publik/publikasi/berita-utama/National-Logistics-Ecosystem>
- KKP. (2025a). *E-SEA*. <https://e-sea.kkp.go.id/>
- KKP. (2025b). *Ocean Accounts Indonesia*. <https://sidako.kkp.go.id/oceanaccounts/nasional>
- Lee, Y. K., Jung, H. C., Kim, K., Jang, Y., Ryu, J. H., & Kim, S. W. (2024). Assessment of Maritime Vessel Detection and Tracking Using Integrated SAR Imagery and AIS/V-Pass Data.

- Ocean Science Journal* 2024 59:2, 59(2), 27-. <https://doi.org/10.1007/S12601-024-00153-2>
- Li, F., Yu, K., Yuan, C., Tian, Y., Yang, G., Yin, K., & Li, Y. (2025). Dark Ship Detection via Optical and SAR Collaboration: An Improved Multi-Feature Association Method Between Remote Sensing Images and AIS Data. *Remote Sensing* 2025, Vol. 17, Page 2201, 17(13), 2201. <https://doi.org/10.3390/RS17132201>
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (2015). *Geo Graphic Information*. https://books.google.com/books/about/Geographic_Information_Science_and_Systems.html?hl=id&id=C_EwBgAAQBAJ
- OGC. (2006). *Web Map Service - Open Geospatial Consortium*. <https://www.ogc.org/standards/wms/>
- OGC. (2022). *OGC API Features Standard | REST API for Geospatial Features*. <https://www.ogc.org/standards/ogcapi-features/>
- Pataki, Z., & Kitsiou, D. (2022). Marine Spatial Planning: Assessment of the intensity of conflicting activities in the marine environment of the Aegean Sea. *Ocean & Coastal Management*, 220, 106079. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2022.106079>
- Patera, A., Pataki, Z., & Kitsiou, D. (2022). Development of a webGIS Application to Assess Conflicting Activities in the Framework of Marine Spatial Planning. *Journal of Marine Science and Engineering* 2022, Vol. 10, Page 389, 10(3), 389. <https://doi.org/10.3390/JMSE10030389>
- Permenhub PM 18 Tahun 2022. (2015). Berita Negara. *SISTEM IDENTIFIKASI OTOMATIS BAGI KAPAL YANG MELAKUKAN KEGIATAN DI WILAYAH PERAIRAN INDONESIA, Nomor 65(879)*, 2004–2006.
- Perpres No. 178 Tahun 2014. (2014). *Badan Keamanan Laut*. (2).
- Power, D. J. . (2002). *Decision support systems : concepts and resources for managers*. 251.
- PP No 21 Tahun 2021. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang. *Peraturan.Bpk.Go.Id*, (087066), 1. <https://www.jogloabang.com/lingkungan/pp-21-2021-penyelenggaraan-penataan-ruang>
- PP No 28 Tahun 2025. (2025). *Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko*. (253386).
- Pushidrosal. (2023). *Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut (Pushidrosal)*. <https://www.pushidrosal.id/>
- Rawson, A., Sabeur, Z., & Brito, M. (2022). Intelligent geospatial maritime risk analytics using the Discrete Global Grid System. *Big Earth Data*, 6(3), 294–322. <https://doi.org/10.1080/20964471.2021.1965370>
- Reimer, J. M., Devillers, R., Zuercher, R., Groulx, P., Ban, N. C., & Claudet, J. (2023). The Marine Spatial Planning Index: a tool to guide and assess marine spatial planning. *Npj Ocean Sustainability* 2023 2:1, 2(1), 15-. <https://doi.org/10.1038/s44183-023-00022-w>
- Ribeiro, C. V., Paes, A., & Oliveira, D. de. (2023). AIS-based maritime anomaly traffic detection: A review. *Expert Systems with Applications*, 231, 120561. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2023.120561>
- Stach, T., Kinkel, Y., Constapel, M., & Burmeister, H. C. (2023). Maritime Anomaly Detection for Vessel Traffic Services: A Survey. *Journal of Marine Science and Engineering* 2023, Vol. 11, Page 1174, 11(6), 1174. <https://doi.org/10.3390/JMSE11061174>
- Trenggono, S. W., Meilano, I., Latief, H., Simamora, D. C., Sabina, A., Arthathiani, F. Y., & Radiarta, I. N. (2025). Developing a marine and fisheries blue economy index for Indonesia: A comprehensive assessment framework. *Sustainable Futures*, 10,

101440. <https://doi.org/10.1016/J.SFTR.2025.101440>
- Turban, Jay E. Aronsori, and T.-P. L. (2005). Decision Support Systems and Closed-Loop. *Diabetes Technology and Therapeutics*, 24(S1), S58–S75. <https://doi.org/10.1089/dia.2022.2504>
- U.S. Department of Homeland Security. (2005). *THE NATIONAL STRATEGY FOR MARITIME SECURITY*.
- United Nations Statistics Division. (2021). *From experimental ocean accounts to SEEA-Ocean / System of Environmental Economic Accounting*. https://seea.un.org/events/experimental-ocean-accounts-seea-ocean?utm_source=chatgpt.com
- UU. No 24 Tahun 2007. (2007). *PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA-2--salinan-DEWAN PERWAKILAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA dan PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA*.
- UU No 17 Tahun 2006. (2006). *Kepabeanan*. 4(4), 650–654.
- UU No 31 Tahun 2009. (2009). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2009 Tentang Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika. *Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5058*, 1–60. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/38769/uu-no-31-tahun-2009>
- UU No 32 Tahun 2014. (2014). *UU Kelautan*. (pasal 25), pasal 25.
- Wen, W., Samudera, K., Adrianto, L., Johnson, G. L., Brancato, M. S., & White, A. (2022). Towards Marine Spatial Planning Implementation in Indonesia: Progress and Hindering Factors. *Coastal Management*, 50(6), 469–489. <https://doi.org/10.1080/08920753.2022.2126262>
- Wolsing, K., Roepert, L., Bauer, J., & Wehrle, K. (2022). Anomaly Detection in Maritime AIS Tracks: A Review of Recent Approaches. *Journal of Marine Science and Engineering* 2022, Vol. 10, Page 112, 10(1), 112. <https://doi.org/10.3390/JMSE10010112>