ULIL ALBAB : Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Vol.5, No.12, November 2026

"Integrasi Teknologi Digital dalam Pengawasan Laut dan Penegakan Hukum terhadap Illegal Fishing untuk Memperkuat Keamanan Maritim Indonesia"

Felix David Christiant Pandapotan[1], Lukman Yudho Prakoso[2], Bayu Asih Yulianto[3]
[1]Universitas Pertahanan Republik Indonesia (UNHAN RI), Bogor, Indonesia
[2]Universitas Pertahanan Republik Indonesia (UNHAN RI), Bogor, Indonesia
[3]Universitas Pertahanan Republik Indonesia (UNHAN RI), Bogor, Indonesia
E-mail: felix.pandapotan@km.idu.ac.id[1], lukman.prakoso@idu.ac.id[2], bayu.yulianto@idu.ac.id[3]

Article History:
Received: 12 Oktober 2026
Revised: 22 Oktober 2026
Accepted: 06 November 2026

Keywords: *Illegal Fishing, Pengawasan Maritim Digital, Data Fusion, Kecerdasan Buatan, Maritime Domain Awareness, Penegakan Hukum Maritim, Keamanan Maritim Indonesia.*

Abstrak: *Illegal, Unreported, and Unregulated (IUU) Fishing merupakan ancaman persisten terhadap kedaulatan dan keberlanjutan sumber daya laut Indonesia, sementara luasnya wilayah yurisdiksi maritim membuat metode pengawasan konvensional tidak lagi memadai untuk mendeteksi pelanggaran secara tepat waktu. Permasalahan yang dikaji dalam paper ini adalah bahwa keberadaan berbagai teknologi digital pengawasan laut, seperti AIS, penginderaan satelit dan SAR, kecerdasan buatan, serta GIS, belum secara otomatis menghasilkan sistem pengawasan yang terintegrasi dan terhubung dengan proses penegakan hukum. Paper ini bertujuan menyusun sintesis konseptual mengenai bagaimana teknologi-teknologi tersebut dapat diintegrasikan untuk memperkuat pengawasan dan penegakan hukum terhadap illegal fishing. Menggunakan metode library research dengan pendekatan kualitatif, analisis tematik, dan sintesis literatur, paper ini menelaah literatur mengenai pengawasan maritim digital, deteksi anomali berbasis AI, analisis trayektori kapal, dan geospatial intelligence. Temuan utama menunjukkan bahwa tidak satu pun teknologi pengawasan tunggal memadai secara mandiri; keandalan deteksi hanya tercapai melalui fusi data multisensor, sementara keluaran analitik berbasis AI bersifat sebagai indikasi atau dukungan pengambilan keputusan, bukan penentu kepastian pelanggaran hukum. Integrasi teknologi ini berimplikasi langsung pada penguatan Maritime Domain Awareness sebagai jembatan konseptual menuju penegakan hukum yang berbasis intelijen. Paper ini menyimpulkan bahwa penguatan keamanan maritim Indonesia terhadap illegal fishing menuntut kerangka integrasi teknologi yang eksplisit menghubungkan pengawasan, intelijen, dan proses hukum, bukan*

sekadar akumulasi teknologi secara terpisah.

PENDAHULUAN

Illegal, Unreported, and Unregulated (IUU) Fishing merupakan salah satu ancaman nontradisional menjadi salah satu tantangan berkelanjutan yang dihadapi negara-negara pesisir dalam menjaga keamanan maritim, termasuk Indonesia sebagai negara kepulauan dengan wilayah yurisdiksi laut yang sangat luas. Ancaman ini tidak hanya merugikan secara ekonomi melalui hilangnya sumber daya perikanan, tetapi juga mengikis kedaulatan negara atas wilayah lautnya, karena aktivitas penangkapan ikan ilegal kerap disertai pelanggaran batas wilayah, pemalsuan identitas kapal, dan penghindaran sistem pelaporan resmi. Kompleksitas geografis Indonesia, dengan ribuan pulau dan garis pantai luas, sehingga pengawasan belum dapat optimal dilaksanakan hanya mengandalkan penambahan kapal patroli dan personil saja.

Metode pengawasan konvensional, bertumpu pada patroli fisik dan pengamatan visual langsung, memiliki keterbatasan berupa cakupan area terbatas, biaya operasional tinggi, dan ketergantungan pada ketergantungan pada keberadaan personil di lapangan, sehingga sebagian besar wilayah laut pada praktiknya luput dari pengawasan berkelanjutan pada satu waktu tertentu. Keterbatasan ini mendorong pergeseran menuju *digital maritime surveillance*, yaitu pengawasan laut dengan memanfaatkan sensor dan sistem elektronik untuk memperluas cakupan deteksi tanpa bergantung sepenuhnya pada kehadiran fisik manusia di lokasi.

Automatic Identification System (AIS) dan *Vessel Monitoring System* (VMS) menjadi salah satu tulang punggung pengawasan digital ini, menyediakan data posisi dan identitas kapal secara berkelanjutan. Namun, keandalan kedua sistem ini bergantung pada kepatuhan kapal untuk mengaktifkan transpondernya; kapal terindikasi atau terlibat dalam aktivits ilegal fishing cenderung menonaktifkan sistem tersebut, sehingga menyulitkan proses pemantauan dan deteksi oleh personil aparat. . Keterbatasan inilah mendorong pemanfaatan **satelit dan Synthetic Aperture Radar (SAR)** sebagai pelengkap, karena kemampuannya mendeteksi keberadaan objek di laut secara independen dari data pelaporan kapal itu sendiri. Rodger dan Guida (2020) menunjukkan bahwa fusi antara citra radar SAR dan data AIS mampu mengungkap kapal yang sengaja menonaktifkan transpondernya, sementara Soldi et al. (2020) menegaskan bahwa pengawasan maritim menuntut integrasi berbagai teknologi berbasis satelit, mengingat sistem berbasis daratan tidak mampu memberikan cakupan menyeluruh terhadap wilayah di laut lepas pantai.

Perkembangan lebih lanjut membawa peran **kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning*** ke dalam ekosistem pengawasan, khususnya untuk mengolah data dari sensor selanjutnya diterjemahkan menjadi informasi bermakna. Wolsing et al. (2022) menunjukkan bahwa teknik deteksi anomali pada data AIS mampu mengidentifikasi pola pergerakan kapal mencurigakan, semakin banyak sensor digunakan, semakin besar pula volume data pengawasan sehingga diperlukan kapasitas pengolahan data lebih besar. Kapasitas analitik ini kemudian perlu dipadukan dengan **Geographic Information Systems (GIS)**, yang menyatukan data dari berbagai sumber sensor ke dalam representasi spasial dapat dianalisis dan ditindaklanjuti. Quamar et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi drone dengan system GIS meningkatkan fleksibilitas akuisisi data pada area spesifik dengan kebutuhan pemantauan lebih intensif, sekaligus melengkapi cakupan luas citra satelit melalui pengamatan lebih terarah.

Meskipun masing-masing teknologi di atas telah menunjukkan kapasitas teknis cukup menjanjikan, penting untuk ditegaskan sejak awal bahwa keluaran teknologi tersebut, baik berupa deteksi posisi, skor risiko, maupun indikasi anomali, tidak dengan sendirinya setara dengan

penetapan pelanggaran hukum. Transisi dari hasil pengawasan teknis menuju **penegakan hukum** (*law enforcement*) memerlukan serangkaian proses verifikasi, pemeriksaan, dan pembuktian sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Banyak literatur cenderung mengkaji masing-masing teknologi tersebut sedangkan keseluruhan rangkaian teknologi ini saling melengkapi dan terintegrasi dengan penegakan hukum. Adapun hal tersebut menjadi salah satu kemenarikan untuk dikaji dalam penelitian ini. Penelitian ini bertujuan menyusun analisis dan integrasi berbagai hasil penelitian serta kerangka konseptual yang menghubungkan teknologi pengawasan digital, *data fusion*, analitik berbasis AI, dan *geospatial intelligence* dalam satu rangkaian proses dari deteksi hingga penegakan hukum.

LANDASAN TEORI

1. Teknologi Digital dalam Pengawasan Maritim

a. Satelit

1) Menurut Soldi et al. (2020), pengawasan maritim berbasis satelit tidak dapat mengandalkan satu teknologi tunggal untuk memberikan cakupan secara menyeluruh dan konsisten terhadap wilayah maritim yang luas; keandalan pengawasan bergantung pada kombinasi berbagai teknologi berbasis satelit. Adapun integritas teknologi ini saling melengkapi karena keterbatasan masing-masing, mengingat sistem berbasis daratan tidak mampu menjangkau wilayah laut lepas pantai secara memadai.

b. Radar / Synthetic Aperture Radar (SAR)

Menurut Rodger dan Guida (2020), citra radar SAR menyediakan kapasitas deteksi kapal dengan tidak bergantung pada kerja sama kapal pengawasan diantaranya; fusi antara citra SAR dan data AIS secara spesifik mampu mengungkap kapal dengan sengaja menonaktifkan transpondernya untuk menghindari pengawasan. Kemampuan tersebut memungkinkan SAR berperan sebagai sumber verifikasi independen untuk membandingkan data yang dilaporkan oleh kapal dengan kondisi aktual di lapangan .

c. VMS (*Vessel Monitoring System*) dan AIS (*Automatic Identification System*).

berfungsi sebagai sumber data utama dalam menyediakan posisi, kecepatan, dan identitas kapal secara berkelanjutan, namun keandalannya bersifat kooperatif bergantung sepenuhnya pada kepatuhan kapal untuk mengaktifkan dan melaporkan datanya secara jujur. Menurut Wolsing et al. (2022), keterbatasan ini dapat sebagian diatasi melalui deteksi anomali berbasis kecerdasan buatan pada data AIS, agar mampu mengidentifikasi pola pergerakan kapal menyimpang dari perilaku normal secara sistematis dan dapat diskalakan pada volume data besar

d. Drone dan GIS (Geographic Information System).

Menurut Quamar et al. (2023), integrasi drone dengan sistem GIS memberikan fleksibilitas dalam pengumpulan data pada area tertentu untuk pemantauan lebih intensif. Teknologi ini melengkapi citra satelit dengan cakupan wilayah luas, tetapi waktu pengamatannya bergantung pada jadwal orbit. Selanjutnya, GIS berperan mengintegrasikan data dari berbagai sensor ke dalam informasi spasial untuk mendukung analisis risiko dan pengambilan keputusan

1. Peran Keamanan Maritim (Kementerian/Lembaga)

Menurut kajian Fakultas Hukum Universitas Indonesia (2018), penegakan keamanan maritim Indonesia melibatkan tujuh lembaga secara sektoral sesuai kewenangan masing-masing berdasarkan peraturan perundang-undangan :

a. TNI Angkatan Laut (TNI AL).

2) Menurut kajian dalam jurnal AHKAM (2025), TNI AL berperan sebagai komponen utama pertahanan negara di wilayah yurisdiksi laut Indonesia, bertugas menjaga keutuhan wilayah teritorial dan mengamankan jalur komunikasi laut serta kepentingan nasional dari berbagai ancaman, termasuk *illegal fishing*, penyelundupan, dan pelanggaran batas wilayah, khususnya di kawasan perbatasan yang rawan seperti perairan selatan Papua dan Laut Natuna Utara.

b. Bakamla (Badan Keamanan Laut).

3) Menurut Peraturan Presiden Nomor 178 Tahun 2014 (dikutip dalam kajian strategi Bakamla, 2025), Bakamla bertugas melakukan patroli keamanan dan keselamatan laut serta berkoordinasi dengan lembaga lain, dengan strategi mencakup patroli mandiri maupun bersama TNI AL, Polairud, dan KKP di wilayah rawan seperti Perairan Natuna, ditunjang sistem peringatan dini berbasis AIS, radar, dan satelit. Menurut keterangan resmi dari Mahkamah Konstitusi RI (2024), peran Bakamla dalam pemberantasan IUU *fishing* bersifat mendukung pada tahap pengawasan dan patroli laut, tanpa mengambil alih kewenangan substantif KKP.

c. KKP melalui Ditjen PSDKP (Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan).

4) KKP (2015; 2025), Ditjen PSDKP memiliki kewenangan penyidikan melalui Penyidik Pegawai Negeri Sipil (PPNS) Perikanan dan bertugas memproses hukum kapal-kapal pelaku *illegal fishing*, termasuk kapal hasil penindakan dari lembaga lain seperti Bakamla dan TNI AL untuk selanjutnya dilimpahkan penanganannya kepada PSDKP.

d. Polairud (Direktorat Kepolisian Perairan dan Udara), Ditjen Perhubungan Laut Kemenhub, Ditjen Bea dan Cukai Kemenkeu, dan Satgas 115.

Menurut kajian Fakultas Hukum Universitas Indonesia (2018), keempat entitas ini melengkapi ekosistem penegakan hukum laut Indonesia: Polairud menjalankan penegakan hukum kepolisian di perairan domestik, Ditjen Hubla mengawasi keselamatan dan keamanan pelayaran, Bea Cukai mengawasi lalu lintas barang dan potensi penyelundupan lintas batas laut, sementara Satgas 115 dibentuk khusus sebagai satuan tugas pemberantasan penangkapan ikan ilegal lintas lembaga.
Menurut keterangan Kementerian Kelautan dan Perikanan dan Kementerian Perhubungan dalam laman Mahkamah Konstitusi RI (2024), koordinasi antarsembilan kementerian/lembaga ini kini diformalkan melalui Kesepakatan Bersama mengenai SOP Koordinasi Antarinstansi dalam Pemeriksaan Kapal, serta **Peraturan Presiden Nomor 59 Tahun 2023** tentang Kebijakan Nasional Keamanan, Keselamatan, dan Penegakan Hukum di Wilayah Perairan Indonesia, yang menempatkan Bakamla sebagai koordinator operasi bersama antarlembaga.

C. Penegakan Hukum: Regulasi yang Masih Berlaku

Menurut kajian yang dipublikasikan ResearchGate (2026), kerangka hukum pidana perikanan Indonesia bertumpu pada **Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2004 tentang Perikanan**, sebagaimana diubah dengan **Undang-Undang Nomor 45 Tahun 2009**, yang berfungsi sebagai *lex specialis* (hukum khusus) dalam penanganan tindak pidana perikanan, memberikan dasar hukum untuk menentukan norma pidana sehingga menghindari ketidakpastian dan tumpang tindih penerapan hukum.
Menurut naskah resmi UU Nomor 45 Tahun 2009 (dikutip dalam Pelayanan Jakarta, tanpa tahun), undang-undang ini memuat ketentuan pidana pada Bab XV, Pasal 84 hingga 105, mencakup larangan penangkapan ikan menggunakan bahan kimia, bahan biologis, bahan peledak, alat

penangkap ikan berpotensi merusak kelestarian sumber daya ikan (Pasal 8), serta kewenangan pengawas perikanan untuk menghentikan, memeriksa, membawa, dan menahan kapal yang diduga melanggar ke pelabuhan terdekat (Pasal 69 ayat 1).

Menurut kajian Mahkamah Agung RI (2025), ketentuan tambahan berlaku melalui **Pasal 92 UU Nomor 31 Tahun 2004** terkait pelanggaran perizinan usaha perikanan, dan **Pasal 85 UU Nomor 45 Tahun 2009** terkait penggunaan alat tangkap berpotensi merusak lingkungan. Pada Januari 2026, menurut Seputar Hukum Indonesia (2026), berlaku pula **KUHP Nasional** dalam memperkuat mekanisme pertanggungjawaban pidana, termasuk pertanggungjawaban korporasi kini dapat menjerat pemilik kapal dan pengendali korporasi, tidak hanya nakhoda kapal.

No.	Regulasi	Status	Relevansi dengan sistem
1	UU No. 31 Tahun 2004 tentang Perikanan jo. UU No. 45 Tahun 2009	Berlaku, dengan perubahan	Dasar hukum pengelolaan perikanan, pengawasan dan penegakan hukum terhadap pelanggaran perikanan.
2	UU No. 32 Tahun 2014 tentang Kelautan	Berlaku, dengan perubahan	Dasar pengelolaan kelautan, pertahanan, keamanan, keselamatan dan penegakan hukum di laut.
3	PP No. 13 Tahun 2022 tentang Penyelenggaraan Keamanan, Keselamatan, dan Penegakan Hukum di Wilayah Perairan Indonesia dan Wilayah Yurisdiksi Indonesia	Berlaku	Sangat penting untuk konsep patroli, penegakan hukum, sinergi K/L, dan Sistem Informasi Keamanan dan Keselamatan Laut Nasional.
4	Perpres No. 59 Tahun 2023 tentang Kebijakan Nasional Keamanan, Keselamatan, dan Penegakan Hukum di Wilayah Perairan Indonesia	Berlaku	Menjadi acuan kebijakan nasional bagi instansi terkait dalam keamanan, keselamatan dan penegakan hukum di laut. Perpres ini menetapkan

	dan Wilayah Yurisdiksi Indonesia		kebijakan untuk periode 2022–2026.
5	PP No. 11 Tahun 2023 tentang Penangkapan Ikan Terukur	Berlaku	Mendukung pengawasan aktivitas penangkapan ikan berdasarkan zona dan kuota serta pengendalian kegiatan perikanan.
6	Permen KP No. 23 Tahun 2021 tentang Standar Laik Operasi dan Sistem Pemantauan Kapal Perikanan	Berlaku	Sangat relevan untuk VMS/SPKP, pemantauan kapal perikanan dan pengawasan kapal.
7	Permen KP No. 31 Tahun 2021 tentang Pengenaan Sanksi Administratif di Bidang Kelautan dan Perikanan	Berlaku	Mendukung tahapan penindakan dan sanksi administratif terhadap pelanggaran.
8	Permen KP No. 30 Tahun 2021 tentang Pengawasan Ruang Laut jo. Permen KP No. 5 Tahun 2025	Berlaku	Mendukung pengawasan berbasis ruang/GIS dan pengendalian aktivitas di ruang laut. JDIH KKP mencatat perubahan melalui Permen KP No. 5 Tahun 2025 berstatus berlaku.
9	Permen KP No. 8 Tahun 2025 tentang Tata Kelola Kapal Pengawas	Berlaku	Mendukung tahap verifikasi lapangan, patroli dan penindakan menggunakan kapal pengawas.
10	Kepmen KP No. 79 Tahun 2025 tentang Rencana Aksi Nasional Pencegahan, Penanggulangan,	Berlaku	Ini merupakan salah satu regulasi/kebijakan paling relevan untuk paper Anda karena secara

	dan Pemberantasan IUU Fishing Tahun 2025–2029		**langsung berkaitan dengan pencegahan dan pemberantasan *Illegal, Unreported and Unregulated Fishing*.**

D. Illegal Fishing: Definisi, Sanksi, dan Kerugian bagi Indonesia

Definisi. Menurut Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia/FAO (dikutip dalam Mahkamah Agung RI, 2025), tindak pidana di bidang perikanan disebut sebagai *Illegal, Unreported, and Unregulated (IUU) Fishing*, yaitu penangkapan ikan yang dilakukan secara **ilegal** (tanpa izin atau melanggar ketentuan wilayah pengelolaan perikanan), **tidak dilaporkan** sesuai kewajiban pelaporan, dan **tidak diatur** karena menggunakan metode berpotensi merusak lingkungan, seperti bom ikan, racun sianida, racun *potassium*, atau alat tangkap tidak sesuai ketentuan teknis seperti *trawl* dan jaring berukuran tidak sesuai ketentuan.

Sanksi (*Punishment*). Menurut Kompas (2022), berdasarkan Pasal 93, 94, dan 94A UU Nomor 45 Tahun 2009 dan UU Nomor 31 Tahun 2004, setiap pelaku penangkapan atau pengangkutan ikan tanpa Surat Izin Usaha Perikanan (SIUP), Surat Izin Penangkapan Ikan (SIPI), atau Surat Izin Kapal Pengangkut Ikan (SIKPI) diancam pidana penjara lima hingga tujuh tahun dengan denda Rp1,5 miliar hingga Rp20 miliar; nakhoda tanpa surat izin berlayar diancam pidana penjara satu tahun dengan denda Rp200 juta. Menurut naskah UU Nomor 45 Tahun 2009 Pasal 69 ayat (4), penyidik dan/atau pengawas perikanan diberi kewenangan tambahan berupa **pembakaran dan/atau penenggelaman kapal perikanan berbendera asing**. Menurut kajian ResearchGate (2026) memperoleh momentum besar pada masa Menteri Kelautan dan Perikanan Susi Pudjiastuti sebagai instrumen efek jera. Menurut kajian Business Law BINUS (2018), pidana denda oleh pengadilan terhadap nakhoda kapal seringkali tidak sepadan dengan kerugian negara, sehingga dinilai belum sepenuhnya menimbulkan efek jera.

Kerugian bagi Indonesia. Estimasi kerugian akibat IUU *fishing* bervariasi tergantung metode penghitungan dan periode data, sehingga perlu dibaca sebagai angka indikatif dari sumber dan tahun ke tahun, bukan angka tunggal pasti:

1) Menurut KKP (dikutip dalam KKP News, 2015), kerugian negara akibat *illegal fishing* diperkirakan mencapai **Rp101 triliun per tahun**, angka estimasi tahun 2014 dalam publikasi resmi KKP setidaknya hingga 2021 (KKP, 2021, dikutip dalam laman resmi KKP, tanpa tahun).
2) Menurut Investor Daily (2021), KKP melaporkan potensi kerugian negara berhasil **diselamatkan** melalui operasi penegakan hukum mencapai Rp1,1 triliun sepanjang 2021, dari penangkapan 166 kapal (114 kapal Indonesia dan 52 kapal asing).
3) Menurut Tempo (2025), Menteri Kelautan dan Perikanan Sakti Wahyu Trenggono melaporkan potensi kerugian negara mencapai lebih dari **Rp13 triliun sepanjang periode 2020–2025**, sementara pada 2024 tercatat kerugian sebesar Rp3,7 triliun dari penangkapan 240 kapal.

Menurut Kompas (2026), KKP memperkirakan potensi kerugian negara akibat *illegal fishing* pada tahun 2026 mencapai Rp16 triliun, dengan Maluku Utara sebagai salah satu wilayah yang menjadi sorotan utama

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode *library research* (studi kepustakaan). Pendekatan ini dipilih karena pertanyaan untuk menjawab pertanyaan penelitian, yaitu bagaimana berbagai teknologi pengawasan maritim saling melengkapi dan bagaimana integrasinya dapat menjembatani pengawasan dengan penegakan hukum, bersifat konseptual-sintetis dan menuntut penelusuran perkembangan gagasan lintas literatur, bukan pengujian hipotesis pada data lapangan primer. Sifat objek kajian, yakni teknologi terus berkembang dan tersebar pada berbagai domain keilmuan (rekayasa kelautan, ilmu komputer, dan kebijakan keamanan), menjadikan sintesis pustaka sebagai pendekatan paling sesuai untuk membangun pemahaman terintegrasi.

Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian ini bersumber dari literatur akademik sebagai rujukan utama, berdasarkan sebelas klaster tematik: AIS, SAR, citra satelit, kecerdasan buatan, *machine learning*, deteksi anomali, analisis trayektori, *data fusion*, GIS, drone, dan pengawasan maritim secara umum. Pengumpulan data dilakukan dengan menelusuri isi masing-masing sumber, mencakup abstrak, tujuan, metode, dan temuan utama, sejauh dapat ditelusuri dan diverifikasi keabsahannya. Perlu dicatat sebagai bagian dari kejujuran metodologis bahwa dari keseluruhan referensi menjadi rujukan penelitian ini, tidak seluruhnya berhasil diverifikasi detail bibliografis dan temuan spesifiknya secara langsung pada tahap penyusunan ; referensi telah terverifikasi digunakan secara substantif, sementara sisanya diperlakukan secara konservatif, hanya disebut sebagai penanda arah tematik tanpa mengklaim temuan detail.

Teknik Analisis Data

Analisis data menggunakan kombinasi *thematic analysis* dan *comparative analysis*. *Thematic analysis* digunakan untuk mengelompokkan literatur ke dalam klaster tematik sebagaimana disebutkan pada subbagian 3.2, sementara *comparative analysis* digunakan untuk membandingkan kelebihan dan keterbatasan masing-masing teknologi dan pendekatan analitik . Kombinasi kedua teknik ini memungkinkan penelitian menghasilkan sintesis dengan tidak sekadar merangkum, melainkan membangun argumen baru mengenai bagaimana teknologi-teknologi tersebut, jika dipadukan, dapat mengatasi keterbatasan masing-masing ketika digunakan secara terpisah**.**

Metode *library research* dipilih karena tiga pertimbangan. Pertama, pemetaan perkembangan teknologi pengawasan maritim menuntut penelusuran lintas waktu dan lintas domain keilmuan secara memadai melalui kajian literatur, bukan melalui pengumpulan data lapangan tunggal. Kedua, perbandingan sistematis antarpendekatan teknologi memerlukan akses terhadap studi yang telah dipublikasikan pada keberagaman konteks operasional, kondisi tersebut sulit diperoleh melalui satu penelitian lapangan dalam waktu terbatas. Ketiga, tujuan akhir penelitian ini, yakni membangun kerangka konseptual integratif, secara inheren merupakan luaran hasil dari sintesis gagasan, bukan pengujian data empiris baru.

Sintesis literatur dalampenellitian ini mengikuti alur tujuh tahap: identifikasi (menetapkan cakupan literatur relevan berdasarkan klaster tematik), klasifikasi (mengelompokkan literatur berdasarkan jenis teknologi dan fungsi pengawasan), ekstraksi (menarik konsep, metode, dan temuan kunci dari sumber terpercaya), kategorisasi (menyusun temuan ke dalam kerangka tematik), perbandingan (menilai kelebihan dan keterbatasan relatif antarteknologi), sintesis (merangkai temuan lintas kategori menjadi argumen tunggal mengenai integrasi teknologi), dan interpretasi

(menghubungkan sintesis tersebut dengan kerangka *Maritime Domain Awareness* dan penegakan hukum).

Untuk memberikan gambaran sistematis mengenai bagaimana literatur yang menjadi rujukan kerja penelitian ini, Tabel 1 menyajikan pemetaan awal berdasarkan teknologi dan fungsi pengawasan, dengan menekankan bahwa kolom "Temuan Utama" diisi untuk sumber terpercaya secara langsung, guna menjaga integritas akademik penelitian ini**.**

Adapun penelitian sebelumnya terkait teknologi digital dalam pengawasan laut dan penegakkan hukum sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis Data

No.	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	**Febriansyah, Luasunaung & Dien (2016)**	*Ketaatan kapal pukat cincin yang berpangkalan di Pelabuhan Perikanan Samudera Bitung terhadap wilayah penangkapan ikan yang ditetapkan menggunakan data Vessel Monitoring System*	Penelitian menunjukkan bahwa VMS dapat digunakan untuk memantau pergerakan dan aktivitas kapal perikanan. Dari tujuh kapal yang diamati, **87% kapal pukat cincin tidak mematuhi ketentuan wilayah penangkapan** berdasarkan data VMS. Hasil ini menunjukkan pentingnya VMS sebagai instrumen pengawasan kepatuhan kapal.
2	**Longépé et al. (2017)**	*Completing fishing monitoring with spaceborne Vessel Detection System (VDS) and Automatic Identification System (AIS) to assess illegal fishing in Indonesia*	Penelitian mengintegrasikan **SAR/VDS, AIS, dan VMS** untuk mendeteksi aktivitas penangkapan ikan ilegal di Laut Arafura. Hasilnya menunjukkan bahwa integrasi berbagai sumber data mampu melengkapi keterbatasan masing-masing sistem dan

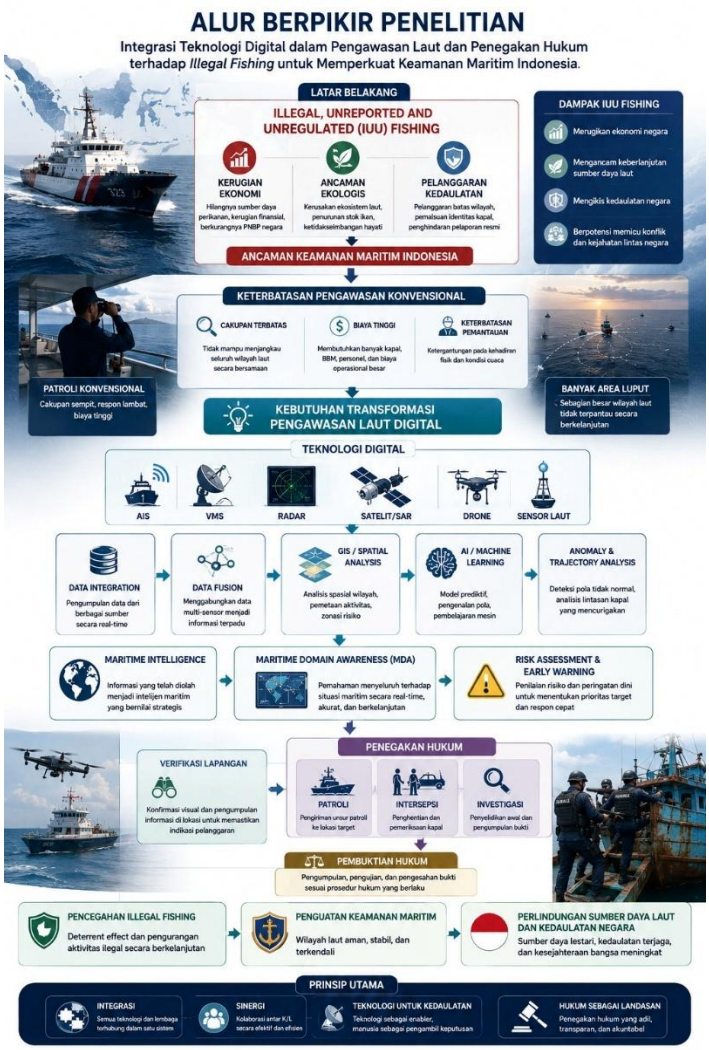
			meningkatkan kemampuan *monitoring, control and surveillance* (MCS). Proporsi kapal yang tidak menggunakan VMS diperkirakan **42–47% pada 2014–2015**, kemudian menurun menjadi **32–42% pada Januari 2016**.
3	**Yulianto, Hartono & Farda (2018)**	*Analisis Citra MODIS dan Spatial Data Mining Vessel Monitoring System (VMS) untuk Penentuan Konsentrasi Ikan dan Dugaan Illegal Fishing (Studi di WPP-712)*	Penelitian menggabungkan **penginderaan jauh, SIG, citra MODIS, dan VMS** untuk mengidentifikasi wilayah konsentrasi ikan dan dugaan illegal fishing. Hasil penelitian menghasilkan pemetaan wilayah potensi ikan tinggi dan rendah serta menunjukkan bahwa kombinasi data oseanografi dan aktivitas kapal dapat menjadi **indikator awal untuk pencegahan dugaan illegal fishing**.
4	**Ramadhan (2018)**	*Kebijakan Indonesia Berbagi Data Vessel Monitoring System (VMS) dengan Global Fishing Watch*	Penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan dan pembagian data VMS dengan **Global Fishing Watch** tidak hanya memiliki fungsi teknis pengawasan, tetapi juga berkaitan dengan transparansi

			perikanan dan kepentingan Indonesia dalam membangun legitimasi serta standar transparansi perikanan internasional.
5	**Soemarmi et al. (2020)**	*Teknologi Vessel Monitoring System (VMS) sebagai Strategi Perlindungan dan Pembangunan Industri Perikanan di Indonesia*	Hasil penelitian menunjukkan bahwa VMS dapat meningkatkan transparansi dalam pengelolaan sumber daya kelautan dan menjadi instrumen untuk mencegah praktik illegal fishing. Penelitian juga menekankan bahwa teknologi pengawasan perlu didukung oleh kebijakan dan pengawasan yang efektif.
6	**Paulus et al. (2026)**	*Identification and Modeling of Illegal Fishing Violations in WPPNRI 715 Using Vessel Monitoring System Data*	Penelitian menggunakan **data VMS dan analisis spasial berbasis SIG** untuk mengidentifikasi karakteristik aktivitas penangkapan, pola spasial, serta *hotspot* pelanggaran di WPPNRI 715. Penelitian menghasilkan pendekatan pemodelan pengawasan berbasis VMS dan *hotspot* untuk mendukung pengawasan

			perikanan yang lebih terarah.
7	**Novitasari, Irwanto & Prakoso (2025)**	*Implementasi Teknologi Modern dalam Strategi Keamanan Laut untuk Mencegah Pencurian Sumber Daya Laut di Wilayah Perairan Indonesia*	Penelitian menekankan pentingnya teknologi modern dalam keamanan laut, termasuk **kecerdasan buatan, satelit, AIS, drone pengintai, dan sensor bawah laut** untuk mencegah pencurian sumber daya laut dan IUU fishing. Hasilnya memperlihatkan bahwa teknologi menjadi instrumen strategis dalam meningkatkan kemampuan deteksi dan pengawasan maritim.

Secara keseluruhan penelitian sebelumnya telah banyak membahas tentang teknologi digital, namun belum secara spesifik dikaitkan dengan pengawasan laut dan penegakan hukum, sehingga menjadi kajian menarik untuk dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan tema tersebut.

Untuk menjawab pertanyaan penelitian, secara sederhana kerangka berfikir pada penelitian ini dapat digambarkan melalui gambar 1. sebagai berikut :



Gambar 1. Arsitektur Integrasi Teknologi Digital untuk Maritime Surveillance

Berdasarkan gambar 1, di atas dapat disampaikan bahwa Kerangka berpikir penelitian ini berangkat dari IUU Fishing sebagai ancaman terhadap keamanan maritim Indonesia yang menimbulkan kerugian ekonomi, kerusakan ekologis, dan pelanggaran kedaulatan. Keterbatasan pengawasan konvensional yang memiliki cakupan terbatas, biaya tinggi, dan belum mampu melakukan pemantauan secara optimal mendorong kebutuhan transformasi pengawasan laut berbasis teknologi digital melalui AIS, VMS, radar, satelit/SAR, drone, dan sensor laut. Data dari berbagai teknologi tersebut diintegrasikan dan difusikan untuk dianalisis menggunakan GIS, AI/machine learning, serta anomaly dan trajectory analysis, sehingga menghasilkan *Maritime Intelligence* dan Maritime Domain Awareness (MDA) yang mendukung *risk assessment* dan *early warning*. Informasi tersebut kemudian diverifikasi melalui pengawasan lapangan dan ditindaklanjuti dengan patroli, intersepsi, investigasi, serta pembuktian hukum. Dengan integrasi teknologi, sinergi antarlembaga, dan hukum sebagai landasan, pendekatan ini diharapkan mampu mencegah IUU Fishing, memperkuat keamanan maritim, serta melindungi sumber daya laut dan kedaulatan Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tantangan Integrasi Teknologi Digital dalam Pengawasan Laut

Sebelum membahas bagaimana teknologi dapat diintegrasikan, penting dipahami fungsi masing-masing teknologi. Heterogenitas data menjadi tantangan mendasar: AIS menghasilkan data tekstual terstruktur berupa posisi dan identitas, sementara citra SAR dan satelit menghasilkan data raster pemrosesan citra sebelum dapat dibandingkan dengan data AIS. Soldi et al. (2020) menegaskan bahwa ketiadaan satu teknologi mampu memberikan cakupan menyeluruh secara mandiri bukan sekadar keterbatasan teknis sementara, melainkan karakteristik struktural setiap jenis sensor: sensor berbasis daratan terbatas jangkauan, sedangkan sensor berbasis satelit terbatas oleh jadwal orbit dan resolusi.

Kualitas data AIS menjadi persoalan tersendiri, mengingat sistem ini bergantung pada kepatuhan kapal untuk melaporkan datanya secara akurat dan berkelanjutan; kapal dengan maksud menghindari pengawasan dapat memanipulasi atau menonaktifkan sinyal tersebut, menciptakan *AIS gaps* atau kekosongan data pada periode tertentu. Persoalan ini secara langsung menjadi motivasi bagi pendekatan fusi data sebagaimana menurut Rodger dan Guida (2020), kekosongan data AIS hanya dapat diisi melalui sumber independen seperti SAR. Tantangan lain yang perlu diakui, meski literatur pendukung spesifiknya belum dapat terverifikasi secara penuh dalam penyusunan penelitian ini, mencakup kebutuhan pemrosesan mendekati waktu nyata (*near real-time*), interoperabilitas antarsistem dikelola oleh instansi berbeda, kebutuhan validasi keluaran algoritma AI sebelum digunakan sebagai dasar tindakan, aspek keamanan siber terhadap integritas data pengawasan, serta keterbatasan sumber daya manusia dalam menguasai kombinasi keahlian teknis dan domain maritim secara sekaligus.

2. Integrasi AIS, SAR, Satelit, dan Data Visual

Kombinasi berbagai sumber data menjadi jawaban atas keterbatasan masing-masing teknologi. AIS menyediakan data identitas namun rentan manipulasi; SAR menyediakan deteksi independen namun tidak menyertakan identitas kapal secara langsung; sementara data visual dari drone menyediakan detail tinggi pada area terbatas namun tidak dapat mencakup wilayah luas secara terus-menerus. Rodger dan Guida (2020) menunjukkan secara spesifik bahwa fusi SAR-AIS memungkinkan identifikasi kapal terdeteksi radar namun tidak melaporkan posisi melalui AIS ketidaksesuaian tersebut menjadi indikator kuat adanya aktivitas yang patut dicurigai.

Untuk merangkum karakteristik komparatif masing-masing teknologi, pada Tabel 2 menyajikan perbandingan teknologi digital dalam pengawasan laut yaitu :

Tabel 2. Perbandingan Teknologi Digital dalam Pengawasan Laut

Teknologi	Jenis Data	Kelebihan	Keterbatasan	Fungsi Pengawasan	Potensi untuk Illegal Fishing
AIS/VMS	Posisi, identitas (kooperatif)	Data kaya, identitas jelas, historis mudah ditelusuri	Bergantung kepatuhan kapal; rentan dimatikan/dimanipulasi	Pelacakan rutin kapal legal	Rendah bila digunakan sendiri — kapal ilegal cenderung menonaktifkannya

Satelit multisensor (Soldi et al., 2020)	Citra optik/radar skala luas	Cakupan area sangat luas	Terikat jadwal orbit; resolusi terbatas pada objek kecil	Pengawasan area luas periodik	Sedang — efektif untuk area luas, kurang untuk deteksi real-time
SAR + Fusi AIS (Rodger & Guida, 2020)	Radar + data posisi	Mendeteksi kapal non-kooperatif; independen dari pelaporan kapal	Membutuhkan pemrosesan citra kompleks; interpretasi menuntut keahlian	Deteksi kapal yang menghindar dari AIS	Tinggi — langsung menjawab modus penghindaran pengawasan
Drone + GIS (Quamar et al., 2023)	Citra visual resolusi tinggi	Fleksibel, responsif, biaya operasional relatif rendah	Cakupan area terbatas, daya jelajah terbatas	Verifikasi visual area spesifik	Tinggi untuk verifikasi lanjutan, rendah untuk cakupan luas

Sumber: Diolah penulis (2026) berdasarkan Tu et al. (2016), Soldi et al. (2020), Rodger dan Guida (2020), serta Quamar et al. (2023).

Berdasarkan tabel 2 di atas, menunjukkan pola konsisten bahwa setiap teknologi memiliki profil kelebihan dan keterbatasan. AIS unggul dalam kekayaan data identitas namun lemah terhadap manipulasi; SAR unggul dalam independensi deteksi namun lemah dalam kemudahan interpretasi; satelit unggul dalam cakupan namun lemah dalam responsivitas; drone unggul dalam fleksibilitas namun lemah dalam cakupan. Namun penggunaan teknologi digital tersebut dapat maksimal dengan mengkombinasikannya.

3. Kecerdasan Buatan dan Machine Learning untuk Deteksi Anomali

Wolsing et al. (2022) menunjukkan bahwa pendekatan deteksi anomali pada data AIS mampu mengidentifikasi pola pergerakan kapal dari perilaku normal secara sistematis dan dapat diskalakan, kemampuan tersebut sulit diperoleh melalui pemeriksaan manual terhadap data dalam jumlah besar. Penting ditegaskan bahwa fungsi AI dalam konteks ini adalah sebagai *decision support system* system untuk menghasilkan prioritas perhatian bagi analis manusia bukan sebagai pengganti otoritas pengawas maupun penegak hukum. Kapal terindikasi anomali melalui algoritma memerlukan pemeriksaan lanjutan oleh analis dan, jika diperlukan, verifikasi lapangan sebelum informasi tersebut dapat menjadi dasar tindak lanjut.

4. Analisis dan Prediksi Trayektori Kapal

Analisis trayektori kapal, menelusuri pola pergerakan historis untuk memahami dan memprediksi perilaku di masa depan, menjadi pelengkap penting bagi deteksi anomali titik waktu. Kualitas data historis menjadi prasyarat mendasar; trayektori direkonstruksi dari data AIS dengan banyak kekosongan (*gaps*) berisiko menghasilkan *invalid estimasi*. Pendekatan berbasis risiko (*risk-based surveillance*) memanfaatkan pola pergerakan historis berpotensi mengarahkan sumber

daya pengawasan terbatas pada area dan waktu dengan probabilitas pelanggaran lebih tinggi, dibandingkan pendekatan patroli tanpa prioritisasi.

5. GIS, Drone, dan Geospatial Intelligence

GIS memberikan konteks geografis esensial bagi hasil deteksi anomali dan analisis AI, mengubah data poin individual menjadi pemahaman spasial secara koheren, misalnya dengan menunjukkan bahwa serangkaian anomali terkonsentrasi pada koridor tertentu bertepatan dengan area perlindungan sumber daya perikanan. Quamar et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi drone ke dalam kerangka GIS memperluas fleksibilitas akuisisi data pada area memerlukan verifikasi lebih intensif, melengkapi keterbatasan cakupan waktu nyata pada citra satelit. Kombinasi ini memungkinkan pergeseran dari deteksi berbasis titik menuju pemetaan risiko spasial (*spatial risk mapping*) dalam mendukung alokasi sumber daya 9757ersam secara lebih terarah.

6. Maritime Data Fusion untuk Meningkatkan Maritime Domain Awareness

Menyatukan subbagian-subbagian sebelumnya, prinsip *data fusion* menjadi jembatan konseptual yang menghubungkan sumber data 9757ersama9757ny (AIS, SAR, satelit, drone) melalui lapisan analitik AI dan representasi spasial GIS, menghasilkan *maritime intelligence* yang menjadi bahan baku bagi *Maritime Domain Awareness*. Soldi et al. (2020) dan Rodger dan Guida (2020) 9757ersama-sama menegaskan bahwa nilai fusi data terletak bukan pada penjumlahan sederhana berbagai sumber, melainkan pada kapasitasnya mengisi kekosongan dan memverifikasi silang antarsumber — sebuah kapal yang terdeteksi radar namun tidak muncul pada AIS menghasilkan nilai informasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan data dari kedua sumber tersebut digunakan secara terpisah.



Gambar 4. Pola Integrasi Teknologi dan Koordinasi dalam Pengawasan serta Penegakan Hukum Maritim

Sumber: ***Diolah penulis berdasarkan Rodger dan Guida (2021), Soldi et al. (2021), Wolsing et al. (2022), Qu et al. (2023), Guo et al. (2023), dan penelitian terkait (2026).***

Diagram tersebut menegaskan bahwa setiap lapisan bergantung pada kualitas lapisan sebelumnya: kurang optimalnya integrasi data akan menghasilkan ketidakakuratan fusi data , pada gilirannya menurunkan keandalan analisis AI, dan seterusnya hingga ke lapisan penegakan hukum. Rantai ketergantungan berlapis ini menjelaskan mengapa investasi pada satu teknologi saja, tanpa memperhatikan lapisan lain dalam arsitektur ini, cenderung tidak menghasilkan peningkatan kapasitas pengawasan yang berarti.

7. Integrasi Teknologi Digital dalam Penegakan Hukum Illegal Fishing

Rangkaian proses dari deteksi hingga penegakan hukum terdiri atas *detection* (identifikasi keberadaan objek), *identification* (penentuan identitas kapal), *monitoring* (pemantauan berkelanjutan), *anomaly detection* (identifikasi pola menyimpang), *risk assessment* (penilaian tingkat risiko), *intelligence analysis* (analisis konteks lebih luas), *decision support* (rekomendasi bagi pengambil keputusan), hingga *patrol*, *interception*, *inspection*, *evidence collection*, *investigation*, *prosecution*, dan akhirnya *law enforcement*. Setiap tahap dalam rangkaian ini menuntut input dari tahap sebelumnya, namun tidak satu pun tahap teknologi (deteksi, anomali, intelijen) dapat melompati tahap prosedural dan hukum (investigasi, pembuktian, penuntutan) yang menjadi domain otoritas berwenang. Perbedaan antara *data*, *information*, *intelligence*, dan *evidence* perlu ditegaskan: data adalah keluaran mentah sensor; informasi adalah data yang telah diberi penjelasan; intelijen adalah analisis informasi untuk mendukung keputusan; sedangkan bukti (*evidence*) adalah informasi akuray sesuai syarat prosedural dan hukum untuk digunakan dalam proses peradilan sebuah status tidak diperoleh secara otomatis dari keluaran algoritma AI semata, melainkan melalui proses verifikasi dan validasi tambahan sesuai kewenangan lembaga penegak hukum.

8. Integrasi Teknologi Digital untuk Memperkuat Keamanan Maritim Indonesia

Berdasarkan sintesis pembahasan sebelumnya, penguatan pengawasan illegal fishing memerlukan perubahan dari pendekatan *reactive surveillance* menuju *integrated and intelligence-led maritime surveillance*. Pendekatan reaktif cenderung menempatkan patroli sebagai respons setelah pelanggaran terjadi, sedangkan pendekatan terintegrasi memanfaatkan berbagai sumber data untuk mendeteksi, memverifikasi, menganalisis, dan memprioritaskan potensi ancaman sebelum sumber daya operasional dikerahkan.

Tahapan tersebut dapat dikembangkan menjadi tiga tingkatan. Pertama, integrated surveillance, yaitu penggabungan AIS, VMS, radar, satelit, SAR, dan drone. Kedua, intelligent surveillance, yaitu pemanfaatan AI, machine learning, analisis anomali, dan analisis trajektori. Ketiga, intelligence-led enforcement, yaitu penggunaan hasil analisis untuk mendukung MDA, penilaian risiko, penentuan prioritas patroli, verifikasi lapangan, dan penegakan hukum.

Dengan demikian, teknologi digital berkontribusi terhadap keamanan maritim melalui peningkatan kemampuan deteksi, pengurangan ruang gerak kapal non-kooperatif, peningkatan kesadaran situasional, dan peningkatan efektivitas penggunaan sumber daya pengawasan. Akan tetapi, teknologi tetap berfungsi sebagai penguat kapasitas negara dan tidak menggantikan tata kelola, kewenangan kelembagaan, maupun proses hukum.

9. Research Gap dan Novelty

Sintesis penelitian terdahulu menunjukkan empat kesenjangan utama. Pertama, sebagian penelitian masih berfokus pada teknologi tertentu, seperti AIS, radar, SAR, satelit, atau drone secara terpisah. Kedua, integrasi data multisumber masih menghadapi persoalan heterogenitas,

data association, kualitas data, dan interoperabilitas. Ketiga, penggunaan AI untuk deteksi anomali belum secara otomatis menghasilkan bukti yang dapat digunakan dalam proses hukum. Keempat, masih terbatas kajian yang secara konseptual menghubungkan seluruh rantai proses mulai dari akuisisi data, *data fusion*, AI, analisis spasial, *maritime intelligence*, MDA, *risk assessment*, hingga *maritime law enforcement* terhadap illegal fishing.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada sintesis konseptual integratif yang menghubungkan multisource maritime surveillance dengan analitik digital dan proses penegakan hukum. Kerangka tersebut mengintegrasikan AIS, VMS, radar, SAR, citra satelit, drone, GIS, AI/machine learning, analisis anomali dan trajektori, *maritime intelligence*, serta Maritime Domain Awareness dalam satu alur yang diarahkan untuk mendukung *risk-based surveillance* dan penegakan hukum terhadap illegal fishing di Indonesia.

Dengan demikian, kontribusi penelitian bukan terletak pada penemuan teknologi baru, melainkan pada pengintegrasian berbagai teknologi dan fungsi analitik ke dalam kerangka keamanan maritim yang berorientasi pada pengambilan keputusan dan penegakan hukum. Kerangka ini menempatkan teknologi sebagai *enabler* bagi MDA dan *intelligence-led maritime law enforcement*, sementara keputusan dan tindakan hukum tetap berada pada otoritas kelembagaan yang berwenang.

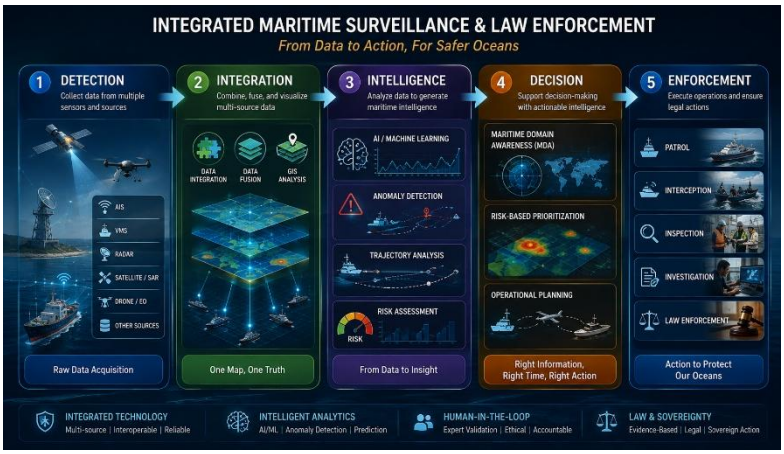
KESIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

Kesimpulan

Integrasi teknologi digital dalam pengawasan laut dan penegakan hukum terhadap *illegal fishing* merupakan kebutuhan penting untuk memperkuat keamanan maritim Indonesia. Luasnya wilayah laut Indonesia, tingginya aktivitas pelayaran dan perikanan, serta keterbatasan pengawasan secara konvensional membuat penggunaan satu jenis teknologi saja menjadi kurang efektif. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengawasan yang mampu menggabungkan berbagai sumber data dan menghasilkan informasi yang cepat, akurat, dan dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan.

Hasil kajian menunjukkan bahwa **AIS, VMS, radar, satelit, Synthetic Aperture Radar (SAR), drone, GIS, Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), dan *maritime data fusion*** memiliki fungsi yang saling melengkapi. AIS dan VMS dapat memberikan informasi mengenai identitas dan pergerakan kapal. Radar dan SAR dapat membantu mendeteksi kapal tanpa sepenuhnya bergantung pada sinyal dari kapal. Satelit dapat digunakan untuk mengawasi wilayah laut yang luas, sedangkan drone dapat memberikan informasi visual yang lebih detail pada lokasi tertentu. Selanjutnya, GIS dapat menggabungkan informasi tersebut dalam bentuk spasial, sementara AI dan ML dapat membantu menemukan pola pergerakan kapal, mendeteksi anomali, dan melakukan prediksi.

Dengan demikian, teknologi digital tidak sebaiknya digunakan secara terpisah, tetapi dikembangkan sebagai **sistem pengawasan maritim yang terintegrasi**. Integrasi tersebut dapat digambarkan melalui alur:



Gambar 5. Integrasi Pengawasan Maritim dan Penegakan Hukum: Dari Data hingga Tindakan
Sumber: Diolah penulis (2026) berdasarkan Rodger dan Guida (2021), Soldi et al. (2021), Wolsing et al. (2022), Guo et al. (2023), Qu et al. (2023), dan Prabowo (2022).

Pada tahap **detection**, berbagai sensor digunakan untuk memperoleh data mengenai aktivitas kapal. Pada tahap **integration**, data dari berbagai sumber digabungkan melalui *data integration, data fusion,* dan GIS. Selanjutnya, tahap **intelligence** menggunakan AI/ML, *anomaly detection,* dan *trajectory analysis* untuk menemukan pola aktivitas yang berisiko. Hasil analisis tersebut digunakan pada tahap **decision** melalui *risk assessment, Maritime Domain Awareness (MDA),* dan *maritime intelligence*. Pada tahap terakhir, informasi tersebut dapat mendukung kegiatan patroli, pemeriksaan, penyidikan, hingga penegakan hukum.

Penggunaan AI dan *Machine Learning* memberikan peluang untuk mengembangkan pengawasan dari pola **reactive surveillance** menjadi **risk-based surveillance** dan selanjutnya menuju **predictive surveillance**. Namun, hasil analisis algoritma tidak dapat langsung dianggap sebagai bukti pelanggaran hukum. Setiap indikasi yang dihasilkan oleh AI tetap perlu diperiksa dan diverifikasi oleh operator atau analis, kemudian dapat dilanjutkan dengan pemeriksaan lapangan sesuai kebutuhan. Oleh karena itu, prinsip **human-in-the-loop** menjadi penting agar teknologi berfungsi sebagai *decision-support system*, bukan sebagai pengganti kewenangan aparat penegak hukum.

Integrasi teknologi tersebut juga dapat memperkuat **Maritime Domain Awareness (MDA)**. Ketika data dari berbagai sumber dapat dikumpulkan, dibandingkan, dan dianalisis dalam satu sistem, pemerintah dan aparat penegak hukum dapat memperoleh gambaran kondisi maritim yang lebih lengkap. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi kapal berisiko, menentukan wilayah yang perlu diprioritaskan, merencanakan patroli, serta mempercepat pengambilan keputusan.

Dengan demikian, tantangan Indonesia tidak hanya berkaitan dengan ketersediaan teknologi. Tantangan yang lebih penting adalah **bagaimana mengintegrasikan teknologi, data, sumber daya manusia, kelembagaan, keamanan siber, dan proses hukum dalam satu sistem yang saling terhubung**. Keberhasilan transformasi digital dalam pengawasan laut pada akhirnya ditentukan oleh kemampuan untuk mengubah **data menjadi informasi, informasi menjadi**

intelijen, dan intelijen menjadi tindakan penegakan hukum yang efektif dan sesuai dengan ketentuan hukum.

Rekomendasi Kebijakan

Berdasarkan hasil kajian dan kesimpulan tersebut, beberapa rekomendasi kebijakan yang dapat diterapkan untuk memperkuat pengawasan laut Indonesia adalah sebagai berikut.

1. Membangun Sistem Pengawasan Laut yang Terintegrasi

Pemerintah perlu mengembangkan sistem pengawasan yang menghubungkan **AIS, VMS, radar, satelit/SAR, drone, GIS**, dan sumber data maritim lainnya. Sistem tersebut perlu mampu menyajikan informasi secara terpadu sehingga kondisi dan aktivitas kapal di wilayah perairan Indonesia dapat dipantau dengan lebih baik.

Sistem tersebut diharapkan dapat menghasilkan **Common Operational Picture (COP)**, yaitu gambaran situasi maritim yang dapat digunakan bersama oleh lembaga yang memiliki kewenangan.

2. Mengembangkan *Maritime Data Fusion*

Data dari berbagai lembaga sebaiknya tidak hanya disimpan dalam sistem masing-masing, tetapi juga dapat diintegrasikan dan dianalisis bersama. Proses ini penting untuk menghasilkan **maritime intelligence** yang lebih lengkap.

Untuk mendukung hal tersebut, pemerintah perlu memperkuat standar data, interoperabilitas sistem, API, metadata, serta mekanisme pertukaran informasi yang aman.

3. Menerapkan AI dalam Pengawasan Maritim

AI dan *Machine Learning* perlu dikembangkan untuk membantu:

- *anomaly detection*;
- analisis pola pergerakan kapal;
- *trajectory prediction*;
- klasifikasi kapal;
- *risk assessment*; dan
- identifikasi pola aktivitas yang mencurigakan.

Penggunaan AI sebaiknya diarahkan pada **risk-based surveillance**, sehingga sumber daya patroli dapat diprioritaskan kepada kapal dan wilayah yang memiliki tingkat risiko lebih tinggi.

4. Memperkuat Integrasi GIS dan *Geospatial Intelligence*

GIS perlu digunakan untuk menggabungkan data pergerakan kapal dengan informasi spasial, seperti wilayah pengelolaan perikanan, kawasan konservasi, jalur pelayaran, wilayah rawan pelanggaran, dan lokasi kejadian sebelumnya.

Hasil integrasi tersebut dapat digunakan untuk membuat **maritime risk map**, yaitu peta yang menunjukkan wilayah dengan tingkat risiko tertentu. Peta tersebut dapat membantu menentukan prioritas patroli dan mendukung pengambilan keputusan.

5. Membangun Kerangka *Digital Evidence*

Pemerintah perlu mengembangkan mekanisme yang dapat menjamin **integritas, autentikasi, validasi, dokumentasi, dan *chain of custody*** terhadap data digital yang diperoleh dari AIS, VMS, SAR, satelit, radar, dan drone.

Kebijakan ini penting karena data hasil pengawasan perlu dapat diverifikasi dan diproses sesuai dengan ketentuan hukum. Dengan demikian, terdapat hubungan yang jelas antara **maritime surveillance** dan proses penegakan hukum.

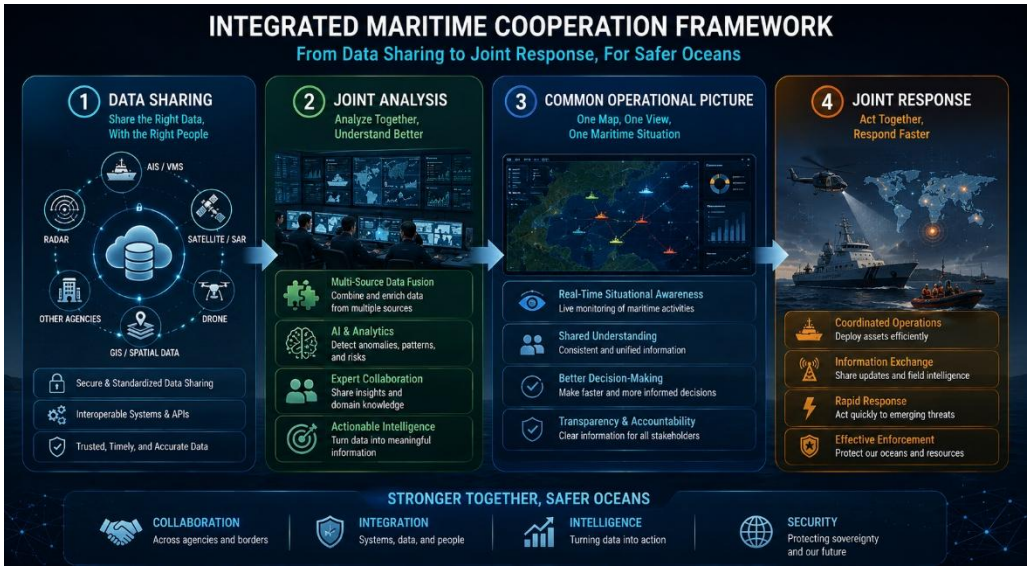
6. Memperkuat Interoperabilitas dan Koordinasi Antarinstansi

Pengawasan dan penegakan hukum di laut melibatkan berbagai lembaga. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan **data sharing** dan interoperabilitas agar informasi yang relevan dapat

digunakan secara cepat oleh lembaga yang memiliki kewenangan.

Pola koordinasi dapat dikembangkan melalui:

Model koordinasi dapat diarahkan menjadi:



Gambar 6. Pola Koordinasi Antarlembaga dalam Pengawasan dan Penegakan Hukum Maritim

Sumber: Diolah penulis (2026) berdasarkan IMO, Prabowo (2022), PP Nomor 13 Tahun 2022, dan Peraturan Badan Keamanan Laut Nomor 2 Tahun 2024

Model tersebut dapat meningkatkan koordinasi dan mengurangi kemungkinan terjadinya data yang terpisah antarinstansi.

7. Meningkatkan Kompetensi Sumber Daya Manusia

Transformasi digital perlu diikuti dengan peningkatan kemampuan SDM. Kompetensi yang perlu dikembangkan antara lain:

- GIS dan *geospatial intelligence*;
- *remote sensing*;
- analisis AIS/VMS;
- AI dan *Machine Learning*;
- *maritime data fusion*;
- *maritime intelligence*;
- *cybersecurity*;
- *digital investigation*; dan
- *digital evidence*.

Peningkatan kompetensi tersebut penting agar investasi teknologi dapat diikuti dengan kemampuan manusia untuk mengoperasikan, menganalisis, dan menggunakan teknologi secara optimal.

8. Memperkuat *Cybersecurity* Sistem Pengawasan Maritim

Semakin banyak sistem yang terhubung secara digital, semakin besar pula risiko terhadap keamanan data. Oleh karena itu, sistem pengawasan maritim perlu dilengkapi dengan perlindungan berlapis.

Beberapa langkah yang dapat dilakukan meliputi enkripsi, autentikasi, kontrol akses, audit log, backup data, pemantauan keamanan, dan perlindungan terhadap manipulasi data.

Keamanan siber menjadi penting karena gangguan atau manipulasi terhadap data pengawasan dapat memengaruhi proses analisis dan keputusan operasional.

9. Menerapkan Prinsip *Human-in-the-Loop*

AI harus digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan, bukan sebagai pengganti keputusan manusia. Setiap indikasi yang dihasilkan AI perlu melalui beberapa tahapan:

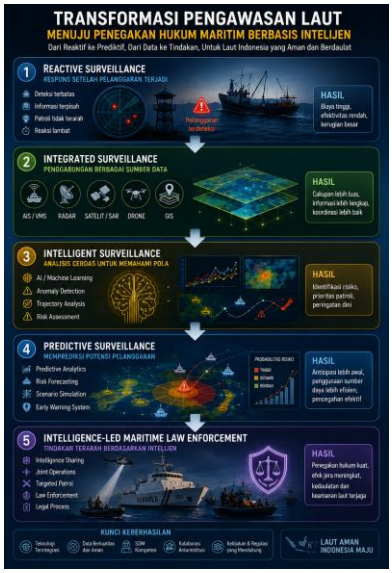


Gambar 7. Integrasi AI dan *Human-in-the-Loop* dalam Proses Penegakan Hukum Maritim

Sumber: Diolah penulis (2026) berdasarkan Wolsing et al. (2022), Yang et al. (2024), Rodger dan Guida (2021)

10. Mengembangkan *Intelligence-Led Maritime Law Enforcement*

Dalam jangka panjang, kebijakan pengawasan laut Indonesia perlu diarahkan dari:



Gambar 8. Transformasi Pengawasan Laut Menuju Penegakan Hukum Maritim Berbasis Intelijen

Sumber: Diolah penulis (2026) berdasarkan Tu et al. (2016), Soldi et al. (2020), Rodger dan Guida (2021), Wolsing et al. (2022), Liu et al. (2022), Guo et al. (2023), Qu et al. (2023), dan Yang et al. (2024).

Perubahan tersebut berarti teknologi tidak hanya digunakan untuk menemukan keberadaan kapal, tetapi juga untuk **mengidentifikasi, memantau, menganalisis, menilai risiko, memberikan peringatan, menentukan prioritas patroli, dan mendukung proses penegakan hukum**.

KESIMPULAN

Integrasi teknologi digital dalam pengawasan laut memiliki peran strategis dalam memperkuat upaya pencegahan dan penegakan hukum terhadap *illegal fishing* sekaligus meningkatkan keamanan maritim Indonesia. Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi seperti Automatic Identification System (AIS), Vessel Monitoring System (VMS), satelit, Synthetic Aperture Radar (SAR), radar, UAV, Geographic Information System (GIS), Internet of Things (IoT), serta Artificial Intelligence (AI) mampu meningkatkan kemampuan dalam mendeteksi, memantau, mengidentifikasi, dan menganalisis aktivitas kapal di wilayah laut. Namun, efektivitas pengawasan tidak cukup hanya bergantung pada penggunaan satu teknologi, karena masing-masing sistem memiliki keterbatasan dalam cakupan, kualitas, kontinuitas, dan karakteristik data.

Integrasi berbagai sumber data melalui mekanisme *data integration* dan *data fusion* menjadi faktor penting untuk menghasilkan gambaran situasi maritim yang lebih komprehensif. Penggabungan data AIS, VMS, satelit, SAR, radar, dan sumber visual dapat membantu mengidentifikasi kapal yang tidak terdeteksi oleh satu sistem tertentu serta menganalisis pola dan perilaku kapal yang mencurigakan. Selanjutnya, pemanfaatan AI, *machine learning*, *big data analytics*, dan *anomaly detection* memungkinkan proses pengawasan berkembang dari pendekatan yang bersifat reaktif menuju pengawasan yang lebih proaktif dan prediktif. Dengan demikian, teknologi digital tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai instrumen pendukung analisis dan pengambilan keputusan.

Dalam konteks penegakan hukum, hasil pengawasan digital perlu diintegrasikan dengan proses *maritime intelligence*, *risk assessment*, dan pengambilan keputusan operasional. Alur **detection–identification–analysis–intelligence–decision–enforcement** menunjukkan bahwa informasi digital dapat menjadi dasar dalam menentukan prioritas pengawasan, melakukan verifikasi terhadap aktivitas kapal, mendukung operasi penindakan, serta memperkuat proses investigasi dan penegakan hukum. Oleh karena itu, penguatan pengawasan terhadap *illegal fishing* membutuhkan hubungan yang lebih erat antara teknologi, sistem informasi, intelijen maritim, dan kapasitas kelembagaan penegak hukum.

Konsep **Maritime Domain Awareness (MDA)** menjadi kerangka penting dalam mengintegrasikan berbagai informasi tersebut. MDA memungkinkan data dari berbagai sumber diolah menjadi pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai aktivitas di wilayah laut sehingga dapat mendukung respons yang cepat dan tepat terhadap potensi ancaman. Bagi Indonesia sebagai negara kepulauan, penerapan MDA berbasis teknologi digital perlu diarahkan pada peningkatan interoperabilitas sistem, integrasi data antarinstansi, penguatan kemampuan analitik, keamanan siber, serta peningkatan kompetensi sumber daya manusia.

Dengan demikian, penguatan keamanan maritim Indonesia melalui teknologi digital tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan perangkat teknologi, tetapi juga oleh kemampuan mengintegrasikan **data, teknologi, manusia, kelembagaan, intelijen, dan penegakan hukum** dalam suatu ekosistem pengawasan yang terpadu. Kerangka integratif yang menghubungkan **digital maritime surveillance → data fusion → AI analytics → Maritime Domain Awareness → maritime intelligence → law enforcement** dapat menjadi pendekatan konseptual untuk meningkatkan efektivitas pemberantasan *illegal fishing*. Implementasi pendekatan tersebut diharapkan mampu meningkatkan kemampuan deteksi dan respons terhadap aktivitas ilegal, melindungi sumber daya kelautan dan perikanan, serta pada akhirnya berkontribusi terhadap terwujudnya keamanan maritim Indonesia yang lebih efektif, adaptif, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Guo, Y., Liu, R. W., Qu, J., Lu, Y., Zhu, F., & Lv, Y. (2023). Asynchronous trajectory matching-based multimodal maritime data fusion for vessel traffic surveillance in inland waterways. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 24*, 12779–12792. https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3285415

Hou, X., Ao, W., Song, Q., Lai, J., Wang, H., & Xu, F. (2020). FUSAR-Ship: Building a high-resolution SAR-AIS matchup dataset of Gaofen-3 for ship detection and recognition. *Science China Information Sciences, 63*, 1–19. https://doi.org/10.1007/s11432-019-2772-5

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

Liu, R. W., Guo, Y., Nie, J., Hu, Q., Xiong, Z., Yu, H., & Guizani, M. (2022). Intelligent edge-enabled efficient multi-source data fusion for autonomous surface vehicles in maritime Internet of Things. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking, 6*, 1574–1587. https://doi.org/10.1109/TGCN.2022.3158004

Liu, R. W., Liang, M., Nie, J., Lim, W. Y. B., Zhang, Y., & Guizani, M. (2022). Deep learning-powered vessel trajectory prediction for improving smart traffic services in maritime Internet of Things. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 9*, 3080–3094. https://doi.org/10.1109/TNSE.2022.3140529

Liu, R. W., Nie, J., Garg, S., Xiong, Z., Zhang, Y., & Hossain, M. S. (2021). Data-driven trajectory quality improvement for promoting intelligent vessel traffic services in 6G-enabled maritime IoT systems. *IEEE Internet of Things Journal, 8*, 5374–5385. https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3028743

Liu, Z.-M., Zhang, B., Zhang, M., Wang, H., & Fu, X. (2023). A quantitative method for the analysis of ship collision risk using AIS data. *Ocean Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113906

Nguyen, D., Vadaine, R., Hajduch, G., Garello, R., & Fablet, R. (2019). GeoTrackNet—A maritime anomaly detector using probabilistic neural network representation of AIS tracks and a contrario detection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23*, 5655–5667. https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3055614

Qu, J., Liu, R. W., Guo, Y., Lu, Y., Su, J., & Li, P. (2023). Improving maritime traffic surveillance in inland waterways using the robust fusion of AIS and visual data. *Ocean Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114198

Quamar, M. I., Al-Ramadan, B., Khan, K. A., Shafiullah, M., & El-Ferik, S. (2023). Advancements and applications of drone-integrated geographic information system technology—

A review. *Remote Sensing, 15*, 5039. https://doi.org/10.3390/rs15205039

Riveiro, M., Pallotta, G., & Vespe, M. (2018). Maritime anomaly detection: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 8*. https://doi.org/10.1002/widm.1266

Rodger, M., & Guida, R. (2020). Classification-aided SAR and AIS data fusion for space-based maritime surveillance. *Remote Sensing, 13*, 104. https://doi.org/10.3390/rs13010104

Soldi, G., Gaglione, D., Forti, N., Simone, A. D., Daffinà, F., Bottini, G., Quattrociocchi, D., Millefiori, L. M., 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

Tu, E., Zhang, G., Rachmawati, L., Rajabally, E., & Huang, G. (2016). Exploiting AIS data for intelligent maritime navigation: A comprehensive survey from data to methodology. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19*, 1559–1582. https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2724551

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

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

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, T., Zhang, X., Li, J., Xu, X., Wang, B., Zhan, X., Xu, Y., Ke, X., Zeng, T., Su, H., Ahmad, I., Pan, D., Liu, C., Zhou, Y., Shi, J., & Wei, S. (2021). SAR ship detection dataset (SSDD): Official release and comprehensive data analysis. *Remote Sensing, 13*, 3690. https://doi.org/10.3390/rs13183690

Zhang, Z., Zhang, L., Wu, J., & Guo, W. (2024). Optical and synthetic aperture radar image fusion for ship detection and recognition: Current state, challenges, and future prospects. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 12*, 132–168. https://doi.org/10.1109/MGRS.2024.3404506

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