

Model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi Berbasis Big Data dan Artificial Intelligence untuk Mendukung Pengambilan Keputusan Strategis dalam Keamanan Maritim Indonesia

Erwin Budi Afriyono^{1*}, Bayu Asih Yulianto², Yusnaldi³, Nefra Firdaus⁴, Harri Dolli Hutabarat⁵, Yuniar⁶, Lukman Yudho Prakoso⁷

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

erwin.afriyono@km.idu.ac.id^{1*}, b.asyou@gmail.com², yusnaldy@yahoo.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 : 11 Juli, 2026

Revised : 12 Juli, 2026

Accepted : 12 Juli, 2026

Kata Kunci:

Artificial Intelligence Sistem;
Big Data;
Decision Support System;
Informasi Geospasial;
Keamanan maritim;
Maritime Domain Awareness.

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki wilayah laut sangat luas dan berbatasan langsung dengan beberapa negara. Kondisi tersebut menjadikan wilayah perairan Indonesia memiliki peran yang strategis, namun juga menghadapi berbagai ancaman keamanan maritim, seperti penyelundupan, *illegal fishing*, perdagangan manusia, pelanggaran wilayah, dan pencemaran laut. Salah satu kendala yang masih dihadapi adalah data geospasial maritim yang dikelola oleh berbagai instansi belum terintegrasi secara optimal sehingga proses pertukaran informasi dan pengambilan keputusan belum berjalan secara maksimal. Artikel ini bertujuan untuk merancang model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi berbasis *Big Data* dan *Artificial Intelligence* (AI) sebagai pendukung pengambilan keputusan strategis dalam keamanan maritim Indonesia. Penulisan artikel menggunakan metode studi literatur dengan mengkaji berbagai buku, jurnal ilmiah, peraturan perundang-undangan, serta publikasi dari instansi yang berkaitan dengan informasi geospasial dan keamanan maritim. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa integrasi data spasial dan nonspasial dari berbagai instansi, seperti Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Keamanan Laut, TNI Angkatan Laut, Bea dan Cukai, Kementerian Kelautan dan Perikanan, BMKG, serta data yang berasal dari AIS, radar, citra satelit, drone, dan sensor lainnya dapat menghasilkan informasi yang lebih lengkap dan akurat. Selain itu, pemanfaatan *Big Data* dan AI mampu membantu proses analisis data, mendeteksi aktivitas kapal yang mencurigakan, memprediksi potensi ancaman, serta memberikan rekomendasi dalam menentukan prioritas pengawasan di wilayah laut Indonesia. Model yang diusulkan diharapkan mampu memperkuat *Maritime Domain Awareness*, meningkatkan interoperabilitas antarinstansi, dan mempercepat pengambilan keputusan strategis.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki lebih dari 17.000 pulau serta wilayah laut yang lebih luas dibandingkan wilayah daratan. Posisi geografis Indonesia yang berada di antara Benua Asia dan Australia serta diapit oleh Samudra Hindia dan Samudra Pasifik menjadikan Indonesia sebagai jalur pelayaran

internasional yang sangat strategis. Beberapa Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) menjadi lintasan utama perdagangan dunia sehingga aktivitas pelayaran di wilayah perairan Indonesia berlangsung sangat padat. Kondisi tersebut memberikan peluang besar bagi pertumbuhan ekonomi nasional, tetapi pada saat yang sama juga meningkatkan berbagai potensi ancaman terhadap keamanan maritim (Bueger, 2015).

Ancaman keamanan maritim yang dihadapi Indonesia saat ini semakin kompleks dan tidak lagi terbatas pada ancaman militer. Berbagai bentuk kejahatan lintas negara, seperti penyelundupan narkoba, perdagangan manusia, penyelundupan barang, *illegal fishing*, perompakan, pencemaran laut, hingga pelanggaran batas wilayah menjadi tantangan yang memerlukan penanganan secara terpadu. Selain itu, perkembangan teknologi transportasi laut dan meningkatnya mobilitas kapal menyebabkan intensitas aktivitas di laut semakin tinggi sehingga proses pengawasan membutuhkan sistem informasi yang mampu menyajikan kondisi lapangan secara cepat, akurat, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengelolaan keamanan maritim tidak lagi dapat dilakukan hanya melalui patroli konvensional, tetapi memerlukan dukungan teknologi informasi yang mampu mengintegrasikan berbagai sumber data menjadi informasi yang mudah dipahami oleh pengambil keputusan (IMO, 2021).

Pemerintah Indonesia sebenarnya telah memiliki berbagai instansi yang memiliki tugas dan kewenangan dalam menjaga keamanan laut, di antaranya Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Keamanan Laut (Bakamla), TNI Angkatan Laut, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Kepolisian Republik Indonesia melalui Polairud, BMKG, serta Pushidrosal. Masing-masing instansi tersebut mengelola data yang sangat penting, baik berupa data spasial maupun nonspasial. Namun demikian, pengelolaan data masih dilakukan pada sistem yang berbeda sehingga sering terjadi perbedaan format, keterlambatan pertukaran informasi, bahkan duplikasi data. Kondisi ini menyebabkan proses koordinasi antarinstansi belum berjalan secara optimal, terutama ketika harus mengambil keputusan dalam waktu yang singkat pada saat terjadi ancaman di laut (Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011). Perkembangan Sistem Informasi Geospasial (SIG) memberikan peluang untuk mengatasi permasalahan tersebut. SIG merupakan suatu sistem yang mampu mengumpulkan, menyimpan, mengelola, menganalisis, dan menyajikan data yang memiliki referensi lokasi sehingga informasi yang dihasilkan tidak hanya menggambarkan kondisi suatu objek, tetapi juga menunjukkan posisi geografisnya secara akurat (Longley et al., 2015). Dalam bidang keamanan maritim, SIG dapat digunakan untuk menampilkan persebaran aktivitas kapal, jalur pelayaran, kawasan konservasi, wilayah rawan penyelundupan, hingga lokasi kejadian secara *real time*. Melalui kemampuan analisis spasial tersebut, SIG menjadi salah satu teknologi yang sangat penting dalam mendukung pengawasan wilayah laut Indonesia.

Seiring dengan meningkatnya volume data yang dihasilkan oleh citra satelit, *Automatic Identification System* (AIS), radar pantai, drone, sensor cuaca, kamera pengawas, serta perangkat *Internet of Things* (IoT), kebutuhan terhadap sistem yang mampu mengelola data dalam jumlah besar juga semakin meningkat. Teknologi *Big Data* memungkinkan proses penyimpanan, pengolahan, dan analisis data dari berbagai sumber secara cepat sehingga informasi yang dihasilkan menjadi lebih lengkap dan akurat. Di sisi lain, perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) memberikan kemampuan tambahan dalam mengenali pola pergerakan kapal, mendeteksi aktivitas yang tidak normal, memprediksi potensi ancaman, serta memberikan rekomendasi kepada pengambil keputusan berdasarkan hasil analisis data yang tersedia (Goodchild, 2007).

Integrasi antara SIG, *Big Data*, dan AI berpotensi membangun suatu sistem pendukung pengambilan keputusan (*Decision Support System* atau DSS) yang lebih efektif dalam mendukung keamanan maritim nasional. Melalui sistem tersebut, berbagai data yang sebelumnya tersebar di berbagai instansi dapat diintegrasikan ke dalam satu platform sehingga menghasilkan informasi yang lebih komprehensif. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan untuk menentukan prioritas patroli, mengidentifikasi daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi, mempercepat koordinasi antarinstansi, serta meningkatkan ketepatan dalam menentukan langkah operasional di lapangan. Dengan demikian, proses pengambilan keputusan tidak hanya didasarkan pada pengalaman personel, tetapi juga didukung oleh analisis data yang objektif dan berbasis bukti.

Selain mendukung operasi pengawasan, sistem geospasial yang terintegrasi juga memiliki peran penting dalam mewujudkan *Maritime Domain Awareness* (MDA). Konsep MDA menekankan pentingnya pemahaman yang menyeluruh terhadap seluruh aktivitas yang terjadi di wilayah maritim sehingga setiap potensi ancaman dapat dideteksi sejak dini. Semakin lengkap data yang tersedia dan semakin cepat proses analisis dilakukan, maka semakin baik pula kualitas informasi yang diterima oleh para pengambil keputusan. Oleh karena itu, pengembangan SIG yang terintegrasi menjadi salah satu kebutuhan strategis dalam mendukung pertahanan dan keamanan maritim Indonesia di masa mendatang (Bueger, 2015).

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan suatu model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi yang mampu menghubungkan berbagai sumber data maritim ke dalam satu sistem yang didukung oleh teknologi *Big Data* dan *Artificial Intelligence*. Model tersebut diharapkan dapat meningkatkan interoperabilitas antarinstansi, mempercepat pertukaran informasi, memperkuat *Maritime Domain Awareness*, serta menghasilkan rekomendasi yang lebih akurat bagi para pengambil keputusan. Dengan adanya sistem yang terintegrasi, pelaksanaan pengawasan dan penegakan hukum di laut dapat dilakukan secara lebih efektif sehingga mampu mendukung terwujudnya keamanan maritim nasional yang berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini bertujuan untuk merancang model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi berbasis *Big Data* dan *Artificial Intelligence* yang dapat digunakan sebagai *Decision Support System* dalam mendukung pengambilan keputusan strategis pada bidang keamanan maritim Indonesia. Pembahasan difokuskan pada arsitektur sistem, sumber data, mekanisme interoperabilitas, analisis *Big Data* geospasial, pemanfaatan AI, serta manfaat sistem dalam mendukung pengambilan keputusan strategis di lingkungan keamanan maritim.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur (*library research*). Pendekatan ini dipilih karena tujuan penelitian bukan untuk menguji hipotesis melalui pengumpulan data lapangan, melainkan untuk menganalisis berbagai konsep, teori, regulasi, serta hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan Sistem Informasi Geospasial (SIG), *Big Data*, *Artificial Intelligence* (AI), dan keamanan maritim Indonesia. Menurut Creswell (2018), penelitian kualitatif bertujuan memahami suatu fenomena secara mendalam melalui analisis berbagai sumber informasi yang relevan sehingga dapat menghasilkan interpretasi yang komprehensif.

Sumber data dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai referensi ilmiah dan dokumen resmi. Data tersebut meliputi buku, artikel jurnal nasional maupun internasional, peraturan perundang-undangan, laporan lembaga pemerintah, serta publikasi organisasi internasional yang berkaitan dengan sistem

informasi geospasial dan keamanan maritim. Beberapa regulasi yang menjadi acuan antara lain Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial, Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2014 tentang Kelautan, serta berbagai kebijakan nasional mengenai pengelolaan informasi geospasial. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan referensi dari publikasi lembaga seperti Badan Informasi Geospasial (BIG), Bakamla, BMKG, Pushidrosal, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Kementerian Kelautan dan Perikanan, serta organisasi internasional seperti International Maritime Organization (IMO).

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah mengidentifikasi literatur yang relevan dengan topik penelitian menggunakan buku, jurnal ilmiah, prosiding, dan dokumen resmi. Tahap kedua adalah melakukan seleksi terhadap referensi berdasarkan kesesuaian dengan fokus penelitian, kebaruan informasi, serta kredibilitas sumber. Tahap ketiga adalah mengelompokkan referensi sesuai dengan tema pembahasan, yaitu konsep Sistem Informasi Geospasial, *Decision Support System* (DSS), *Big Data*, *Artificial Intelligence*, interoperabilitas data, serta keamanan maritim Indonesia. Tahap terakhir adalah melakukan pencatatan dan pengelompokan informasi penting sebagai dasar dalam proses analisis.

Analisis data dilakukan menggunakan analisis deskriptif kualitatif. Data yang telah dikumpulkan dianalisis dengan cara membandingkan berbagai teori, hasil penelitian, serta kebijakan yang berlaku untuk memperoleh gambaran mengenai kondisi pengelolaan data geospasial maritim di Indonesia. Selanjutnya dilakukan identifikasi terhadap permasalahan yang masih dihadapi, seperti fragmentasi data antarinstansi, keterbatasan interoperabilitas sistem, dan belum optimalnya pemanfaatan teknologi digital dalam mendukung pengambilan keputusan strategis. Hasil identifikasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menyusun model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi berbasis *Big Data* dan *Artificial Intelligence*.

Dalam penelitian ini, proses analisis dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, mengidentifikasi kebutuhan sistem berdasarkan karakteristik ancaman keamanan maritim Indonesia. Kedua, mengidentifikasi sumber data spasial dan nonspasial yang berasal dari berbagai instansi pemerintah maupun perangkat penginderaan modern, seperti citra satelit, *Automatic Identification System* (AIS), radar pantai, drone, sensor cuaca, dan perangkat *Internet of Things* (IoT). Ketiga, menganalisis mekanisme interoperabilitas data sehingga berbagai sumber informasi dapat diintegrasikan ke dalam satu platform geospasial nasional. Keempat, menganalisis pemanfaatan teknologi *Big Data* dalam proses penyimpanan, pengolahan, dan visualisasi data berukuran besar. Kelima, menganalisis penerapan *Artificial Intelligence* untuk mendukung deteksi aktivitas kapal yang mencurigakan, prediksi pola ancaman, serta pemberian rekomendasi kepada pengambil keputusan. Tahap terakhir adalah menyusun model konseptual Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi sebagai *Decision Support System* yang diharapkan mampu mendukung pengambilan keputusan strategis dalam keamanan maritim Indonesia.

Untuk meningkatkan validitas penelitian, informasi yang diperoleh dari berbagai sumber dibandingkan melalui teknik triangulasi sumber. Teknik ini dilakukan dengan membandingkan data dari buku, jurnal ilmiah, dokumen pemerintah, dan publikasi organisasi internasional sehingga informasi yang digunakan memiliki tingkat kepercayaan yang lebih tinggi (Sugiyono, 2023). Selain itu, penggunaan berbagai referensi yang berasal dari disiplin ilmu geospasial, teknologi informasi, dan keamanan maritim diharapkan dapat memberikan sudut pandang yang lebih komprehensif dalam penyusunan model sistem yang diusulkan.

Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk uraian deskriptif yang menjelaskan rancangan arsitektur sistem, sumber data yang digunakan, mekanisme interoperabilitas, pemanfaatan *Big Data* dan *Artificial Intelligence*, serta manfaat Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi sebagai pendukung pengambilan keputusan strategis di bidang keamanan maritim Indonesia. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi konseptual yang dapat menjadi masukan bagi pengembangan sistem informasi geospasial nasional yang lebih terintegrasi, adaptif, dan mendukung peningkatan keamanan maritim Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Arsitektur Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi

Keamanan maritim Indonesia melibatkan banyak instansi yang memiliki kewenangan dan sistem informasi masing-masing. Badan Informasi Geospasial (BIG) menyediakan data dasar geospasial nasional, Badan Keamanan Laut (Bakamla) berperan dalam menjaga keamanan dan keselamatan di wilayah perairan Indonesia, TNI Angkatan Laut melaksanakan fungsi pertahanan laut, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai melakukan pengawasan terhadap lalu lintas barang di perairan Indonesia, sedangkan Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) berfokus pada pengawasan sumber daya kelautan dan perikanan. Selain itu, BMKG menyediakan informasi cuaca dan oseanografi, sedangkan Pushidrosal menghasilkan data hidrografi dan peta laut. Masing-masing instansi tersebut menghasilkan data yang sangat penting, tetapi sebagian besar masih dikelola dalam sistem yang berbeda sehingga pertukaran informasi belum berjalan secara optimal (BIG, 2023).

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan data keamanan maritim masih menghadapi tantangan berupa perbedaan format data, keterbatasan interoperabilitas, serta belum adanya platform nasional yang mampu mengintegrasikan seluruh informasi secara real-time. Akibatnya, proses pengambilan keputusan dalam operasi keamanan maritim sering kali membutuhkan waktu yang lebih lama karena setiap instansi harus melakukan validasi dan pertukaran data secara terpisah. Padahal, ancaman seperti penyelundupan narkoba, *illegal fishing*, maupun pelanggaran wilayah membutuhkan respons yang cepat dan didukung oleh informasi yang akurat (Bueger, 2015).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan suatu Model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi yang menghubungkan berbagai sumber data geospasial dan nonspasial ke dalam satu platform digital. Sistem ini dirancang sebagai *Decision Support System* (DSS) yang mampu mengolah berbagai informasi menjadi rekomendasi bagi pengambil keputusan dalam mendukung operasi keamanan maritim. Konsep dasar arsitektur sistem yang diusulkan terdiri atas lima lapisan utama (*five-layer architecture*), yaitu lapisan akuisisi data (*data acquisition layer*), lapisan integrasi data (*data integration layer*), lapisan penyimpanan data (*data management layer*), lapisan analisis (*analytics layer*), dan lapisan layanan pengguna (*user application layer*).

Lapisan pertama adalah data acquisition layer, yaitu lapisan yang berfungsi mengumpulkan seluruh data dari berbagai sumber. Data tersebut meliputi citra satelit penginderaan jauh, *Automatic Identification System* (AIS), radar pantai, kamera pengawas, drone, sensor cuaca, sensor gelombang laut, data hidrografi, data pelabuhan, serta laporan intelijen dari instansi terkait. Seluruh data tersebut memiliki karakteristik yang berbeda, baik dari sisi format, volume, maupun kecepatan pembaruan, sehingga diperlukan mekanisme akuisisi data yang mampu bekerja secara otomatis dan berkesinambungan (Longley et al., 2015).

Lapisan kedua adalah data integration layer yang berfungsi mengintegrasikan seluruh data ke dalam satu sistem. Pada tahap ini dilakukan proses *Extract, Transform, and Load* (ETL), yaitu mengekstraksi data dari berbagai sumber, mengubah format data agar seragam, kemudian memasukkannya ke dalam basis data geospasial nasional. Integrasi data dilakukan dengan mengacu pada standar interoperabilitas yang ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial sehingga setiap instansi dapat saling bertukar informasi tanpa harus mengubah sistem yang telah dimiliki sebelumnya (Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011).

Lapisan ketiga adalah data management layer yang berfungsi sebagai pusat penyimpanan seluruh data geospasial nasional. Mengingat volume data maritim yang sangat besar dan terus bertambah setiap saat, sistem penyimpanan dirancang menggunakan teknologi *cloud computing* dan *Big Data*. Teknologi ini memungkinkan penyimpanan data dalam kapasitas besar sekaligus mendukung proses pencarian dan pemrosesan data secara lebih cepat dibandingkan sistem penyimpanan konvensional. Selain itu, mekanisme pencadangan (*backup*) dan pemulihan data (*disaster recovery*) juga menjadi bagian penting dalam menjaga keamanan dan ketersediaan informasi apabila terjadi gangguan pada sistem.

Lapisan keempat adalah analytics layer, yaitu komponen utama yang berfungsi melakukan analisis terhadap seluruh data yang telah terintegrasi. Pada lapisan ini diterapkan teknologi *Big Data Analytics* dan *Artificial Intelligence* (AI) untuk mengidentifikasi pola aktivitas kapal, mendeteksi kapal yang tidak mengaktifkan AIS, memprediksi jalur penyelundupan berdasarkan pola historis, serta mengidentifikasi wilayah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi. Selain itu, analisis spasial dalam SIG digunakan untuk melakukan *overlay* berbagai parameter, seperti kepadatan jalur pelayaran, lokasi pelabuhan, kondisi cuaca, wilayah perbatasan, dan riwayat pelanggaran sehingga menghasilkan peta risiko keamanan maritim yang dapat diperbarui secara berkala (Goodchild, 2007).

Lapisan terakhir adalah user application layer, yaitu antarmuka yang digunakan oleh para pengambil keputusan. Informasi yang telah diolah disajikan dalam bentuk *dashboard* interaktif, peta digital, grafik, laporan analisis, serta sistem peringatan dini (*early warning system*). Melalui tampilan tersebut, pengguna dapat memantau kondisi wilayah laut secara *real-time*, mengetahui lokasi kejadian, melihat tingkat kerawanan suatu wilayah, hingga memperoleh rekomendasi prioritas patroli berdasarkan hasil analisis sistem. Penyajian informasi yang mudah dipahami akan membantu pimpinan dalam mengambil keputusan secara lebih cepat, tepat, dan berbasis data.

Menurut penulis, keunggulan utama dari model yang diusulkan terletak pada kemampuan mengintegrasikan berbagai sumber informasi ke dalam satu platform yang dapat digunakan bersama oleh seluruh instansi yang memiliki kewenangan di bidang keamanan maritim. Dengan sistem yang terintegrasi, proses koordinasi tidak lagi bergantung pada pertukaran dokumen atau komunikasi manual, tetapi dilakukan melalui mekanisme berbagi data secara *real-time*. Hal tersebut akan mempercepat identifikasi ancaman, mengurangi duplikasi informasi, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta memperkuat sinergi antarinstansi dalam menjaga keamanan laut Indonesia.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat dipahami bahwa arsitektur Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpanan data, tetapi juga sebagai pusat analisis dan pendukung pengambilan keputusan strategis. Integrasi SIG dengan *Big Data*, AI, *cloud computing*, serta teknologi penginderaan modern menjadi fondasi penting dalam membangun sistem keamanan maritim yang lebih adaptif terhadap perkembangan ancaman. Dengan demikian, model

yang diusulkan diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pengawasan wilayah laut Indonesia sekaligus mendukung terwujudnya *Maritime Domain Awareness* yang lebih komprehensif.

Sumber Data Geospasial dan Nonspasial

Keberhasilan implementasi Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi sangat dipengaruhi oleh kualitas dan kelengkapan data yang digunakan. Dalam konteks keamanan maritim, data merupakan komponen utama yang menentukan tingkat akurasi analisis, kecepatan identifikasi ancaman, serta ketepatan pengambilan keputusan. Oleh karena itu, sistem yang diusulkan mengintegrasikan berbagai jenis data, baik data spasial maupun nonspasial, yang berasal dari berbagai instansi pemerintah dan perangkat teknologi penginderaan modern.

Data spasial merupakan data yang memiliki informasi lokasi atau koordinat geografis sehingga dapat divisualisasikan dalam bentuk peta digital. Menurut Longley et al. (2015), data spasial memiliki peran penting dalam menggambarkan hubungan suatu objek dengan kondisi geografis di sekitarnya. Dalam keamanan maritim, data spasial digunakan untuk mengetahui posisi kapal, batas wilayah perairan, jalur pelayaran, lokasi pelabuhan, kawasan konservasi, wilayah perbatasan negara, hingga daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap tindak kejahatan di laut.

Salah satu sumber data spasial yang sangat penting berasal dari Badan Informasi Geospasial (BIG). BIG menyediakan peta dasar nasional yang menjadi acuan bagi berbagai instansi dalam penyelenggaraan informasi geospasial. Peta tersebut meliputi garis pantai, pulau-pulau, batas administrasi, topografi, serta berbagai informasi dasar lainnya yang diperlukan dalam analisis spasial (BIG, 2023). Keberadaan peta dasar yang seragam sangat penting agar seluruh instansi menggunakan referensi geospasial yang sama sehingga meminimalkan perbedaan interpretasi terhadap suatu lokasi.

Selain BIG, Pushidrosal berperan menyediakan data hidrografi dan oseanografi yang meliputi kedalaman laut (*bathymetry*), karakteristik dasar laut, peta laut, alur pelayaran, serta informasi navigasi. Data tersebut sangat penting dalam mendukung operasi patroli, pencarian dan pertolongan (*Search and Rescue*), maupun operasi militer di wilayah perairan Indonesia. Integrasi data hidrografi dengan data geospasial lainnya akan menghasilkan informasi yang lebih lengkap mengenai kondisi lingkungan laut.

Data spasial juga diperoleh dari teknologi penginderaan jauh, terutama citra satelit. Citra satelit memiliki kemampuan untuk memantau wilayah laut yang sangat luas dalam waktu relatif singkat. Melalui citra optik maupun radar satelit, berbagai aktivitas di laut dapat diamati, seperti keberadaan kapal, perubahan garis pantai, pencemaran laut akibat tumpahan minyak, hingga aktivitas penangkapan ikan secara ilegal. Keunggulan lain dari citra radar adalah tetap dapat digunakan meskipun kondisi cuaca buruk atau tertutup awan sehingga mendukung pengawasan maritim secara berkelanjutan (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2015).

Di samping data spasial, sistem juga membutuhkan data nonspasial yang berfungsi melengkapi informasi mengenai objek yang diamati. Data nonspasial merupakan data deskriptif yang menjelaskan karakteristik suatu objek tanpa menunjukkan posisi geografisnya secara langsung. Contohnya meliputi identitas kapal, jenis kapal, negara bendera, kepemilikan kapal, izin pelayaran, muatan kapal, riwayat pelanggaran, data intelijen, kondisi cuaca, serta laporan hasil patroli dari berbagai instansi. Integrasi antara data spasial dan nonspasial memungkinkan pengguna memperoleh informasi yang lebih utuh sehingga proses analisis menjadi lebih akurat.

Salah satu sumber data nonspasial yang memiliki peran penting adalah *Automatic Identification System* (AIS). AIS menyediakan informasi mengenai identitas kapal, posisi,

arah pelayaran, kecepatan, dan tujuan perjalanan secara otomatis. Data AIS sangat membantu dalam memantau lalu lintas kapal, terutama di jalur pelayaran yang padat. Namun demikian, AIS juga memiliki keterbatasan karena dapat dimatikan secara sengaja oleh pelaku kejahatan untuk menghindari deteksi. Oleh sebab itu, data AIS perlu dikombinasikan dengan radar pantai, citra satelit, dan drone agar proses pengawasan menjadi lebih efektif (IMO, 2021).

Radar pantai merupakan salah satu sensor yang berfungsi mendeteksi objek di permukaan laut secara terus-menerus. Radar memiliki kemampuan mendeteksi kapal meskipun kapal tersebut tidak mengaktifkan AIS. Data radar menjadi sangat penting untuk mengidentifikasi kapal yang melakukan aktivitas mencurigakan, seperti berhenti di tengah laut, berpindah jalur secara tidak wajar, atau memasuki wilayah terlarang. Integrasi radar dengan data AIS juga memungkinkan sistem mengidentifikasi kapal yang berpotensi melakukan pelanggaran berdasarkan perbedaan antara posisi radar dan data identitas kapal.

Perkembangan teknologi drone turut memberikan kontribusi dalam mendukung pengawasan wilayah maritim. Drone dapat dioperasikan untuk melakukan pemantauan pada wilayah yang sulit dijangkau kapal patroli maupun radar pantai. Selain menghasilkan foto dan video beresolusi tinggi, drone juga mampu mengirimkan data secara langsung ke pusat komando sehingga mempercepat proses identifikasi terhadap aktivitas yang mencurigakan. Pemanfaatan drone menjadi semakin penting terutama pada wilayah perbatasan, pulau-pulau kecil terluar, maupun daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi.

Selain sensor pengawasan, sistem juga mengintegrasikan data oseanografi dan meteorologi yang diperoleh dari BMKG. Informasi mengenai tinggi gelombang, arah angin, arus laut, curah hujan, dan kondisi cuaca menjadi faktor penting dalam mendukung operasi patroli maupun penentuan jalur pelayaran yang aman. Kondisi cuaca juga memengaruhi pola aktivitas pelaku kejahatan di laut sehingga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu variabel dalam proses analisis risiko.

Menurut hasil analisis penulis, nilai utama dari Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi bukan hanya terletak pada banyaknya data yang dikumpulkan, tetapi pada kemampuan sistem dalam menghubungkan seluruh data tersebut menjadi satu informasi yang saling melengkapi. Sebagai contoh, ketika radar mendeteksi keberadaan sebuah kapal yang tidak mengaktifkan AIS di wilayah perbatasan, sistem dapat secara otomatis menggabungkan informasi tersebut dengan citra satelit, data cuaca, riwayat pelanggaran, dan laporan intelijen. Hasil integrasi tersebut memberikan gambaran yang lebih komprehensif kepada pengambil keputusan dibandingkan apabila setiap data dianalisis secara terpisah.

Dengan demikian, integrasi data spasial dan nonspasial menjadi fondasi utama dalam membangun Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi. Semakin lengkap, akurat, dan mutakhir data yang tersedia, maka semakin tinggi pula kualitas analisis yang dihasilkan. Kondisi tersebut pada akhirnya akan meningkatkan kemampuan pemerintah dalam mendeteksi ancaman sejak dini, mempercepat koordinasi antarinstansi, serta mendukung pengambilan keputusan strategis yang lebih efektif dalam menjaga keamanan maritim Indonesia.

Mekanisme Interoperabilitas Data Antarinstansi

Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan keamanan maritim di Indonesia adalah belum optimalnya interoperabilitas data antarinstansi. Setiap instansi memiliki sistem informasi, format data, serta mekanisme pengelolaan yang berbeda sesuai dengan tugas dan fungsinya. Kondisi tersebut menyebabkan proses pertukaran informasi sering

kali membutuhkan waktu yang cukup lama, sehingga dapat memengaruhi kecepatan pengambilan keputusan ketika terjadi ancaman di wilayah perairan Indonesia. Oleh karena itu, interoperabilitas menjadi salah satu komponen penting dalam pembangunan Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi.

Interoperabilitas merupakan kemampuan dua atau lebih sistem informasi untuk saling bertukar data, memahami informasi yang diterima, serta memanfaatkan data tersebut tanpa harus mengubah struktur sistem yang telah dimiliki masing-masing organisasi (Open Geospatial Consortium, 2023). Dalam konteks keamanan maritim, interoperabilitas tidak hanya berkaitan dengan pertukaran data, tetapi juga mencakup kesamaan standar data, mekanisme komunikasi, keamanan informasi, serta koordinasi antarinstansi.

Saat ini berbagai instansi di Indonesia telah memiliki sistem informasi yang mendukung pelaksanaan tugasnya masing-masing. Badan Informasi Geospasial (BIG) menyediakan data geospasial dasar nasional, Bakamla mengoperasikan sistem pemantauan keamanan laut, TNI Angkatan Laut mengelola data pertahanan maritim, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai memiliki data pengawasan lalu lintas barang dan kapal, Kementerian Kelautan dan Perikanan mengelola data pengawasan sumber daya perikanan, sedangkan BMKG menyediakan informasi meteorologi, klimatologi, dan oseanografi. Meskipun seluruh data tersebut memiliki keterkaitan yang erat, integrasi antarinstansi masih menghadapi berbagai kendala teknis maupun kelembagaan.

Salah satu kendala yang sering ditemui adalah perbedaan format data yang digunakan oleh masing-masing instansi. Sebagian data disimpan dalam bentuk basis data spasial, sebagian lainnya berupa laporan tekstual, dokumen digital, maupun data hasil sensor yang diperbarui secara terus-menerus. Perbedaan tersebut menyebabkan proses integrasi memerlukan konversi data sebelum dapat dianalisis secara bersama. Selain itu, setiap instansi juga memiliki kebijakan pengelolaan data yang berbeda sehingga proses berbagi informasi belum dapat dilakukan secara optimal.

Menurut penulis, kondisi tersebut dapat diatasi melalui penerapan mekanisme interoperabilitas yang menggunakan standar nasional maupun internasional. Salah satu standar yang banyak digunakan dalam pertukaran data geospasial adalah standar yang dikembangkan oleh *Open Geospatial Consortium* (OGC), seperti *Web Map Service* (WMS), *Web Feature Service* (WFS), dan *Web Coverage Service* (WCS). Standar tersebut memungkinkan setiap instansi menampilkan, mengakses, dan memanfaatkan data geospasial secara bersama tanpa harus mengubah sistem utama yang telah dimiliki (OGC, 2023).

Selain penggunaan standar OGC, mekanisme interoperabilitas juga dapat didukung melalui pemanfaatan *Application Programming Interface* (API). API berfungsi sebagai penghubung antaraplikasi sehingga pertukaran data dapat dilakukan secara otomatis dan *real-time*. Sebagai contoh, ketika radar Bakamla mendeteksi kapal yang tidak mengaktifkan *Automatic Identification System* (AIS), informasi tersebut dapat langsung dikirim melalui API ke pusat data nasional. Selanjutnya sistem akan menghubungkan data tersebut dengan informasi dari Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, TNI Angkatan Laut, BMKG, serta citra satelit sehingga menghasilkan informasi yang lebih lengkap mengenai aktivitas kapal tersebut.

Pada model yang diusulkan dalam penelitian ini, interoperabilitas dibangun melalui konsep *National Maritime Geospatial Platform*, yaitu sebuah platform bersama yang berfungsi sebagai pusat integrasi data keamanan maritim Indonesia. Platform ini tidak mengambil alih sistem yang telah dimiliki oleh masing-masing instansi, tetapi berperan sebagai *hub* yang menghubungkan berbagai sumber data melalui mekanisme pertukaran

informasi yang aman dan terstandarisasi. Dengan konsep tersebut, setiap instansi tetap memiliki kewenangan dalam mengelola datanya, tetapi informasi yang diperlukan dapat diakses secara terintegrasi sesuai dengan hak akses yang telah ditentukan.

Dalam mendukung interoperabilitas, keamanan data juga menjadi aspek yang sangat penting. Mengingat sebagian data yang dipertukarkan berkaitan dengan pertahanan dan keamanan negara, diperlukan mekanisme pengamanan yang mampu melindungi kerahasiaan, integritas, dan ketersediaan informasi. Oleh karena itu, sistem perlu menerapkan enkripsi data, autentikasi pengguna, pengelolaan hak akses berbasis peran (*role-based access control*), serta pencatatan aktivitas pengguna (*audit trail*). Dengan mekanisme tersebut, pertukaran data antarinstansi tetap dapat dilakukan tanpa mengurangi aspek keamanan informasi.

Implementasi interoperabilitas juga memerlukan dukungan kebijakan yang jelas. Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial menegaskan pentingnya penyelenggaraan informasi geospasial secara terpadu melalui penyediaan data yang dapat dimanfaatkan oleh berbagai pengguna. Selain itu, kebijakan Satu Peta (*One Map Policy*) juga menjadi landasan penting dalam menyamakan referensi geospasial nasional sehingga seluruh instansi menggunakan data dasar yang sama dalam menjalankan tugasnya. Menurut penulis, kedua kebijakan tersebut menjadi fondasi yang kuat dalam membangun sistem geospasial nasional yang terintegrasi.

Berdasarkan hasil analisis, interoperabilitas tidak hanya memberikan kemudahan dalam pertukaran data, tetapi juga meningkatkan kualitas pengambilan keputusan. Ketika seluruh data dari BIG, Bakamla, TNI Angkatan Laut, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, KKP, BMKG, Pushidrosal, serta instansi terkait lainnya telah terintegrasi, sistem dapat menyajikan informasi yang lebih lengkap mengenai kondisi wilayah laut Indonesia. Informasi tersebut dapat digunakan untuk menentukan prioritas patroli, mengidentifikasi daerah rawan penyelundupan, memantau aktivitas kapal secara *real-time*, serta mendukung koordinasi antarinstansi dalam menghadapi berbagai ancaman keamanan maritim.

Dengan demikian, interoperabilitas merupakan salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan implementasi Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi. Semakin baik mekanisme pertukaran data yang diterapkan, maka semakin cepat dan akurat pula informasi yang dihasilkan. Kondisi tersebut pada akhirnya akan meningkatkan efektivitas pengawasan wilayah laut, memperkuat *Maritime Domain Awareness* (MDA), serta mendukung pengambilan keputusan strategis yang berbasis data dalam menjaga keamanan maritim Indonesia.

Analisis Big Data Geospasial dalam Keamanan Maritim

Perkembangan teknologi digital telah menyebabkan peningkatan volume data yang dihasilkan dari berbagai sistem pengawasan maritim. Setiap hari, ribuan kapal beroperasi di wilayah perairan Indonesia dan menghasilkan data dari berbagai perangkat, seperti *Automatic Identification System* (AIS), radar pantai, citra satelit, drone, sensor cuaca, kamera pengawas, hingga perangkat *Internet of Things* (IoT). Jumlah data yang terus bertambah tersebut tidak lagi dapat dikelola secara efektif menggunakan sistem informasi konvensional. Oleh karena itu, penerapan teknologi *Big Data* menjadi salah satu kebutuhan penting dalam mendukung Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi.

Big Data merupakan sekumpulan data yang memiliki ukuran sangat besar, diperbarui dengan kecepatan tinggi, serta berasal dari berbagai sumber dan format yang berbeda sehingga memerlukan teknologi khusus dalam proses penyimpanan, pengolahan, dan analisisnya (Marr, 2015). Dalam bidang keamanan maritim, *Big Data* tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpanan data, tetapi juga menjadi dasar dalam

menghasilkan informasi yang mendukung proses pengambilan keputusan secara cepat dan akurat.

Karakteristik *Big Data* umumnya dijelaskan melalui konsep 5V, yaitu *Volume*, *Velocity*, *Variety*, *Veracity*, dan *Value*. *Volume* menunjukkan jumlah data yang sangat besar, seperti jutaan titik koordinat kapal yang direkam setiap hari melalui AIS maupun radar. *Velocity* menggambarkan kecepatan data yang terus diperbarui secara *real-time*, sehingga sistem harus mampu memproses informasi tanpa jeda yang panjang. *Variety* menunjukkan bahwa data berasal dari berbagai sumber dengan format yang berbeda, seperti peta digital, citra satelit, video drone, laporan patroli, hingga data cuaca. Selanjutnya, *Veracity* berkaitan dengan tingkat keakuratan dan keandalan data yang digunakan, sedangkan *Value* mengacu pada manfaat informasi yang dihasilkan untuk mendukung pengambilan keputusan strategis (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013).

Dalam konteks keamanan maritim Indonesia, *Big Data* memungkinkan berbagai data geospasial dan nonspasial dari instansi yang berbeda dapat dikumpulkan dan dianalisis secara bersamaan. Sebagai contoh, data AIS dapat digabungkan dengan citra satelit, radar pantai, informasi cuaca dari BMKG, data hidrografi dari Pushidrosal, serta laporan patroli dari Bakamla, TNI Angkatan Laut, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, dan Kementerian Kelautan dan Perikanan. Integrasi tersebut menghasilkan informasi yang lebih lengkap dibandingkan apabila setiap sumber data dianalisis secara terpisah.

Salah satu keunggulan utama *Big Data* adalah kemampuannya dalam mengidentifikasi pola (*pattern recognition*). Sistem dapat mempelajari riwayat pergerakan kapal selama periode tertentu untuk mengetahui jalur pelayaran yang normal maupun aktivitas yang menyimpang. Sebagai contoh, kapal yang secara tiba-tiba mematikan AIS, mengurangi kecepatan secara tidak wajar, atau berhenti di tengah laut pada lokasi yang tidak lazim dapat dikenali sebagai aktivitas yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Informasi tersebut menjadi dasar bagi petugas untuk melakukan verifikasi atau mengarahkan kapal patroli ke lokasi yang dicurigai.

Selain mendeteksi pola pergerakan kapal, *Big Data* juga mendukung analisis spasial dalam menentukan wilayah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi. Analisis dilakukan dengan menggabungkan beberapa variabel, seperti kepadatan jalur pelayaran, kedekatan dengan wilayah perbatasan, riwayat penyelundupan, aktivitas penangkapan ikan ilegal, kondisi cuaca, serta jarak terhadap pangkalan patroli. Melalui proses *overlay* pada Sistem Informasi Geografis (SIG), sistem dapat menghasilkan peta kerawanan yang menunjukkan wilayah mana yang memerlukan prioritas pengawasan. Menurut Longley et al. (2015), analisis spasial seperti ini membantu pengambil keputusan memahami hubungan antarvariabel secara lebih komprehensif dibandingkan analisis berbasis tabel atau laporan tekstual.

Penerapan *Big Data* juga memberikan manfaat dalam mendukung efisiensi operasi keamanan maritim. Selama ini, pelaksanaan patroli sering kali dilakukan berdasarkan jadwal rutin atau informasi yang diperoleh dari laporan lapangan. Dengan adanya analisis *Big Data*, penentuan lokasi patroli dapat dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data sehingga penggunaan kapal patroli, personel, dan anggaran menjadi lebih efektif. Wilayah yang memiliki tingkat risiko tinggi dapat diprioritaskan, sedangkan wilayah dengan tingkat ancaman rendah tetap dipantau melalui sistem pemantauan digital.

Menurut penulis, salah satu keunggulan yang paling penting dari pemanfaatan *Big Data* adalah kemampuannya menghasilkan informasi prediktif. Sistem tidak hanya menyajikan kondisi yang sedang terjadi, tetapi juga mampu memperkirakan kemungkinan munculnya ancaman berdasarkan pola historis yang telah direkam sebelumnya. Misalnya, apabila dalam beberapa tahun terakhir ditemukan peningkatan

aktivitas penyelundupan pada periode tertentu di suatu wilayah perbatasan, maka sistem dapat memberikan peringatan dini (*early warning*) kepada pengambil keputusan agar meningkatkan intensitas patroli sebelum ancaman tersebut kembali terjadi. Pendekatan prediktif seperti ini akan meningkatkan kesiapsiagaan aparat dalam menghadapi berbagai bentuk kejahatan di laut.

Walaupun demikian, implementasi *Big Data* dalam keamanan maritim juga menghadapi sejumlah tantangan. Salah satunya adalah kualitas data yang belum sepenuhnya seragam. Perbedaan format, adanya data yang belum diperbarui, serta kemungkinan terjadinya duplikasi informasi dapat memengaruhi hasil analisis apabila tidak dilakukan proses validasi terlebih dahulu. Selain itu, infrastruktur teknologi informasi yang memadai, kapasitas penyimpanan data yang besar, serta sumber daya manusia yang memiliki kompetensi dalam pengelolaan *Big Data* juga menjadi faktor penting yang menentukan keberhasilan implementasi sistem.

Berdasarkan hasil analisis, pemanfaatan *Big Data* geospasial memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efektivitas Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi. Kemampuan sistem dalam mengolah data dalam jumlah besar, mengintegrasikan berbagai sumber informasi, melakukan analisis spasial secara cepat, serta menghasilkan informasi prediktif akan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dan berbasis data. Dengan demikian, penerapan *Big Data* tidak hanya meningkatkan kualitas pengawasan wilayah laut Indonesia, tetapi juga memperkuat *Maritime Domain Awareness* (MDA) serta mendukung terwujudnya sistem keamanan maritim yang lebih adaptif terhadap perkembangan ancaman di masa depan.

Tabel 1. Pemanfaatan *Big Data* dalam Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi

No	Sumber Data	Jenis Data	Analisis <i>Big Data</i>	Informasi yang Dihasilkan	Manfaat dalam Keamanan Maritim
1	<i>Automatic Identification System</i> (AIS)	Posisi kapal, kecepatan, arah pelayaran, identitas kapal	Analisis pola pelayaran, deteksi penyimpangan rute, identifikasi kapal yang mematikan AIS	Pola pergerakan kapal secara <i>real-time</i>	Mengidentifikasi kapal yang berpotensi melakukan penyelundupan atau pelanggaran wilayah
2	Radar Pantai	Posisi dan pergerakan objek di laut	Korelasi dengan data AIS, deteksi kapal non-kooperatif	Lokasi kapal yang tidak teridentifikasi	Mendukung pengawasan wilayah perbatasan dan jalur pelayaran strategis
3	Citra Satelit	Citra optik dan radar	Deteksi objek di permukaan laut, perubahan wilayah pesisir, pencemaran laut	Kondisi wilayah laut secara luas	Pemantauan aktivitas ilegal dan perubahan lingkungan laut
4	Drone/UAV	Foto, video, koordinat lokasi	Verifikasi visual terhadap objek hasil deteksi sistem	Bukti visual kondisi lapangan	Mendukung operasi patroli dan penegakan hukum
5	BMKG	Data cuaca, gelombang, angin, arus laut	Analisis kondisi lingkungan laut	Prediksi kondisi operasi	Menentukan waktu dan jalur patroli yang lebih aman
6	Pushidrosal	Data hidrografi dan batimetri	Analisis kedalaman laut dan alur pelayaran	Informasi navigasi	Mendukung operasi patroli dan keselamatan pelayaran
7	Direktorat Jenderal Bea dan Cukai	Data manifes, pelabuhan,	Analisis pola penyelundupan dan lalu lintas barang	Indikasi aktivitas ilegal	Menentukan prioritas pengawasan

		riwayat kapal, hasil patroli			terhadap kapal berisiko tinggi
8	Bakamla	Data patroli, laporan kejadian, pemantauan keamanan	Analisis tren ancaman maritim	Peta daerah rawan	Mendukung koordinasi operasi keamanan laut
9	Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP)	Data kapal perikanan, izin operasi, hasil pengawasan	Analisis aktivitas perikanan	Indikasi <i>illegal fishing</i>	Meningkatkan efektivitas pengawasan sumber daya kelautan
10	TNI Angkatan Laut	Data operasi dan pengamanan wilayah laut	Integrasi dengan data intelijen dan sensor	Informasi situasi keamanan maritim	Mendukung pengambilan keputusan strategis pertahanan laut

(Sumber: Diolah penulis berdasarkan Longley et al. (2015), Marr (2015), Mayer-Schönberger dan Cukier (2013), Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial, serta berbagai publikasi terkait keamanan maritim)

Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi

Perkembangan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) telah membawa perubahan yang signifikan dalam berbagai bidang, termasuk pengelolaan keamanan maritim. AI tidak hanya berfungsi sebagai teknologi untuk mengotomatisasi proses pengolahan data, tetapi juga mampu menganalisis pola, mempelajari karakteristik suatu objek, serta memberikan prediksi berdasarkan data yang tersedia. Dalam Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi, AI menjadi komponen penting yang mendukung proses pengambilan keputusan melalui analisis data secara cepat, akurat, dan berkelanjutan.

Menurut Russell dan Norvig (2021), AI merupakan cabang ilmu komputer yang berfokus pada pengembangan sistem yang mampu meniru kemampuan berpikir manusia dalam menyelesaikan suatu permasalahan. Dalam bidang keamanan maritim, AI dimanfaatkan untuk mengolah data dalam jumlah besar yang berasal dari berbagai sumber, seperti AIS, radar pantai, citra satelit, drone, sensor cuaca, kamera pengawas, serta laporan patroli. Integrasi data tersebut memungkinkan sistem menghasilkan informasi yang lebih komprehensif dibandingkan apabila analisis dilakukan secara manual.

Salah satu penerapan AI yang paling penting adalah deteksi aktivitas kapal yang mencurigakan (*anomaly detection*). Algoritma AI dapat mempelajari pola pelayaran kapal berdasarkan data historis sehingga mampu membedakan aktivitas yang normal dan yang menyimpang. Sebagai contoh, kapal yang tiba-tiba mematikan AIS, mengurangi kecepatan secara tidak wajar, berpindah jalur pelayaran tanpa alasan yang jelas, atau berhenti terlalu lama di wilayah tertentu dapat dikenali sebagai aktivitas yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Hasil analisis tersebut kemudian disampaikan kepada operator sebagai peringatan dini (*early warning*) untuk dilakukan verifikasi atau tindakan lanjutan.

Selain mendeteksi anomali, AI juga dapat dimanfaatkan untuk memprediksi potensi ancaman keamanan maritim. Melalui metode *Machine Learning*, sistem mempelajari data kejadian pada masa lalu, seperti lokasi penyelundupan, aktivitas *illegal fishing*, pelanggaran wilayah, maupun tindak kejahatan lainnya. Berdasarkan pola tersebut, AI dapat memperkirakan wilayah yang memiliki tingkat risiko tinggi pada waktu tertentu. Informasi prediktif tersebut sangat membantu pengambil keputusan dalam menentukan prioritas patroli sehingga sumber daya yang tersedia dapat dimanfaatkan secara lebih efektif.

Penerapan AI juga mendukung proses analisis citra satelit dan rekaman drone menggunakan teknologi Computer Vision. Teknologi ini memungkinkan sistem mengenali objek secara otomatis, seperti kapal, pelabuhan, dermaga, maupun aktivitas di sekitar wilayah pesisir. Dibandingkan dengan pengamatan manual, penggunaan AI mampu mempercepat proses identifikasi objek sekaligus mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan akibat faktor manusia. Menurut Goodfellow, Bengio, dan Courville (2016), pemanfaatan *Deep Learning* dalam pengolahan citra memiliki tingkat akurasi yang tinggi karena sistem mampu mengenali pola visual secara otomatis melalui proses pembelajaran dari data yang tersedia.

Dalam Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi, AI tidak bekerja secara mandiri, tetapi menjadi bagian dari proses analisis yang terhubung dengan SIG dan *Big Data*. Seluruh data yang diterima dari berbagai sensor akan diolah terlebih dahulu menggunakan teknologi *Big Data*. Selanjutnya, AI melakukan analisis terhadap data tersebut untuk mengidentifikasi pola, mendeteksi anomali, memprediksi potensi ancaman, serta menghasilkan rekomendasi bagi pengambil keputusan. Dengan demikian, informasi yang ditampilkan pada *dashboard* tidak hanya berupa posisi kapal atau kondisi wilayah laut, tetapi juga disertai tingkat risiko dan rekomendasi tindakan yang dapat dilakukan.

Menurut analisis penulis, salah satu manfaat terbesar AI dalam keamanan maritim adalah kemampuannya meningkatkan efektivitas pelaksanaan operasi patroli. Selama ini, penentuan lokasi patroli umumnya didasarkan pada pengalaman personel, laporan masyarakat, atau informasi intelijen yang diterima secara terpisah. Dengan adanya AI, proses tersebut dapat dilakukan secara lebih objektif melalui analisis berbagai variabel, seperti kepadatan jalur pelayaran, riwayat pelanggaran, kondisi cuaca, aktivitas kapal, serta lokasi kejadian sebelumnya. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menyusun prioritas wilayah patroli sehingga penggunaan kapal, personel, dan anggaran menjadi lebih efisien.

Sebagai contoh, apabila sistem mendeteksi adanya kapal yang mematikan AIS di wilayah perbatasan pada saat kondisi cuaca memungkinkan dilakukannya aktivitas penyelundupan, AI akan menggabungkan informasi tersebut dengan data radar, citra satelit, laporan patroli, serta riwayat kejadian di lokasi yang sama. Berdasarkan hasil analisis tersebut, sistem akan memberikan peringatan kepada pusat komando beserta rekomendasi tindakan, seperti peningkatan pengawasan, pengerahan kapal patroli terdekat, atau koordinasi dengan instansi terkait. Proses ini berlangsung secara otomatis sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengambil keputusan menjadi lebih singkat.

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, penerapan AI juga menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kualitas data yang digunakan sebagai dasar pembelajaran sistem. AI memerlukan data yang lengkap, akurat, dan diperbarui secara berkala agar mampu menghasilkan prediksi yang dapat dipercaya. Selain itu, ketersediaan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi dalam bidang AI, analisis geospasial, dan keamanan siber juga menjadi faktor penting dalam mendukung keberhasilan implementasi sistem. Penggunaan AI dalam sektor keamanan juga harus memperhatikan aspek etika, perlindungan data, serta akuntabilitas agar hasil analisis yang diberikan dapat dipertanggungjawabkan.

Berdasarkan hasil pembahasan, pemanfaatan AI memberikan nilai tambah yang signifikan dalam Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi. AI tidak hanya mempercepat proses analisis data, tetapi juga meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi ancaman, memprediksi risiko, serta memberikan rekomendasi yang mendukung pengambilan keputusan strategis. Integrasi AI dengan SIG dan *Big Data*

diharapkan mampu memperkuat *Maritime Domain Awareness* (MDA), meningkatkan efektivitas pengawasan wilayah laut, serta mendukung upaya pemerintah dalam menjaga kedaulatan dan keamanan maritim Indonesia secara lebih adaptif terhadap perkembangan ancaman di masa mendatang.

Manfaat Sistem terhadap Pengambilan Keputusan Strategis dalam Keamanan Maritim

Pengambilan keputusan merupakan salah satu aspek penting dalam penyelenggaraan keamanan maritim. Keputusan yang tepat tidak hanya bergantung pada pengalaman pengambil kebijakan, tetapi juga dipengaruhi oleh kualitas informasi yang tersedia. Dalam menghadapi ancaman maritim yang semakin kompleks, seperti penyelundupan, *illegal fishing*, perdagangan manusia, pelanggaran wilayah, hingga pencemaran laut, dibutuhkan sistem yang mampu menyajikan informasi secara cepat, akurat, dan mudah dipahami. Oleh karena itu, penerapan Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi berbasis *Big Data* dan *Artificial Intelligence* (AI) diharapkan mampu menjadi *Decision Support System* (DSS) yang mendukung pengambilan keputusan strategis dalam keamanan maritim Indonesia.

Menurut Turban et al. (2011), *Decision Support System* merupakan sistem berbasis komputer yang dirancang untuk membantu pengambil keputusan dalam menganalisis berbagai alternatif berdasarkan data dan informasi yang tersedia. Dalam konteks keamanan maritim, DSS tidak menggantikan peran manusia sebagai pengambil keputusan, tetapi menyediakan rekomendasi yang diperoleh melalui proses analisis data sehingga keputusan yang diambil menjadi lebih objektif dan berbasis bukti (*evidence-based decision making*).

Salah satu manfaat utama sistem yang diusulkan adalah meningkatkan *Maritime Domain Awareness* (MDA). Konsep MDA menekankan pentingnya pemahaman menyeluruh terhadap seluruh aktivitas yang terjadi di wilayah laut, baik yang berkaitan dengan aspek keamanan, keselamatan pelayaran, perlindungan sumber daya alam, maupun kepentingan ekonomi. Semakin lengkap informasi yang dimiliki, semakin besar pula kemampuan pemerintah dalam mendeteksi ancaman sejak dini dan menentukan langkah penanganan yang tepat (Bueger, 2015). Dengan mengintegrasikan data dari berbagai instansi ke dalam satu platform, sistem mampu memberikan gambaran kondisi maritim secara lebih utuh dibandingkan apabila setiap instansi bekerja secara terpisah.

Selain meningkatkan MDA, sistem ini juga mendukung penentuan prioritas patroli. Selama ini, penempatan kapal patroli sering didasarkan pada jadwal rutin atau laporan yang diterima dari lapangan. Pendekatan tersebut masih memiliki keterbatasan karena belum sepenuhnya memanfaatkan hasil analisis data. Melalui integrasi SIG, *Big Data*, dan AI, sistem dapat menghasilkan peta kerawanan berdasarkan berbagai parameter, seperti riwayat penyelundupan, kepadatan jalur pelayaran, aktivitas kapal, kondisi cuaca, serta kedekatan dengan wilayah perbatasan. Informasi tersebut membantu pimpinan menentukan wilayah yang perlu diprioritaskan sehingga operasi patroli menjadi lebih efektif dan efisien.

Manfaat lain yang tidak kalah penting adalah meningkatkan koordinasi antarinstansi. Keamanan maritim Indonesia melibatkan berbagai lembaga, seperti BIG, Bakamla, TNI Angkatan Laut, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Kementerian Kelautan dan Perikanan, BMKG, Pushidrosal, dan Kepolisian Negara Republik Indonesia. Dengan adanya platform geospasial yang terintegrasi, setiap instansi dapat mengakses informasi yang sama sesuai dengan kewenangannya. Hal ini dapat mengurangi duplikasi data, mempercepat pertukaran informasi, serta meningkatkan efektivitas koordinasi ketika menghadapi suatu kejadian di laut.

Menurut analisis penulis, penerapan sistem ini juga akan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. Kapal patroli, personel, maupun anggaran operasional merupakan sumber daya yang terbatas sehingga perlu dimanfaatkan secara optimal. Dengan dukungan analisis spasial dan prediksi berbasis AI, pengerahan kapal patroli dapat difokuskan pada wilayah yang memiliki tingkat ancaman lebih tinggi. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan peluang keberhasilan operasi, tetapi juga membantu mengurangi biaya operasional yang tidak diperlukan.

Sistem yang diusulkan juga memberikan manfaat dalam mendukung pengambilan keputusan secara cepat. Ancaman keamanan maritim sering kali berkembang dalam waktu singkat sehingga memerlukan respons yang segera. Melalui *dashboard* digital yang menampilkan data secara *real-time*, pimpinan dapat memantau posisi kapal, kondisi cuaca, tingkat risiko wilayah, serta hasil analisis AI dalam satu tampilan. Informasi tersebut memungkinkan pengambilan keputusan dilakukan tanpa harus menunggu laporan manual dari berbagai instansi, sehingga waktu respons terhadap suatu ancaman dapat dipersingkat.

Dalam aspek penegakan hukum, sistem ini membantu meningkatkan akurasi identifikasi target operasi. Integrasi data AIS, radar, citra satelit, drone, dan laporan intelijen memungkinkan sistem menyusun profil risiko terhadap kapal atau wilayah tertentu. Dengan demikian, aparat penegak hukum dapat memusatkan perhatian pada objek yang memiliki tingkat risiko tinggi, sementara aktivitas yang tergolong normal tetap dipantau melalui sistem. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas penindakan terhadap berbagai bentuk kejahatan di laut.

Meskipun demikian, keberhasilan implementasi sistem tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi. Dukungan kebijakan pemerintah, komitmen antarinstansi dalam berbagi data, kesiapan infrastruktur digital, keamanan siber, serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia juga menjadi faktor yang sangat menentukan. Tanpa adanya sinergi tersebut, sistem yang telah dibangun berpotensi tidak dimanfaatkan secara optimal.

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat dipahami bahwa Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi berbasis *Big Data* dan AI memiliki peran strategis sebagai *Decision Support System* dalam keamanan maritim Indonesia. Sistem ini mampu mengintegrasikan berbagai sumber data, meningkatkan *Maritime Domain Awareness*, mempercepat koordinasi antarinstansi, mendukung penentuan prioritas patroli, serta menghasilkan rekomendasi yang membantu pengambil keputusan dalam merumuskan kebijakan maupun tindakan operasional. Dengan pemanfaatan teknologi secara optimal, sistem yang diusulkan diharapkan dapat mendukung terwujudnya pengelolaan keamanan maritim yang lebih efektif, adaptif, dan berkelanjutan.

Model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi yang Diusulkan

Berdasarkan hasil analisis pada pembahasan sebelumnya, penelitian ini mengusulkan suatu Model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi Berbasis *Big Data* dan *Artificial Intelligence* (AI) yang dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan strategis dalam keamanan maritim Indonesia. Model ini dikembangkan sebagai solusi atas permasalahan yang selama ini masih dihadapi, yaitu pengelolaan data maritim yang tersebar di berbagai instansi, keterbatasan interoperabilitas sistem, serta belum optimalnya pemanfaatan teknologi digital dalam mendukung operasi keamanan laut.

Model yang diusulkan mengintegrasikan seluruh data geospasial dan nonspasial ke dalam satu platform nasional yang dapat diakses oleh instansi yang memiliki kewenangan sesuai dengan hak akses masing-masing. Pendekatan ini bertujuan untuk menghasilkan informasi yang lebih akurat, mempercepat pertukaran data, serta meningkatkan koordinasi antarinstansi dalam menghadapi berbagai ancaman maritim.

Pada lapisan pertama (*Data Acquisition Layer*), sistem menerima data dari berbagai sumber, seperti Badan Informasi Geospasial (BIG), Bakamla, TNI Angkatan Laut, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Kementerian Kelautan dan Perikanan, BMKG, Pushidrosal, *Automatic Identification System* (AIS), radar pantai, citra satelit, drone, kamera pengawas, sensor cuaca, serta perangkat Internet of Things (IoT). Seluruh data tersebut dikirim secara berkala maupun *real-time* menuju pusat integrasi data.

Tahap berikutnya adalah Data Integration Layer, yaitu proses integrasi seluruh data melalui mekanisme *Extract, Transform, and Load* (ETL). Pada tahap ini dilakukan standarisasi format data, sinkronisasi koordinat geospasial, validasi kualitas data, serta penghapusan data ganda (*duplicate data*). Proses ini bertujuan agar seluruh data yang berasal dari berbagai instansi dapat digunakan dalam satu sistem tanpa mengalami perbedaan format maupun referensi spasial.

Data yang telah terintegrasi kemudian disimpan pada National Maritime Geospatial Database yang memanfaatkan teknologi *cloud computing* dan *Big Data*. Penggunaan teknologi tersebut memungkinkan sistem menyimpan data dalam jumlah sangat besar, mendukung pembaruan data secara *real-time*, serta mempercepat proses pencarian maupun analisis informasi. Selain itu, penyimpanan berbasis *cloud* juga meningkatkan ketersediaan data dan mendukung akses informasi dari berbagai lokasi operasi.

Pada tahap analisis, sistem memanfaatkan kombinasi SIG, *Big Data Analytics*, dan AI. Analisis SIG digunakan untuk mengolah hubungan spasial antarobjek melalui teknik *overlay, buffer*, analisis jaringan (*network analysis*), serta pemodelan kerawanan wilayah. Selanjutnya, *Big Data Analytics* berfungsi mengolah data dalam jumlah besar untuk menemukan pola aktivitas maritim yang tidak mudah dikenali melalui analisis konvensional. AI kemudian melakukan analisis lanjutan menggunakan metode *Machine Learning, Deep Learning*, dan *Computer Vision* untuk mendeteksi aktivitas kapal yang mencurigakan, mengidentifikasi anomali pelayaran, memprediksi wilayah rawan penyelundupan, serta memberikan rekomendasi prioritas pengawasan.

Hasil analisis disajikan dalam bentuk Dashboard Sistem Informasi Geospasial yang menampilkan peta digital interaktif, posisi kapal secara *real-time*, tingkat risiko wilayah, prediksi ancaman, kondisi cuaca, serta rekomendasi tindakan yang dihasilkan oleh AI. Dashboard ini dirancang agar mudah dipahami oleh pengguna, sehingga pimpinan dapat memperoleh gambaran situasi maritim secara cepat tanpa harus mengolah data secara manual.

Menurut penulis, keunggulan utama model yang diusulkan terletak pada kemampuannya mengubah data menjadi informasi yang bernilai strategis. Sistem tidak hanya menampilkan posisi kapal atau kondisi wilayah laut, tetapi juga memberikan analisis risiko, prediksi ancaman, serta alternatif tindakan yang dapat dipilih oleh pengambil keputusan. Dengan demikian, keputusan yang diambil menjadi lebih objektif karena didasarkan pada hasil analisis data yang komprehensif.

Model ini juga mendukung penerapan konsep *Maritime Domain Awareness* (MDA) melalui penyediaan informasi yang terintegrasi dan diperbarui secara berkelanjutan. Seluruh instansi yang terlibat dapat melihat gambaran situasi maritim yang sama (*common operational picture*), sehingga koordinasi menjadi lebih efektif dan potensi terjadinya perbedaan informasi dapat diminimalkan. Hal tersebut sangat penting mengingat penanganan ancaman maritim sering melibatkan lebih dari satu instansi.

Selain memberikan manfaat operasional, model yang diusulkan juga memiliki nilai strategis dalam mendukung penyusunan kebijakan nasional. Informasi yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas pola patroli, menentukan kebutuhan penambahan sarana pengawasan, mengidentifikasi wilayah prioritas pembangunan

infrastruktur maritim, serta menjadi dasar dalam penyusunan kebijakan keamanan maritim jangka panjang. Dengan demikian, sistem tidak hanya mendukung pengambilan keputusan pada tingkat operasional, tetapi juga berkontribusi terhadap perumusan kebijakan pada tingkat strategis.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa Model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi berbasis *Big Data* dan AI memiliki potensi untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan keamanan maritim Indonesia. Integrasi data, pemanfaatan teknologi digital, serta kemampuan analisis yang lebih cepat dan akurat diharapkan mampu memperkuat pengawasan wilayah laut, meningkatkan koordinasi antarinstansi, dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih responsif terhadap perkembangan ancaman maritim.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Sistem Informasi Geospasial (SIG) memiliki peran yang sangat penting sebagai *Decision Support System* (DSS) dalam mendukung keamanan maritim Indonesia. Integrasi data geospasial dan nonspasial dari berbagai instansi, seperti Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Keamanan Laut (Bakamla), TNI Angkatan Laut, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Kementerian Kelautan dan Perikanan, BMKG, Pushidrosal, serta berbagai sensor maritim seperti *Automatic Identification System* (AIS), radar, citra satelit, drone, dan *Internet of Things* (IoT), mampu menghasilkan informasi yang lebih komprehensif, akurat, dan diperbarui secara *real-time*. Ketersediaan informasi yang terintegrasi tersebut memberikan dasar yang lebih kuat bagi pengambil keputusan dalam merespons berbagai ancaman di wilayah perairan Indonesia.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pemanfaatan *Big Data* dan *Artificial Intelligence* (AI) mampu meningkatkan kemampuan sistem dalam mengolah data maritim secara cepat dan efisien. Melalui analisis spasial dan analisis prediktif, sistem dapat mendeteksi aktivitas kapal yang mencurigakan, memprediksi potensi ancaman, menyusun peta kerawanan, serta memberikan rekomendasi prioritas pengawasan dan patroli. Integrasi SIG, *Big Data*, dan AI tidak hanya meningkatkan kualitas informasi yang dihasilkan, tetapi juga memperkuat *Maritime Domain Awareness* (MDA) sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih objektif, adaptif, dan berbasis data.

Model Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi yang diusulkan dalam penelitian ini menghubungkan berbagai sumber data ke dalam satu platform yang mendukung interoperabilitas antarinstansi. Model tersebut diharapkan mampu meningkatkan koordinasi antara BIG, Bakamla, TNI Angkatan Laut, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Kementerian Kelautan dan Perikanan, BMKG, Pushidrosal, serta instansi terkait lainnya dalam melaksanakan pengawasan dan pengamanan wilayah laut Indonesia. Selain meningkatkan efektivitas operasi keamanan maritim, model ini juga dapat menjadi salah satu alternatif pengembangan sistem informasi nasional yang mendukung perumusan kebijakan strategis di bidang pertahanan dan keamanan maritim.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena menggunakan pendekatan studi literatur sehingga model yang dihasilkan masih bersifat konseptual dan belum diuji menggunakan data operasional secara *real-time*. Selain itu, penelitian ini belum membahas secara rinci implementasi algoritma AI maupun evaluasi kinerja sistem dalam kondisi operasional. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji model yang diusulkan pada wilayah strategis, seperti Selat Malaka, Laut Natuna Utara, atau perairan Batam dan Tanjung Balai Karimun, dengan memanfaatkan data operasional dari berbagai instansi. Pengujian tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai efektivitas model dalam mendukung pengambilan keputusan strategis

sekaligus menjadi dasar pengembangan Sistem Informasi Geospasial Nasional Terintegrasi yang lebih aplikatif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial. (2023). *Laporan Tahunan Badan Informasi Geospasial Tahun 2023*. <https://www.big.go.id>
- Badan Keamanan Laut Republik Indonesia. (2022). *Indeks Keamanan Laut Indonesia*. <https://www.bakamla.go.id>
- Badan Keamanan Laut Republik Indonesia. (2023). *Laporan Kinerja Badan Keamanan Laut Republik Indonesia Tahun 2023*. <https://www.bakamla.go.id>
- Badan Keamanan Laut Republik Indonesia. (2023). *Laporan Tahunan Badan Keamanan Laut Republik Indonesia Tahun 2023*. <https://www.bakamla.go.id>
- Bueger, C. (2015). What is maritime security? *Marine Policy*, 53, 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.12.005>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Direktorat Jenderal Bea dan Cukai. (2023). *Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Bea dan Cukai Tahun 2023*. <https://www.beacukai.go.id>
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211–221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- International Maritime Organization. (2021). *Introduction to IMO*. <https://www.imo.org>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (2023). *Laporan Kinerja Kementerian Kelautan dan Perikanan Tahun 2023*. <https://kkp.go.id>
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2015). *Buku Putih Pertahanan Indonesia*. <https://www.kemhan.go.id>
- Klein, N. (2011). *Maritime security and the law of the sea*. Oxford University Press.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Marr, B. (2015). *Big data: Using SMART big data, analytics and metrics to make better decisions and improve performance*. John Wiley & Sons.
- Marr, B. (2021). *Artificial intelligence in practice: How 50 successful companies used AI and machine learning to solve problems*. John Wiley & Sons.
- Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. John Murray.
- Open Geospatial Consortium. (2023). *OGC standards and supporting documents*. <https://www.ogc.org/standards/>
- Pusat Hidro-Oceanografi TNI Angkatan Laut. (2023). *Laporan Tahunan Pushidrosal Tahun 2023*. <https://pushidrosal.id>
- Republik Indonesia. (2011). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial*. <https://peraturan.bpk.go.id>
- Republik Indonesia. (2014). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2014 tentang Kelautan*. <https://peraturan.bpk.go.id>
- Republik Indonesia. (2016). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta pada Tingkat Ketelitian Peta Skala 1:50.000*. <https://peraturan.bpk.go.id>

- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut. (2021). *Doktrin TNI Angkatan Laut Jalesveva Jayamahe*. <https://tnial.mil.id>
- Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2011). *Decision support and business intelligence systems* (9th ed.). Pearson.
- 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, 104444.