

Menuju *National Maritime Intelligence Center* Indonesia: Arsitektur *Maritime Fusion Center* Berbasis *Artificial Intelligence* Untuk Mendukung Pengambilan Keputusan Strategis Keamanan Maritim Nasional

Dhany Tantowi Tinambunan^{1*}, Fitry Taufiq Sahary², Yuniar³, Nefra Firdaus⁴,
Harri Dolli Hutabarat⁵, Lukman Yudho Prakoso⁶

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

dhany.tinambunan@km.idu.ac.id^{1*}, fitry.taufiq@idu.ac.id², yuniar@idu.ac.id³,
nefra.firdaus@idu.ac.id⁴, harri.dolli@idu.ac.id⁵, lukman.prakoso@idu.ac.id⁶

*Corresponding Author

Article Info	Abstrak
Article history: Received : 13 July, 2026 Revised : 14 July, 2026 Accepted : 16 July 2026	
Kata Kunci: Artificial Intelligence; Decision Support System; Geospatial Intelligence; Maritime Fusion Center; Maritime Domain Awareness; National Maritime Intelligence Center.	Indonesia sebagai negara kepulauan dengan posisi strategis pada jalur pelayaran internasional menghadapi berbagai ancaman keamanan maritim, seperti penangkapan ikan ilegal, penyelundupan, perompakan, perdagangan manusia, hingga ancaman siber terhadap infrastruktur maritim. Meskipun berbagai kementerian dan lembaga telah memiliki sistem informasi dan pusat komando masing-masing, pengelolaan data keamanan maritim masih bersifat sektoral sehingga menimbulkan fragmentasi informasi, keterbatasan interoperabilitas, dan rendahnya efektivitas dalam mendukung pengambilan keputusan strategis. Penelitian ini bertujuan mengembangkan arsitektur konseptual <i>National Maritime Intelligence Center</i> (NMIC) sebagai <i>Maritime Fusion Center</i> berbasis <i>Artificial Intelligence</i> (AI) yang mampu mengintegrasikan data dan informasi lintas instansi ke dalam satu ekosistem intelijen maritim nasional. Penelitian menggunakan pendekatan <i>conceptual paper</i> dengan metode <i>Design Science Research</i> (DSR) melalui tahapan identifikasi permasalahan, kajian literatur secara sistematis, analisis kesenjangan penelitian (<i>research gap</i>), perancangan arsitektur konseptual, dan penyusunan rekomendasi kebijakan. Hasil penelitian menghasilkan kerangka arsitektur NMIC yang mengintegrasikan <i>Geospatial Intelligence</i> (GEOINT), <i>Artificial Intelligence</i> , <i>Big Data Analytics</i> , <i>Cloud Computing</i> , serta <i>Maritime Common Operational Picture</i> (MCOP) sebagai dasar <i>Decision Support System</i> bagi pengambil keputusan strategis. Arsitektur yang diusulkan menempatkan NMIC sebagai pusat integrasi intelijen maritim nasional (<i>Maritime Fusion Center</i>) yang menghubungkan berbagai pemangku kepentingan, termasuk TNI AL, Bakamla, BIN, BSSN, KKP, Bea Cukai, BMKG, BIG, BRIN, Polairud, dan KPLP, sehingga mampu meningkatkan interoperabilitas data, memperkuat <i>Maritime Domain Awareness</i> (MDA), serta mendukung respons yang lebih cepat, akurat, dan terkoordinasi terhadap berbagai ancaman di wilayah maritim Indonesia. Kontribusi utama penelitian ini adalah penyusunan kerangka konseptual

NMIC yang mengintegrasikan dimensi kelembagaan, teknologi, dan tata kelola sebagai referensi bagi pengembangan kebijakan nasional menuju sistem intelijen maritim yang terintegrasi, adaptif, dan berbasis data.

PENDAHULUAN

Keamanan maritim global tengah memasuki fase transformasi yang ditandai oleh pergeseran dari pengawasan berbasis platform tunggal menuju ekosistem pengawasan multisensor yang terintegrasi. Perkembangan *digital twin* untuk domain maritim, misalnya, menunjukkan bagaimana representasi virtual *real-time* dari kondisi laut kini digunakan bukan sekadar untuk efisiensi operasional pelabuhan dan kapal, tetapi juga sebagai instrumen keberlanjutan dan pengambilan keputusan strategis (Klar et al., 2023; Mauro & Kana, 2023; Tzachor et al., 2023). Paralel dengan itu, transformasi digital pada sektor transportasi maritim secara luas telah mendorong negara-negara maritim utama untuk merombak arsitektur data mereka, dari sistem yang terfragmentasi menuju platform yang lebih terpadu (Tijan et al., 2021). Fenomena ini memperlihatkan satu pola yang konsisten, yaitu kompleksitas ancaman dan aktivitas di laut tidak lagi dapat dipahami secara memadai melalui satu sumber data tunggal, melainkan menuntut fusi informasi lintas-sensor dan lintas-platform.

Indonesia menempati posisi yang secara struktural berbeda dari kebanyakan negara yang menjadi rujukan literatur transformasi digital maritim tersebut. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan garis pantai yang sangat panjang dan wilayah yurisdiksi laut yang luas, kompleksitas pengawasan maritim Indonesia bukan hanya soal volume data, melainkan juga soal keragaman aktor yang menghasilkan dan membutuhkan data tersebut. Setidaknya terdapat lebih dari sepuluh kementerian dan lembaga yang memiliki mandat serta kepentingan operasional di ruang laut nasional, meliputi TNI Angkatan Laut, Badan Keamanan Laut, Badan Intelijen Negara, Badan Siber dan Sandi Negara, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Badan Informasi Geospasial, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kepolisian Perairan dan Udara, serta Kesatuan Penjagaan Laut dan Pantai. Kondisi ini secara struktural rentan terhadap fragmentasi data karena setiap instansi cenderung membangun sistem pengawasannya sendiri, dengan standar data, protokol interoperabilitas, dan mekanisme berbagi informasi yang tidak seragam. Akibatnya, gambaran situasi maritim nasional yang utuh, yang idealnya tersedia secara *real-time* bagi pengambil keputusan strategis, justru tersebar dalam silo-silo institusional yang sulit disintesis secara cepat pada saat dibutuhkan.

Di tingkat global, tren mengatasi fragmentasi semacam ini justru terlihat jelas pada perkembangan teknologi pengumpulan data maritim itu sendiri. Pengawasan maritim berbasis satelit kini semakin mengandalkan kombinasi sensor *synthetic aperture radar* dan *automatic identification system* untuk mendeteksi dan mengklasifikasi kapal secara lebih akurat, termasuk kapal yang mematikan transpondernya (Rodger & Guida, 2020; Soldi et al., 2020). Data AIS sendiri telah berkembang menjadi salah satu sumber *big data* maritim paling signifikan, dengan metode *machine learning* yang semakin matang untuk merekonstruksi lintasan kapal, memetakan pola lalu lintas maritim, maupun mendeteksi anomali perilaku pelayaran (Han et al., 2021; Liang et al., 2024; Wolsing et al., 2022; Xin

et al., 2024; Yang et al., 2024). Di sisi lain, penginderaan jauh berbasis *unmanned aerial vehicle* telah menjadi pelengkap penting bagi pengawasan satelit, khususnya untuk area pesisir dan operasi jarak dekat yang membutuhkan resolusi lebih tinggi dan respons lebih cepat (Li et al., 2022; Nomikos et al., 2022; Zhang & Zhu, 2023). Pelengkap lain datang dari *Internet of Underwater Things*, yang mulai membuka kemungkinan pengawasan pada dimensi bawah permukaan laut yang selama ini menjadi titik buta pengawasan konvensional (Jahanbakht et al., 2020). Ironisnya, proliferasi teknologi pengumpulan data ini, baik satelit, AIS, UAV, maupun sensor bawah laut, apabila tidak diikuti oleh kerangka fusi yang setara pada tingkat kelembagaan, justru berpotensi memperparah fragmentasi alih-alih menyelesaikannya, karena setiap teknologi cenderung diadopsi secara terpisah oleh instansi yang berbeda.

Kesadaran atas risiko tersebut mendorong sejumlah negara membangun pusat fusi informasi maritim tingkat nasional yang berfungsi mengintegrasikan data lintas-instansi ke dalam satu gambaran situasional bersama. Secara konseptual, keamanan maritim sendiri bukan sekadar persoalan kehadiran kekuatan bersenjata di laut, melainkan kondisi terlindunginya aktivitas maritim dari ancaman dan risiko yang dapat mengganggu pemanfaatannya secara berkelanjutan (Bueger, 2015), sebuah definisi yang secara implisit menuntut kapasitas pemantauan lintas-sektor, bukan sekadar kapasitas militer. Kapasitas tersebut, dalam kerangka *Maritime Domain Awareness*, memerlukan kemampuan analitik yang mengintegrasikan data heterogen dari berbagai sumber menjadi satu gambaran situasi yang koheren dan dapat ditindaklanjuti secara operasional (Shahir et al., 2015). Realisasi kelembagaan dari kebutuhan ini disebut dalam kajian ini sebagai *Maritime Fusion Center*, yaitu entitas yang misi intinya adalah memperkuat MDA dengan mengumpulkan dan menganalisis data dari berbagai sumber, memfusikannya menjadi informasi yang bermakna, dan mendiseminasikan intelijen yang dapat ditindaklanjuti kepada komandan operasional untuk secara langsung meningkatkan keamanan, keselamatan, ekonomi, dan lingkungan nasional (Canyon & McMullin, 2020). *Geospatial Intelligence* berperan sebagai lapisan yang menerjemahkan data spasial-temporal mentah menjadi informasi yang dapat ditindaklanjuti, sementara *Artificial Intelligence* dan *Big Data Analytics* berfungsi sebagai mesin yang memungkinkan proses ini berlangsung pada skala dan kecepatan yang tidak lagi dapat ditangani secara manual.

Sebagaimana telah dijelaskan pada tahap analisis referensi, literatur yang tersedia menunjukkan kesenjangan yang cukup mencolok. Literatur teknis mengenai teknologi pendukung berkembang pesat secara individual, dan literatur kelembagaan mengenai *Maritime Fusion Center* telah mulai menjelaskan esensi dan mekanisme kerjanya (Canyon & McMullin, 2020), namun pembahasan tersebut masih berhenti pada tingkat konsep dan mekanisme umum, belum turun ke tingkat rancangan arsitektur teknis yang secara eksplisit mengintegrasikan *Geospatial Intelligence*, *Artificial Intelligence*, dan *Big Data*, apalagi untuk konteks spesifik negara kepulauan dengan sebelas instansi berkepentingan seperti Indonesia. Kesenjangan ini mencakup empat dimensi sekaligus. Secara teoretis, belum ada kerangka yang secara eksplisit menghubungkan konsep *Maritime Security* dan *Maritime Fusion Center* (Bueger, 2015; Canyon & McMullin, 2020) dengan arsitektur teknis *Geospatial Intelligence* dan *Artificial Intelligence*. Secara metodologis, penerapan

Design Science Research (Hevner et al., 2004) untuk merancang artefak arsitektur intelijen maritim tingkat nasional belum ditemukan pada literatur yang tersedia. Secara praktis, belum ada model integrasi data yang secara spesifik memetakan aliran informasi antara sebelas instansi yang disebutkan di atas. Secara kebijakan, belum ada rekomendasi tata kelola yang menjawab bagaimana sebuah *National Maritime Intelligence Center* semestinya diposisikan dalam struktur pemerintahan Indonesia.

Berangkat dari kesenjangan tersebut, kebaruan yang ditawarkan kajian ini terletak pada perumusan arsitektur konseptual *National Maritime Intelligence Center* sebagai *Maritime Fusion Center* berbasis *Artificial Intelligence*, yang secara eksplisit merancang integrasi data lintas-sebelas-instansi ke dalam satu *Maritime Common Operational Picture* untuk mendukung *Decision Support System* pada tingkat strategis nasional. Berbeda dari kajian mekanisme umum *Maritime Fusion Center* yang telah ada (Canyon & McMullin, 2020), kajian ini memposisikan diri pada tingkat arsitektur sistem, menjawab bukan hanya apa itu *fusion center* dan mengapa dibutuhkan, melainkan bagaimana lapisan teknis *Geospatial Intelligence*, *Artificial Intelligence*, dan *Big Data* secara konkret difusikan secara kelembagaan agar menghasilkan keputusan strategis yang koheren untuk konteks negara kepulauan yang kompleks.

Tujuan kajian ini adalah merancang arsitektur konseptual *National Maritime Intelligence Center* Indonesia sebagai *Maritime Fusion Center* berbasis *Artificial Intelligence*, dengan menggunakan pendekatan *Design Science Research* (Hevner et al., 2004) untuk memetakan aliran data dan fungsi tiap lapisan arsitektur tersebut, serta merumuskan implikasi kebijakan bagi instansi-instansi terkait dalam mendukung pengambilan keputusan strategis keamanan maritim nasional. Secara ilmiah, kajian ini berkontribusi pada pengayaan kerangka konseptual yang menjembatani literatur teknis *Geospatial Intelligence*, *Artificial Intelligence*, dan *Big Data* dengan literatur kelembagaan *Maritime Security* dan *Maritime Domain Awareness*, sebuah jembatan yang sebagaimana ditunjukkan pada analisis referensi masih jarang dibangun secara eksplisit dalam literatur yang ada. Secara praktis, kajian ini menawarkan kerangka acuan awal bagi pemerintah Indonesia dalam mempertimbangkan pembentukan *National Maritime Intelligence Center*, lengkap dengan roadmap implementasi bertahap hingga tahun 2045 dan implikasi kebijakan yang terpetakan per-instansi.

Konsep keamanan maritim mengalami perluasan makna yang signifikan dalam dua dekade terakhir. Jika sebelumnya keamanan maritim dipahami secara sempit sebagai kehadiran kekuatan angkatan laut untuk mengamankan wilayah perairan dari ancaman militer, pemahaman kontemporer menekankan keamanan maritim sebagai kondisi terlindunginya seluruh aktivitas maritim dari beragam ancaman dan risiko yang dapat mengganggu pemanfaatan laut secara berkelanjutan, mencakup dimensi ekonomi, lingkungan, dan keselamatan sekaligus (Bueger, 2015). Perluasan makna ini memiliki konsekuensi kelembagaan yang serius, karena jika ancaman maritim bersifat multidimensi, maka aktor yang bertanggung jawab menanganinya juga tidak bisa tunggal. Literatur ini menegaskan bahwa keamanan maritim pada dasarnya adalah persoalan lintas-sektor yang menuntut kolaborasi antarlembaga, bukan tugas tunggal satu institusi pertahanan. Sintesis dari subbab ini memposisikan kajian sekarang pada titik lanjutan,

yaitu jika keamanan maritim secara konseptual sudah dipahami sebagai persoalan lintas-sektor, maka pertanyaan berikutnya yang belum banyak dijawab literatur adalah bagaimana arsitektur teknis dan kelembagaan yang mampu mewujudkan kolaborasi lintas-sektor tersebut secara operasional, terutama pada konteks negara dengan kompleksitas kelembagaan setinggi Indonesia.

Maritime Domain Awareness merupakan turunan operasional dari konsep keamanan maritim yang lebih luas. MDA menuntut kemampuan analitik yang dapat mengintegrasikan data heterogen dari berbagai sumber menjadi satu gambaran situasi yang koheren dan dapat ditindaklanjuti secara *real-time* (Shahir et al., 2015). Kerangka analitik ini pada dasarnya adalah jembatan konseptual antara data mentah dan keputusan operasional, namun literatur yang mengembangkannya cenderung berfokus pada aspek algoritmik dan pemodelan situasi, tanpa banyak membahas siapa yang semestinya mengoperasikan kerangka tersebut pada skala nasional dan bagaimana kewenangannya dibagi antarlembaga. Sintesis dari dua subbab pertama menunjukkan pola yang konsisten, yaitu literatur konseptual menjelaskan dengan baik apa yang dibutuhkan (kesadaran situasional yang terintegrasi) namun belum menjelaskan secara rinci bagaimana kebutuhan tersebut diwujudkan dalam bentuk arsitektur sistem yang konkret, khususnya untuk konteks kepulauan dengan banyak instansi berkepentingan.

Pada lapisan teknis, GEOINT berkembang sangat pesat melalui kombinasi berbagai platform pengindraan. Pengawasan berbasis satelit dengan sensor *synthetic aperture radar* telah terbukti efektif mendeteksi kapal bahkan pada kondisi yang menyulitkan deteksi optik, dan ketika dikombinasikan dengan data AIS mampu mengidentifikasi kapal yang sengaja mematikan transpondernya untuk menghindari deteksi (Pastina et al., 2021; Rodger & Guida, 2020; Soldi et al., 2020). Deteksi kapal berbasis SAR sendiri terus disempurnakan melalui arsitektur *deep learning* yang semakin efisien, baik untuk meningkatkan akurasi maupun mengurangi beban komputasi (Wei et al., 2020; Xu et al., 2022). Pada level yang lebih dekat dengan permukaan, *unmanned aerial vehicle* telah menjadi platform pelengkap yang esensial, digunakan mulai dari deteksi kapal jarak dekat, pengawasan pesisir, pencarian dan pertolongan, hingga pengawasan lalu lintas maritim padat, dengan kajian yang mencakup baik aspek teknis penerbangan maupun aspek keamanan siber platform itu sendiri (Boccadoro et al., 2020; Emilien et al., 2021; Javaid et al., 2024; Li et al., 2022; Lykou et al., 2020; Lyu et al., 2023; Mohsan et al., 2022, 2023; Nomikos et al., 2022; Pal et al., 2024; Seidaliyeva et al., 2023; Zhang & Zhu, 2023). Sintesis dari subbab ini menunjukkan bahwa GEOINT sudah matang sebagai kapabilitas teknis multi-platform, namun literatur yang ada konsisten membahas tiap platform secara terpisah. Belum ada kajian yang memposisikan kombinasi satelit, UAV, dan sensor darat sebagai satu lapisan tunggal dalam arsitektur intelijen kelembagaan yang lebih besar, yang justru menjadi salah satu fokus utama kajian ini.

GIS berperan sebagai infrastruktur dasar yang memungkinkan data spasial dari berbagai sumber ditampilkan, dianalisis, dan dikorelasikan secara geografis. Penerapannya pada domain kebumihan dan lingkungan menunjukkan bagaimana GIS dapat dikombinasikan dengan kecerdasan buatan untuk analisis prediktif berbasis lokasi (Janga et al., 2023), sementara pemetaan geospasial berbasis *crowd* atau sensor

terdistribusi menunjukkan potensi GIS sebagai kanal integrasi data multisumber (Emilien et al., 2021). Meski demikian, literatur GIS yang tersedia dalam kajian ini lebih banyak membahas konteks daratan dan lingkungan dibanding konteks maritim secara spesifik. Sintesis subbab ini menegaskan bahwa GIS berfungsi sebagai lapisan pendukung yang esensial namun generik, sehingga kekhususannya untuk domain maritim, termasuk penanganan data dinamis seperti pergerakan kapal secara *real-time*, perlu dirancang secara khusus dalam arsitektur yang diusulkan kajian ini.

Kecerdasan buatan menjadi mesin utama yang mengubah data mentah GEOINT menjadi informasi yang dapat ditindaklanjuti. Pada domain visual, *deep learning* diskriminatif telah menjadi tulang punggung kesadaran situasional berbasis penglihatan mesin di laut, mencakup deteksi objek, klasifikasi kapal, dan pengenalan pola perilaku (D. Qiao et al., 2021). Kemajuan serupa terjadi pada deteksi objek untuk citra penginderaan jauh secara umum, dengan berbagai arsitektur yang dioptimalkan untuk kecepatan maupun akurasi (Gadamsetty et al., 2022; Nikouei et al., 2025; Ullo & Sinha, 2021). Pada level platform otonom, kecerdasan buatan juga menjadi penggerak utama kapal permukaan tanpa awak dan kendaraan bawah air tanpa awak, memungkinkan navigasi dan pengambilan keputusan otonom pada lingkungan laut yang dinamis (Bae & Hong, 2023; Y. Qiao et al., 2022; Thombre et al., 2020; Wibisono et al., 2023). Sintesis subbab ini memperlihatkan bahwa AI dalam literatur yang ada berfungsi pada dua level berbeda, yaitu level persepsi atau deteksi dan level otonomi platform, namun keduanya jarang dibahas sebagai satu mesin analitik terpusat yang melayani kebutuhan pengambilan keputusan strategis di tingkat nasional, sebuah peran yang justru diproyeksikan kajian ini melalui konsep *AI Engine* dalam arsitektur NMIC.

Volume data AIS, citra satelit, dan sensor IoT maritim yang terus meningkat menuntut kapabilitas *big data analytics* yang matang. Pemrosesan data AIS melalui pembelajaran mesin telah terbukti mampu merekonstruksi lintasan kapal pada kondisi data hilang, mengklasifikasikan pola lalu lintas maritim, dan mendeteksi anomali perilaku pelayaran secara otomatis (Han et al., 2021; Liang et al., 2024; Wolsing et al., 2022; Xin et al., 2024; Yang et al., 2024). Pada level infrastruktur, adopsi platform *cloud* dan visualisasi data berskala besar dengan akselerasi *GPU* menjadi kebutuhan yang semakin mendesak untuk mengolah volume data maritim yang terus bertambah (Gavalas et al., 2022; Surucu-Balci et al., 2024). Sintesis subbab ini menunjukkan bahwa kapabilitas teknis *big data* untuk *domain maritim* sudah relatif matang secara individual, namun literatur belum banyak membahas bagaimana kapabilitas ini diposisikan dalam satu platform *big data* terpusat yang melayani kebutuhan lintas-instansi, bukan sekadar kebutuhan satu operator atau satu jenis analisis.

Berbeda dengan subbab sebelumnya, literatur DSS yang secara spesifik membahas konteks keputusan strategis keamanan maritim nasional relatif tipis pada basis referensi kajian ini. Fungsi DSS dalam konteks *Maritime Fusion Center* dapat disimpulkan secara tidak langsung dari uraian mengenai bagaimana intelijen yang telah difusikan didiseminasikan kepada komandan operasional untuk mendukung tindakan langsung (Canyon & McMullin, 2020), namun mekanisme teknis DSS itu sendiri, termasuk bagaimana keluaran *AI Engine* dan MCOP diterjemahkan menjadi rekomendasi keputusan

yang terstruktur, belum dibahas secara eksplisit dalam literatur yang tersedia. Sintesis subbab ini menegaskan bahwa DSS merupakan salah satu titik kesenjangan literatur yang paling nyata, dan kajian ini akan mengisinya secara konseptual melalui rancangan arsitektur pada bagian Hasil dan Pembahasan.

Maritime Fusion Center adalah entitas kelembagaan yang misinya memperkuat MDA dengan mengumpulkan dan menganalisis data dari berbagai sumber, memfusikannya menjadi informasi yang bermakna, dan mendiseminasikan intelijen yang dapat ditindaklanjuti kepada komandan operasional untuk secara langsung meningkatkan keamanan, keselamatan, ekonomi, dan lingkungan (Canyon & McMullin, 2020). Konsep ini menjelaskan secara jelas fungsi dan tujuan sebuah *fusion center*, namun pembahasannya tetap berada pada level kebijakan dan mekanisme umum, tanpa merinci arsitektur teknis lapis demi lapis yang memungkinkan fungsi tersebut berjalan pada skala nasional dengan kompleksitas sebelas instansi seperti yang dihadapi Indonesia. Sintesis subbab ini menjadi salah satu titik tolak paling penting bagi kajian ini, karena kesenjangan antara definisi fungsional *fusion center* dan rancangan arsitektur teknisnya adalah persis area yang diisi oleh arsitektur konseptual NMIC yang diusulkan.

Literatur yang tersedia belum menyediakan pembahasan khusus mengenai *National Maritime Intelligence Center* sebagai entitas berdiri sendiri, namun konsepnya dapat ditarik secara tidak langsung dari pembahasan jaringan *fusion center* di kawasan Indo-Pasifik, yang mencakup preseden semacam *National Maritime Intelligence-Integration Office* di Amerika Serikat maupun pusat fusi informasi di kawasan Samudra Hindia dan Asia Tenggara (Canyon & McMullin, 2020). Preseden-preseden ini menunjukkan bahwa model kelembagaan semacam NMIC bukan hal baru secara global, namun penerapannya sangat bergantung pada konteks kelembagaan masing-masing negara. Sintesis subbab ini menegaskan bahwa Indonesia belum memiliki entitas setara NMIC yang terbentuk secara formal, dan kajian ini mengisi kekosongan tersebut dengan merumuskan rancangan konseptual NMIC yang secara spesifik disesuaikan dengan struktur kelembagaan keamanan maritim Indonesia.

MCOP dapat dipahami sebagai keluaran akhir dari proses fusi data yang dilakukan *Maritime Fusion Center*, yaitu gambaran situasi maritim tunggal yang terintegrasi dan dapat diakses bersama oleh seluruh pemangku kepentingan (Canyon & McMullin, 2020), yang secara teknis bertumpu pada kerangka analitik yang mampu mengintegrasikan data heterogen menjadi satu representasi situasi yang koheren (Shahir et al., 2015). Kedua sumber ini saling melengkapi, satu menjelaskan MCOP dari sisi kelembagaan dan satu lagi dari sisi analitik, namun belum ada yang menjelaskan bagaimana keduanya terhubung secara teknis dalam satu alur data yang jelas. Sintesis subbab ini memperlihatkan bahwa MCOP dalam kajian ini perlu dirancang sebagai titik pertemuan eksplisit antara lapisan analitik dan lapisan kelembagaan, sesuatu yang belum dirumuskan secara rinci pada literatur yang ada.

Interoperability Framework

Interoperabilitas data lintas-sistem menjadi prasyarat mutlak bagi berfungsinya sebuah *fusion center*, dan sinyal kebutuhan ini terlihat pada literatur transformasi digital sektor maritim yang mendorong standardisasi pertukaran data antarplatform (Tijan et al., 2021), maupun pada literatur *blockchain* yang menawarkan mekanisme pencatatan

data terdesentralisasi dan dapat diverifikasi lintas-pihak sebagai salah satu pendekatan interoperabilitas (Farah et al., 2024). Meski demikian, kedua literatur tersebut membahas interoperabilitas dalam konteks industri pelayaran komersial, bukan konteks keamanan nasional dengan kebutuhan klasifikasi data dan kontrol akses yang jauh lebih ketat. Sintesis subbab ini menunjukkan perlunya kerangka interoperabilitas yang dirancang khusus mempertimbangkan sensitivitas data intelijen keamanan, bukan sekadar mengadopsi model interoperabilitas industri secara langsung.

Kebutuhan tata kelola lintas-lembaga dapat ditarik secara deduktif dari dua premis yang sudah dibangun sebelumnya, yaitu keamanan maritim yang bersifat lintas-sektor menuntut kolaborasi antarlembaga (Bueger, 2015), dan *fusion center* sebagai entitas yang secara inheren bertugas menerima kontribusi data dari berbagai instansi serta mendiseminasikan hasil analisisnya kembali kepada mereka (Canyon & McMullin, 2020). Kombinasi kedua premis ini menyiratkan bahwa keberhasilan sebuah *fusion center* bergantung pada desain tata kelola yang mengatur pembagian kewenangan, mekanisme berbagi data, dan akuntabilitas antarlembaga, namun literatur yang tersedia tidak membahas desain tata kelola tersebut secara eksplisit. Sintesis subbab ini menegaskan bahwa *Multi-Agency Governance* adalah area yang paling banyak bergantung pada argumentasi konseptual penulis dalam kajian ini, karena literatur akademik pendukungnya memang belum tersedia secara memadai.

Semakin terintegrasinya sistem informasi maritim justru memperbesar permukaan serangan siber. Kajian terhadap sistem siber-fisik pada aset maritim menunjukkan bahwa infrastruktur pelabuhan dan kapal modern rentan terhadap serangan yang menasar baik lapisan teknologi informasi maupun lapisan teknologi operasional (Progoulakis et al., 2021), sementara metode penilaian risiko siber khusus untuk sistem kapal menawarkan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi kerentanan pada tahap desain (Bolbot et al., 2020). Pada level platform pengumpul data, UAV yang digunakan untuk pengawasan maritim juga terbukti rentan terhadap berbagai jenis serangan siber yang dapat mengganggu integritas data yang dikumpulkannya (Lykou et al., 2020). Sintesis subbab ini menegaskan bahwa keamanan siber bukan komponen tambahan, melainkan prasyarat struktural bagi keandalan seluruh lapisan arsitektur NMIC, mengingat kompromi pada satu titik saja berpotensi mencemari keseluruhan *Maritime Common Operational Picture* yang dihasilkan.

Literatur yang tersedia menjelaskan keamanan maritim sebagai persoalan lintas-sektor yang menuntut kolaborasi antarlembaga (Bueger, 2015), dan menjelaskan *Maritime Fusion Center* sebagai entitas yang berfungsi memfusiikan data lintas-instansi menjadi intelijen yang dapat ditindaklanjuti (Canyon & McMullin, 2020). Kedua gagasan ini berada pada level konseptual dan kebijakan, sementara literatur teknis mengenai *Geospatial Intelligence*, *Artificial Intelligence*, dan *Big Data Analytics* berkembang pada jalur yang terpisah, dengan fokus pada kapabilitas per-platform seperti satelit, UAV, AIS, maupun sensor bawah laut. Belum ditemukan kerangka teoretis yang secara eksplisit menghubungkan kedua jalur ini, sehingga konsep *fusion center* pada tataran kebijakan belum memiliki padanan arsitektur teknis yang menjelaskan bagaimana lapisan-lapisan teknologi tersebut difusikan secara struktural. Kesenjangan teoretis inilah yang menjadi

dasar bagi kajian ini untuk merumuskan kerangka yang menyatukan pemahaman kelembagaan tentang *fusion center* dengan arsitektur lapis-berlapis dari GEOINT hingga *Decision Support System*.

Design Science Research menawarkan pendekatan sistematis untuk menghasilkan artefak yang menjawab masalah relevan sekaligus berkontribusi pada basis pengetahuan (Hevner et al., 2004), namun penerapannya untuk merancang artefak arsitektur intelijen maritim tingkat nasional belum ditemukan pada basis referensi kajian ini. Sebagian besar literatur teknis yang tersedia menggunakan pendekatan eksperimental atau evaluatif untuk menguji performa suatu model atau algoritma tertentu, bukan pendekatan perancangan artefak kelembagaan berskala sistem. Kekosongan metodologis ini relevan secara khusus bagi *conceptual paper* yang bertujuan merancang arsitektur, karena tanpa kerangka metodologis yang tepat, hasil rancangan berisiko terjebak sebagai daftar teknologi tanpa struktur perancangan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Kajian ini mengisi kekosongan tersebut dengan mengadopsi *Design Science Research* sebagai payung metodologis penyusunan arsitektur NMIC.

Belum ada model yang secara spesifik memetakan aliran data dan integrasi antara sebelas instansi yang berkepentingan atas keamanan maritim Indonesia, meliputi TNI Angkatan Laut, Badan Keamanan Laut, Badan Intelijen Negara, Badan Siber dan Sandi Negara, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Badan Informasi Geospasial, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kepolisian Perairan dan Udara, serta Kesatuan Penjagaan Laut dan Pantai. Preseden jaringan *fusion center* di kawasan Indo-Pasifik menunjukkan bahwa model semacam ini bergantung pada konteks kelembagaan masing-masing negara (Canyon & McMullin, 2020), sehingga model dari satu negara tidak dapat langsung diadopsi untuk konteks Indonesia tanpa penyesuaian struktural yang signifikan. Kekosongan praktis ini menuntut rancangan arsitektur yang secara eksplisit mempertimbangkan struktur kelembagaan Indonesia, bukan sekadar mereplikasi model generik dari negara lain.

Belum ada rekomendasi kebijakan yang menjawab bagaimana sebuah *National Maritime Intelligence Center* semestinya diposisikan dalam struktur pemerintahan Indonesia, termasuk kewenangannya relatif terhadap sebelas instansi yang telah disebutkan, mekanisme pelaporannya kepada otoritas nasional, dan payung regulasi yang mengaturnya. Kekosongan ini penting untuk diisi mengingat pembentukan entitas kelembagaan baru pada konteks keamanan nasional selalu membawa konsekuensi terhadap tata kelola dan kewenangan lembaga yang sudah ada, sehingga rekomendasi kebijakan yang dirumuskan tanpa mempertimbangkan struktur pemerintahan yang berlaku berisiko sulit diimplementasikan.

Berdasarkan keempat kesenjangan tersebut, kebaruan yang ditawarkan kajian ini terletak pada tiga hal yang saling terkait. Pertama, kajian ini merumuskan jembatan konseptual eksplisit antara literatur kelembagaan *Maritime Security* dan *Maritime Fusion Center* dengan arsitektur teknis *Geospatial Intelligence*, *Artificial Intelligence*, dan *Big Data Analytics*, sesuatu yang belum dibangun secara eksplisit dalam literatur yang ada. Kedua, kajian ini menerapkan *Design Science Research* sebagai kerangka metodologis untuk

merancang artefak arsitektur intelijen maritim tingkat nasional, mengisi kekosongan metodologis yang teridentifikasi. Ketiga, kajian ini merancang model integrasi data yang secara spesifik mempertimbangkan kompleksitas sebelas instansi Indonesia sebagai negara kepulauan, lengkap dengan implikasi kebijakan dan roadmap implementasi bertahap hingga tahun 2045, sehingga kontribusinya tidak berhenti pada tataran konseptual semata melainkan menyentuh tataran praktis dan kebijakan sekaligus.

Tabel 1. Ringkasan Empat Dimensi Identifikasi Gap

Dimensi Gap	Kondisi Literatur Saat Ini	Kesenjangan yang Diidentifikasi
Teoretis	Keamanan maritim lintas-sektor dan Maritime Fusion Center dipahami pada level konseptual-kebijakan; GEOINT, AI, dan Big Data Analytics berkembang terpisah pada level teknis	Belum ada kerangka teoretis yang menghubungkan pemahaman kelembagaan fusion center dengan arsitektur teknis berlapis
Metodologis	Design Science Research banyak diterapkan untuk artefak teknis skala algoritma/model	Belum ditemukan penerapan DSR untuk merancang artefak arsitektur intelijen maritim tingkat nasional
Praktis	Preseden fusion center regional bergantung pada konteks kelembagaan masing-masing negara	Belum ada model yang memetakan aliran data dan integrasi sebelas instansi maritim Indonesia
Kebijakan	Kerangka fusion center di berbagai negara memiliki payung hukum masing-masing sesuai konteksnya	Belum ada rekomendasi kebijakan mengenai posisi, kewenangan, dan mekanisme pelaporan NMIC dalam struktur pemerintahan Indonesia

(Sumber: Diolah Penulis, 2026, berdasarkan uraian pada bagian Identifikasi Gap dan Novelty)

METODOLOGI

Kajian ini menggunakan pendekatan *conceptual paper* dengan kerangka *Design Science Research* sebagai payung metodologis, mengingat tujuan kajian bukan menguji hipotesis melalui pengumpulan data empiris, melainkan merancang sebuah artefak, yaitu arsitektur konseptual *National Maritime Intelligence Center*, yang menjawab masalah relevan sekaligus berkontribusi pada basis pengetahuan (Hevner et al., 2004). Pemilihan pendekatan ini didasari oleh sifat masalah yang dihadapi, yaitu kesenjangan antara kebutuhan kelembagaan yang sudah dipahami secara konseptual dan ketiadaan rancangan teknis yang mengoperasionalkannya, sehingga metode yang tepat adalah metode perancangan, bukan metode pengujian.

Penelitian dirancang secara bertahap mengikuti alur induktif-deduktif, dimulai dari analisis fenomena global menuju perumusan gap spesifik pada konteks Indonesia, kemudian dilanjutkan dengan perancangan artefak berupa arsitektur konseptual. Alur ini konsisten dengan prinsip *Design Science Research* yang menekankan iterasi antara pemahaman masalah dan perancangan solusi, bukan proses satu arah yang kaku (Hevner et al., 2004).

Kajian literatur dilakukan secara sistematis melalui penelaahan terhadap 50 referensi yang relevan dengan fokus penelitian. Sumber-sumber tersebut meliputi artikel jurnal ilmiah, prosiding, laporan kelembagaan, serta dokumen kebijakan yang membahas berbagai aspek keamanan maritim, termasuk *Maritime Security*, *Maritime Domain Awareness*, *Geospatial Intelligence*, *Artificial Intelligence*, *Big Data Analytics*, *Decision Support System*, *Maritime Fusion Center*, *National Maritime Intelligence Center*, *Maritime Common Operational Picture*, *Interoperability Framework*, *Multi-Agency Governance*, dan

Cyber Security Maritim. Analisis literatur dilakukan dengan mengelompokkan setiap referensi berdasarkan tema, kontribusi teoritis, serta implikasi praktisnya, sehingga diperoleh sintesis yang menjadi dasar dalam penyusunan arsitektur konseptual *National Maritime Intelligence Center* (NMIC).

Berdasarkan hasil tinjauan literatur, dilakukan identifikasi kesenjangan pada empat dimensi, yaitu teoretis, metodologis, praktis, dan kebijakan, sebagaimana telah dirumuskan secara eksplisit pada bagian sebelumnya. Analisis gap ini berfungsi sebagai jembatan antara tinjauan literatur dan perancangan artefak, memastikan bahwa arsitektur yang dirancang benar-benar menjawab kesenjangan yang teridentifikasi, bukan sekadar menyusun kombinasi teknologi tanpa dasar argumentasi yang jelas.

Tahap ini merupakan inti dari proses perancangan, di mana arsitektur NMIC dirumuskan sebagai serangkaian lapisan yang saling terhubung, mulai dari *Data Sources* hingga *National Strategic Decision Maker*. Setiap lapisan dirancang berdasarkan sintesis antara kapabilitas teknis yang telah terbukti pada literatur, seperti kombinasi satelit, UAV, dan AIS untuk lapisan *Data Sources*, dengan kebutuhan fungsional kelembagaan yang telah diidentifikasi pada Kajian Literatur, seperti kebutuhan diseminasi intelijen kepada komandan operasional (Canyon & McMullin, 2020). Perancangan ini akan diuraikan secara rinci pada bagian Hasil dan Pembahasan.

Setelah arsitektur dirumuskan, dikembangkan kerangka kerja yang menjelaskan hubungan fungsional antarlapisan, alur data dari sumber hingga keputusan strategis, serta mekanisme interoperabilitas dan keamanan siber yang melekat pada setiap lapisan. Kerangka ini dirancang agar dapat menjadi dasar bagi pengembangan diagram arsitektur maupun bagi kajian lanjutan yang lebih teknis, sejalan dengan prinsip *Design Science Research* bahwa artefak yang dihasilkan harus dapat dievaluasi dan dikembangkan lebih lanjut (Hevner et al., 2004).

Tahap akhir metodologi ini merumuskan implikasi kebijakan bagi setiap instansi yang terlibat, sebagai bentuk relevansi praktis dari artefak yang dirancang. Perumusan ini didasarkan pada analisis kesenjangan kebijakan yang telah diidentifikasi, dipadukan dengan pemahaman kelembagaan mengenai kewenangan dan fungsi masing-masing instansi dalam ekosistem keamanan maritim Indonesia.

Pemilihan *Design Science Research* dijustifikasi oleh tiga pertimbangan. Pertama, sifat masalah penelitian ini adalah masalah perancangan, bukan masalah yang dapat dijawab melalui pengujian statistik atau eksperimen laboratorium, sehingga pendekatan berbasis artefak lebih sesuai dibanding pendekatan penelitian kuantitatif maupun kualitatif konvensional (Hevner et al., 2004). Kedua, hasil kajian berupa arsitektur konseptual sejalan dengan definisi artefak dalam *Design Science Research*, yang mencakup tidak hanya produk fisik tetapi juga model, metode, dan kerangka kerja (Hevner et al., 2004). Ketiga, pendekatan ini memungkinkan kajian mengintegrasikan temuan dari dua jenis literatur yang berbeda sifatnya, yaitu literatur teknis yang bersifat evaluatif dan literatur kelembagaan yang bersifat konseptual, ke dalam satu proses perancangan yang koheren, sesuatu yang sulit dicapai melalui pendekatan metodologis lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting Keamanan Maritim Indonesia dan Fragmentasi Data Lintas Instansi

Keamanan maritim Indonesia saat ini ditopang oleh sebelas instansi yang masing-masing memiliki mandat, sistem informasi, dan kapabilitas pengawasan tersendiri, meliputi TNI Angkatan Laut, Badan Keamanan Laut, Badan Intelijen Negara, Badan Siber dan Sandi Negara, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Badan Informasi Geospasial, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kepolisian Perairan dan Udara, serta Kesatuan Penjagaan Laut dan Pantai. Kondisi ini secara struktural konsisten dengan premis bahwa keamanan maritim adalah persoalan lintas-sektor yang menuntut kolaborasi antarlembaga (Bueger, 2015), namun kolaborasi tersebut pada praktiknya terhambat oleh perbedaan standar data, protokol komunikasi, dan sistem informasi yang dibangun secara terpisah oleh masing-masing instansi. Setiap instansi cenderung mengembangkan kapabilitas pengawasannya sendiri, baik melalui sensor satelit, radar pantai, maupun platform AIS, tanpa mekanisme baku yang memungkinkan data tersebut dibagikan secara real-time kepada instansi lain yang membutuhkannya. Akibatnya, ketika terjadi insiden di laut, gambaran situasi yang utuh harus disusun secara manual melalui koordinasi lintas-instansi yang memakan waktu, alih-alih tersedia secara instan dari satu sumber terintegrasi.

Kelemahan Tata Kelola Informasi Maritim Saat Ini

Kelemahan mendasar dari kondisi eksisting bukan terletak pada ketiadaan teknologi, mengingat setiap instansi umumnya telah memiliki kapabilitas sensor dan sistem informasi masing-masing, melainkan pada ketiadaan kerangka tata kelola yang mengatur bagaimana data dari berbagai instansi tersebut difusikan menjadi satu gambaran situasi bersama. Sebagaimana telah diuraikan pada Kajian Literatur, kebutuhan tata kelola lintas-lembaga dapat ditarik secara deduktif dari sifat keamanan maritim yang lintas-sektor (Bueger, 2015) dan dari fungsi inheren *fusion center* yang menerima kontribusi data dari berbagai instansi (Canyon & McMullin, 2020), namun kerangka tata kelola semacam ini belum terformalisasi dalam struktur pemerintahan Indonesia. Ketidadaan otoritas tunggal yang berwenang mengoordinasikan fusi data lintas-instansi membuat setiap upaya integrasi bersifat *ad hoc* dan bergantung pada inisiatif bilateral antarlembaga, bukan pada mekanisme kelembagaan yang permanen.

Urgensi Pembentukan NMIC dan Konsepnya sebagai *Maritime Fusion Center*

Kondisi fragmentasi tersebut menegaskan urgensi pembentukan *National Maritime Intelligence Center* sebagai entitas kelembagaan yang secara khusus berfungsi memfusikan data dari sebelas instansi menjadi satu *Maritime Common Operational Picture*. Sejalan dengan definisi fungsional *Maritime Fusion Center*, yaitu entitas yang mengumpulkan dan menganalisis data dari berbagai sumber, memfusikannya menjadi informasi bermakna, dan mendiseminasikan intelijen yang dapat ditindaklanjuti kepada komandan operasional (Canyon & McMullin, 2020), NMIC dalam kajian ini dirancang bukan sebagai instansi baru yang menggantikan fungsi sebelas instansi yang sudah ada, melainkan sebagai lapisan integratif yang menjembatani mereka. Posisi ini penting untuk ditegaskan karena pembentukan entitas baru dalam struktur keamanan nasional rentan

menimbulkan resistensi kelembagaan apabila dipersepsikan sebagai ancaman terhadap kewenangan instansi yang sudah mapan, sehingga NMIC perlu diposisikan sebagai fasilitator fusi data, bukan otoritas operasional yang bersaing dengan mandat instansi lain.

Integrasi Geospatial Intelligence

Lapisan *Geospatial Intelligence* pada arsitektur NMIC mengintegrasikan data dari kombinasi sensor satelit *synthetic aperture radar*, *automatic identification system*, dan *unmanned aerial vehicle*, yang secara individual telah terbukti efektif mendeteksi dan mengklasifikasi kapal, termasuk kapal yang mematikan transpondernya untuk menghindari deteksi (Rodger & Guida, 2020; Soldi et al., 2020). Kombinasi satelit untuk cakupan luas dan UAV untuk resolusi tinggi pada area spesifik memungkinkan NMIC memperoleh gambaran spasial yang berlapis, dari skala nasional hingga skala insiden, dengan platform UAV yang juga terbukti efektif untuk operasi pencarian dan pertolongan maupun pengawasan lalu lintas maritim padat (Lyu et al., 2023; Mohsan et al., 2022, 2023). Integrasi ini menuntut standar format data spasial yang seragam agar keluaran dari berbagai jenis sensor dapat digabungkan secara otomatis, bukan diproses secara manual per-platform seperti yang umum terjadi pada kondisi eksisting.

Integrasi Artificial Intelligence

Artificial Intelligence Engine pada arsitektur NMIC berfungsi mengubah data mentah dari lapisan *Geospatial Intelligence* menjadi informasi yang dapat ditindaklanjuti, mencakup deteksi objek, klasifikasi kapal, dan pengenalan pola perilaku mencurigakan sebagaimana telah dikembangkan pada domain penglihatan mesin maritim (D. Qiao et al., 2021). Kemampuan deteksi anomali berbasis data AIS turut memperkuat lapisan ini dengan mengidentifikasi penyimpangan pola pelayaran yang berpotensi mengindikasikan aktivitas ilegal, seperti penangkapan ikan tanpa izin atau penyelundupan (Wolsing et al., 2022; Yang et al., 2024). Berbeda dari penerapan AI yang terfragmentasi pada literatur eksisting, di mana setiap model dikembangkan untuk satu jenis sensor atau satu jenis tugas, *AI Engine* pada arsitektur NMIC dirancang sebagai lapisan terpusat yang menerima masukan dari seluruh jenis sensor dan menghasilkan keluaran terstandarisasi bagi lapisan berikutnya.

Big Data Architecture dan Cloud Computing

Volume data yang dihasilkan dari sebelas instansi dengan berbagai jenis sensor menuntut arsitektur *big data* yang mampu menampung, memproses, dan menyajikan data dalam skala besar secara *real-time*. Adopsi platform *cloud* dan visualisasi data berakselerasi GPU menjadi kebutuhan mendesak untuk mengolah volume data maritim yang terus bertambah, sebagaimana ditunjukkan pada penerapan platform serupa di industri pelayaran komersial (Gavalas et al., 2022; Surucu-Balci et al., 2024). Pada konteks keamanan nasional, arsitektur *cloud* yang digunakan perlu mempertimbangkan klasifikasi data dan kedaulatan data secara lebih ketat dibanding konteks komersial, mengingat sebagian data yang difusikan bersifat sensitif dan menyangkut kepentingan pertahanan negara. Pertimbangan ini menjadi salah satu area di mana model komersial tidak dapat diadopsi secara langsung, melainkan perlu disesuaikan dengan kebutuhan keamanan nasional.

Interoperabilitas Data dan Cyber Security

Interoperabilitas menjadi prasyarat mutlak bagi berfungsinya fusi data lintas-instansi, dan kebutuhan standarisasi pertukaran data antarplatform yang telah terlihat pada transformasi digital sektor maritim komersial (Tijan et al., 2021) perlu diadaptasi dengan penyesuaian signifikan untuk konteks keamanan nasional yang menuntut kontrol akses lebih ketat. Bersamaan dengan itu, semakin terintegrasinya sistem informasi maritim memperbesar permukaan serangan siber, mengingat infrastruktur maritim modern rentan terhadap serangan yang menysar baik lapisan teknologi informasi maupun teknologi operasional (Progoulakis et al., 2021), dan platform pengumpul data seperti UAV juga terbukti rentan terhadap gangguan siber yang dapat mencemari integritas data yang dikumpulkannya (Lykou et al., 2020). Metode penilaian risiko siber yang dirancang khusus untuk sistem maritim dapat diadopsi sebagai kerangka mitigasi pada setiap lapisan arsitektur NMIC, mengingat kompromi pada satu titik saja berpotensi mencemari keseluruhan gambaran situasi yang dihasilkan (Bolbot et al., 2020).

Maritime Common Operational Picture dan Decision Support System

Seluruh proses fusi data pada akhirnya bermuara pada *Maritime Common Operational Picture*, yaitu gambaran situasi maritim tunggal yang terintegrasi dan dapat diakses bersama oleh seluruh pemangku kepentingan (Canyon & McMullin, 2020), yang secara teknis dihasilkan melalui kerangka analitik yang mengintegrasikan data heterogen menjadi representasi situasi yang koheren (Shahir et al., 2015). MCOP ini kemudian menjadi masukan utama bagi *Decision Support System*, yang pada arsitektur NMIC dirancang untuk menerjemahkan gambaran situasi tersebut menjadi rekomendasi tindakan terstruktur, mengisi kekosongan yang teridentifikasi pada Kajian Literatur mengenai mekanisme teknis penerjemahan intelijen menjadi keputusan operasional. DSS pada arsitektur ini berfungsi sebagai antarmuka akhir yang menghubungkan hasil analisis teknis dengan kebutuhan pengambil keputusan yang umumnya bukan berasal dari latar belakang teknis, sehingga keluarannya perlu disajikan dalam bentuk yang ringkas dan langsung dapat ditindaklanjuti.

Alur Pengambilan Keputusan Strategis Nasional

Alur pengambilan keputusan pada arsitektur NMIC bergerak dari data mentah di lapisan sumber, melalui proses akuisisi dan integrasi, diproses oleh *AI Engine* dan lapisan *Geospatial Intelligence*, difusikan menjadi MCOP, kemudian disajikan melalui DSS kepada otoritas pengambil keputusan strategis nasional. Alur ini konsisten dengan mekanisme diseminasi intelijen kepada komandan operasional yang dijelaskan pada literatur *fusion center* (Canyon & McMullin, 2020), namun diperluas pada arsitektur ini agar mencakup tidak hanya keputusan operasional taktis, melainkan juga keputusan strategis tingkat nasional yang melibatkan banyak instansi sekaligus, seperti kebijakan penguatan pengawasan pada wilayah rawan atau respons terhadap insiden lintas-yurisdiksi.

Keunggulan Model yang Diusulkan Dibanding Sistem Eksisting

Keunggulan utama arsitektur NMIC yang diusulkan terletak pada sifatnya yang integratif, bukan menggantikan sistem yang sudah dimiliki sebelas instansi, melainkan menambahkan lapisan fusi di atasnya. Berbeda dari kondisi eksisting yang menuntut koordinasi manual antarinstansi saat terjadi insiden, arsitektur ini menyediakan

gambaran situasi yang telah terfusi secara otomatis dan tersedia secara *real-time* bagi seluruh pemangku kepentingan yang berwenang. Keunggulan ini sejalan dengan bukti empiris bahwa jaringan *fusion center* serupa di kawasan Indo-Pasifik telah berkontribusi pada penurunan insiden keamanan maritim di wilayah operasinya (Canyon & McMullin, 2020), meski perlu dicatat bahwa keberhasilan tersebut sangat bergantung pada konteks kelembagaan masing-masing negara dan tidak dapat diasumsikan berlaku otomatis untuk konteks Indonesia tanpa penyesuaian.

Tabel 3. Perbandingan NMIC dengan Model Fusion Center Regional

Aspek	IFC Singapura	IFC-IOR India	NMIC Indonesia (Diusulkan)
Tahun berdiri	2009	2018	Diusulkan bertahap 2026–2045
Institusi pengampu	Republic of Singapore Navy, di Changi Command and Control Centre	Angkatan Laut India, co-located dengan Information Management and Analysis Centre di Gurugram	Lapisan integratif lintas-sebelas instansi (TNI AL, Bakamla, BIN, BSSN, KKP, dll), bukan otoritas baru
Cakupan kelembagaan	Lebih dari 65 agensi dari 35 negara melalui liaison officer	Lebih dari 76 linkage di 28 negara, ILO dari 15 negara mitra	Sebelas instansi nasional, dengan potensi perluasan regional pada Fase III–IV roadmap
Fokus fungsional	Berbagi informasi dan kesadaran situasi lintas-negara (piracy, white shipping)	Gambaran situasi maritim bersama dan data white shipping Samudra Hindia	Fusi data multi-instansi domestik menjadi MCOP berbasis AI untuk keputusan strategis nasional
Basis teknologi inti	Sistem berbagi informasi real-time (IRIS) dan jaringan liaison officer	Analisis dan diseminasi laporan berkala (mingguan, bulanan, tahunan) berbasis data multi-sumber	Integrasi GEOINT, AI Engine, Big Data Analytics, Cloud Computing, dan DSS dalam satu arsitektur berlapis
Sifat kelembagaan	Kerja sama internasional/regional, bukan integrasi kewenangan lintas-lembaga domestic	Kerja sama regional Samudra Hindia, bukan integrasi data domestik lintas-kementerian	Fokus utama pada integrasi data domestik lintas-sebelas instansi, dengan potensi ekstensi kerja sama regional

(Sumber: Diolah Penulis, 2026, berdasarkan Ministry of Defence Singapore, 2019; Indian Navy, 2018)

Tantangan Implementasi

Implementasi arsitektur ini menghadapi tantangan pada beberapa tingkat sekaligus. Pada tingkat teknis, standardisasi format data dan protokol interoperabilitas antarsebelas instansi menuntut investasi infrastruktur dan waktu penyesuaian yang tidak sedikit. Pada tingkat kelembagaan, pembentukan NMIC berpotensi menghadapi resistensi dari instansi yang mengkhawatirkan tumpang tindih kewenangan, sehingga desain tata kelola yang jelas mengenai batas kewenangan NMIC menjadi krusial sejak tahap awal. Pada tingkat keamanan, ketergantungan pada fusi data multisensor menuntut kerangka keamanan siber yang matang di setiap lapisan, mengingat kegagalan pada satu titik dapat berdampak sistemik terhadap keandalan MCOP secara keseluruhan (Bolbot et al., 2020; Progoulakis et al., 2021). Tantangan-tantangan ini tidak meniadakan urgensi pembentukan NMIC, namun menegaskan perlunya pendekatan implementasi yang bertahap, sebagaimana akan diuraikan pada bagian roadmap implementasi.

Rancangan Arsitektur Konseptual NMIC

Arsitektur konseptual *National Maritime Intelligence Center* dirancang sebagai sepuluh lapisan yang saling terhubung secara berurutan, mulai dari sumber data mentah hingga pengambil keputusan strategis nasional. Setiap lapisan memiliki fungsi spesifik,

menerima masukan dari lapisan sebelumnya, dan menghasilkan keluaran yang menjadi masukan bagi lapisan berikutnya, sehingga keseluruhan arsitektur dapat dibaca sebagai satu alur data yang mengalir dari lapangan menuju ruang pengambilan keputusan.

Data Sources menjadi titik awal arsitektur, terdiri atas seluruh sumber data mentah yang dihasilkan oleh sebelas instansi maupun oleh platform pengawasan independen, mencakup citra satelit *synthetic aperture radar*, sinyal *automatic identification system*, data sensor UAV, data sensor *Internet of Underwater Things*, data cuaca dan oseanografi dari BMKG, serta data geospasial dasar dari BIG (Jahanbakht et al., 2020; Soldi et al., 2020). Fungsi lapisan ini murni sebagai penyedia data mentah, tanpa pemrosesan, sehingga keragaman format dan protokol pada tahap ini masih sangat tinggi.

Data Acquisition berfungsi mengumpulkan data mentah dari seluruh sumber tersebut melalui mekanisme akuisisi yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing platform, baik secara periodik seperti lintasan satelit, secara kontinu seperti sinyal AIS, maupun secara insidental seperti penerbangan UAV untuk kebutuhan spesifik (Nomikos et al., 2022; Zhang & Zhu, 2023). Lapisan ini menjadi titik kritis pertama bagi keamanan siber, mengingat data yang belum terverifikasi pada tahap akuisisi berpotensi membawa gangguan atau manipulasi yang akan terbawa ke lapisan-lapisan berikutnya (Lykou et al., 2020).

Data Integration Layer menstandarisasi format data yang telah diakuisisi dari berbagai sumber ke dalam satu skema data terpadu, menyelesaikan persoalan interoperabilitas yang menjadi kesenjangan utama pada kondisi eksisting. Lapisan ini mengadaptasi prinsip standarisasi pertukaran data yang telah berkembang pada transformasi digital sektor maritim komersial (Tijan et al., 2021), namun dengan penyesuaian klasifikasi dan kontrol akses yang lebih ketat mengingat sifat data yang menyangkut keamanan nasional.

Geospatial Intelligence Layer memproses data terstandarisasi tersebut menjadi informasi spasial yang dapat dianalisis, menggabungkan data dari satelit, UAV, dan sensor darat menjadi representasi geografis berlapis, dari cakupan nasional hingga cakupan insiden spesifik (Pastina et al., 2021; Rodger & Guida, 2020). Lapisan ini berfungsi sebagai jembatan antara data mentah yang bersifat teknis dan informasi spasial yang siap dianalisis oleh lapisan kecerdasan buatan.

Big Data Platform menampung seluruh data terintegrasi dalam infrastruktur penyimpanan dan pemrosesan berskala besar, memungkinkan analisis volume data yang terus bertambah dari sebelas instansi secara *real-time*, dengan memanfaatkan arsitektur *cloud* dan akselerasi komputasi yang telah terbukti efektif menangani beban data maritim berskala besar (Gavalas et al., 2022; Surucu-Balci et al., 2024). Lapisan ini berfungsi sebagai tulang punggung infrastruktur yang menopang seluruh proses analitik pada lapisan berikutnya.

Artificial Intelligence Engine menjadi lapisan pemroses inti yang mengubah data spasial dan data besar tersebut menjadi informasi yang dapat ditindaklanjuti, mencakup deteksi objek dan klasifikasi kapal (D. Qiao et al., 2021), deteksi anomali perilaku pelayaran berbasis pola AIS (Wolsing et al., 2022; Yang et al., 2024), serta identifikasi pola lalu lintas maritim yang berpotensi mengindikasikan aktivitas ilegal (Xin et al., 2024).

Keluaran lapisan ini berupa peringatan terklasifikasi dan skor risiko yang menjadi bahan baku bagi proses fusi pada lapisan berikutnya.

Maritime Fusion Center sebagai lapisan kelembagaan inti menerima keluaran dari *AI Engine* dan menggabungkannya dengan konteks intelijen dari sumber lain, termasuk laporan lapangan dan data intelijen dari BIN, untuk menghasilkan analisis situasi yang komprehensif. Fungsi lapisan ini sejalan dengan definisi *fusion center* sebagai entitas yang mengumpulkan dan menganalisis data dari berbagai sumber untuk menghasilkan intelijen yang dapat ditindaklanjuti (Canyon & McMullin, 2020), dan menjadi titik di mana lapisan teknis arsitektur bertemu dengan lapisan kelembagaan multi-instansi.

Maritime Common Operational Picture merupakan keluaran dari proses fusi tersebut, berupa gambaran situasi maritim tunggal yang terintegrasi dan dapat diakses bersama oleh seluruh instansi berwenang (Canyon & McMullin, 2020; Shahir et al., 2015). MCOP berfungsi sebagai lapisan representasi bersama yang menyamakan pemahaman situasi di antara sebelas instansi, menggantikan kondisi eksisting di mana setiap instansi memiliki gambaran situasi yang terpisah dan tidak sinkron.

Decision Support System menerjemahkan MCOP menjadi rekomendasi tindakan yang terstruktur bagi pengambil keputusan, mengisi kekosongan mekanisme teknis yang teridentifikasi pada Kajian Literatur. Lapisan ini dirancang untuk menyajikan keluaran secara ringkas dan langsung dapat ditindaklanjuti, mempertimbangkan bahwa pengguna akhirnya adalah pengambil keputusan strategis yang umumnya tidak berlatar belakang teknis.

National Strategic Decision Maker menjadi lapisan akhir arsitektur, merepresentasikan otoritas nasional yang menggunakan rekomendasi dari DSS untuk mengambil keputusan strategis, baik dalam bentuk respons operasional segera maupun kebijakan jangka menengah seperti penguatan pengawasan pada wilayah rawan. Aliran data dari lapisan ini juga bergerak sebagian ke arah sebaliknya, berupa arahan kebijakan yang memengaruhi prioritas pengumpulan data pada lapisan *Data Sources*, sehingga arsitektur ini pada dasarnya bersifat siklikal, bukan satu arah murni.

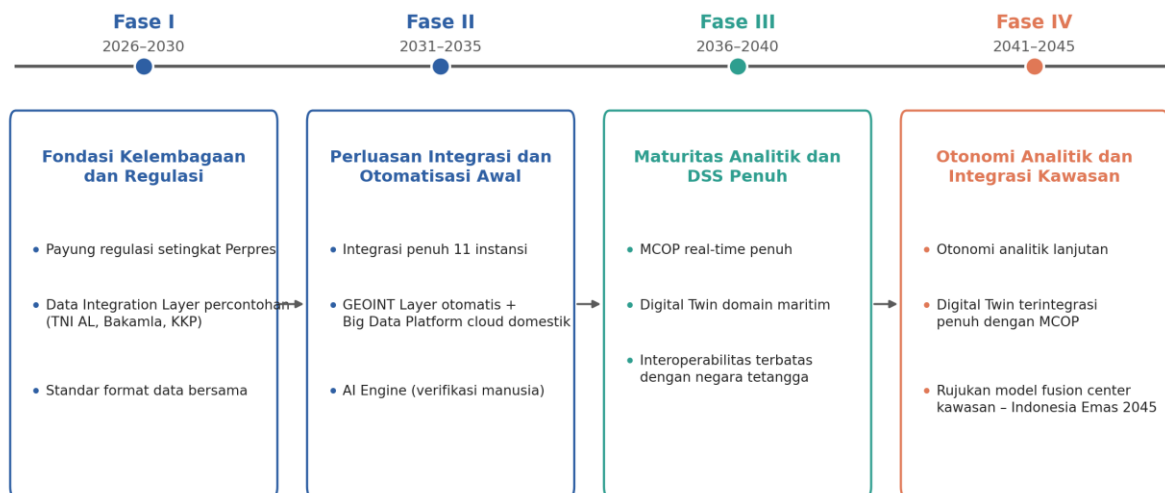
Tabel 2. Deskripsi Fungsional Sepuluh Lapisan Arsitektur NMIC

No	Lapisan	Fungsi Utama	Keluaran bagi Lapisan Berikutnya
----	---------	--------------	----------------------------------

1	Data Sources	Menyediakan data mentah dari satelit SAR, AIS, UAV, IoUT, BMKG, dan BIG	Data mentah multi-format
2	Data Acquisition	Mengumpulkan data sesuai karakteristik masing-masing platform (periodik, kontinu, insidental)	Data terkumpul dari seluruh sumber
3	Data Integration Layer	Menstandarisasi format data ke dalam satu skema data terpadu	Data terstandarisasi
4	Geospatial Intelligence Layer	Mengolah data menjadi informasi spasial berlapis, dari cakupan nasional hingga insiden	Informasi spasial siap analisis
5	Big Data Platform	Menampung dan memproses data berskala besar secara real-time	Data siap dianalisis AI Engine
6	Artificial Intelligence Engine	Deteksi objek, klasifikasi kapal, deteksi anomali pola pelayaran	Peringatan terklasifikasi dan skor risiko
7	Maritime Fusion Center	Menggabungkan keluaran AI dengan konteks intelijen lintas-instansi	Analisis situasi komprehensif
8	Maritime Common Operational Picture	Menyajikan gambaran situasi maritim tunggal dan terintegrasi	Gambaran situasi bersama
9	Decision Support System	Menerjemahkan MCOP menjadi rekomendasi tindakan terstruktur	Rekomendasi tindakan
10	National Strategic Decision Maker	Mengambil keputusan strategis, baik operasional maupun kebijakan	Arahan kebijakan (umpan balik ke Data Sources)

(Sumber: Diolah Penulis, 2026, berdasarkan uraian pada bagian Rancangan Arsitektur Konseptual NMIC)

Roadmap Implementasi NMIC Menuju Indonesia Emas 2045



Gambar 1. Roadmap Implementasi NMIC Menuju Indonesia Emas 2045
(Sumber: Diolah Penulis, 2026)

Fase I: 2026–2030, Fondasi Kelembagaan dan Regulasi

Fase ini berfokus pada pembentukan dasar hukum dan kelembagaan bagi NMIC, mengingat kesenjangan kebijakan yang teridentifikasi menuntut kejelasan kewenangan sejak awal sebelum investasi teknologi berskala besar dilakukan. Target kelembagaan mencakup penerbitan payung regulasi setingkat Peraturan Presiden yang menetapkan NMIC sebagai lapisan fusi data, bukan otoritas operasional yang bersaing dengan mandat sebelas instansi yang sudah ada, disertai pembentukan tim kerja lintas-kementerian di bawah koordinasi Kemenko Polhukam untuk merumuskan mekanisme berbagi data.

Target teknologi pada fase ini bersifat awal dan terbatas, berupa pembangunan *Data Integration Layer* percontohan yang menghubungkan dua hingga tiga instansi dengan volume data tertinggi, seperti TNI Angkatan Laut, Bakamla, dan KKP, sebagai bukti konsep sebelum diperluas. Interoperabilitas pada fase ini masih bersifat teknis-administratif, berupa penyusunan standar format data bersama, sementara kapabilitas AI dan *Big Data* masih terbatas pada eksperimen deteksi anomali AIS skala kecil. Penguatan SDM difokuskan pada pelatihan analisis intelijen maritim yang memahami baik aspek kelembagaan maupun aspek teknis dasar.

Fase II: 2031–2035, Perluasan Integrasi dan Otomatisasi Awal

Fase kedua memperluas cakupan integrasi dari beberapa instansi percontohan menjadi seluruh sebelas instansi, dengan *Data Acquisition* dan *Data Integration Layer* yang telah terstandarisasi penuh. Target teknologi mencakup implementasi *Geospatial Intelligence Layer* yang menggabungkan data satelit SAR, AIS, dan UAV secara otomatis, serta *Big Data Platform* berbasis *cloud* domestik yang mempertimbangkan kedaulatan data untuk konteks keamanan nasional. *AI Engine* pada fase ini mulai dioperasikan untuk deteksi objek dan klasifikasi kapal secara otomatis, meskipun keputusan akhir tetap memerlukan verifikasi manusia. Regulasi diperkuat dengan penerbitan aturan turunan mengenai klasifikasi data dan protokol keamanan siber lintas-instansi, mengingat kompleksitas integrasi yang meningkat memperbesar permukaan risiko siber. Kelembagaan NMIC pada fase ini mulai beroperasi penuh sebagai unit fusi data dengan struktur organisasi definitif, didukung SDM yang telah melalui jalur pendidikan khusus intelijen maritim berbasis teknologi.

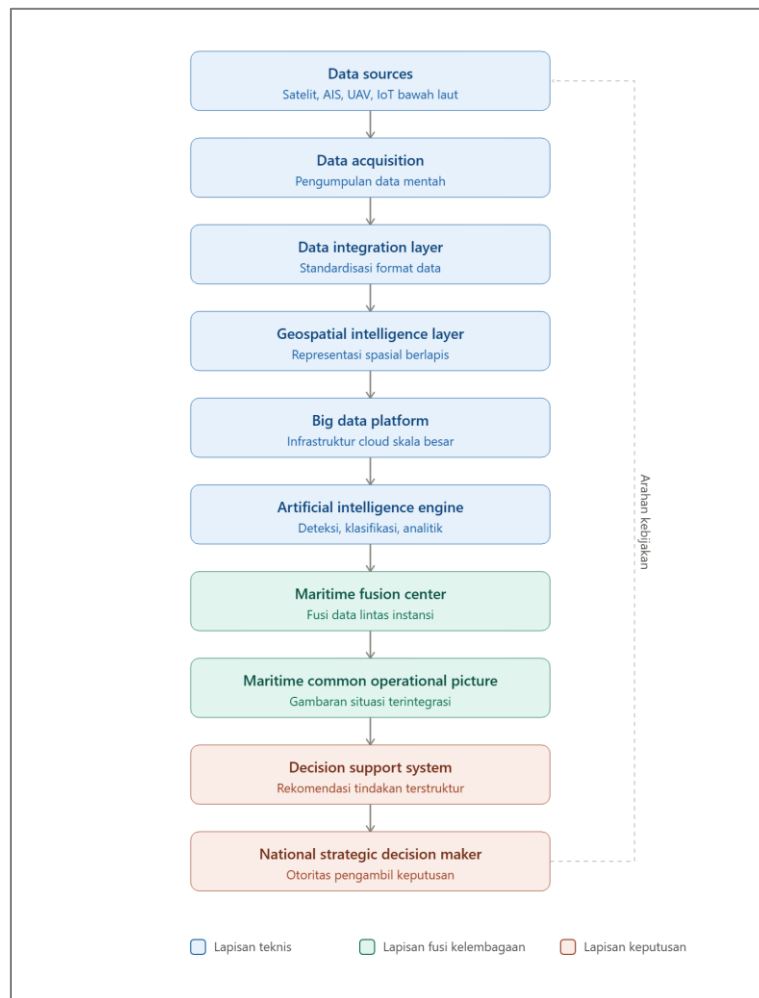
Fase III: 2036–2040, Maturitas Analitik dan Decision Support System Penuh

Fase ketiga menandai kematangan lapisan analitik, dengan *Maritime Common Operational Picture* yang telah tersedia secara *real-time* bagi seluruh instansi berwenang dan *Decision Support System* yang mampu menghasilkan rekomendasi tindakan terstruktur secara otomatis. *Digital Twin* domain maritim nasional mulai diimplementasikan sebagai representasi virtual yang memungkinkan simulasi skenario ancaman dan perencanaan respons sebelum insiden nyata terjadi, sejalan dengan tren *digital twin* yang telah terbukti bermanfaat pada domain maritim lain (Klar et al., 2023; Tzachor et al., 2023). Interoperabilitas pada fase ini meluas hingga mencakup pertukaran data terbatas dengan negara tetangga dan pusat fusi kawasan, sejalan dengan model jaringan *fusion center* Indo-Pasifik (Canyon & McMullin, 2020). Kelembagaan NMIC pada fase ini dievaluasi secara menyeluruh untuk memastikan kesesuaian struktur dengan kebutuhan operasional yang telah berkembang, sementara SDM diperkuat dengan spesialisasi lanjutan pada bidang AI dan keamanan siber maritim.

Fase IV: 2041–2045, Otonomi Analitik dan Integrasi Kawasan Menuju Indonesia Emas

Fase terakhir mengarah pada otonomi analitik yang lebih tinggi, di mana *AI Engine* mampu memberikan rekomendasi keputusan tingkat lanjut dengan tingkat kepercayaan yang telah tervalidasi melalui pengalaman operasional bertahun-tahun, meskipun keputusan strategis tetap berada di tangan otoritas nasional sesuai prinsip bahwa DSS berfungsi sebagai pendukung, bukan pengganti, pengambil keputusan manusia. *Digital Twin* domain maritim nasional pada fase ini terintegrasi penuh dengan MCOP,

memungkinkan simulasi kebijakan secara langsung sebelum diterapkan di lapangan. Kelembagaan NMIC pada fase ini diproyeksikan menjadi rujukan model *fusion center* bagi kawasan, sejalan dengan posisi Indonesia yang telah diakui memiliki kapasitas *Maritime Domain Awareness* signifikan di Indo-Pasifik (Canyon & McMullin, 2020). Regulasi pada fase ini disempurnakan menjadi kerangka hukum yang matang dan teruji, mendukung visi keamanan maritim nasional yang tangguh sebagai salah satu pilar Indonesia Emas 2045.



Gambar 2. Diagram Visual Arsitektur NMIC
(Sumber: Diolah Penulis. 2026)

Diagram di atas menampilkan sepuluh lapisan arsitektur NMIC secara berurutan, dengan warna biru untuk lapisan teknis (*Data Sources* hingga *AI Engine*), teal untuk lapisan fusi kelembagaan (*Maritime Fusion Center* dan MCOP), dan coral untuk lapisan keputusan (DSS dan *National Strategic Decision Maker*). Garis putus-putus di sisi kanan menggambarkan arus balik arahan kebijakan dari pengambil keputusan strategis kembali ke prioritas pengumpulan data.

Implikasi Kebijakan

Presiden Republik Indonesia memegang peran sentral sebagai penetap payung regulasi tertinggi bagi pembentukan NMIC, mengingat entitas ini memotong kewenangan sebelas instansi yang berada di bawah kementerian dan lembaga berbeda. Payung hukum setingkat Peraturan Presiden diperlukan untuk menegaskan posisi NMIC sebagai lapisan fusi data, bukan otoritas operasional baru, sekaligus memberi legitimasi bagi mekanisme berbagi data lintas-instansi yang selama ini bersifat *ad hoc*.

Kemenko Polhukam berperan sebagai koordinator lintas-kementerian yang memfasilitasi pembentukan tim kerja perumus regulasi turunan, menjembatani kepentingan instansi pertahanan, penegakan hukum, dan intelijen agar tidak saling tumpang tindih kewenangan. Fungsi koordinatif ini penting sejak Fase I *roadmap*, ketika desain tata kelola dan batas kewenangan NMIC pertama kali dirumuskan.

TNI Angkatan Laut dan Badan Keamanan Laut sebagai dua instansi dengan kapasitas operasional laut terbesar perlu memosisikan diri sebagai kontributor data utama sekaligus pengguna intelijen terbesar dari NMIC, dengan penyesuaian protokol operasional agar data sensor dan intelijen lapangan dapat mengalir ke *Data Integration Layer* tanpa mengorbankan kerahasiaan operasional yang bersifat sensitif.

Badan Intelijen Negara memerlukan mekanisme khusus dalam berkontribusi ke *Maritime Fusion Center*, mengingat sifat data intelijen yang umumnya berklasifikasi tinggi, sehingga kebijakan klasifikasi dan kontrol akses berlapis menjadi prasyarat sebelum data BIN dapat difusikan dengan data dari instansi lain yang tingkat kerahasiaannya lebih rendah.

Badan Siber dan Sandi Negara berperan krusial dalam merumuskan standar keamanan siber bagi seluruh lapisan arsitektur NMIC, mengingat kompromi pada satu titik akuisisi data saja berpotensi mencemari keseluruhan *Maritime Common Operational Picture*. BSSN perlu dilibatkan sejak tahap perancangan *Data Acquisition* dan *Data Integration Layer*, bukan sebagai audit setelah sistem berjalan.

Badan Informasi Geospasial dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika menjadi penyedia data dasar spasial dan lingkungan yang menopang keakuratan *Geospatial Intelligence Layer*, sehingga kebijakan interoperabilitas data BIG dan BMKG dengan sistem NMIC perlu diselaraskan dengan standar data geospasial nasional yang sudah berjalan agar tidak menciptakan duplikasi infrastruktur.

Badan Riset dan Inovasi Nasional berperan sebagai mitra pengembangan kapabilitas *Artificial Intelligence Engine* dan riset lanjutan *digital twin* domain maritim, memastikan pengembangan teknologi NMIC bertumpu pada riset dalam negeri dan tidak sepenuhnya bergantung pada teknologi impor, sejalan dengan kebutuhan kedaulatan data pada sistem keamanan nasional.

Kementerian Kelautan dan Perikanan memerlukan kebijakan integrasi data pengawasan perikanan ke dalam MCOP, mengingat sebagian besar aktivitas ilegal di laut Indonesia terkait penangkapan ikan tanpa izin, sehingga data KKP menjadi salah satu kontributor utama bagi fungsi deteksi anomali pada *AI Engine*.

Direktorat Jenderal Bea dan Cukai berperan dalam menyumbang data terkait aktivitas penyelundupan dan lalu lintas barang lintas-batas laut, yang perlu diintegrasikan dengan

data pergerakan kapal dari lapisan GEOINT agar pola penyelundupan dapat terdeteksi secara lebih dini melalui korelasi lintas-jenis data.

Kepolisian Perairan dan Udara serta Kesatuan Penjagaan Laut dan Pantai sebagai unsur penegakan hukum di laut memerlukan akses langsung terhadap keluaran *Decision Support System* agar rekomendasi tindakan dari NMIC dapat segera diterjemahkan menjadi respons operasional di lapangan, sehingga kebijakan mengenai kecepatan diseminasi informasi dari NMIC ke unsur penegak hukum garis depan perlu diatur secara eksplisit.

Secara keseluruhan, implikasi kebijakan bagi seluruh instansi ini bertumpu pada satu prinsip yang sama, yaitu NMIC dirancang untuk memperkuat, bukan menggantikan, kapasitas yang sudah dimiliki masing-masing lembaga, dengan tata kelola yang menjamin kejelasan kewenangan, keamanan data, dan kecepatan diseminasi intelijen sebagai tiga pilar keberhasilan implementasinya.

Tabel 3. Peran Sebelas Instansi dalam Ekosistem NMIC

No	Instansi	Peran Utama dalam NMIC
1	TNI Angkatan Laut	Kontributor data operasional utama sekaligus pengguna intelijen terbesar keluaran NMIC
2	Badan Keamanan Laut (Bakamla)	Kontributor data operasional utama sekaligus pengguna intelijen terbesar keluaran NMIC
3	Badan Intelijen Negara (BIN)	Kontributor data intelijen berklasifikasi tinggi ke Maritime Fusion Center, dengan kontrol akses berlapis
4	Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN)	Perumus standar keamanan siber pada seluruh lapisan arsitektur, dilibatkan sejak tahap perancangan
5	Kementerian Kelautan dan Perikanan	Kontributor data pengawasan perikanan, mendukung fungsi deteksi anomali AI Engine
6	Direktorat Jenderal Bea dan Cukai	Kontributor data aktivitas penyelundupan dan lalu lintas barang lintas-batas laut
7	Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika	Penyedia data cuaca dan oseanografi bagi Geospatial Intelligence Layer
8	Badan Informasi Geospasial	Penyedia data geospasial dasar bagi Geospatial Intelligence Layer
9	Badan Riset dan Inovasi Nasional	Mitra pengembangan kapabilitas AI Engine dan riset lanjutan digital twin domain maritim
10	Kepolisian Perairan dan Udara	Pengguna keluaran Decision Support System untuk respons operasional garis depan
11	Kesatuan Penjagaan Laut dan Pantai	Pengguna keluaran Decision Support System untuk respons operasional garis depan

(Sumber: Diolah Penulis, 2026, berdasarkan uraian pada bagian Implikasi Kebijakan)

KESIMPULAN

Kajian ini bertujuan merancang arsitektur konseptual *National Maritime Intelligence Center* (NMIC) Indonesia sebagai *Maritime Fusion Center* berbasis *Artificial Intelligence*, memetakan aliran data dan fungsi tiap lapisan arsitektur tersebut, serta merumuskan implikasi kebijakan bagi instansi-instansi terkait dalam mendukung pengambilan keputusan strategis keamanan maritim nasional. Tujuan ini terjawab melalui perumusan sepuluh lapisan arsitektur yang menghubungkan *Data Sources* hingga *National Strategic Decision Maker*, dengan *Maritime Fusion Center* sebagai titik pertemuan eksplisit antara kapabilitas teknis *Geospatial Intelligence*, *Artificial Intelligence*, dan *Big Data* dengan kebutuhan kelembagaan fusi data lintas-sebelas-instansi. Kontribusi ilmiah kajian ini terletak pada penjembitan dua kutub literatur yang sebelumnya berkembang terpisah, yaitu literatur kelembagaan mengenai *Maritime Security*, *Maritime Domain Awareness*,

dan *Maritime Fusion Center* dengan literatur teknis mengenai *Geospatial Intelligence*, *Artificial Intelligence*, dan *Big Data Analytics* yang selama ini berkembang per-platform tanpa kerangka integratif kelembagaan. Penerapan *Design Science Research* sebagai payung metodologis turut menjadi kontribusi metodologis, mengingat pendekatan ini belum banyak digunakan untuk merancang artefak arsitektur intelijen maritim tingkat nasional pada literatur yang tersedia.

Kontribusi praktis kajian ini bagi pemerintah Indonesia berupa kerangka acuan awal yang dapat menjadi dasar pertimbangan pembentukan NMIC, lengkap dengan pemetaan fungsi tiap lapisan arsitektur, *roadmap* implementasi bertahap hingga tahun 2045, dan implikasi kebijakan yang terpetakan secara spesifik bagi masing-masing dari sebelas instansi berkepentingan. Kerangka ini dirancang agar dapat langsung menjadi bahan diskusi kebijakan, bukan sekadar wacana akademik yang berhenti pada tataran konseptual. Implikasi kajian ini terhadap pengembangan keamanan maritim nasional bersifat jangka panjang, karena keberhasilan NMIC bergantung pada kesediaan sebelas instansi untuk mengubah pola kerja dari sistem yang terfragmentasi menuju ekosistem yang terintegrasi, sebuah transformasi kelembagaan yang menuntut komitmen politik dan waktu penyesuaian yang tidak singkat. Kajian ini menegaskan bahwa transformasi tersebut, meski menantang, sejalan dengan arah perkembangan keamanan maritim global yang telah bergerak menuju model *fusion center* di berbagai kawasan.

Kajian ini memiliki keterbatasan yang perlu diakui secara jujur. Basis referensi kelembagaan yang mendukung konsep *Maritime Fusion Center* dan *National Maritime Intelligence Center* masih tipis dibanding basis referensi teknis, sehingga sebagian argumentasi mengenai tata kelola dan *Multi-Agency Governance* dibangun secara deduktif oleh penulis, bukan bertumpu pada literatur empiris yang mapan. Kajian ini juga bersifat konseptual murni tanpa validasi empiris atau uji coba prototipe, sehingga kelayakan teknis dan kelembagaan arsitektur yang diusulkan masih memerlukan pengujian lebih lanjut sebelum dapat diimplementasikan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan kajian ini ke arah validasi empiris, misalnya melalui studi kasus penerapan sebagian arsitektur pada skala terbatas atau wawancara mendalam dengan pemangku kepentingan di sebelas instansi terkait untuk menguji kelayakan kelembagaan rancangan ini. Penelitian lanjutan juga disarankan menggali lebih dalam mekanisme tata kelola *Multi-Agency Governance* secara empiris, mengingat kekosongan literatur pada area ini masih menjadi salah satu keterbatasan utama kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bae, I., & Hong, J. (2023). Survey on the Developments of Unmanned Marine Vehicles: Intelligence and Cooperation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23104643>
- Boccardo, P., Striccoli, D., & Grieco, L. (2020). An extensive survey on the Internet of Drones. *Ad Hoc Networks*, 122, 102600. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102600>

- Bolbot, V., Theotokatos, G., Boulougouris, E., & Vassalos, D. (2020). A novel cyber-risk assessment method for ship systems. *Safety Science*.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104908>
- Bueger, C. (2015). What is maritime security? *Marine Policy*, 53, 159–164.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.12.005>
- Canyon, D., & McMullin, J. (2020). *Security Nexus Perspectives MARITIME DOMAIN AWARENESS AND MARITIME FUSION CENTERS*.
- Emilien, A.-V., Thomas, C., & Thomas, H. (2021). UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. *Science of Remote Sensing*.
<https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100019>
- Farah, M., Ahmed, Y., Mahmoud, H., Shah, S. A., Al-Kadri, M., Taramonli, S., Bellekens, X., Abozariba, R., Idrissi, M., & Aneiba, A. (2024). A survey on blockchain technology in the maritime industry: Challenges and future perspectives. *Future Gener. Comput. Syst.*, 157, 618–637. <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.03.046>
- Gadamsetty, S., Ch., R., Ch, A., Iwendi, C., & Gadekallu, T. (2022). Hash-Based Deep Learning Approach for Remote Sensing Satellite Imagery Detection. *Water*.
<https://doi.org/10.3390/w14050707>
- Gavalas, D., Syriopoulos, T., & Roumpis, E. (2022). Digital adoption and efficiency in the maritime industry. *Journal of Shipping and Trade*, 7.
<https://doi.org/10.1186/s41072-022-00111-y>
- Han, X., Armenakis, C., & Jadidi, M. (2021). Modeling Vessel Behaviours by Clustering AIS Data Using Optimized DBSCAN. *Sustainability*.
<https://doi.org/10.3390/su13158162>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., Ram, S., SalMarch, U., & Jinsoo Park, owenvanderbilt.edu. (2004). This content downloaded from 129.252.86.83 on Wed. In *Source: MIS Quarterly* (Vol. 28, Number 1).
- Jahanbakht, M., Xiang, W., Hanzo, L., & Azghadi, M. R. (2020). Internet of Underwater Things and Big Marine Data Analytics—A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23, 904–956.
<https://doi.org/10.1109/comst.2021.3053118>
- Janga, B., Asamani, G., Sun, Z., & Cristea, N. (2023). A Review of Practical AI for Remote Sensing in Earth Sciences. *Remote. Sens.*, 15, 4112.
<https://doi.org/10.3390/rs15164112>
- Javaid, S., Fahim, H., He, B., & Saeed, N. (2024). Large Language Models for UAVs: Current State and Pathways to the Future. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 5, 1166–1192. <https://doi.org/10.1109/ojvt.2024.3446799>
- Klar, R., Fredriksson, A., & Angelakis, V. (2023). Digital Twins for Ports: Derived From Smart City and Supply Chain Twinning Experience. *IEEE Access*, 11, 71777–71799.
<https://doi.org/10.1109/access.2023.3295495>
- Li, Y., Yuan, H., Wang, Y., & Xiao, C. (2022). GGT-YOLO: A Novel Object Detection Algorithm for Drone-Based Maritime Cruising. *Drones*.
<https://doi.org/10.3390/drones6110335>
- Liang, M., Su, J., Liu, R. W., & Lam, J. S. L. (2024). AISClean: AIS data-driven vessel trajectory reconstruction under uncertain conditions. *Ocean Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117987>
- Lykou, G., Moustakas, D., & Gritzalis, D. (2020). Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20. <https://doi.org/10.3390/s20123537>

- Lyu, M., Zhao, Y., Huang, C., & Huang, H. (2023). Unmanned Aerial Vehicles for Search and Rescue: A Survey. *Remote. Sens.*, 15, 3266. <https://doi.org/10.3390/rs15133266>
- Mauro, F., & Kana, A. (2023). Digital twin for ship life-cycle: A critical systematic review. *Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113479>
- Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M. (2022). Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones*. <https://doi.org/10.3390/drones6060147>
- Mohsan, S. A. H., Othman, N., Li, Y., Alsharif, M., & Khan, M. A. (2023). Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intelligent Service Robotics*, 16, 109–137. <https://doi.org/10.1007/s11370-022-00452-4>
- Nikouei, M., Baroutian, B., Nabavi, S., Taraghi, F., Aghaei, A., Sajedi, A., & Moghaddam, M. E. (2025). Small Object Detection: A Comprehensive Survey on Challenges, Techniques and Real-World Applications. *ArXiv*, [abs/2503.20516](https://doi.org/10.1016/j.iswa.2025.200561). <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2025.200561>
- Nomikos, N., Gkonis, P., Bithas, P., & Trakadas, P. (2022). A Survey on UAV-Aided Maritime Communications: Deployment Considerations, Applications, and Future Challenges. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 4, 56–78. <https://doi.org/10.1109/ojcoms.2022.3225590>
- Pal, O., Shovon, M. S. H., Mridha, M., & Shin, J. (2024). In-depth review of AI-enabled unmanned aerial vehicles: trends, vision, and challenges. *Discover Artificial Intelligence*, 4. <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00209-1>
- Pastina, D., Santi, F., Pieralice, F., Antoniou, M., & Cherniakov, M. (2021). Passive Radar Imaging of Ship Targets With GNSS Signals of Opportunity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59, 2627–2642. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2020.3005306>
- Progoulakis, I., Rohmeyer, P., & Nikitakos, N. (2021). Cyber Physical Systems Security for Maritime Assets. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse9121384>
- Qiao, D., Liu, G., Lv, T., Li, W., & Zhang, J. (2021). Marine Vision-Based Situational Awareness Using Discriminative Deep Learning: A Survey. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9, 397. <https://doi.org/10.3390/jmse9040397>
- Qiao, Y., Yin, J., Wang, W., Duarte, F., Yang, J., & Ratti, C. (2022). Survey of Deep Learning for Autonomous Surface Vehicles in Marine Environments. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24, 3678–3701. <https://doi.org/10.1109/tits.2023.3235911>
- Rodger, M., & Guida, R. (2020). Classification-Aided SAR and AIS Data Fusion for Space-Based Maritime Surveillance. *Remote. Sens.*, 13, 104. <https://doi.org/10.3390/rs13010104>
- Seidaliyeva, U., Ilipbayeva, L., Taissariyeva, K., Smailov, N., & Matson, E. (2023). Advances and Challenges in Drone Detection and Classification Techniques: A State-of-the-Art Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 24. <https://doi.org/10.3390/s24010125>
- Shahir, H. Y., Glässer, U., Shahir, A. Y., & Wehn, H. (2015). *An Analytic Framework for Maritime Situation Analysis*. <http://arxiv.org/abs/1508.00181>
- Soldi, G., Gaglione, D., Forti, N., Simone, A., Daffinà, F., Bottini, G., Quattrocioni, D., Millefiori, L., Braca, P., Carniel, S., Willett, P., Iodice, A., Riccio, D., & Farina, A. (2020). Space-Based Global Maritime Surveillance. Part I: Satellite Technologies. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 36, 8–28. <https://doi.org/10.1109/maes.2021.3070862>

- Surucu-Balci, E., Iris, Ç., & Balci, G. (2024). Digital information in maritime supply chains with blockchain and cloud platforms: Supply chain capabilities, barriers, and research opportunities. *Technological Forecasting and Social Change*. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122978>
- Thombre, S., Zhao, Z., Ramm-Schmidt, H., Garcia, J., Malkamaki, T., Nikolskiy, S., Hammarberg, T., Nuortie, H., Bhuiyan, M., Särkkä, S., & Lehtola, V. (2020). Sensors and AI Techniques for Situational Awareness in Autonomous Ships: A Review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23, 64–83. <https://doi.org/10.1109/tits.2020.3023957>
- Tijan, E., Jović, M., Aksentijević, S., & Pucihar, A. (2021). Digital transformation in the maritime transport sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120879. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120879>
- Tzachor, A., Hendel, O., & Richards, C. (2023). Digital twins: a stepping stone to achieve ocean sustainability? *Npj Ocean Sustainability*, 2. <https://doi.org/10.1038/s44183-023-00023-9>
- Ullo, S., & Sinha, G. (2021). Advances in IoT and Smart Sensors for Remote Sensing and Agriculture Applications. *Remote. Sens.*, 13, 2585. <https://doi.org/10.3390/rs13132585>
- Wei, S., Zeng, X., Qu, Q., Wang, M., Su, H., & Shi, J. (2020). HRSID: A High-Resolution SAR Images Dataset for Ship Detection and Instance Segmentation. *IEEE Access*, 8, 120234–120254. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3005861>
- Wibisono, A., Piran, Md. J., & Lee, B. (2023). A Survey on Unmanned Underwater Vehicles: Challenges, Enabling Technologies, and Future Research Directions. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23177321>
- Wolsing, K., Roepert, L., Bauer, J., & Wehrle, K. (2022). Anomaly Detection in Maritime AIS Tracks: A Review of Recent Approaches. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse10010112>
- Xin, X., Liu, K., Li, H., & Yang, Z. (2024). Maritime traffic partitioning: An adaptive semi-supervised spectral regularization approach for leveraging multi-graph evolutionary traffic interactions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104670>
- Xu, X., Zhang, X., & Zhang, T. (2022). Lite-YOLOv5: A Lightweight Deep Learning Detector for On-Board Ship Detection in Large-Scene Sentinel-1 SAR Images. *Remote. Sens.*, 14, 1018. <https://doi.org/10.3390/rs14041018>
- Yang, Y., Liu, Y., Li, G., Zhang, Z., & Liu, Y. (2024). Harnessing the power of Machine learning for AIS Data-Driven maritime Research: A comprehensive review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103426>
- Zhang, Z., & Zhu, L. (2023). A Review on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing: Platforms, Sensors, Data Processing Methods, and Applications. *Drones*. <https://doi.org/10.3390/drones7060398>