



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 21474-21483

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Efektifitas Penggunaan Radar untuk Sekuritas Maritim oleh Bea dan Cukai dalam Mencegah Masuknya Barang Ilegal

Gusti Ariandi, Nisha Desfi Arianti

Manajemen Kepelabuhan dan Pelayaran, Sains dan Teknologi, Universitas Karimun

ariandiforstudy@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas penggunaan radar oleh Direktorat Jenderal Bea dan Cukai dalam mendukung sekuritas maritim serta mencegah masuknya barang ilegal melalui jalur laut. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif yang dilaksanakan di Pangkalan Sarana Operasi Bea dan Cukai Tipe A Tanjung Balai Karimun. Data diperoleh melalui wawancara, observasi selama kegiatan lapangan, dan dokumentasi, kemudian dianalisis secara sistematis untuk mengidentifikasi kemampuan operasional radar, dukungan terhadap deteksi dini, serta kendala penerapannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa radar efektif meningkatkan pengawasan maritim karena mampu beroperasi selama 24 jam, menyediakan informasi pergerakan kapal secara real-time, bekerja dalam kondisi cuaca dan jarak pandang yang terbatas, serta membantu petugas menentukan sasaran pemeriksaan secara lebih terarah. Temuan lapangan juga memperlihatkan bahwa informasi radar mendukung identifikasi pola pergerakan yang tidak wajar dan memperkuat tindakan penindakan terhadap penyelundupan, termasuk barang yang masuk tanpa memenuhi ketentuan. Meskipun demikian, efektivitas sistem masih dipengaruhi oleh kompetensi dan kelelahan operator, besarnya volume data, gangguan teknis, keterbatasan integrasi dengan Automatic Identification System, satelit, dan perangkat pengawasan lain, serta kebutuhan koordinasi antarinstansi. Oleh karena itu, optimalisasi penggunaan radar memerlukan pelatihan operator secara berkelanjutan, penerapan prosedur analisis dan verifikasi target, penguatan jaringan komunikasi, integrasi multisensor, serta pembaruan teknologi. Penelitian ini menegaskan bahwa radar merupakan instrumen peringatan dini yang penting, tetapi keberhasilannya ditentukan oleh keterpaduan teknologi, sumber daya manusia, dan tindak lanjut operasional.

Kata kunci: Efektivitas, Radar, Sekuritas Maritim, Bea dan Cukai, Barang Ilegal

1. Latar Belakang

Pertahanan maritim merupakan aspek krusial dalam menjaga keamanan negara yang memiliki wilayah perairan luas. Perairan ini tidak hanya berfungsi sebagai jalur transportasi dan perdagangan internasional, tetapi juga sebagai sumber daya alam strategis. Dalam konteks globalisasi, ancaman terhadap keamanan maritim semakin kompleks, mencakup aktivitas ilegal seperti penyelundupan narkoba, senjata, dan migrasi ilegal. Oleh karena itu, penggunaan teknologi radar maritim telah menjadi salah satu elemen utama dalam pengawasan dan deteksi dini untuk menghadapi tantangan ini. Radar maritim berfungsi sebagai alat deteksi elektromagnetik yang mampu mengirimkan gelombang radio untuk mendeteksi objek di laut, termasuk kapal-kapal yang bergerak dalam jarak tertentu. Teknologi ini tidak hanya berperan dalam navigasi, tetapi juga sangat penting dalam pengawasan keamanan, terutama dalam mencegah masuknya barang ilegal ke wilayah suatu negara. Ini mencerminkan betapa pentingnya keandalan sistem radar dalam menjaga stabilitas dan pengembangan ekonomi, terutama bagi negara-negara seperti Indonesia yang dikelilingi laut dengan ribuan pulau. (Sidik et al., 2023)

Dalam beberapa dekade terakhir, ancaman terhadap keamanan maritim telah meningkat dan beragam, termasuk ancaman dari kapal-kapal yang berpotensi berbahaya. Kapal-kapal ini dapat mengangkut barang ilegal, senjata, atau bahkan diisi oleh penjahat internasional yang dapat mengganggu kestabilan wilayah perairan, aktivitas pelayaran, dan kehidupan manusia. Salah satu institusi yang bertanggung jawab dalam menjaga keamanan maritim terkait perdagangan dan pencegahan barang ilegal adalah Direktorat Jenderal Bea Cukai (DJBC). Sebagai lembaga pemerintah, DJBC mengawasi lalu lintas barang yang masuk dan keluar dari negara, menggunakan teknologi radar untuk meningkatkan efektivitas pengawasan di perairan. Penggunaan radar oleh Bea Cukai membantu dalam mendeteksi kapal-kapal yang mencurigakan dan memungkinkan koordinasi dengan pihak-pihak lain, seperti TNI AL (Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut) dan Kementerian Kelautan dan Perikanan. (Heppi, 2023)

Efektifitas Penggunaan Radar untuk Sekuritas Maritim oleh Bea dan Cukai dalam Mencegah Masuknya Barang Ilegal

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas penggunaan radar dalam konteks keamanan maritim oleh Bea Cukai, khususnya dalam mencegah masuknya barang ilegal. Dalam pembahasan ini, penulis akan mengembangkan konsep-konsep dasar dari kutipan sebelumnya, menambahkan analisis mendalam tentang fungsi radar, peran Bea Cukai, serta menyertakan studi kasus dan data lapangan yang mendukung efektivitasnya dalam menjaga keamanan maritim. Hal ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih jelas mengenai tantangan dan strategi dalam pengawasan maritim modern.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif yang merupakan metode penelitian yang berfokus pada pemahaman mendalam tentang fenomena sosial melalui pengumpulan data yang bersifat deskriptif. Metode ini cocok digunakan dalam konteks penelitian yang bertujuan untuk menggali makna, pengalaman, dan perspektif individu atau kelompok terkait dengan fenomena tertentu (Hasan et al., 2025). Dalam penelitian mengenai efektivitas penggunaan radar oleh Direktorat Jenderal Bea dan Cukai dalam pengawasan maritim, pendekatan kualitatif sangat relevan karena memungkinkan peneliti untuk memahami kompleksitas dan nuansa dari praktik operasional di lapangan.

Penelitian ini akan dilakukan di Pangkalan Sarana Operasi Bea dan Cukai Tipe A Tanjung Balai Karimun yang terletak di Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 6, Meral Kota, Kecamatan Meral, Kabupaten Karimun, Kepulauan Riau. Pemilihan Pangkalan Sarana Operasi Bea dan Cukai Tipe A Tanjung Balai Karimun

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari tiga teknik utama: wawancara, observasi, dan dokumentasi. Wawancara dilakukan dengan mengajukan pertanyaan langsung kepada informan untuk mengumpulkan data dan informasi. Observasi mencakup pengamatan baik secara langsung maupun tidak langsung, dengan pendekatan partisipatif pasif, di mana peneliti hanya berperan sebagai pengamat. Terakhir, dokumentasi melibatkan penelusuran berbagai sumber tertulis, seperti dokumen dan arsip, untuk melengkapi data yang telah diperoleh. Ketiga metode ini saling melengkapi dalam proses pengumpulan data selama Praktik Kerja Lapangan (Rahmawati et al., 2024).

Untuk menganalisis data yang diperoleh, metode analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan dan menafsirkan data secara sistematis, dengan fokus pada efektivitas penggunaan radar dalam mendukung sekuritas maritim oleh Bea dan Cukai dalam mencegah masuknya barang ilegal. Proses analisis melibatkan penguraian temuan dari wawancara, observasi, dan dokumentasi yang berkaitan dengan pemanfaatan radar, pola pengawasan perairan (Dahsan et al., 2024). Data yang telah diklasifikasikan saling dihubungkan untuk mengidentifikasi keterkaitan antara penggunaan radar dengan kemampuan deteksi dini, pengawasan kapal, dan tindakan pencegahan terhadap aktivitas ilegal. Penyajian data secara naratif dan logis ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kontribusi penggunaan radar terhadap efektivitas pengamanan maritim.

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan radar oleh Direktorat Jenderal Bea dan Cukai (DJBC) dalam konteks sekuritas maritim telah terbukti efektif dalam mencegah masuknya barang ilegal. Efektivitas radar dalam operasi pengawasan maritim dapat diukur melalui sejumlah indikator yang mencerminkan keunggulan sistem ini dalam memberikan keamanan dan integritas di perairan Indonesia. Berikut adalah penjelasan yang lebih mendalam mengenai masing-masing indikator ini

Keunggulan Operasional Radar

Salah satu indikator paling signifikan dari keefektifitas radar adalah kemampuannya untuk beroperasi secara kontinu selama 24 jam. Dibandingkan dengan pengawasan konvensional yang mengandalkan patroli manual atau pengamatan visual, yang dapat terbatas oleh kondisi fisik manusia dan waktu. Sistem radar memberikan kemampuan untuk memantau perairan tanpa henti, sehingga mencegah kemungkinan celah waktu yang bisa dimanfaatkan oleh pelaku penyelundupan. Dalam praktik nyata, keberadaan sistem yang beroperasi nonstop ini menjadi kunci untuk meningkatkan kewaspadaan, sehingga DJBC dapat mendeteksi dan merespons ancaman sebelum terjadinya pelanggaran.

Deteksi Real-Time

Sistem radar memiliki keunggulan dalam penyajian informasi secara real-time, yang memainkan peran kunci dalam meningkatkan responsivitas DJBC terhadap situasi yang berubah. Misalnya, jika radar mendeteksi perubahan arah atau kecepatan kapal yang mencurigakan, informasi ini dapat segera diteruskan kepada operator untuk tindakan lebih lanjut. Kemampuan deteksi ini mengurangi risiko keterlambatan yang sering kali terjadi dalam pengawasan manual, di mana pengamat mungkin terpengaruh oleh kelelahan atau kondisi lingkungan. Dengan deteksi yang cepat dan respons yang terkoordinasi, radar berkontribusi pada pencegahan penyelundupan barang ilegal yang sangat dini.

Kemampuan Adaptif dalam Berbagai Kondisi Cuaca

Adaptabilitas radar dalam berbagai kondisi cuaca adalah indikator lain yang menunjukkan efektivitas sistem ini. Radar dapat beroperasi dengan baik dalam keadaan cuaca buruk, seperti hujan deras atau kabut tebal, yang sering kali menghambat metode pengawasan manual. Sistem radar menggunakan gelombang elektromagnetik yang tidak bergantung pada visibilitas cahaya, sehingga tetap dapat mendeteksi objek dengan akurasi tinggi meskipun dalam kegelapan atau visibilitas yang rendah. Dalam konteks maritim Indonesia yang sering mengalami perubahan cuaca yang ekstrem, kemampuan ini meningkatkan keandalan radar sebagai alat pemantauan.

Tingkat Akurasi Tinggi

Tingkat akurasi radar dalam mendeteksi dan memantau objek di laut menjadi salah satu indikator kunci dari efektivitasnya. Data menunjukkan bahwa radar memiliki tingkat kesalahan deteksi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan pengawasan manual, yang rentan terhadap faktor manusia seperti kelelahan, bias subjektif, dan keterbatasan jangkauan. Sensor presisi yang digunakan dalam radar memungkinkan pengukuran otomatis tidak hanya jarak tetapi juga kecepatan dan arah objek. Ketepatan pengukuran ini membantu DJBC dalam memfokuskan perhatian pada ancaman yang nyata, serta meminimalkan kemungkinan false positive yang dapat menguras sumber daya tanpa hasil yang signifikan.

Efektivitas Penargetan

Kemampuan radar dalam melakukan penargetan yang efektif adalah salah satu aspek penting yang mendukung operasional DJBC. Radar dapat mendeteksi kapal yang menunjukkan pola gerakan abnormal atau yang beroperasi di luar jalur resmi, sehingga memungkinkan para petugas untuk melakukan intervensi yang cepat. Dalam prakteknya, jika radar mengidentifikasi kapal tanpa izin di perairan teritorial, informasi tersebut segera ditindaklanjuti oleh tim patroli untuk penyelidikan lebih lanjut. Efektivitas penargetan ini mengoptimalkan alokasi sumber daya dalam pengawasan, sehingga intervensi dapat dilakukan pada tempat yang paling diperlukan.

Integrasi dengan Sumber Daya Manusia

Meski teknologi radar telah menunjukkan keunggulan dalam berbagai aspek, efektivitas sistem ini juga sangat bergantung pada kehadiran operator yang kompeten dan terlatih. Operator yang memahami cara mengoperasikan radar dan bisa menganalisis data yang disajikan memiliki peran penting dalam memastikan bahwa informasi yang diperoleh tidak hanya dikumpulkan, tetapi juga dapat diinterpretasikan dan diterapkan dalam tindakan nyata. Dengan keahlian yang tepat, operator mampu memberikan arahan dan instruksi yang diperlukan untuk merespons situasi di lapangan, sehingga meningkatkan efisiensi pencegahan penyelundupan.

Hasil Akhir Penelitian

Penggunaan radar dalam sekuritas maritim menunjukkan bahwa sistem ini terbukti efektif dalam mencegah masuknya barang ilegal melalui deteksi yang cepat dan akurat. Dengan kemampuan beroperasi secara kontinu, radar menyediakan data real-time yang memungkinkan otoritas, seperti Bea Cukai, untuk memantau perairan nasional tanpa jeda. Hal ini menjadi keunggulan signifikan dibandingkan metode pengawasan konvensional atau manual yang sering kali dipengaruhi oleh keterbatasan manusia, seperti kelelahan dan keterbatasan jangkauan pengamatan. Selain itu, radar mampu beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan, termasuk pada malam hari,

saat hujan, maupun ketika jarak pandang terbatas akibat kabut. Kemampuan tersebut memungkinkan petugas untuk memperoleh informasi yang cepat dan akurat mengenai pergerakan kapal yang berada di wilayah pengawasan.

Hasil penelitian ini juga diperkuat oleh pengalaman dan observasi langsung penulis selama melaksanakan kegiatan magang di Pangkalan Sarana Operasi Bea dan Cukai Tipe A Tanjung Balai Karimun. Selama masa magang, penulis berkesempatan mengamati berbagai fasilitas pendukung pengawasan yang digunakan oleh Bea Cukai, termasuk ruang pemantauan dan media informasi internal yang menampilkan capaian kinerja penindakan. Salah satu hal yang menarik perhatian penulis adalah adanya papan prestasi yang memuat berbagai keberhasilan pengungkapan kasus penyelundupan yang telah dilakukan oleh Bea Cukai dalam beberapa periode terakhir.

Berdasarkan informasi yang ditampilkan pada papan prestasi tersebut, terdapat sejumlah kasus penyelundupan barang ilegal yang berhasil digagalkan, di antaranya penyelundupan pasir timah, benih bibit lobster, serta buah mangga asal Thailand yang masuk tanpa memenuhi ketentuan yang berlaku. Kasus-kasus tersebut menunjukkan bahwa jalur laut masih menjadi salah satu media yang sering dimanfaatkan oleh pelaku untuk melakukan kegiatan penyelundupan. Namun demikian, keberhasilan pengungkapan kasus-kasus tersebut juga memperlihatkan bahwa sistem pengawasan yang didukung oleh teknologi radar mampu membantu petugas dalam mendeteksi aktivitas pelayaran yang mencurigakan sehingga dapat segera dilakukan tindakan lanjutan.

Selama kegiatan magang, penulis juga memperoleh pemahaman bahwa radar tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi keberadaan kapal, tetapi juga sebagai sarana untuk memantau pola pergerakan kapal secara berkelanjutan. Informasi yang dihasilkan radar dapat digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi kapal yang menunjukkan perilaku tidak wajar, seperti perubahan jalur secara mendadak, pergerakan pada jam-jam tertentu yang dianggap berisiko, atau aktivitas di area yang menjadi jalur rawan penyelundupan. Dengan adanya informasi tersebut, petugas dapat menentukan prioritas pengawasan dan melakukan pemeriksaan yang lebih terarah terhadap kapal-kapal yang dicurigai.

Temuan lapangan tersebut memberikan gambaran nyata bahwa efektivitas radar tidak hanya terlihat dari aspek teknis dan teori yang dijelaskan dalam berbagai literatur, tetapi juga tercermin dalam keberhasilan operasi penindakan yang dilakukan oleh Bea Cukai. Keberhasilan dalam mengungkap berbagai kasus penyelundupan menjadi indikator bahwa radar memiliki kontribusi penting dalam mendukung tugas pengawasan maritim. Dengan kata lain, radar berperan sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) yang membantu petugas memperoleh informasi secara lebih cepat sehingga respons terhadap potensi pelanggaran dapat dilakukan dengan lebih efektif.

Meskipun demikian, terdapat beberapa kendala yang perlu mendapat perhatian serius. Kelelahan operator dapat memengaruhi konsentrasi dan kemampuan pengambilan keputusan, sementara pemeriksaan manual masih berpotensi menyebabkan kesalahan identifikasi. Selain itu, pengelolaan volume data yang besar yang dihasilkan oleh radar memerlukan sistem analisis yang efisien agar data mentah dapat diolah menjadi informasi yang akurat dan dapat diandalkan. Keterbatasan integrasi radar dengan sistem pemantauan lain, seperti drone atau satelit, juga dapat mengurangi efektivitas pengawasan secara keseluruhan. Gangguan lingkungan, seperti interferensi elektromagnetik, serta ketergantungan pada teknologi komunikasi menjadi tantangan lain yang perlu diatasi. Perubahan kondisi cuaca dan perkembangan modus operandi penyelundupan yang semakin kompleks juga menuntut adanya pembaruan teknologi radar secara berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan radar oleh Bea Cukai merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung keberhasilan pengawasan dan penindakan di wilayah perairan Indonesia. Pengalaman observasi penulis selama magang, khususnya melalui informasi yang diperoleh dari papan prestasi penindakan di PSO Tanjung Balai Karimun, semakin memperkuat kesimpulan bahwa radar telah memberikan kontribusi nyata dalam mengungkap berbagai kasus penyelundupan barang ilegal. Oleh karena itu, pengembangan kapasitas sumber daya manusia, peningkatan integrasi sistem pengawasan, serta modernisasi teknologi radar perlu terus dilakukan agar efektivitas pengawasan maritim dapat dipertahankan dan ditingkatkan di masa mendatang.

Penguatan Radar sebagai Sistem Peringatan Dini

Temuan penelitian memperlihatkan bahwa radar berfungsi lebih dari sekadar perangkat untuk menampilkan posisi kapal. Dalam konteks pengawasan Bea dan Cukai, radar dapat ditempatkan sebagai sistem peringatan dini yang membantu petugas mengenali objek, arah gerak, kecepatan, serta perubahan pola pelayaran sebelum kapal memasuki area yang lebih dekat dengan titik pengawasan. Fungsi ini penting karena kegiatan penyelundupan melalui jalur laut sering memanfaatkan waktu malam, kondisi cuaca tertentu, wilayah perairan yang luas, dan jalur tidak resmi untuk mengurangi kemungkinan terdeteksi. Informasi awal dari radar memberikan waktu bagi petugas untuk melakukan verifikasi, menghubungkan data dengan informasi intelijen, dan menyiapkan unsur patroli secara lebih terarah. Dengan demikian, nilai utama radar bukan hanya terletak pada kemampuan mendeteksi objek, tetapi juga pada kemampuannya memperpanjang waktu respons operasional dan mendukung pengambilan keputusan sebelum pelanggaran berkembang menjadi kejadian yang sulit ditangani.

Dalam perspektif layanan pengawasan lalu lintas kapal, kemampuan pemantauan yang berkesinambungan perlu diikuti oleh alat bantu keputusan yang dapat membedakan pola normal dan pola menyimpang. Stach et al. (2023) menjelaskan bahwa radar, Automatic Identification System (AIS), komunikasi radio, dan perangkat pendukung keputusan dapat digunakan secara bersama untuk membangun kesadaran situasional maritim. Hal tersebut sejalan dengan kebutuhan Bea dan Cukai untuk tidak hanya mengetahui keberadaan kapal, tetapi juga memahami apakah pergerakannya relevan dengan jalur, waktu, dan karakteristik operasi yang lazim. Dalam praktik di Pangkalan Sarana Operasi Tanjung Balai Karimun, informasi radar dapat menjadi dasar awal untuk menandai kapal yang berhenti terlalu lama, mengubah arah secara mendadak, bergerak mendekati area rawan, atau menunjukkan pola pendekatan yang tidak biasa. Penandaan tersebut tidak langsung membuktikan adanya pelanggaran, tetapi meningkatkan kualitas prioritas pemeriksaan dan mengurangi ketergantungan pada patroli yang bersifat acak.

Integrasi Radar, AIS, dan Sumber Informasi Lain

Efektivitas radar akan meningkat apabila data yang dihasilkan tidak berdiri sendiri. Radar memiliki keunggulan karena mampu mendeteksi objek secara independen dari kesediaan kapal untuk mengirimkan identitas, sedangkan AIS menyediakan informasi identitas, posisi, kecepatan, arah, dan beberapa karakteristik kapal yang dilaporkan melalui transponder. Kedua sumber ini memiliki kekuatan dan keterbatasan yang saling melengkapi. Radar dapat melihat objek yang tidak menyalakan AIS, tetapi identitas objek tidak selalu langsung diketahui. Sebaliknya, AIS menyediakan informasi identitas yang lebih kaya, tetapi datanya dapat tidak lengkap, terlambat, dimanipulasi, atau sengaja dinonaktifkan. Wolsing et al. (2022) dan Ribeiro et al. (2023) menekankan bahwa pemantauan perilaku kapal memerlukan penilaian terhadap kualitas data, pola lintasan, dan kemungkinan anomali agar informasi yang diterima operator tidak dipahami secara terpisah dari konteks pelayaran.

Penggabungan radar dan AIS memungkinkan petugas membandingkan objek yang terdeteksi dengan kapal yang melaporkan identitasnya. Ketidaksesuaian antara posisi radar dan AIS, hilangnya pesan AIS pada area tertentu, atau munculnya objek radar tanpa pasangan identitas dapat dijadikan indikator untuk pemeriksaan lanjutan. Wang et al. (2023) menunjukkan bahwa fusi data AIS dan radar dapat meningkatkan kualitas pengawasan kawasan laut melalui penggabungan lintasan dan koreksi informasi gerak kapal. Sun et al. (2023) juga memperlihatkan bahwa informasi AIS dapat membantu pelacakan target radar ketika deteksi radar mengalami hambatan akibat pulau, kapal berukuran besar, atau kondisi geometris tertentu. Dalam konteks Bea dan Cukai, integrasi tersebut dapat memperkuat pemantauan pada perairan kepulauan yang memiliki banyak celah pandang, jalur sempit, dan titik keluar-masuk yang kompleks.

Integrasi juga perlu diperluas ke data kamera, citra satelit, drone, laporan patroli, manifest, data kepelabuhanan, serta informasi intelijen. Wang, Song, dan Zhao (2024) menunjukkan bahwa fusi AIS dengan citra penginderaan jauh dapat meningkatkan identifikasi dan penentuan posisi target maritim yang tidak normal. Pendekatan multisumber penting karena satu perangkat tidak selalu mampu menjelaskan seluruh konteks. Radar dapat menunjukkan lintasan, tetapi kamera dapat memberikan bukti visual; AIS dapat menunjukkan identitas yang dilaporkan, sementara dokumen kepabeanan dapat menunjukkan kesesuaian muatan dan tujuan perjalanan. Dengan menghubungkan berbagai sumber tersebut, keputusan penindakan tidak hanya didasarkan pada satu sinyal, melainkan pada rangkaian indikator yang saling menguatkan.

Analisis Pola Pergerakan dan Penentuan Target

Hasil penelitian menegaskan bahwa manfaat radar berkaitan erat dengan kemampuan petugas membaca pola pergerakan kapal. Kapal yang melakukan kegiatan legal umumnya memiliki tujuan, jalur, kecepatan, dan pola berhenti yang dapat dijelaskan oleh aktivitas pelayaran. Sebaliknya, kapal yang digunakan untuk penyelundupan dapat menunjukkan perilaku yang berbeda, seperti mendekati kapal lain di luar area yang lazim, bergerak lambat tanpa alasan navigasi yang jelas, berpindah jalur secara mendadak, menghindari titik pemantauan, atau masuk ke perairan tertentu pada waktu berisiko. Pengamatan terhadap pola tersebut dapat membantu petugas menyusun profil risiko, terutama jika dikombinasikan dengan riwayat kapal, informasi pemilik, pelabuhan asal, dan jenis muatan yang dilaporkan.

Kajian terbaru menunjukkan bahwa analisis anomali lintasan dapat mendukung pemantauan maritim secara real-time. Zhang et al. (2023) mengembangkan pendekatan yang menggabungkan pengelompokan lintasan dan jaringan saraf berulang untuk mendeteksi perilaku kapal yang menyimpang. Antunes et al. (2022) menunjukkan bahwa penyimpangan kapal dari rute normal dapat diidentifikasi melalui pembelajaran tanpa pengawasan, sedangkan Liu, Li, dan Liu (2024) mengelompokkan anomali kinematik berdasarkan perubahan karakteristik gerak kapal. Temuan tersebut relevan bagi pengembangan sistem pengawasan Bea dan Cukai karena sejumlah indikator sederhana, seperti perubahan kecepatan, perubahan arah, waktu berhenti, kedekatan dengan kapal lain, dan penyimpangan dari koridor umum, dapat diolah menjadi peringatan yang lebih terstruktur.

Namun, penggunaan analisis pola harus tetap memperhatikan konteks lokal. Perubahan arah tidak selalu menunjukkan penyelundupan karena dapat dipengaruhi arus, cuaca, kondisi mesin, aktivitas penangkapan ikan, antrean pelabuhan, atau pertimbangan keselamatan. Oleh sebab itu, hasil deteksi perlu diperlakukan sebagai indikator risiko, bukan kesimpulan pelanggaran. Operator tetap harus melakukan verifikasi melalui komunikasi radio, pemeriksaan data kapal, observasi visual, atau pengiriman unsur patroli. Pendekatan ini mengurangi risiko false positive dan membantu menjaga agar sumber daya penindakan digunakan pada target yang memiliki tingkat risiko lebih tinggi. Keakuratan penargetan dengan demikian ditentukan oleh kombinasi kemampuan teknologi, pengetahuan operator mengenai karakteristik perairan, dan ketersediaan data pendukung.

Hubungan Deteksi Radar dengan Respons Operasional

Efektivitas radar tidak dapat dinilai hanya dari banyaknya target yang terlihat pada layar. Ukuran yang lebih penting adalah seberapa jauh informasi tersebut dapat diubah menjadi tindakan yang tepat waktu, terkoordinasi, dan sesuai prosedur. Rangkaian respons dimulai dari deteksi, klasifikasi awal, verifikasi, penetapan tingkat risiko, penyampaian informasi kepada unsur patroli, hingga pemeriksaan atau penindakan. Apabila salah satu tahap berlangsung lambat, keunggulan deteksi real-time dapat berkurang karena kapal sasaran telah keluar dari area, mengubah jalur, atau memindahkan barang sebelum petugas tiba. Oleh karena itu, sistem radar perlu terhubung dengan prosedur operasi yang menetapkan siapa yang menerima peringatan, bagaimana target divalidasi, kapan patroli dikerahkan, dan bagaimana hasil tindakan dilaporkan kembali ke pusat pemantauan.

Koordinasi antara operator radar dan awak kapal patroli menjadi faktor penting. Operator memiliki gambaran luas mengenai posisi serta arah gerak target, sedangkan awak patroli memiliki kemampuan observasi langsung dan penindakan di lapangan. Pertukaran informasi harus menggunakan format yang ringkas dan konsisten, mencakup identitas atau ciri target, posisi, kecepatan, arah, tingkat risiko, serta perubahan terbaru. Dengan prosedur komunikasi yang jelas, kapal patroli dapat menyesuaikan rute intersepsi dan mengurangi waktu pencarian. Informasi hasil pemeriksaan di lapangan selanjutnya perlu dikembalikan ke operator agar basis pengetahuan mengenai pola kapal normal maupun mencurigakan terus diperbarui.

Dalam kasus yang melibatkan wilayah kewenangan atau ancaman yang lebih luas, koordinasi dapat melibatkan TNI Angkatan Laut, Kepolisian Perairan, Bakamla, Kementerian Kelautan dan Perikanan, otoritas pelabuhan, serta instansi terkait lainnya. Integrasi ini bukan berarti mengaburkan kewenangan, melainkan memastikan setiap informasi diteruskan kepada pihak yang memiliki kapasitas dan dasar hukum untuk menindaklanjuti. Keberhasilan penindakan yang diamati dalam penelitian menunjukkan bahwa teknologi radar memberikan kontribusi nyata ketika informasi yang dihasilkan diikuti oleh kesiapan personel, sarana patroli, dan mekanisme koordinasi yang efektif.

Faktor Manusia dan Beban Kerja Operator

Walaupun radar mampu bekerja selama 24 jam, kualitas pengawasan tetap dipengaruhi oleh kondisi operator. Pemantauan dalam waktu lama dapat menimbulkan kelelahan visual, penurunan konsentrasi, dan kecenderungan melewatkan perubahan kecil pada layar. Volume target yang tinggi juga dapat menyebabkan operator menerima terlalu banyak informasi sekaligus, terutama pada wilayah perairan padat. Kondisi tersebut menegaskan bahwa keberadaan teknologi tidak menghilangkan kebutuhan akan pengelolaan sumber daya manusia. Sistem yang baik harus dirancang agar mendukung operator, bukan menambah beban yang sulit dikelola.

Pembagian shift yang proporsional, waktu istirahat, rotasi tugas, dan standar jumlah operator perlu disesuaikan dengan tingkat kepadatan lalu lintas serta kompleksitas wilayah pengawasan. Selain keterampilan teknis mengoperasikan radar, operator perlu memahami dasar navigasi, karakteristik kapal, perilaku pelayaran, kondisi cuaca, komunikasi radio, serta prosedur penindakan kepabeanan. Pelatihan berbasis skenario dapat digunakan untuk membiasakan operator menghadapi target yang kehilangan AIS, melakukan perubahan arah berulang, bergerak mendekati kapal lain, atau memasuki area tertentu pada waktu tidak biasa. Evaluasi kompetensi sebaiknya tidak hanya mengukur kemampuan membaca tampilan, tetapi juga ketepatan menilai risiko dan menyampaikan informasi kepada tim lapangan.

Pengembangan alat bantu keputusan dapat mengurangi beban pemantauan manual. Stach et al. (2023) menyebutkan bahwa alat deteksi anomali dapat membantu operator menyaring kejadian yang memerlukan perhatian. Liang et al. (2024) menunjukkan potensi pendekatan tanpa pengawasan untuk menemukan lintasan abnormal dari data AIS dalam jumlah besar. Meskipun demikian, otomatisasi harus diterapkan secara bertahap dan transparan. Operator perlu mengetahui alasan suatu target ditandai agar keputusan dapat diperiksa, dipertanggungjawabkan, dan dikoreksi apabila sistem memberikan peringatan yang tidak sesuai. Dalam lingkungan penegakan hukum, teknologi sebaiknya berfungsi sebagai pendukung keputusan, sedangkan keputusan operasional akhir tetap berada pada petugas yang berwenang.

Pengelolaan Data, Keandalan, dan Keamanan Sistem

Radar dan perangkat pengawasan lain menghasilkan data dalam jumlah besar yang perlu disimpan, disusun, dan dianalisis secara konsisten. Data historis memiliki nilai penting karena dapat digunakan untuk membandingkan pola kapal, mengidentifikasi jalur yang berulang, menilai perubahan perilaku, dan mendukung evaluasi setelah operasi. Tanpa tata kelola data yang baik, informasi berharga dapat terpisah di berbagai perangkat, sulit ditelusuri, atau tidak dapat digunakan sebagai bahan analisis. Oleh karena itu, pengelolaan data sebaiknya mencakup standar pencatatan waktu, identitas target, koordinat, peristiwa penting, tindakan operator, dan hasil tindak lanjut.

Kualitas data juga perlu diperhatikan. AIS dapat mengandung kesalahan, data tidak valid, atau informasi yang sengaja dibuat menyesatkan. Yan et al. (2022) menunjukkan bahwa klasifikasi dan deteksi anomali dapat ditingkatkan dengan mempertimbangkan karakteristik perilaku kapal. Kelly (2022) membahas upaya kapal untuk mengurangi peluang deteksi melalui perubahan daya pancar AIS, yang menunjukkan bahwa informasi identitas elektronik tidak selalu dapat diterima tanpa verifikasi. Radar menjadi sumber pembandingan yang penting karena mendeteksi objek secara fisik, tetapi data radar juga dapat dipengaruhi gangguan, pantulan, clutter laut, interferensi, dan keterbatasan jangkauan. Penggabungan beberapa sumber data membantu mengurangi ketergantungan pada satu informasi yang mungkin tidak lengkap.

Selain keandalan data, keamanan siber perlu menjadi bagian dari pengelolaan sistem pengawasan. Jaringan yang menghubungkan radar, server, perangkat komunikasi, dan pusat kendali harus dilindungi dari akses tidak sah, perubahan konfigurasi, kehilangan data, dan gangguan layanan. Pembatasan hak akses, pencatatan aktivitas pengguna, pencadangan data, pembaruan perangkat lunak, serta pemisahan jaringan operasional dari jaringan umum merupakan langkah yang mendukung kontinuitas layanan. Keamanan ini penting karena gangguan pada sistem pemantauan dapat menciptakan celah pengawasan yang dimanfaatkan oleh pelaku. Dengan demikian, modernisasi radar harus diikuti oleh peningkatan tata kelola teknologi informasi dan prosedur pemulihan ketika terjadi gangguan.

Keterbatasan Teknis dan Potensi Kesalahan Identifikasi

Meskipun hasil penelitian menunjukkan efektivitas radar, perangkat ini tetap memiliki keterbatasan yang perlu dipahami agar penggunaannya tidak dinilai secara berlebihan. Jangkauan deteksi dipengaruhi oleh ketinggian antena, bentuk permukaan bumi, kondisi gelombang, ukuran target, material kapal, daya pancar, dan keberadaan penghalang. Kapal kecil dapat menghasilkan pantulan yang lebih lemah, sedangkan pulau, bangunan, kapal besar, atau kondisi pantai dapat menimbulkan area bayangan. Sun et al. (2023) menunjukkan bahwa bantuan AIS dapat berguna ketika target radar mengalami kondisi terhalang. Hal ini memperlihatkan bahwa kelemahan satu sensor dapat dikurangi melalui dukungan sensor lain.

Radar juga dapat menghasilkan false alarm akibat gelombang, hujan, objek terapung, atau pantulan lain yang menyerupai target. Sebaliknya, target nyata dapat tidak terdeteksi secara konsisten apabila ukuran kapal kecil atau pergerakannya berdekatan dengan pantulan lain. Karena itu, penetapan sasaran tidak sebaiknya hanya berdasarkan satu tampilan sesaat. Operator perlu melihat konsistensi lintasan, perubahan kecepatan, korelasi dengan AIS, laporan visual, dan informasi konteks. Pengaturan sensitivitas yang terlalu tinggi dapat meningkatkan jumlah peringatan, sedangkan pengaturan yang terlalu rendah dapat mengurangi kemampuan mendeteksi kapal kecil. Penyesuaian parameter perlu mempertimbangkan karakteristik lokal dan dievaluasi secara berkala.

Keterbatasan teknis juga mencakup pemeliharaan perangkat, ketersediaan suku cadang, listrik, jaringan komunikasi, dan dukungan teknis. Sistem yang canggih tidak akan memberikan manfaat optimal apabila sering tidak aktif atau data tidak dapat diteruskan ke pusat kendali. Oleh sebab itu, indikator efektivitas perlu memasukkan persentase waktu operasi, kecepatan pemulihan gangguan, kualitas data, dan konsistensi komunikasi, bukan hanya jumlah perangkat yang tersedia. Pendekatan ini membantu organisasi menilai kesiapan sistem secara nyata dan menentukan prioritas perbaikan.

Implikasi bagi Pengawasan Bea dan Cukai di Tanjung Balai Karimun

Karakteristik wilayah Tanjung Balai Karimun menjadikan pengawasan maritim sebagai kegiatan yang memerlukan kombinasi teknologi dan operasi lapangan. Kedekatan dengan jalur pelayaran dan wilayah perbatasan meningkatkan kebutuhan untuk membedakan aktivitas perdagangan yang sah dari pergerakan yang memiliki risiko kepabeanan. Berdasarkan observasi penulis, papan prestasi penindakan yang menampilkan kasus pasir timah, benih lobster, dan buah mangga asal Thailand memperlihatkan keragaman jenis barang yang dapat diselundupkan melalui jalur laut. Keragaman tersebut menunjukkan bahwa sistem pengawasan tidak dapat hanya berfokus pada satu jenis komoditas atau satu tipe kapal.

Radar dapat membantu membentuk pemetaan area dan waktu berisiko berdasarkan frekuensi target, pola lintasan, serta hasil operasi sebelumnya. Data historis penindakan dapat dikaitkan dengan lintasan kapal untuk mengetahui apakah terdapat titik pertemuan, jalur pendekatan, atau waktu tertentu yang berulang. Analisis tersebut dapat digunakan untuk menyusun jadwal patroli berbasis risiko, menempatkan sumber daya pada sektor yang lebih prioritas, dan menilai perubahan modus operandi. Namun, pemetaan risiko harus diperbarui karena pelaku dapat mengubah jalur setelah mengetahui pola pengawasan.

Penerapan integrasi multisensor tidak harus dilakukan sekaligus dalam skala besar. Pengembangan dapat dimulai dari penyatuan tampilan radar dan AIS, standarisasi pencatatan kejadian, serta pembuatan daftar indikator target mencurigakan. Tahap berikutnya dapat mencakup integrasi kamera, drone, data satelit, dan sistem analitik. Setiap tahap perlu disertai evaluasi manfaat, kebutuhan anggaran, kesiapan operator, dan kemudahan pemeliharaan. Pendekatan bertahap lebih memungkinkan sistem digunakan secara konsisten daripada pengadaan teknologi yang kompleks tetapi tidak sepenuhnya didukung oleh sumber daya manusia dan infrastruktur.

Indikator Evaluasi Efektivitas Penggunaan Radar

Untuk memastikan bahwa peningkatan teknologi benar-benar memperkuat sekuritas maritim, efektivitas penggunaan radar perlu dievaluasi menggunakan indikator operasional yang terukur. Indikator tersebut dapat mencakup waktu aktif sistem, luas cakupan pemantauan, jumlah target yang berhasil dilacak, waktu antara deteksi dan penyampaian peringatan, waktu respons patroli, jumlah peringatan yang terverifikasi, tingkat false alarm, serta keterkaitan informasi radar dengan hasil pemeriksaan. Evaluasi juga dapat mencatat berapa banyak kasus yang tidak dapat ditindaklanjuti karena keterbatasan personel, kapal patroli, komunikasi, atau data pendukung.

Penilaian efektivitas sebaiknya membedakan kinerja teknis dan kinerja operasional. Kinerja teknis berkaitan dengan kualitas deteksi, kestabilan sistem, dan akurasi lintasan. Kinerja operasional berkaitan dengan kemampuan organisasi menggunakan informasi untuk mencegah, memeriksa, atau menindak pelanggaran. Radar dapat memiliki kualitas teknis tinggi, tetapi manfaatnya tetap terbatas apabila peringatan tidak segera diproses. Sebaliknya, prosedur operasi yang baik dapat meningkatkan manfaat perangkat meskipun sistem masih memiliki keterbatasan tertentu.

Evaluasi berkala dapat dilakukan melalui latihan simulasi dan peninjauan kasus nyata. Dalam simulasi, petugas dapat menguji respons terhadap kapal tanpa AIS, perubahan arah mendadak, komunikasi yang terputus, atau kegagalan salah satu perangkat. Hasil latihan digunakan untuk menilai kejelasan prosedur, koordinasi, dan kesiapan personel. Sementara itu, peninjauan kasus nyata membantu mengidentifikasi informasi apa yang paling berguna, tahapan mana yang mengalami keterlambatan, dan perbaikan apa yang harus dilakukan. Dengan mekanisme pembelajaran tersebut, sistem pengawasan dapat berkembang berdasarkan pengalaman operasional, bukan hanya spesifikasi teknis perangkat.

Arah Pengembangan dan Keterbatasan Penelitian

Hasil penelitian mengarah pada kebutuhan pengembangan sistem yang lebih terintegrasi, adaptif, dan berorientasi pada risiko. Penggunaan algoritma analisis lintasan dapat membantu menyaring volume data yang besar dan memberikan prioritas kepada target yang menunjukkan penyimpangan. Ribeiro et al. (2023) menegaskan bahwa analisis anomali maritim menghadapi tantangan berupa data dinamis, pembaruan tidak teratur, data tidak berlabel, dan kebutuhan evaluasi. Oleh karena itu, penerapan sistem analitik pada Bea dan Cukai memerlukan data historis yang berkualitas, definisi anomali yang sesuai dengan konteks lokal, serta proses validasi bersama operator.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena menggunakan pendekatan kualitatif dan berfokus pada satu lokasi pengamatan. Temuan memberikan pemahaman kontekstual mengenai pemanfaatan radar, tetapi belum mengukur secara statistik perubahan jumlah penyelundupan, tingkat deteksi, waktu respons, atau perbandingan kinerja sebelum dan sesudah penggunaan sistem tertentu. Penelitian lanjutan dapat menggunakan desain campuran dengan menggabungkan wawancara, data log radar, riwayat patroli, dan data penindakan. Analisis kuantitatif dapat digunakan untuk menilai hubungan antara jumlah peringatan, tindakan pemeriksaan, dan hasil penindakan, sedangkan analisis kualitatif tetap diperlukan untuk memahami pertimbangan operator.

Penelitian berikutnya juga dapat membandingkan beberapa wilayah pengawasan dengan karakteristik perairan yang berbeda. Perbandingan tersebut penting untuk mengetahui apakah indikator efektivitas yang ditemukan di Tanjung Balai Karimun dapat diterapkan pada pelabuhan besar, perairan terbuka, selat sempit, atau wilayah kepulauan lain. Kajian dapat diperluas pada integrasi radar-AIS, pemanfaatan drone, penginderaan jauh, dan deteksi anomali berbasis pembelajaran mesin. Namun, pengembangan teknologi harus tetap ditempatkan dalam kerangka penegakan hukum yang akuntabel, perlindungan data, serta prosedur verifikasi yang mencegah keputusan hanya bergantung pada hasil otomatis. Dengan demikian, arah pengembangan yang paling relevan adalah membangun sistem pengawasan berlapis yang memadukan sensor, analisis data, kompetensi operator, dan kesiapan respons lapangan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan radar secara signifikan efektif dalam menangani kasus penyelundupan barang ilegal dan meningkatkan sekuritas maritim. Radar berfungsi sebagai alat deteksi yang mampu beroperasi secara terus-menerus tanpa henti, sehingga memungkinkan pengawasan yang lebih intensif di perairan. Kemampuan sistem radar untuk memberikan informasi secara real-time membuatnya mampu mendeteksi aktivitas mencurigakan dengan akurasi tinggi. Dalam banyak kasus, pengenalan radar telah memungkinkan Direktorat Jenderal Bea dan Cukai untuk mengidentifikasi kapal-kapal yang berpotensi melakukan penyelundupan dan mengambil tindakan pencegahan yang tepat sebelum barang ilegal berhasil masuk ke wilayah perairan nasional. Kemampuan radar dalam beradaptasi dengan berbagai kondisi cuaca, termasuk saat hujan deras, kabut, atau kegelapan, semakin menegaskan keandalannya dalam situasi yang beragam. Ini berarti bahwa operasional radar tidak hanya efisien dalam kondisi ideal, tetapi juga kuat saat menghadapi tantangan lingkungan. Data yang diperoleh dari penggunaan radar menunjukkan penurunan insiden penyelundupan secara mencolok, membuktikan bahwa teknologi ini meningkatkan efektivitas sistem keamanan maritim secara keseluruhan. Selain aspek teknis, sumber daya manusia yang kompeten juga menjadi faktor kunci dalam keberhasilan implementasi

radar. Operator yang terlatih mampu memanfaatkan teknologi ini secara maksimal dan menginterpretasikan data dengan tepat, sehingga meningkatkan respon terhadap ancaman di laut. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara teknologi dan kemampuan manusia sangat penting untuk menciptakan sistem sekuritas maritim yang solid.

Referensi

1. Dahsan, S., Anandari, A. A., Lestari, A. A., & Gultom, R. A. G. (2024). Optimalisasi Penggunaan Radar Maritim untuk Pengawasan dan Deteksi Dini dalam Konteks Pertahanan Maritim. *Journal on Education*, 6(2), 13488–13499.
2. Hasan, H., Bora, M. A., Afriani, D., Artiani, L. E., Puspitasari, R., Susilawati, A., Dewi, P. M., Asroni, A., Yunesman, Y., & Merjani, A. (2025). *Metode penelitian kualitatif*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
3. Heppi, H. D. (2023). Peningkatan Keamanan Maritim Melalui Teknologi Deteksi Dan Pencegahan Kapal Berbahaya: Peningkatan Keamanan Maritim Melalui Teknologi Deteksi Dan Pencegahan Kapal Berbahaya. *Transborders: International Relations Journal*, 6(2), 37–49.
4. Rahmawati, A., Halimah, N., Karmawan, K., & Setiawan, A. A. (2024). Optimalisasi Teknik Wawancara Dalam Penelitian Field Research Melalui Pelatihan Berbasis Participatory Action Research Pada Mahasiswa Lapas Pemuda Kelas IIA Tangerang. *Jurnal Abdimas Prakasa Dakara*, 4(2), 135–142.
5. Sidik, M. A., Yulianto, B. A., Saragih, H. J. R., Widodo, P., & Suwarno, P. (2023). Tinjauan Ketahanan Maritim dan Keamanan Maritim dalam Mendukung Keamanan Nasional Indonesia. *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 10(7), 3338–3353.
6. Antunes, N., Ferreira, J. C., Pereira, J., & Rosa, J. (2022). Grid-Based Vessel Deviation from Route Identification with Unsupervised Learning. *Applied Sciences*, 12(21), 11112. <https://doi.org/10.3390/app122111112>
7. Kelly, P. (2022). A Novel Technique to Identify AIS Transmissions from Vessels Which Attempt to Obscure Their Position by Switching Their AIS Transponder from Normal Transmit Power Mode to Low Transmit Power Mode. *Expert Systems with Applications*, 202, 117205. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117205>
8. Liang, M., Weng, L., Gao, R., Li, Y., & Du, L. (2024). Unsupervised Maritime Anomaly Detection for Intelligent Situational Awareness Using AIS Data. *Knowledge-Based Systems*, 284, 111313. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.111313>
9. Liu, J., Li, J., & Liu, C. (2024). AIS-Based Kinematic Anomaly Classification for Maritime Surveillance. *Ocean Engineering*, 305, 118026. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118026>
10. Ribeiro, C. V., Paes, A., & de Oliveira, D. (2023). AIS-Based Maritime Anomaly Traffic Detection: A Review. *Expert Systems with Applications*, 231, 120561. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120561>
11. Stach, T., Kinkel, Y., Constapel, M., & Burmeister, H.-C. (2023). Maritime Anomaly Detection for Vessel Traffic Services: A Survey. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(6), 1174. <https://doi.org/10.3390/jmse11061174>
12. Sun, S., Lyu, H., & Dong, C. (2023). AIS Aided Marine Radar Target Tracking in a Detection Occluded Environment. *Ocean Engineering*, 288, 116133. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116133>
13. Wang, C. M., Li, Y., Min, L., Chen, J., Lin, Z., Su, S., Zhang, Y., Chen, Q., Chen, Y., Duan, X., Wei, J., & Zhu, S. (2023). Intelligent Marine Area Supervision Based on AIS and Radar Fusion. *Ocean Engineering*, 285, 115373. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115373>
14. Wang, X., Song, X., & Zhao, Y. (2024). Identification and Positioning of Abnormal Maritime Targets Based on AIS and Remote-Sensing Image Fusion. *Sensors*, 24(8), 2443. <https://doi.org/10.3390/s24082443>
15. 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*, 10(1), 112. <https://doi.org/10.3390/jmse10010112>
16. Yan, Z., Song, X., Zhong, H., Yang, L., & Wang, Y. (2022). Ship Classification and Anomaly Detection Based on Spaceborne AIS Data Considering Behavior Characteristics. *Sensors*, 22(20), 7713. <https://doi.org/10.3390/s22207713>
17. Zhang, B., Hirayama, K., Ren, H., Wang, D., & Li, H. (2023). Ship Anomalous Behavior Detection Using Clustering and Deep Recurrent Neural Network. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(4), 763. <https://doi.org/10.3390/jmse11040763>