

Desain Model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi untuk Mendukung Keamanan Maritim Indonesia

Ivanhoe¹, Asep Iwa Soemantri², Rudyanto³, Nefra Firdaus⁴, Harri Dolli
Hutabarat⁵, Yuniar⁶, Lukman Yudho Prakoso⁷

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

ivanhoe@km.idu.ac.id¹, iwasoemantri@gmail.com², rudyanto@idu.ac.id³,
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 : 06 Juli, 2026

Revised : 07 Juli, 2026

Accepted : 07 Juli, 2026

Kata Kunci:

Big Data Geospasial;
Interoperabilitas Data;
Kecerdasan Buatan;
Keamanan Maritim;
Sistem Informasi Geospasial.

Abstrak

Wilayah laut Indonesia yang mencapai 3,1 juta km² dengan tambahan Zona Ekonomi Eksklusif seluas 2,7 juta km² menuntut kapasitas pengawasan yang luas, sementara data maritim yang dimiliki berbagai instansi seperti Bakamla, TNI Angkatan Laut, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Pushidrosal, serta Badan Informasi Geospasial masih dikelola secara tersendiri. Kondisi ini memunculkan duplikasi informasi dan lambatnya respons terhadap ancaman di laut. Artikel ini menyusun rancangan model Sistem Informasi Geospasial Nasional yang mengintegrasikan data lintas instansi guna mendukung keamanan maritim. Pendekatan yang digunakan adalah studi literatur dan analisis kebijakan terhadap regulasi tata kelola data geospasial nasional, dipadukan dengan kajian terhadap praktik integrasi data pada beberapa negara maritim. Hasil kajian menunjukkan bahwa model yang diusulkan terdiri atas empat lapis, yaitu lapis sumber data, lapis integrasi dan interoperabilitas, lapis analitik *big data* dan kecerdasan buatan, serta lapis diseminasi untuk pengambilan keputusan. Interoperabilitas dicapai melalui standar terbuka seperti *Web Map Service* dan *Web Feature Service* serta kebijakan Satu Data Indonesia. Kecerdasan buatan berperan pada deteksi anomali pergerakan kapal, klasifikasi objek dari citra satelit, dan prediksi titik rawan pelanggaran. Model ini diproyeksikan mempercepat waktu deteksi ancaman, mengurangi duplikasi anggaran pengadaan data, dan memperkuat basis bukti bagi pengambilan keputusan strategis pertahanan laut.

PENDAHULUAN

Sebagai negara kepulauan dengan lebih dari 17.000 pulau dan wilayah laut seluas 3,1 juta km² ditambah Zona Ekonomi Eksklusif 2,7 juta km², Indonesia menghadapi tantangan pengawasan yang tidak sebanding dengan jumlah aset patroli yang tersedia (Majalah Ilmiah Globe, 2024). Data kelautan sejauh ini dihimpun secara terpisah oleh instansi seperti Pushidrosal melalui *Indonesian Hydrographic Data Center*, Badan Informasi Geospasial, Bakamla, TNI Angkatan Laut, dan Kementerian Kelautan dan Perikanan, sehingga muncul duplikasi survei, perbedaan standar format, dan kesulitan berbagi pakai data saat operasi lintas lembaga berlangsung (Novianto et al., 2024). Ketidakselarasan semacam ini juga tercermin pada perlunya harmonisasi kebijakan interoperabilitas sebagaimana diatur dalam kebijakan Satu Data Indonesia dan regulasi Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik, yang hingga kini implementasinya di sektor kelautan belum berjalan penuh (Kusumah et al., 2022).

Perkembangan teknologi penginderaan jauh, *Automatic Identification System*, dan kecerdasan buatan sebenarnya membuka peluang besar untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Riset terbaru memperlihatkan bahwa integrasi data multisumber melalui algoritma prediktif dapat menaikkan akurasi deteksi kapal mencurigakan hingga di atas 90 persen dan memangkas waktu respons secara signifikan (Yusnaldy et al., 2025). Meski demikian, potensi ini belum termanfaatkan optimal karena arsitektur sistem informasi geospasial yang menyatukan seluruh instansi terkait belum tersedia secara baku. Artikel ini menjawab kekosongan tersebut dengan merancang model Sistem Informasi Geospasial Nasional yang mengintegrasikan data lintas instansi untuk mendukung keamanan maritim Indonesia, mencakup arsitektur sistem, sumber data, mekanisme interoperabilitas, analisis big data geospasial, pemanfaatan kecerdasan buatan, hingga manfaatnya bagi pengambilan keputusan strategis. Uraian berikutnya disusun mulai dari metode penelitian, hasil dan pembahasan yang membahas keenam aspek tersebut, kemudian ditutup dengan kesimpulan dan daftar pustaka.

METODE

Penelitian ini bersifat kualitatif dengan desain deskriptif-analitis, ditujukan untuk merumuskan model konseptual sistem informasi geospasial ketimbang menguji hipotesis secara statistik. Objek kajian adalah tata kelola data geospasial maritim di Indonesia, dengan fokus pada empat instansi utama pengelola data laut, yaitu Badan Informasi Geospasial, Pushidrosal, Bakamla, dan Kementerian Kelautan dan Perikanan, ditambah rujukan pada praktik TNI Angkatan Laut dalam operasi pengamanan perbatasan laut.

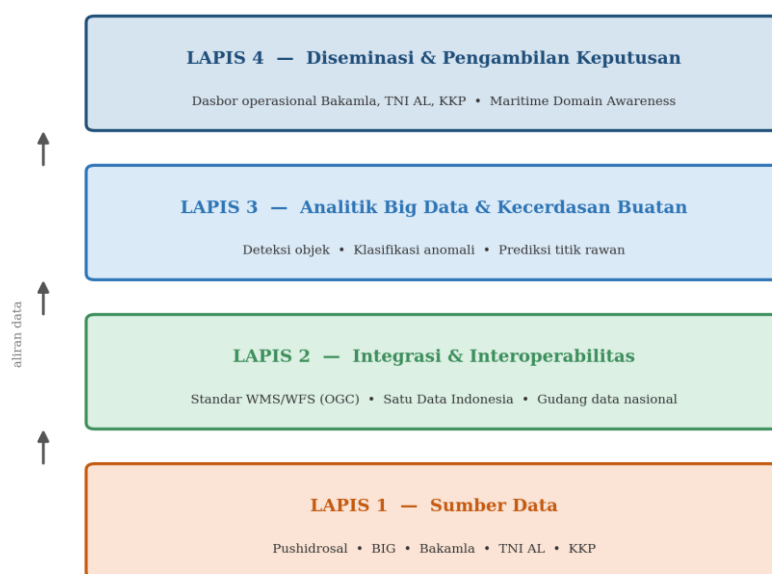
Pengumpulan data dilakukan melalui tiga jalur. Pertama, studi dokumen terhadap peraturan perundang-undangan yang relevan, antara lain Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial, Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Informasi Geospasial, Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia, serta Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2017 tentang Kebijakan Kelautan Indonesia. Kedua, kajian literatur terhadap artikel-artikel yang membahas interoperabilitas data spasial, big data geospasial, dan aplikasi kecerdasan buatan dalam pengawasan maritim, baik dari jurnal nasional maupun internasional. Ketiga, analisis komparatif terhadap arsitektur sistem sejenis yang sudah berjalan sebagian, seperti *Indonesian Hydrographic Data Center* milik Pushidrosal dan portal geoportal Kebijakan Satu Peta.

Analisis data menggunakan teknik triangulasi sumber, yaitu membandingkan temuan dari regulasi, literatur akademik, dan praktik eksisting untuk menyusun kerangka model yang koheren. Perumusan arsitektur mengikuti pendekatan berjenjang atau *layered architecture* yang umum digunakan dalam desain infrastruktur data spasial, kemudian diperkaya dengan komponen analitik *big data* dan kecerdasan buatan sesuai kebutuhan domain keamanan maritim. Validitas rancangan diperiksa melalui pencocokan dengan capaian empiris pada penelitian sejenis, misalnya tingkat akurasi deteksi objek berbasis YOLOv7 pada perairan Batam (Masril & Caniago, 2024) dan penerapan sistem multisensor pada kasus pengawasan Laut Natuna Utara (Kusumah et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Arsitektur Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi

Model yang diusulkan berbentuk arsitektur berjenjang yang terdiri dari empat lapis fungsional sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Lapis pertama adalah lapis sumber data, tempat seluruh instansi menyalurkan data mentah maupun data yang sudah diolah sesuai kewenangan masing-masing. Lapis kedua adalah lapis integrasi dan interoperabilitas, berfungsi menyeragamkan format, sistem koordinat, dan metadata sebelum data disimpan dalam gudang data nasional. Lapis ketiga adalah lapis analitik, tempat big data geospasial diproses dengan bantuan algoritma kecerdasan buatan untuk menghasilkan informasi siap pakai seperti peta anomali lalu lintas kapal atau titik rawan *illegal fishing*. Lapis keempat adalah lapis diseminasi dan pengambilan keputusan, yang menyajikan dasbor operasional bagi pengguna akhir di Bakamla, TNI Angkatan Laut, dan kementerian terkait.



Gambar 1. Arsitektur berjenjang empat lapis Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi
(Sumber: diolah penulis, 2026)

Pendekatan berjenjang ini sejalan dengan konsep interoperabilitas data yang menekankan sentralisasi manajemen tanpa menghapus kewenangan instansi pemilik data (Novianto et al., 2024). Pusat data yang dimaksud bukan basis data tunggal yang menggantikan sistem instansi, melainkan simpul penghubung atau hub yang menarik data melalui layanan web standar sehingga setiap instansi tetap menjadi penjaga data atau data steward atas informasi yang menjadi tanggung jawabnya. Desain semacam ini juga meminimalkan risiko kegagalan tunggal, karena gangguan pada satu instansi tidak melumpuhkan seluruh jaringan.

Pada tataran kelembagaan, arsitektur ini memerlukan satu badan koordinator lintas sektor yang berperan sebagai pengelola simpul integrasi. Badan Informasi Geospasial berpotensi mengisi peran tersebut mengingat mandatnya sebagai pembina data geospasial tingkat pusat dalam kerangka Satu Data Indonesia, meskipun pelaksanaannya masih menghadapi kendala sumber daya manusia, anggaran, dan aturan turunan yang belum lengkap. Keterlibatan Kementerian Pertahanan dan Pushidrosal dalam pemenuhan Data Geospasial Dasar wilayah laut menjadi salah satu langkah konkret yang dapat diperluas menjadi kerja sama formal antarlembaga dalam kerangka arsitektur ini.

Pilihan arsitektur berjenjang ini juga selaras dengan kajian tentang perlindungan infrastruktur maritim kritis yang menekankan bahwa keamanan laut modern tidak lagi ditopang oleh aset fisik semata, melainkan bergantung pada keandalan aliran informasi antarlembaga yang mengelola infrastruktur tersebut (Bueger, 2023). Dengan kata lain, arsitektur sistem informasi geospasial pada dasarnya menjadi infrastruktur kritis tersendiri yang harus dijaga ketersediaannya, sehingga perencanaan redundansi server, cadangan komunikasi data, dan prosedur pemulihan bencana perlu dimasukkan sejak tahap perancangan, bukan ditambahkan belakangan setelah sistem berjalan. Kajian mengenai penerapan kecerdasan buatan pada keamanan maritim juga menegaskan bahwa keberhasilan teknologi sangat ditentukan oleh kematangan arsitektur data yang menopangnya, karena algoritma secanggih apa pun tidak akan berguna apabila data yang mengalir ke dalamnya terlambat, tidak lengkap, atau tidak konsisten formatnya (Talpur, 2025).

Dibandingkan dengan sistem yang sudah berjalan sebagian, model ini memiliki perbedaan mendasar dari segi cakupan. *Indonesian Hydrographic Data Center* misalnya sudah berfungsi sebagai portal data hidrospasial di lingkup Pushidrosal, tetapi cakupannya masih terbatas pada data hidrografi dan belum menjangkau data pergerakan kapal maupun data intelijen dari instansi sipil seperti Bakamla dan Kementerian Kelautan dan Perikanan (Novianto et al., 2024). Begitu pula geoportal Kebijakan Satu Peta yang selama ini berhasil menyatukan data tata ruang darat antarkementerian, namun penerapannya untuk domain kelautan masih tertinggal dibandingkan domain daratan karena kompleksitas kewenangan di laut yang melibatkan aspek pertahanan, penegakan hukum, dan pengelolaan sumber daya secara bersamaan. Model yang diusulkan dalam artikel ini berupaya menutup jarak tersebut dengan menyatukan keempat lapis fungsional ke dalam satu kerangka yang secara khusus dirancang untuk domain keamanan maritim, sehingga kelebihan setiap sistem sektoral yang sudah ada tetap dipertahankan sambil menambahkan lapis analitik dan diseminasi yang selama ini belum tersedia secara terpadu. Perbedaan cakupan inilah yang menjadi kebaruan utama yang ditawarkan, sekaligus pembeda dari kajian-kajian sebelumnya yang umumnya membahas satu jenis data atau satu instansi secara terpisah.

Sumber Data

Sumber data pada model ini dikelompokkan menjadi lima kategori sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Kategori pertama adalah data hidrografi dan batimetri yang dikelola Pushidrosal melalui *Indonesian Hydrographic Data Center*, mencakup kedalaman laut, garis pantai, dan jalur pelayaran (Novianto et al., 2024). Kategori kedua adalah data pergerakan kapal, terutama dari *Automatic Identification System* yang direkam melalui stasiun pantai maupun satelit, dilengkapi data Vessel Monitoring System dari kapal perikanan berizin. Kategori ketiga adalah data penginderaan jauh berupa citra satelit optik dan radar, yang dapat mendeteksi kapal meskipun transpondernya dimatikan atau dark vessel, sebagaimana ditunjukkan pada penelitian deteksi kapal gelap melalui kolaborasi data optik dan *Synthetic Aperture Radar* (Li et al., 2025). Manfaat serupa terlihat pada penerapan geospasial intelijen berbasis teknologi satelit untuk mendukung keamanan nasional, termasuk identifikasi potensi sumber daya di wilayah yang sulit dijangkau survei konvensional (Haloho et al., 2024).

Kategori keempat adalah data batas wilayah dan tata ruang laut yang menjadi kewenangan Badan Informasi Geospasial dan Kementerian Kelautan dan Perikanan, termasuk data zonasi kawasan konservasi serta alur pelayaran. Kategori kelima adalah

data insiden dan intelijen lapangan, yaitu laporan patroli, hasil tangkapan kasus illegal fishing, serta catatan perompakan yang selama ini tersimpan di Bakamla, TNI Angkatan Laut, dan Kementerian Kelautan dan Perikanan secara parsial (Yusnaldy et al., 2025). Penggabungan kelima kategori data tersebut ke dalam satu kerangka acuan spasial memungkinkan analisis silang yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan ketika data masih tersebar di sistem yang berbeda-beda.

Tabel 1. Kategori sumber data dalam model SIG Nasional Terintegrasi

No	Kategori Data	Contoh Isi Data	Instansi Pengelola Utama
1	Data hidrografi & batimetri	Kedalaman laut, garis pantai, jalur pelayaran	Pushidrosal (IHDC)
2	Data pergerakan kapal	AIS (stasiun pantai & satelit), VMS kapal perikanan	Bakamla, KKP
3	Data penginderaan jauh	Citra satelit optik & radar (SAR), deteksi dark vessel	BIG, Pushidrosal
4	Data batas wilayah & tata ruang laut	Zonasi kawasan konservasi, alur pelayaran	BIG, KKP
5	Data insiden & intelijen lapangan	Laporan patroli, kasus illegal fishing, perompakan	Bakamla, TNI AL, KKP

(Sumber: diolah dari Novianto et al., 2024; Yusnaldy et al., 2025)

Tantangan pada tahap ini terletak pada perbedaan skala, resolusi temporal, dan tingkat kerahasiaan data. Data hidrografi bersifat relatif statis dan dapat diperbarui secara periodik, sementara data AIS dan citra satelit bersifat dinamis dan memerlukan pembaruan mendekati waktu nyata. Sebagian data intelijen juga bersifat rahasia sehingga model harus menyediakan mekanisme klasifikasi akses berjenjang, bukan keterbukaan penuh terhadap seluruh pengguna.

Kualitas sumber data penginderaan jauh juga menentukan seberapa jauh model ini dapat diandalkan. Penelitian tentang deteksi kapal pada citra Sentinel-2 memperlihatkan bahwa pendekatan pembelajaran mandiri atau self-supervised learning dapat meningkatkan ketepatan pengenalan objek kapal meskipun jumlah data berlabel yang tersedia terbatas, sebuah kondisi yang lazim dijumpai pada konteks Indonesia karena keterbatasan anggaran pelabelan data (Zhang & Li, 2021). Temuan serupa pada kajian deteksi kapal ilegal berbasis pembelajaran mendalam di perairan Indonesia menegaskan bahwa akurasi model sangat dipengaruhi oleh keragaman data latih, termasuk variasi kondisi cuaca, sudut pandang sensor, dan ukuran kapal (Wijaya, 2023). Data insiden dari lembaga eksternal seperti laporan tahunan pembajakan dan perompakan yang disusun oleh International Maritime Bureau (2023) juga layak dimasukkan sebagai sumber pembandingan, mengingat lembaga tersebut mencatat pola kejadian di perairan Indonesia dari sudut pandang pelayaran internasional yang kadang tidak sepenuhnya tercermin dalam basis data domestik.

Mekanisme Interoperabilitas

Interoperabilitas dalam model ini dibangun di atas tiga pilar, yaitu standar teknis, kebijakan tata kelola, dan kelembagaan, sebagaimana diringkas pada Tabel 2. Pada pilar standar teknis, sistem mengadopsi layanan web geospasial terbuka yang dikeluarkan *Open Geospatial Consortium*, seperti *Web Map Service* untuk visualisasi peta dan *Web Feature Service* untuk pertukaran data fitur beserta atributnya, sehingga aplikasi dari instansi yang berbeda tetap dapat saling membaca data tanpa perlu menyeragamkan seluruh perangkat lunak yang digunakan. Implementasi layanan semacam ini telah diuji

pada sistem informasi geografis terdistribusi di Indonesia dan terbukti mampu menjembatani perbedaan platform antarlembaga.

Pada pilar kebijakan, mekanisme interoperabilitas mengacu pada kerangka Satu Data Indonesia yang mewajibkan setiap instansi menyusun data sesuai empat prinsip, yaitu standar data, metadata, interoperabilitas data, dan penggunaan kode referensi atau data induk yang sama. Ketentuan ini diperkuat melalui Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika tentang interoperabilitas data dalam penyelenggaraan sistem pemerintahan berbasis elektronik, yang menjadi payung hukum bagi pertukaran data lintas kementerian dan lembaga (Novianto et al., 2024). Tanpa payung kebijakan ini, integrasi teknis semata tidak akan berjalan karena setiap instansi memiliki insentif berbeda untuk membuka data yang dikelolanya.

Tabel 2. Tiga pilar mekanisme interoperabilitas dalam model

Pilar	Komponen Utama	Contoh Instrumen
Standar teknis	Layanan web geospasial terbuka (OGC)	Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS)
Kebijakan tata kelola	Kerangka Satu Data Indonesia (empat prinsip)	Perpres 39/2019; Permenkominfo interoperabilitas data
Kelembagaan	Forum koordinasi tetap pemilik data	Kerja sama BIG–Kemhan; SLA antarinstansi

(Sumber: diolah dari Kusumah et al., 2022; Novianto et al., 2024; Koesnadi, 2022)

Pada pilar kelembagaan, diperlukan forum koordinasi tetap yang mempertemukan pemilik data, seperti yang sudah dirintis melalui kerja sama Badan Informasi Geospasial dengan Kementerian Pertahanan dalam pemenuhan data geospasial dasar wilayah laut. Forum semacam ini berfungsi menyepakati prioritas pembaruan data, menyelesaikan perbedaan definisi antarinstansi, dan memastikan setiap simpul data memiliki kontrol kualitas yang konsisten. Pengalaman penerapan strategi interoperabilitas sistem informasi TNI dalam pengamanan Laut Natuna Utara menunjukkan bahwa harmonisasi standar teknis dan koordinasi kelembagaan sama pentingnya, sebab kendala di lapangan lebih sering muncul dari perbedaan prosedur birokrasi ketimbang keterbatasan teknologi (Kusumah et al., 2022).

Persoalan tata kelola interoperabilitas semacam ini bukan hal baru dalam literatur sistem informasi pemerintahan. Kajian mengenai tata kelola interoperabilitas data aplikasi menekankan bahwa keberhasilan pertukaran data antarinstansi bergantung pada kejelasan pembagian peran antara pemilik data, pengelola infrastruktur, dan pengguna akhir, sehingga setiap simpul dalam jaringan mengetahui secara pasti kewajiban pemutakhiran dan standar kualitas yang harus dipenuhi (Koesnadi, 2022). Prinsip ini relevan diterapkan pada arsitektur yang diusulkan, misalnya melalui penetapan *service level agreement* antara Badan Informasi Geospasial sebagai simpul koordinator dengan instansi pemilik data seperti Pushidrosal dan Bakamla, sehingga keterlambatan pembaruan data dapat diukur dan dievaluasi secara berkala ketimbang dibiarkan menjadi persoalan informal yang berulang.

Analisis Big Data Geospasial

Volume data yang dihasilkan dari citra satelit, AIS, radar pantai, dan laporan patroli setiap hari jauh melampaui kapasitas analisis manual, sehingga model ini menempatkan lapis analitik big data sebagai inti pengolahan informasi. Karakteristik big data geospasial pada konteks maritim mencerminkan empat unsur volume, variasi, kecepatan, dan kebenaran data yang umum dijumpai pada kajian *big data* secara umum, dengan tambahan dimensi spasial dan temporal yang khas data geografis (Nugroho et al., 2019).

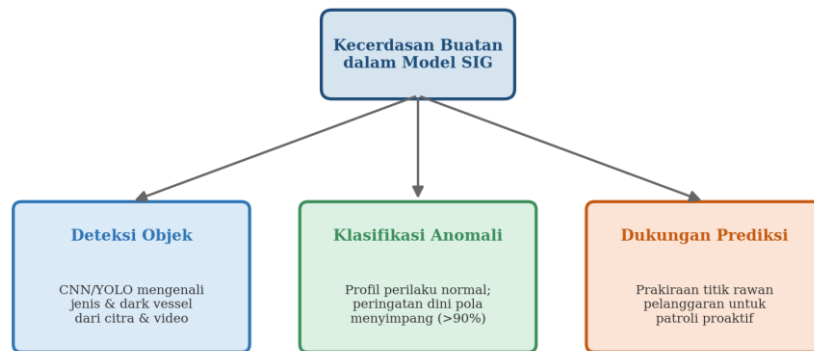
Pada tahap pra-pemrosesan, data dari berbagai sensor diselaraskan ke dalam sistem referensi koordinat yang sama dan diberi cap waktu yang konsisten, sehingga posisi kapal dari AIS dapat ditumpangsusunkan dengan citra radar pada rentang waktu yang berdekatan. Tahap berikutnya adalah penyimpanan terdistribusi yang memungkinkan pencarian cepat berdasarkan wilayah dan waktu, mengingat volume data satelit dan AIS nasional dapat mencapai skala terabita per bulan. Tahap analitik meliputi deteksi pola pergerakan normal sebagai garis dasar, sehingga penyimpangan seperti kapal yang mematikan transponder di dekat perbatasan atau berhenti lama di area larangan dapat ditandai secara otomatis untuk ditinjau lebih lanjut oleh analis manusia.

Pemanfaatan big data geospasial juga membuka peluang analisis prediktif, misalnya memetakan pola musiman aktivitas *illegal fishing* berdasarkan data historis penangkapan sebelumnya. Data tahunan menunjukkan ratusan kasus *illegal fishing* dan puluhan insiden perompakan setiap tahun dengan kerugian ekonomi ratusan juta dolar, sehingga kemampuan memprediksi lokasi dan waktu rawan menjadi nilai tambah signifikan bagi efisiensi penempatan kapal patroli (Yusnaldy et al., 2025). Namun demikian, kapasitas analitik big data hanya bermakna bila didukung ketersediaan infrastruktur komputasi yang memadai serta tenaga analis data yang terlatih, dua hal yang menurut kajian keamanan *big data* di Indonesia masih menjadi kendala di banyak instansi pemerintah (Nugroho et al., 2019).

Dimensi keamanan siber juga tidak bisa dilepaskan dari pengelolaan big data geospasial, sebab pusat data yang menghimpun informasi dari banyak sensor sekaligus menjadi target menarik bagi peretasan atau manipulasi data. Kajian tren kecerdasan buatan dalam pengawasan maritim menunjukkan bahwa organisasi yang mengandalkan analitik data besar perlu membangun mekanisme deteksi intrusi dan audit jejak data secara berkelanjutan, bukan hanya berfokus pada akurasi model prediksi (Chen et al., 2022). Tinjauan sistematis mengenai keamanan siber maritim berbasis kecerdasan buatan juga memperlihatkan bahwa ancaman terhadap integritas big data geospasial dapat berasal dari manipulasi sinyal AIS palsu maupun serangan terhadap basis data pusat. Karena itu, lapis analitik pada model ini idealnya dilengkapi modul validasi silang untuk menyaring data yang mencurigakan sebelum dipakai sebagai dasar pengambilan keputusan (Miller et al., 2025).

Pemanfaatan Kecerdasan Buatan

Kecerdasan buatan berperan pada tiga fungsi utama dalam model ini, yaitu deteksi objek, klasifikasi anomali, dan dukungan prediksi, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2. Pada fungsi deteksi objek, algoritma deep learning berbasis *convolutional neural network* seperti keluarga YOLO telah terbukti mengenali jenis kapal dari citra maupun video pengawasan dengan akurasi tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada uji coba deteksi kapal nelayan lintas negara di perairan Batam yang mencapai akurasi di atas 90 persen untuk beberapa kelas kapal (Masril & Caniago, 2024). Pendekatan serupa juga diterapkan pada citra satelit untuk mengenali kapal yang tidak memancarkan sinyal AIS, yang disebut dark vessel, melalui kombinasi data optik dan radar (Li et al., 2025).



Gambar 2. Tiga fungsi utama kecerdasan buatan dalam model SIG Nasional Terintegrasi
(Sumber: diolah penulis, 2026)

Pada fungsi klasifikasi anomali, model *machine learning* dilatih menggunakan data historis pergerakan kapal yang sah untuk membangun profil perilaku normal. Ketika muncul pola yang menyimpang, misalnya perubahan rute mendadak menuju kawasan konservasi atau pertemuan dua kapal di tengah laut pada malam hari, sistem memberi peringatan dini kepada operator. Kemampuan semacam ini terbukti efektif meningkatkan akurasi deteksi ancaman hingga di atas 90 persen serta mempercepat waktu respons secara signifikan dibandingkan pengawasan konvensional (Yusnaldy et al., 2025), sekaligus relevan untuk merespons ancaman hibrida yang memadukan dimensi militer, siber, ekonomi, dan informasi di kawasan Asia Tenggara (Rudiyanto et al., 2025).

Pada fungsi dukungan prediksi, kecerdasan buatan mengolah data historis dan data cuaca maupun oseanografi untuk memperkirakan area yang berpotensi menjadi lokasi pelanggaran pada periode mendatang, sehingga alokasi kapal patroli dapat direncanakan secara proaktif ketimbang reaktif. Pemanfaatan ini konsisten dengan temuan bahwa integrasi kecerdasan buatan dengan data multisensor seperti AIS, radar satelit, dan citra optik mampu memperkuat kemampuan deteksi dan mitigasi ancaman lintas batas (Rudiyanto et al., 2025). Meski begitu, penerapan kecerdasan buatan pada domain keamanan tetap memerlukan pengawasan manusia atau *human in the loop*, mengingat risiko kesalahan klasifikasi dapat berdampak pada keputusan operasional yang sensitif, serta pertimbangan etika dan kedaulatan data mengingat ketergantungan pada teknologi dan penyedia sistem dari luar negeri masih menjadi kekhawatiran tersendiri (Rudiyanto et al., 2025).

Pengalaman regional turut menjadi rujukan penting dalam merancang tata kelola kecerdasan buatan pada model ini. Kajian tentang penerapan kecerdasan buatan pada tata kelola dan keamanan maritim di perairan ASEAN menunjukkan bahwa negara-negara yang berhasil mengadopsi teknologi ini secara efektif umumnya menempatkan kerangka regulasi dan protokol berbagi data sebagai prasyarat sebelum investasi pada algoritma yang lebih kompleks, bukan sebaliknya (Rahman & Hashim, 2023). Prinsip mendahulukan regulasi dan tata kelola data ini senada dengan penekanan pada payung kebijakan interoperabilitas yang telah dibahas sebelumnya. Poin ini juga jadi pengingat agar pengembangan model di Indonesia tidak buru-buru melompat ke implementasi algoritma canggih sebelum dasar tata kelola datanya benar-benar tuntas.

Manfaat Sistem terhadap Pengambilan Keputusan Strategis

Integrasi data lintas instansi ke dalam satu kerangka geospasial nasional memberi sejumlah manfaat langsung bagi pengambilan keputusan strategis keamanan maritim, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3. Pertama, pengambil keputusan memperoleh gambaran situasi laut secara utuh atau maritime domain awareness yang tidak lagi terpotong-potong menurut kewenangan instansi, sehingga koordinasi penempatan kapal patroli antara Bakamla, TNI Angkatan Laut, dan Kementerian Kelautan dan Perikanan dapat dilakukan berdasarkan data yang sama dan diperbarui secara nyaris *real-time* (Majalah Ilmiah Globe, 2024).

Kedua, sistem ini mendukung efisiensi anggaran karena survei dan pengadaan data tidak lagi dilakukan berulang oleh masing-masing instansi untuk wilayah yang sama. Sentralisasi data melalui simpul integrasi memungkinkan satu set data dasar dimanfaatkan bersama, sesuai dengan gagasan bahwa sentralisasi dan manajemen terpusat menjadi kunci konsolidasi data maritim nasional (Novianto et al., 2024). Ketiga, kecepatan analisis big data dan kecerdasan buatan mempersingkat siklus dari deteksi anomali hingga keputusan pengiriman kapal patroli, yang pada gilirannya menekan potensi kerugian ekonomi akibat *illegal fishing* dan perompakan yang selama ini mencapai ratusan juta dolar per tahun (Yusnaldy et al., 2025).

Tabel 3. Manfaat sistem terintegrasi bagi pengambilan keputusan strategis

No	Manfaat	Uraian Singkat
1	Maritime domain awareness utuh	Gambaran situasi laut lintas instansi, pembaruan nyaris real-time
2	Efisiensi anggaran	Survei & pengadaan data tidak dilakukan berulang antarinstansi
3	Percepatan siklus keputusan	Deteksi anomali hingga pengiriman patroli lebih cepat berkat analitik AI
4	Penguatan basis bukti kebijakan	Data historis terintegrasi untuk penentuan zona rawan & revisi jalur pelayaran
5	Posisi tawar diplomasi kawasan	Kesiapan data untuk kerja sama & patroli bersama di ASEAN

(Sumber: diolah dari Novianto et al., 2024; Yusnaldy et al., 2025; Rudiyanto et al., 2025)

Keempat, ketersediaan data historis yang terintegrasi memperkuat basis bukti untuk perumusan kebijakan jangka panjang, misalnya penentuan zona rawan yang memerlukan penambahan pos pengawasan permanen atau revisi jalur pelayaran demi keselamatan navigasi. Kelima, pada level regional, kemampuan berbagi data yang telah distandardisasi membuka peluang kerja sama keamanan maritim dengan negara tetangga melalui fusi data yang meningkatkan *maritime domain awareness* kawasan, selaras dengan pandangan bahwa kolaborasi lintas negara berbasis teknologi menjadi salah satu penopang keamanan laut yang adaptif di Asia Tenggara (Rudiyanto et al., 2025). Rangkaian manfaat ini pada akhirnya memperlihatkan bahwa investasi pada arsitektur integrasi data bukan sekadar persoalan teknologi informasi, melainkan pilar pendukung kedaulatan maritim yang berkelanjutan sebagaimana diamanatkan Kebijakan Kelautan Indonesia.

Manfaat lain yang tidak kalah penting adalah menguatnya posisi tawar Indonesia dalam forum diplomasi maritim kawasan. Kajian mengenai strategi keamanan maritim di Asia Tenggara menunjukkan bahwa kesiapan data dan kemampuan analitik suatu negara turut menjadi pertimbangan mitra kerja sama ketika membahas skema patroli bersama maupun pertukaran informasi intelijen maritim (Guricci & Seniwati, 2024). Data pengawasan tahunan yang dihimpun oleh Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap juga

menjadi contoh nyata betapa pentingnya rekam jejak data yang konsisten dari tahun ke tahun, sebab tren jumlah pelanggaran dan pola operasi kapal asing yang tercatat secara berkelanjutan dapat dijadikan argumen kuantitatif ketika pemerintah menyusun anggaran pengamanan laut maupun ketika berunding dengan negara tetangga terkait batas wilayah tangkap (Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap, Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2023). Dengan demikian, sistem yang terintegrasi tidak hanya menjadi alat operasional harian, tetapi juga aset strategis jangka panjang bagi posisi Indonesia dalam tata kelola maritim regional.

KESIMPULAN

Model Sistem Informasi Geospasial Nasional yang dirancang dalam artikel ini menempatkan empat lapis fungsional, yaitu sumber data, integrasi dan interoperabilitas, analitik big data dan kecerdasan buatan, serta diseminasi untuk pengambilan keputusan, sebagai kerangka yang menjembatani data maritim yang selama ini tersebar di Bakamla, TNI Angkatan Laut, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Pushidrosal, dan Badan Informasi Geospasial. Interoperabilitas dicapai lewat kombinasi standar teknis terbuka, payung kebijakan Satu Data Indonesia, dan forum koordinasi kelembagaan, sementara analisis big data geospasial dan kecerdasan buatan memungkinkan deteksi dini, klasifikasi anomali, serta prediksi titik rawan pelanggaran di laut dengan akurasi yang jauh melampaui kapasitas pengawasan manual.

Penerapan model ini berpotensi mempercepat waktu deteksi dan respons terhadap ancaman maritim, menekan duplikasi anggaran survei dan pengadaan data, serta memperkuat basis bukti bagi pengambilan keputusan strategis, baik dalam penempatan aset patroli maupun perumusan kebijakan tata kelola laut jangka panjang. Keberhasilan implementasinya tetap bergantung pada komitmen politik untuk menetapkan satu badan koordinator lintas sektor, penguatan infrastruktur komputasi dan sumber daya manusia analitik data, serta kejelasan aturan klasifikasi akses bagi data yang bersifat sensitif. Penelitian lanjutan disarankan mengarah pada uji coba model dalam skala terbatas di satu wilayah perairan rawan, misalnya Laut Natuna Utara atau Selat Malaka, sehingga efektivitas arsitektur yang diusulkan dapat diukur secara empiris sebelum diperluas menjadi sistem nasional yang utuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Bueger, C. (2023). Critical maritime infrastructure protection: What's the trouble? *Marine Policy*, 158, 105564. https://www.researchgate.net/publication/372393153_Critical_maritime_infrastructure_protection_What's_the_trouble
- Chen, L., Yu, K., & Lee, S. (2022). Artificial intelligence in maritime surveillance: Trends and applications. *Ocean Engineering*, 254, 111350. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111350>
- Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap, Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2023). Laporan tahunan pengawasan perikanan 2022. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Guricci, M. F. A., & Seniwati, S. (2024). Strategi keamanan maritim di Asia Tenggara: Kerjasama diplomasi maritim di ASEAN. *Konsensus: Jurnal Ilmu Sosial dan Politik*.
- Haloho, L. S., Martha, S., Supriyadi, A., & Sadewa, A. H. (2024). Geospasial intelijen menggunakan teknologi satelit untuk identifikasi potensi sumber daya energi dan

- meningkatkan keamanan nasional. *Journal on Education*, 7(1), 7468–7481.
<https://jonedu.org/index.php/joe/article/view/7479>
- International Maritime Bureau. (2023). Piracy and armed robbery against ships: Annual report 2023. ICC International Maritime Bureau.
- Koesnadi, I. (2022). Tata kelola interoperabilitas data aplikasi. Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri, 1–10.
- Kusumah, M. I., Syahtria, I., Sianturi, D., Yudho, L., Saragih, H. J. R., & Bangun, E. (2022). Strategi interoperabilitas sistem informasi TNI guna mendukung komando dan pengendalian operasi pengamanan perbatasan di laut Natuna Utara. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 2(8), 2819–2831.
- 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*, 17(13), 2201.
<https://doi.org/10.3390/rs17132201>
- Majalah Ilmiah Globe. (2024). Pemanfaatan sistem informasi geografis dalam pembangunan sistem keamanan maritim Indonesia. *Majalah Ilmiah Globe*, 26(2), 81–88. <https://doi.org/10.24895/gl.2024.26.2.81-88>
- Masril, M. A., & Caniago, D. P. (2024). Sistem pencegahan illegal fishing di Laut Batam menggunakan YOLOv7 berbasis notifikasi Telegram. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 12(1), 175.
<https://doi.org/10.26760/elkomika.v12i1.175>
- Miller, T., Durlik, I., Kostecka, E., Sokolowska, S., Kozlovska, P., & Zwolak, R. (2025). Artificial intelligence in maritime cybersecurity: A systematic review of AI-driven threat detection and risk mitigation strategies. *Electronics*, 14(9), 1844.
<https://doi.org/10.3390/electronics14091844>
- Novianto, A., Purnomo, R., Bangun, E. I., Faisol, A., & Ekawati, P. D. (2024). Indonesian Hydrographic Data Center (IHDC) sebagai interoperability data spasial maritim nasional. *Jurnal Chart Datum*, 10(2), 77–90.
<https://doi.org/10.37875/chartdatum.v10i2.349>
- Nugroho, F. P., Abdullah, R. W., Wulandari, S., & Hanafi. (2019). Keamanan big data di era digital di Indonesia. *Jurnal Informa Politeknik Indonusa Surakarta*, 5(1), 28–34.
<https://informa.poltekindonusa.ac.id/index.php/informa/article/view/65>
- Rahman, M., & Hashim, R. (2023). AI-driven maritime governance and security in ASEAN waters. *Maritime Policy & Management*, 50(6), 812–829.
<https://doi.org/10.1080/03088839.2023.2189213>
- Republik Indonesia. (2011). Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial.
- Republik Indonesia. (2017). Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2017 tentang Kebijakan Kelautan Indonesia.
- Republik Indonesia. (2019). Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia.
- Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Informasi Geospasial.
- Rudiyanto, R., Yusnaldy, Y., Yulianto, B. A., Prakoso, L. Y., & Risahdi, M. (2025). AI dalam pengawasan maritim menghadapi ancaman hibrida di Asia Tenggara. *Jurnal Sosial dan Sains*, 5(11), 3724–3732.
<https://doi.org/10.59188/jurnalsosains.v5i11.32572>

- Talpur, K. (2025). AI in maritime security: Applications, challenges, future directions. *Information*, 16(8), 658. <https://doi.org/10.3390/info16080658>
- Wijaya, R. (2023). Deep learning approaches for detecting illegal vessels in Indonesian waters. *Indonesian Journal of Marine Technology*, 4(2), 123–141.
- Yusnaldy, Y., Soemantri, A. I., Yulianto, B. A., Prakoso, L. Y., & Risahdi, M. (2025). Perompakan dan illegal fishing: Solusi AI untuk kedaulatan laut Indonesia. *Jurnal Sosial dan Sains*, 5(11), 3560–3567. <https://doi.org/10.59188/jurnalsosains.v5i11.32571>
- Zhang, H., & Li, Y. (2021). Ship detection in Sentinel-2 multi-spectral images with self-supervised learning. *Remote Sensing*, 13(21), 4255. <https://doi.org/10.3390/rs13214255>