

Identification and Modeling of Illegal Fishing Violations in WPPNRI 715 Using Vessel Monitoring System Data

(Identifikasi dan Pemodelan Pelanggaran Penangkapan Ikan di WPPNRI 715 Menggunakan Data Vessel Monitoring System)

Teddy Feky Paulus¹, Lefrand Manoppo², Patrice Nelson I Kalangi², Deiske A. Sumilat¹,
Joshian Nicolas William Schadu¹, Johnny Budiman², Juliet Merry Eva Mamahit³

¹. Aquatic Science Master Program, Postgraduate Program, Sam Ratulangi University

². Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Sam Ratulangi University

³. Faculty of Agriculture, Sam Ratulangi University

*Corresponding author: fekyteddy@gmail.com

Manuscript received: 19 April. 2026. Revision accepted: 15 May. 2026

Abstract. This study aimed to analyze fishing activity characteristics based on Vessel Monitoring System (VMS) data, identify spatial patterns and hotspots of fishing violations in Fisheries Management Area of the Republic of Indonesia (WPPNRI) 715, and develop a VMS- and hotspot-based fisheries surveillance model. A quantitative descriptive method with a Geographic Information System-based spatial analysis approach was applied. The dataset consisted of fishing vessel VMS records and fishing violation data from 2022 to 2025 in WPPNRI 715. The analysis included data cleaning and validation, characterization by area, fishing gear, vessel size, and violation type, Kernel Density Estimation, Moran's I spatial autocorrelation, Getis-Ord G_i^* hotspot analysis, and risk-based surveillance modelling using Multi-Criteria Decision Analysis. The results identified 388 violation events concentrated mainly in Maluku, North Maluku, and North Sulawesi waters. The highest number of violations occurred in 2024, with 193 cases. Violations were dominated by small pelagic purse seine vessels with one boat (208 cases), while vessel size was dominated by 30-50 GT (149 cases) and 50-100 GT (123 cases). The most common violation types were fishing-lane violations (203 cases) and fishing-ground violations (156 cases). Moran's I analysis produced a value of 0.1694, z-score of 2.3733, and pseudo p-value of 0.0237, indicating a statistically significant clustered pattern. Getis-Ord G_i^* analysis identified significant hotspots in Maluku and North Maluku waters at the 95-99% confidence levels. The integration of hotspot analysis and MCDA classified Maluku and North Maluku waters as high-priority surveillance zones, North Sulawesi as a medium-priority zone, and West Papua as a low-priority zone. This study concludes that VMS data can support the identification of violation characteristics, hotspot mapping, and the development of risk-based fisheries surveillance in WPPNRI 715.

Keywords: fisheries surveillance; Getis-Ord G_i^* ; IUU fishing; MCDA; Vessel Monitoring System; WPPNRI 715.

Abstract. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik aktivitas penangkapan ikan berbasis data Vessel Monitoring System (VMS), mengidentifikasi pola spasial dan hotspot pelanggaran penangkapan ikan di WPPNRI 715, serta menyusun model pengelolaan pengawasan perikanan berbasis VMS dan hotspot pelanggaran. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis. Data yang dianalisis meliputi data VMS kapal penangkap ikan dan data pelanggaran penangkapan ikan periode 2022-2025 di WPPNRI 715. Tahapan analisis mencakup pembersihan dan validasi data, analisis karakteristik aktivitas berdasarkan wilayah, alat tangkap, ukuran kapal, dan jenis pelanggaran, analisis kepadatan Kernel Density Estimation, autokorelasi spasial Moran's I, analisis hotspot Getis-Ord G_i^* , serta penyusunan model pengawasan berbasis risiko dengan pendekatan Multi-Criteria Decision Analysis. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 388 kejadian pelanggaran yang terkonsentrasi terutama di Perairan Maluku, Maluku Utara, dan Sulawesi Utara. Pelanggaran tertinggi terjadi pada 2024 sebanyak 193 kasus. Berdasarkan alat tangkap, pelanggaran didominasi pukat cincin pelagis kecil dengan satu kapal sebanyak 208 kasus, sedangkan berdasarkan ukuran kapal didominasi kapal 30-50 GT sebanyak 149 kasus dan 50-100 GT sebanyak 123 kasus. Jenis pelanggaran terbanyak adalah pelanggaran jalur penangkapan sebanyak 203 kasus dan daerah penangkapan ikan sebanyak 156 kasus. Analisis Moran's I menghasilkan nilai 0,1694, z-score 2,3733, dan pseudo p-value 0,0237, yang menunjukkan pola pelanggaran mengelompok secara signifikan. Analisis Getis-Ord G_i^* mengidentifikasi hotspot signifikan pada Perairan Maluku dan Maluku Utara dengan tingkat kepercayaan 95-99%. Integrasi hotspot dan MCDA menghasilkan prioritas pengawasan tinggi pada Perairan Maluku dan Maluku Utara, sedang pada Perairan Sulawesi Utara, dan rendah pada Perairan Papua Barat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa data VMS dapat digunakan sebagai dasar identifikasi karakteristik pelanggaran, pemetaan hotspot, dan penyusunan model pengawasan perikanan berbasis risiko di WPPNRI 715.

Kata kunci: Getis-Ord G_i^* ; IUU fishing; MCDA; pengawasan perikanan; Vessel Monitoring System; WPPNRI 715.

PENDAHULUAN

Permasalahan illegal, unreported, and unregulated fishing (IUU fishing) hingga kini masih menjadi isu strategis dalam pengelolaan perikanan global karena berpengaruh langsung

terhadap keberlanjutan sumber daya ikan, keseimbangan ekosistem laut, serta efektivitas tata kelola perikanan. Berdasarkan laporan Food and Agriculture Organization The State of World Fisheries and Aquaculture 2024, produksi perikanan dan akuakultur dunia pada tahun 2022 tercatat mencapai 223,2 juta ton. Namun demikian, keberlanjutan stok ikan laut masih menghadapi tekanan yang cukup serius, ditunjukkan oleh 37,7% stok ikan laut dunia yang telah berada pada kondisi *overfished* pada tahun 2021 (FAO, 2024). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan produksi perikanan perlu disertai dengan penguatan sistem pengendalian pemanfaatan dan pengawasan yang efektif guna menekan praktik penangkapan ikan yang tidak sesuai ketentuan. Dalam kerangka tersebut, penguatan sistem monitoring, control, and surveillance (MCS) menjadi elemen penting untuk mencegah terjadinya pelanggaran, meningkatkan tingkat kepatuhan pelaku usaha perikanan, serta mendukung proses pengambilan keputusan pengelolaan perikanan yang berbasis data dan bukti ilmiah.

Indonesia sebagai negara kepulauan menghadapi tantangan pengawasan perikanan yang cukup kompleks akibat luasnya wilayah perairan, persebaran armada penangkapan yang tidak merata, serta perbedaan tingkat pemanfaatan sumber daya ikan pada setiap wilayah pengelolaan. Pengelolaan perikanan nasional dilakukan melalui pembagian Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) yang berfungsi sebagai dasar spasial dalam perencanaan, pemanfaatan, pengawasan, dan evaluasi sumber daya perikanan. Salah satu wilayah yang memiliki peran strategis adalah WPPNRI 715 yang meliputi Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Halmahera, Laut Seram, dan Teluk Berau. Kawasan ini dikenal memiliki intensitas kegiatan perikanan yang tinggi, khususnya pada pemanfaatan sumber daya ikan pelagis, sehingga berpotensi menimbulkan tekanan terhadap sumber daya maupun pelanggaran operasional apabila kegiatan pengawasan tidak dilakukan secara terarah dan efektif.

Dalam kerangka Monitoring, Control, and Surveillance (MCS), Vessel Monitoring System (VMS) menjadi salah satu instrumen yang berperan penting karena mampu memantau posisi kapal secara berkala sekaligus menyediakan informasi spasial dan temporal yang mendukung kegiatan pengawasan. Pemanfaatan VMS tidak terbatas pada fungsi administratif semata, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar dalam menganalisis sebaran aktivitas kapal, intensitas kegiatan penangkapan ikan, indikasi pelanggaran pemanfaatan ruang laut, serta penentuan prioritas pengawasan. Seiring berkembangnya pengelolaan perikanan modern, penggunaan data pelacakan kapal seperti VMS dan Automatic Identification System (AIS) semakin luas untuk meningkatkan transparansi aktivitas perikanan, mengestimasi fishing effort, mengidentifikasi perilaku kapal yang tidak normal, serta memperkuat pelaksanaan pengawasan berbasis risiko (Kroodsma et al., 2018; Henriques et al., 2025).

Pemanfaatan sistem Vessel Monitoring System (VMS) di Indonesia hingga saat ini masih dihadapkan pada berbagai kendala, baik secara metodologis maupun operasional. Dalam praktik pengawasan perikanan, data VMS umumnya masih difokuskan pada fungsi pemantauan posisi kapal dan pemenuhan aspek administratif, sementara pemanfaatannya untuk analisis spasial dalam mengidentifikasi pola pelanggaran serta menentukan prioritas pengawasan belum dilakukan secara optimal. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara ketersediaan data pemantauan kapal dengan kebutuhan sistem pengawasan yang lebih presisi, efektif, dan berbasis risiko. Selain itu, pelaksanaan pengawasan yang diterapkan secara merata di seluruh wilayah tanpa mempertimbangkan tingkat konsentrasi pelanggaran berpotensi menurunkan efisiensi pengawasan, mengingat keterbatasan sumber daya patroli, personel, dan anggaran yang tersedia.

Penelitian ini mengembangkan pendekatan integratif melalui penggabungan analisis karakteristik aktivitas berbasis data VMS, analisis kepadatan menggunakan *Kernel Density Estimation* (KDE), autokorelasi spasial Moran's I, analisis hotspot *Getis-Ord Gi*, serta *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA). Pendekatan tersebut dinilai relevan karena Moran's I mampu mengidentifikasi pola spasial secara global, sementara *Getis-Ord Gi* digunakan untuk mendeteksi hotspot lokal yang signifikan. Di sisi lain, MCDA memungkinkan pengintegrasian berbagai indikator risiko ke dalam klasifikasi prioritas pengawasan. Dengan demikian, pemanfaatan data VMS tidak hanya terbatas pada penyediaan informasi lokasi pelanggaran, tetapi juga dapat dikembangkan sebagai model pengawasan yang mendukung pengambilan keputusan operasional.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengkaji karakteristik aktivitas penangkapan ikan berdasarkan data Vessel Monitoring System (VMS) di WPPNRI 715, mengidentifikasi pola distribusi spasial serta hotspot pelanggaran penangkapan ikan, dan merumuskan model pengelolaan pengawasan perikanan berbasis VMS dan hotspot pelanggaran sebagai upaya mendukung sistem pengawasan perikanan berbasis risiko. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik terhadap pengembangan kajian analisis spasial pelanggaran perikanan, sekaligus menjadi masukan praktis dalam penentuan prioritas patroli, optimalisasi alokasi sumber daya pengawasan, serta pengembangan sistem pengawasan yang adaptif di WPPNRI 715.

Wilayah Pengelolaan Perikanan dan WPPNRI 715

WPPNRI merupakan satuan pengelolaan berbasis wilayah yang diterapkan sebagai dasar dalam pengaturan pemanfaatan sumber daya ikan secara berkelanjutan. Dalam implementasinya, setiap wilayah WPPNRI memiliki karakteristik ekologis, oseanografis, sosial, dan operasional yang berbeda, sehingga memerlukan pendekatan pengawasan yang disesuaikan dengan tingkat pemanfaatan sumber daya serta potensi risiko pelanggaran yang ada. WPPNRI 715 meliputi perairan Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Halmahera, Laut Seram, dan Teluk Berau. Kawasan ini memiliki nilai strategis sebagai daerah operasi armada perikanan di kawasan timur Indonesia serta menjadi wilayah penting bagi kegiatan penangkapan ikan pelagis, baik pelagis besar maupun pelagis kecil.

Karakteristik WPPNRI 715 sebagai kawasan perairan yang memiliki tingkat produktivitas tinggi menyebabkan aktivitas penangkapan ikan cenderung terpusat pada lokasi-lokasi tertentu yang dianggap sebagai fishing ground utama. Konsentrasi aktivitas penangkapan tersebut berpotensi meningkatkan tekanan terhadap sumber daya ikan serta memperbesar peluang terjadinya pelanggaran, khususnya ketika armada melakukan operasi pada jalur maupun daerah penangkapan yang tidak sesuai dengan ketentuan perizinan. Dengan demikian, pengawasan di WPPNRI 715 tidak cukup dilakukan melalui pendekatan administratif semata, tetapi juga memerlukan analisis spasial untuk mengidentifikasi lokasi konsentrasi aktivitas dan pelanggaran secara lebih akurat dan signifikan.

IUU Fishing dan Kebutuhan Pengawasan Berbasis Risiko

IUU fishing merupakan bentuk kegiatan penangkapan ikan yang meliputi praktik ilegal, tidak dilaporkan, dan tidak diatur. Illegal fishing merujuk pada aktivitas penangkapan yang dilakukan tanpa izin atau tidak sesuai dengan ketentuan perizinan yang berlaku. Unreported fishing mengacu pada hasil tangkapan yang tidak dilaporkan ataupun dilaporkan secara tidak benar, sedangkan unregulated fishing berkaitan dengan kegiatan penangkapan yang dilakukan di wilayah tertentu atau oleh kapal yang tidak berada dalam rezim pengelolaan perikanan yang berlaku (FAO, 2001; FAO, 2022). Dalam pelaksanaan pengawasan perikanan nasional, pelanggaran tersebut dapat diwujudkan dalam berbagai bentuk, antara lain ketidaksesuaian

daerah penangkapan ikan, pelanggaran jalur penangkapan, aktivitas penangkapan di kawasan konservasi, ketidaksesuaian pelabuhan pangkal maupun pelabuhan muat, serta kegiatan transshipment yang tidak memenuhi ketentuan peraturan perundang-undangan.

Faktor penyebab pelanggaran perikanan memiliki karakter yang multidimensional, mencakup tekanan ekonomi, tingginya persaingan dalam pemanfaatan sumber daya, keterbatasan pemahaman terhadap batas ruang penangkapan, lemahnya integrasi data, serta terbatasnya kapasitas pengawasan. Mengingat distribusi pelanggaran tidak terjadi secara merata, pendekatan pengawasan berbasis risiko dinilai lebih efektif dibandingkan pola pengawasan yang diterapkan secara seragam. Pendekatan *risk-based surveillance* memfokuskan sumber daya pengawasan pada lokasi, waktu, dan jenis kapal yang memiliki tingkat potensi pelanggaran lebih tinggi, sehingga pelaksanaan patroli dapat dilakukan secara lebih terarah dan efisien (Henriques et al., 2025).

Vessel Monitoring System dalam Monitoring, Control, and Surveillance

MCS merupakan suatu kerangka pengawasan yang mencakup kegiatan monitoring melalui pengumpulan informasi mengenai aktivitas perikanan, control yang berkaitan dengan pengaturan perizinan dan ketentuan operasional, serta surveillance berupa pengawasan dan penegakan terhadap pelanggaran di bidang perikanan. Dalam kerangka tersebut, VMS termasuk ke dalam komponen monitoring dan surveillance karena mampu menyediakan data posisi kapal yang dimanfaatkan untuk menilai kepatuhan terhadap pemanfaatan ruang, menggambarkan pola operasi penangkapan secara terbatas, serta mendukung upaya deteksi dini terhadap aktivitas yang terindikasi mencurigakan. Informasi yang dihasilkan dari VMS umumnya meliputi identitas kapal, posisi geografis, waktu perekaman, serta karakteristik kapal seperti ukuran dan jenis alat tangkap.

Pemanfaatan data pelacakan kapal dalam sektor perikanan telah berkembang tidak hanya sebagai sarana pemantauan posisi kapal, tetapi juga sebagai sumber informasi analitis untuk mengestimasi *fishing effort*, mengklasifikasikan perilaku operasional kapal, serta mendukung pengawasan kepatuhan aktivitas penangkapan. Berbagai studi internasional menunjukkan bahwa data pelacakan kapal mampu digunakan untuk memetakan aktivitas penangkapan ikan dalam cakupan spasial yang luas dan mengidentifikasi pola operasi yang sebelumnya sulit terdeteksi melalui kegiatan patroli secara langsung (Kroodsmas et al., 2018). Meskipun demikian, pemanfaatan data VMS memerlukan tahapan pra-pengolahan yang dilakukan secara cermat karena data tersebut umumnya masih menghadapi keterbatasan terkait resolusi temporal, kelengkapan atribut, serta variasi kualitas transmisi data.

Analisis Spasial, Hotspot, dan MCDA dalam Pengawasan Perikanan

Analisis spasial menjadi salah satu pendekatan yang penting dalam memahami pola distribusi aktivitas perikanan maupun pelanggaran yang terjadi pada suatu wilayah perairan. Metode Kernel Density Estimation (KDE) digunakan untuk memvisualisasikan permukaan kepadatan berdasarkan titik-titik kejadian, sehingga wilayah dengan tingkat intensitas aktivitas yang tinggi dapat diidentifikasi secara visual maupun kuantitatif. Sementara itu, Moran's I dimanfaatkan untuk menguji autokorelasi spasial secara global, yaitu untuk mengetahui apakah suatu nilai atau kejadian pada lokasi tertentu memiliki hubungan dengan lokasi di sekitarnya. Nilai Moran's I yang positif menunjukkan adanya kecenderungan pengelompokan, nilai yang mendekati nol mengindikasikan pola acak, sedangkan nilai negatif mencerminkan pola yang menyebar (Anselin, 1995).

Metode Getis-Ord G_i^* digunakan untuk mengidentifikasi hotspot dan coldspot lokal melalui analisis nilai z-score dan p-value. Dalam konteks pengawasan perikanan, metode ini mampu menunjukkan wilayah dengan konsentrasi aktivitas kapal maupun pelanggaran yang

memiliki signifikansi statistik, sehingga dapat menjadi dasar yang lebih kuat dalam penentuan prioritas pengawasan. Penerapan analisis Moran's I dan Getis-Ord G_i^* pada data aktivitas kapal telah banyak digunakan dalam berbagai studi spasial perikanan untuk menjelaskan distribusi intensitas pergerakan kapal, hotspot aktivitas, serta pola spatio-temporal fishing effort (Yan et al., 2022; Laia et al., 2023).

MCDA merupakan suatu pendekatan dalam pengambilan keputusan yang mengombinasikan berbagai kriteria untuk menentukan skala prioritas. Dalam pengawasan perikanan, metode ini memungkinkan pengintegrasian indikator hotspot, frekuensi pelanggaran, ukuran kapal, serta jenis alat tangkap ke dalam suatu skor prioritas wilayah. Penerapan analisis hotspot yang dipadukan dengan MCDA menjadi relevan dalam mendukung sistem pengawasan berbasis risiko, karena tidak hanya mampu mengidentifikasi lokasi yang memiliki tingkat kerawanan tinggi, tetapi juga menghasilkan klasifikasi operasional yang dapat dijadikan dasar dalam penentuan intensitas patroli, alokasi sumber daya pengawasan, serta penyusunan strategi pengawasan yang berbeda pada setiap wilayah.

METODE PENELITIAN

Jenis, Lokasi, dan Waktu Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan analitik spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Pendekatan tersebut diterapkan untuk mendeskripsikan karakteristik aktivitas penangkapan ikan, menganalisis pola sebaran spasial pelanggaran, mengidentifikasi hotspot pelanggaran, serta merumuskan model pengawasan perikanan berbasis risiko. Wilayah penelitian mencakup WPPNRI 715 yang meliputi Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Halmahera, Laut Seram, dan Teluk Berau. Proses pengolahan dan analisis data dilakukan di Pangkalan PSDKP Bitung dengan memanfaatkan data Vessel Monitoring System (VMS) dan data pelanggaran penangkapan ikan periode 2022–2025.

Data dan Perangkat Analisis

Data utama dalam penelitian ini terdiri atas data Vessel Monitoring System (VMS) kapal penangkap ikan serta data pelanggaran penangkapan ikan yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. Data tersebut memuat informasi mengenai posisi geografis kapal, waktu perekaman, identitas kapal, ukuran kapal dalam satuan Gross Tonnage (GT), jenis alat tangkap, wilayah terjadinya pelanggaran, serta jenis pelanggaran yang dilakukan. Selain itu, data spasial Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) 715 dimanfaatkan dalam proses overlay, pemetaan sebaran pelanggaran, dan analisis hotspot. Pengolahan dan visualisasi data spasial dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS versi 3.34, sedangkan analisis Moran's I dilakukan dengan bantuan GeoDa. Adapun proses pembersihan data, tabulasi, skoring, dan pembobotan Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) dilakukan menggunakan Microsoft Excel 2019.

Rancangan dan Tahapan Analisis

Rancangan penelitian ini menggunakan pendekatan observasional analitik dengan titik kejadian pelanggaran kapal perikanan yang terekam pada data Vessel Monitoring System (VMS) sebagai unit analisis. Penentuan sampel dilakukan secara purposive dengan mempertimbangkan ketersediaan data VMS yang lengkap, status operasional kapal selama periode pengamatan, serta lokasi kegiatan yang berada dalam cakupan Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) 715. Tahapan penelitian mencakup proses pengumpulan data, pembersihan dan validasi data, standarisasi atribut, verifikasi koordinat, serta overlay dengan batas wilayah WPPNRI 715. Selanjutnya dilakukan analisis deskriptif

berdasarkan wilayah operasi, jenis alat tangkap, ukuran kapal, dan bentuk pelanggaran yang teridentifikasi, kemudian dilanjutkan dengan analisis Kernel Density Estimation (KDE), analisis Moran's I, analisis hotspot Getis-Ord G_i^* , serta penyusunan model prioritas pengawasan menggunakan pendekatan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA).

Analisis Karakteristik Aktivitas Penangkapan Ikan

Analisis karakteristik aktivitas dilakukan dengan pendekatan statistik deskriptif terhadap data pelanggaran selama periode 2022–2025. Sebaran temporal dianalisis berdasarkan jumlah pelanggaran pada setiap tahun dan wilayah perairan. Karakteristik armada dikaji melalui identifikasi jenis alat tangkap yang digunakan serta kelompok ukuran kapal. Sementara itu, karakteristik kepatuhan dievaluasi berdasarkan jenis pelanggaran yang tercatat, meliputi pelanggaran daerah penangkapan ikan, jalur penangkapan, pelabuhan pangkal atau muat, kawasan konservasi, transshipment, serta kategori pelanggaran yang tidak teridentifikasi. Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk frekuensi dan persentase guna menggambarkan kategori pelanggaran yang dominan serta dinamika pelanggaran selama periode penelitian.

Analisis Kepadatan, Autokorelasi, dan Hotspot

Kernel Density Estimation (KDE) digunakan untuk mengidentifikasi tingkat konsentrasi aktivitas kapal berdasarkan sebaran titik pelanggaran. Seluruh data spasial terlebih dahulu direproyeksikan ke dalam sistem koordinat equal-area ESRI:54034 guna memperoleh hasil analisis berbasis luasan yang lebih konsisten dan akurat. Analisis Moran's I diterapkan untuk mengevaluasi pola distribusi pelanggaran secara global melalui interpretasi nilai indeks, z-score, dan p-value. Nilai Moran's I yang lebih besar dari nol mengindikasikan pola pengelompokan (clustered), nilai yang mendekati nol menunjukkan pola acak (random), sedangkan nilai negatif mencerminkan pola penyebaran (dispersed). Uji signifikansi statistik dilakukan menggunakan 9999 permutations. Selanjutnya, analisis hotspot Getis-Ord G_i^* digunakan untuk mengidentifikasi kluster pelanggaran dengan intensitas tinggi maupun rendah berdasarkan nilai z-score dan p-value pada tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99%.

Penyusunan Model Pengawasan Berbasis Risiko

Model pengawasan berbasis risiko dikembangkan menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) sederhana melalui metode skoring dan pembobotan. Parameter risiko yang digunakan meliputi intensitas hotspot pelanggaran, frekuensi pelanggaran, ukuran kapal, serta jenis alat tangkap. Masing-masing parameter diberikan bobot berbeda, yaitu intensitas hotspot sebesar 40%, frekuensi pelanggaran 30%, ukuran kapal 20%, dan jenis alat tangkap 10%. Skor yang telah distandardisasi selanjutnya dikalikan dengan bobot tiap parameter untuk memperoleh total nilai prioritas wilayah pengawasan. Berdasarkan hasil tersebut, tingkat prioritas wilayah diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yakni prioritas tinggi, sedang, dan rendah. Wilayah dengan rentang skor 2,30–3,00 termasuk kategori prioritas tinggi, skor 1,60–2,29 dikategorikan sebagai prioritas sedang, sedangkan skor 1,00–1,59 dikategorikan sebagai prioritas rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Distribusi Temporal dan Wilayah Pelanggaran

Hasil analisis memperlihatkan bahwa selama periode 2022–2025 tercatat sebanyak 388 kejadian pelanggaran penangkapan ikan berdasarkan data Vessel Monitoring System (VMS) di WPPNRI 715. Jumlah pelanggaran pada tahun 2022 dan 2023 cenderung berada pada tingkat yang sama, masing-masing sebanyak 44 kasus. Selanjutnya, terjadi peningkatan yang sangat

signifikan pada tahun 2024 dengan jumlah mencapai 193 kasus, sebelum kembali mengalami penurunan pada tahun 2025 menjadi 107 kasus. Berdasarkan distribusi wilayah, kejadian pelanggaran paling dominan ditemukan di Perairan Maluku dengan total 161 kasus, diikuti Perairan Maluku Utara sebanyak 135 kasus, Perairan Sulawesi Utara sebanyak 84 kasus, serta Perairan Papua Barat sebanyak 8 kasus. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa sebaran pelanggaran penangkapan ikan di WPPNRI 715 tidak terjadi secara merata, melainkan terkonsentrasi pada kawasan yang menjadi pusat aktivitas operasi penangkapan ikan.

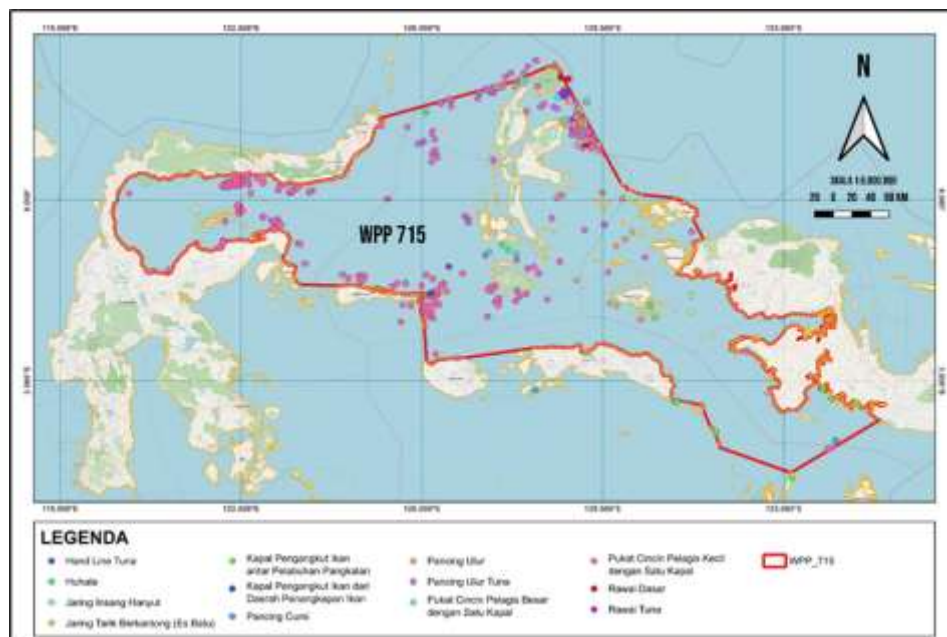
Tabel 1. Distribusi pelanggaran berdasarkan wilayah dan tahun di WPPNRI 715

No	Wilayah Pelanggaran	2022	2023	2024	2025	Total
1	Perairan Sulawesi Utara	1	0	65	18	84
2	Perairan Maluku Utara	20	18	62	35	135
3	Perairan Maluku	22	26	66	47	161
4	Perairan Papua Barat	1	0	0	7	8
Total		44	44	193	107	388

Sumber: Hasil pengolahan data VMS dan data pelanggaran, 2026

Karakteristik Berdasarkan Alat Tangkap dan Ukuran Kapal

Distribusi pelanggaran berdasarkan jenis alat tangkap memperlihatkan bahwa pukat cincin pelagis kecil dengan satu kapal menjadi kategori yang paling dominan, yaitu sebanyak 208 kasus. Selanjutnya, pelanggaran juga banyak ditemukan pada penggunaan pancing ulur tuna sebanyak 79 kasus serta pancing ulur sebanyak 49 kasus. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa aktivitas penangkapan ikan pelagis memiliki kontribusi yang besar terhadap pola pelanggaran yang terjadi di WPPNRI 715. Sementara itu, berdasarkan ukuran kapal, jumlah pelanggaran tertinggi tercatat pada kapal berukuran 30–50 GT sebanyak 149 kasus dan kapal 50–100 GT sebanyak 123 kasus. Dengan demikian, kapal berukuran 30–100 GT dapat dikategorikan sebagai kelompok kapal yang paling dominan dalam data pelanggaran pada penelitian ini.

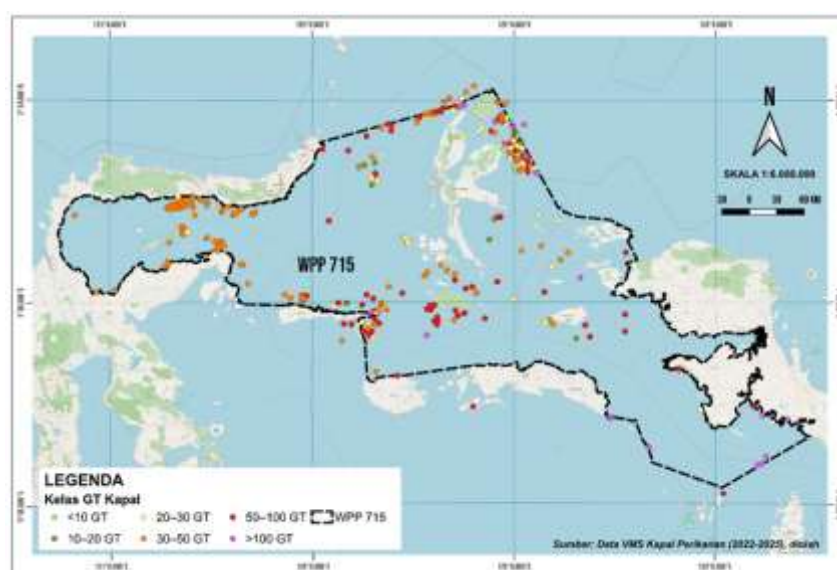


Gambar 1. Peta Sebaran Pelanggaran Penangkapan di WPPNRI 715 berdasarkan Alat Tangkap

Tabel 2. Distribusi pelanggaran berdasarkan jenis alat tangkap di WPPNRI 715

No	Alat Tangkap	2022	2023	2024	2025	Total
1	Pukat cincin pelagis kecil dengan satu kapal	24	17	122	45	208
2	Pancing ulur tuna	15	14	33	17	79
3	Pancing ulur	0	6	27	16	49
4	Rawai tuna	1	1	2	8	12
5	Pukat cincin pelagis besar dengan satu kapal	0	2	4	5	11
6	Kapal pengangkut ikan antar pelabuhan pangkalan	0	1	3	6	10
7	Huhate	1	2	0	4	7
8	Lainnya	3	1	2	6	12
Total		44	44	193	107	388

Sumber: Hasil pengolahan data VMS dan data pelanggaran, 2026



Gambar 2. Peta Sebaran Pelanggaran Penangkapan di WPPNRI 715 berdasarkan Ukuran (GT Kapal)

Tabel 3. Distribusi pelanggaran berdasarkan ukuran kapal di WPPNRI 715

No	Rentang Ukuran Kapal (GT)	2022	2023	2024	2025	Total
1	<10	0	0	8	2	10
2	10-20	1	4	10	1	16
3	20-30	3	11	28	21	63
4	30-50	11	7	99	32	149
5	50-100	27	21	40	35	123
6	>100	2	1	8	15	26
7	Tidak diketahui	0	0	0	1	1
Total		44	44	193	107	388

Karakteristik Berdasarkan Jenis Pelanggaran

Berdasarkan klasifikasi jenis pelanggaran, pelanggaran terkait jalur penangkapan tercatat sebagai kasus yang paling dominan dengan jumlah 203 kasus, kemudian disusul oleh pelanggaran daerah penangkapan ikan sebanyak 156 kasus. Selain itu, pelanggaran yang berkaitan dengan pelabuhan pangkal atau muat tercatat sebanyak 20 kasus, pelanggaran di kawasan konservasi sebanyak 6 kasus, pelanggaran transshipment sebanyak 3 kasus, serta 1 kasus yang belum teridentifikasi jenis pelanggarannya. Pada tahun 2024, jumlah pelanggaran jalur penangkapan mengalami peningkatan signifikan hingga mencapai 132

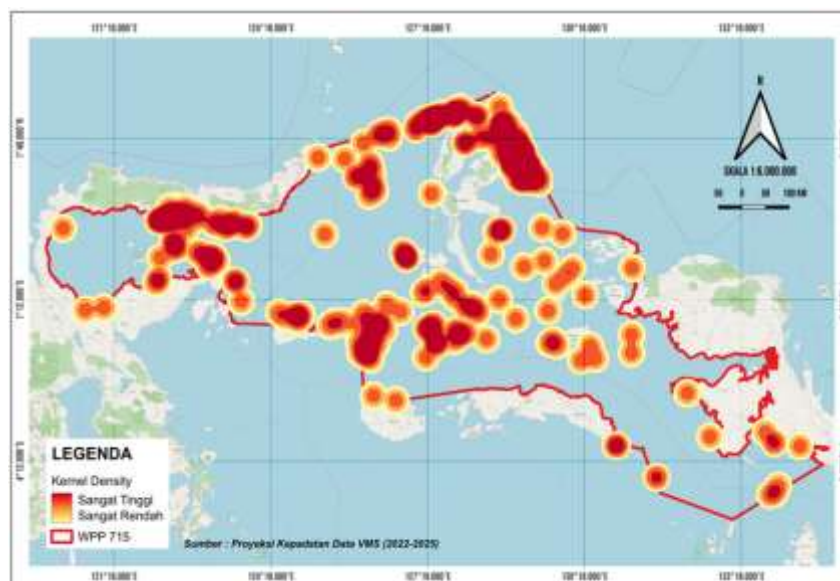
kasus, sementara pelanggaran daerah penangkapan ikan tercatat sebanyak 55 kasus. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa rendahnya kepatuhan terhadap batas ruang operasi masih menjadi permasalahan utama dalam pengawasan perikanan di WPPNRI 715

Tabel 4. Distribusi pelanggaran berdasarkan jenis pelanggaran di WPPNRI 715

No	Jenis Pelanggaran	2022	2023	2024	2025	Total
1	Daerah Penangkapan Ikan (DPI)	33	35	55	33	156
2	Jalur penangkapan	7	8	132	56	203
3	Pelabuhan pangkal/muat	3	1	6	10	20
4	Kawasan konservasi	1	0	0	5	6
5	Transshipment	0	0	0	3	3
6	Tidak diketahui	0	0	0	1	1
Total		44	44	193	107	388

Analisis Kepadatan dan Autokorelasi Spasial

Analisis *Kernel Density Estimation* (KDE) memperlihatkan bahwa distribusi aktivitas kapal dan kejadian pelanggaran di WPPNRI 715 tidak berlangsung secara merata, melainkan terpusat pada sejumlah wilayah tertentu, khususnya di Perairan Sulawesi Utara, Maluku Utara, serta kawasan tengah hingga timur Perairan Maluku. Sementara itu, tingkat kepadatan rendah hingga sedang cenderung ditemukan pada bagian barat dan selatan wilayah pengelolaan tersebut. Pola sebaran ini mengindikasikan bahwa lokasi pelanggaran memiliki keterkaitan dengan konsentrasi aktivitas penangkapan ikan, sekaligus mencerminkan area yang diduga mempunyai tingkat produktivitas sumber daya perikanan maupun akses operasional yang lebih tinggi.



Gambar 3. Peta Kepadatan Aktivitas Kapal Penangkap Ikan (Kernel Density Estimation / KDE) di WPPNRI 715

Hasil analisis Moran's I memperkuat temuan yang diperoleh melalui KDE. Nilai Moran's I sebesar 0,1694 mengindikasikan adanya autokorelasi spasial positif antar lokasi pelanggaran. Hal ini diperkuat oleh nilai z-score sebesar 2,3733 dan pseudo p-value sebesar 0,0237 yang menunjukkan bahwa pola pengelompokan tersebut signifikan pada tingkat kepercayaan $p < 0,05$. Dengan demikian, sebaran pelanggaran penangkapan ikan di WPPNRI 715 tidak terjadi secara acak, melainkan membentuk pola spasial yang mengelompok (clustered). Temuan ini mendukung hipotesis alternatif bahwa data VMS mampu

menggambarkan pola spasial pelanggaran secara signifikan dan dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam penyusunan strategi pengawasan berbasis risiko

Tabel 5. Hasil analisis autokorelasi spasial Moran's I

Parameter	Nilai
Moran's I	0,1694
Expected Index [E(I)]	-0,0061
Mean	-0,0064
Standard Deviation	0,0741
z-value (z-score)	2,3733
Pseudo p-value	0,0237
Jumlah permutasi	9999
Pola distribusi	Mengelompok (clustered)
Tingkat signifikansi	Signifikan ($p < 0,05$)

Hotspot Pelanggaran dan Prioritas Pengawasan

Analisis Getis-Ord G_i^* mengindikasikan keberadaan hotspot pelanggaran yang signifikan dan terpusat di kawasan Laut Maluku dan Laut Halmahera, khususnya pada perairan Maluku dan Maluku Utara. Nilai z-score positif yang tinggi mencerminkan adanya konsentrasi pelanggaran yang relatif tinggi serta memiliki keterkaitan spasial yang kuat antarwilayah. Temuan ini menunjukkan bahwa perairan Maluku dan Maluku Utara dapat dikategorikan sebagai wilayah dengan tingkat kerawanan pelanggaran yang lebih tinggi sehingga memerlukan prioritas pengawasan yang lebih intensif dibandingkan kawasan lainnya.

Integrasi hasil hotspot dengan pendekatan MCDA menghasilkan klasifikasi prioritas pengawasan pada masing-masing wilayah perairan. Perairan Maluku memperoleh skor sebesar 2,90 dan Perairan Maluku Utara sebesar 2,70 sehingga keduanya dikategorikan sebagai wilayah dengan tingkat risiko tinggi. Sementara itu, Perairan Sulawesi Utara memperoleh skor 2,00 dan termasuk dalam kategori risiko sedang, sedangkan Perairan Papua Barat memperoleh skor 1,00 dan diklasifikasikan sebagai wilayah dengan risiko rendah. Hasil klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa model pengawasan berbasis risiko mampu mengidentifikasi perbedaan tingkat prioritas antarwilayah melalui pertimbangan intensitas hotspot, frekuensi pelanggaran, dominasi ukuran kapal, serta aktivitas alat tangkap.

Tabel 6. Bobot parameter MCDA dalam model prioritas pengawasan

Parameter	Bobot (%)	Dasar Pertimbangan
Intensitas hotspot pelanggaran	40	Menunjukkan konsentrasi pelanggaran signifikan secara spasial
Frekuensi pelanggaran	30	Menggambarkan tingkat pengulangan pelanggaran
Ukuran kapal (GT)	20	Menunjukkan kapasitas operasi dan jangkauan penangkapan
Jenis alat tangkap	10	Menggambarkan karakteristik aktivitas penangkapan ikan
Total	100	

Tabel 7. Hasil penilaian prioritas pengawasan WPPNRI 715 menggunakan MCDA

Wilayah Perairan	Intensitas Hotspot (40%)	Frekuensi Pelanggaran (30%)	Dominasi GT Kapal (20%)	Aktivitas Alat Tangkap (10%)	Total Skor	Kategori Risiko
Perairan Maluku	3 (1,20)	3 (0,90)	3 (0,60)	2 (0,20)	2,90	Tinggi
Perairan Maluku Utara	3 (1,20)	3 (0,90)	2 (0,40)	2 (0,20)	2,70	Tinggi
Perairan Sulawesi Utara	2 (0,80)	2 (0,60)	2 (0,40)	2 (0,20)	2,00	Sedang
Perairan Papua Barat	1 (0,40)	1 (0,30)	1 (0,20)	1 (0,10)	1,00	Rendah

Pembahasan

Konsentrasi pelanggaran di Perairan Maluku, Maluku Utara, dan Sulawesi Utara menunjukkan bahwa aktivitas penangkapan ikan di WPPNRI 715 tidak tersebar secara homogen. Kondisi ini berkaitan dengan karakteristik armada penangkapan yang umumnya menentukan lokasi operasi berdasarkan tingkat produktivitas sumber daya, kemudahan akses, pengalaman operasi penangkapan, serta keberadaan fishing ground utama. Pada situasi tersebut, wilayah dengan intensitas penangkapan yang tinggi cenderung memiliki potensi kejadian pelanggaran yang lebih besar, baik akibat meningkatnya jumlah kapal yang beroperasi maupun tingginya persaingan dalam pemanfaatan sumber daya ikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa distribusi pelanggaran tidak terjadi secara acak, melainkan terpusat pada area-area tertentu yang mengalami tekanan penangkapan lebih tinggi.

Peningkatan jumlah pelanggaran pada tahun 2024 perlu dipahami secara cermat sebagai hasil dari kombinasi antara meningkatnya intensitas aktivitas kapal perikanan dan semakin optimalnya kemampuan deteksi melalui sistem Vessel Monitoring System (VMS). Hasil penelitian memperlihatkan adanya kenaikan signifikan pada kasus pelanggaran jalur penangkapan selama tahun 2024, yang menunjukkan bahwa pelanggaran terhadap ruang operasi penangkapan menjadi permasalahan yang dominan. Pelanggaran jalur penangkapan dan daerah penangkapan ikan merupakan jenis pelanggaran yang sangat berkaitan dengan pemanfaatan data VMS, karena keduanya berhubungan langsung dengan kesesuaian posisi operasional kapal terhadap ketentuan wilayah penangkapan yang telah ditetapkan. Dengan demikian, penerapan VMS memberikan kontribusi penting dalam mendeteksi ketidaksesuaian lokasi operasi kapal, khususnya pada wilayah perairan yang luas dan sulit diawasi secara berkelanjutan melalui patroli fisik.

Dominasi kapal berukuran 30–100 GT mengindikasikan bahwa pelanggaran lebih banyak ditemukan pada armada dengan kapasitas operasi menengah hingga besar. Kapal pada kelompok ini umumnya memiliki kemampuan jelajah yang lebih luas dibandingkan kapal berukuran kecil, sehingga memungkinkan aktivitas penangkapan dilakukan lintas wilayah perairan dalam WPPNRI 715. Mobilitas operasi tersebut berpotensi meningkatkan intensitas interaksi dengan batas jalur penangkapan, area penangkapan ikan, maupun zona pengawasan tertentu. Selain itu, dominasi penggunaan pukat cincin pelagis kecil satu kapal menunjukkan bahwa aktivitas perikanan pelagis memiliki kontribusi yang signifikan terhadap pola pelanggaran yang teridentifikasi. Dari sisi pengelolaan, temuan ini menjadi dasar penting dalam penyusunan strategi pengawasan yang tidak hanya berorientasi pada lokasi pelanggaran, tetapi juga mempertimbangkan karakteristik armada dan jenis alat tangkap yang dominan.

Nilai Moran's I yang signifikan menunjukkan bahwa sebaran pelanggaran antarwilayah memiliki hubungan spasial yang nyata. Meskipun nilai Moran's I sebesar 0,1694 mengindikasikan tingkat autokorelasi positif yang relatif rendah, nilai signifikansi pada $p < 0,05$ menegaskan bahwa pola pengelompokan (clustered) yang terbentuk bukan merupakan hasil dari faktor kebetulan. Dalam konteks pengawasan perikanan, temuan ini memiliki arti penting karena keberadaan pola pengelompokan dapat menjadi dasar kuantitatif dalam penentuan prioritas pengawasan pada wilayah-wilayah yang berdekatan dengan tingkat pelanggaran yang tinggi. Oleh karena itu, hasil analisis Moran's I dapat digunakan sebagai landasan statistik sebelum dilakukan analisis hotspot.

Analisis Getis-Ord G_i^* memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai lokasi-lokasi yang menjadi pusat konsentrasi pelanggaran secara lokal. Keberadaan hotspot signifikan di Perairan Maluku dan Maluku Utara mengindikasikan bahwa kedua wilayah tersebut memiliki tingkat kerawanan spasial yang relatif lebih tinggi dibandingkan wilayah lain di WPPNRI 715.

Dalam konteks operasional, informasi mengenai hotspot dapat dimanfaatkan sebagai dasar penentuan prioritas patroli, area pemantauan intensif, serta titik awal pengembangan sistem peringatan dini. Pendekatan ini sejalan dengan penerapan analisis hotspot dalam pengawasan perikanan, yang digunakan untuk mengidentifikasi kluster aktivitas atau pelanggaran yang secara statistik menyimpang dari pola distribusi acak, sehingga mendukung alokasi sumber daya pengawasan secara lebih efektif dan proporsional (Laia et al., 2023; Yan et al., 2022).

Integrasi analisis hotspot dengan MCDA menghasilkan model pengawasan yang lebih operasional dibandingkan penggunaan peta hotspot secara tunggal. Peta hotspot berfungsi untuk menunjukkan lokasi dengan konsentrasi pelanggaran yang tinggi, sedangkan MCDA memanfaatkan informasi tersebut untuk menyusun klasifikasi prioritas pengawasan berdasarkan berbagai parameter risiko yang digunakan. Wilayah perairan Maluku dan Maluku Utara yang termasuk dalam kategori tinggi memerlukan peningkatan intensitas pengawasan, antara lain melalui pemantauan VMS yang lebih intensif, patroli yang terfokus, pemeriksaan kepatuhan perizinan, serta evaluasi terhadap pola operasi alat tangkap yang dominan digunakan. Sementara itu, perairan Sulawesi Utara yang berada pada kategori sedang tetap membutuhkan pengawasan secara berkala mengingat aktivitas penangkapan ikan di wilayah tersebut masih relatif tinggi dan berpotensi mengalami peningkatan intensitas. Adapun perairan Papua Barat yang tergolong kategori rendah lebih diarahkan pada kegiatan pemantauan rutin dan pengawasan yang bersifat preventif.

Model yang dihasilkan menunjukkan bahwa data VMS tidak hanya berfungsi sebagai informasi posisi kapal, tetapi juga dapat diolah menjadi instrumen pendukung pengambilan keputusan dalam pengawasan perikanan. Di tengah keterbatasan armada patroli dan personel pengawas, penerapan pendekatan berbasis risiko dinilai lebih efektif dibandingkan pola pengawasan yang dilakukan secara merata. Wilayah dengan tingkat prioritas tinggi dapat dialokasikan sumber daya pengawasan yang lebih besar, sedangkan wilayah dengan prioritas sedang dan rendah tetap diawasi sesuai tingkat kerawannya. Dengan demikian, model ini berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi pengawasan, ketepatan penentuan lokasi patroli, serta pengembangan sistem pengawasan adaptif yang berbasis data.

Secara ilmiah, penelitian ini menegaskan pentingnya penerapan statistik spasial dalam mendukung sistem pengawasan perikanan di Indonesia. Integrasi metode Kernel Density Estimation (KDE), Moran's I, Getis-Ord G_i^* , dan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) menghasilkan kerangka analisis yang dapat diterapkan kembali pada wilayah WPPNRI lainnya dengan menyesuaikan karakteristik data serta parameter risiko yang digunakan. Meskipun demikian, interpretasi hasil penelitian tetap harus memperhatikan keterbatasan data yang tersedia. Data Vessel Monitoring System (VMS) yang digunakan belum sepenuhnya memuat parameter dinamis, seperti kecepatan, arah, dan pola lintasan kapal secara komprehensif, sehingga analisis dalam penelitian ini belum difokuskan pada rekonstruksi perilaku kapal secara rinci. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mengintegrasikan data VMS dengan AIS, logbook, data perizinan, serta data hasil tangkapan guna meningkatkan validitas deteksi pelanggaran dan mendukung sistem pengawasan yang lebih mendekati kondisi real-time.

KESIMPULAN

Karakteristik aktivitas penangkapan ikan berdasarkan data Vessel Monitoring System (VMS) di WPPNRI 715 memperlihatkan bahwa pelanggaran penangkapan ikan terkonsentrasi di wilayah Perairan Maluku, Maluku Utara, dan Sulawesi Utara. Selama periode 2022–2025 tercatat sebanyak 388 kejadian pelanggaran, dengan jumlah tertinggi terjadi pada tahun 2024 yang mencapai 193 kasus. Ditinjau dari atribut kapal, pelanggaran didominasi oleh kapal dengan alat tangkap pukat cincin pelagis kecil satu kapal, serta kelompok kapal berukuran 30–

100 GT. Sementara itu, berdasarkan jenis pelanggaran, pelanggaran terkait jalur penangkapan dan daerah penangkapan ikan merupakan kategori yang paling banyak terdeteksi.

Pola spasial pelanggaran penangkapan ikan di WPPNRI 715 memperlihatkan kecenderungan distribusi yang mengelompok secara nyata. Hasil analisis Moran's I menunjukkan nilai sebesar 0,1694 dengan z-score 2,3733 dan pseudo p-value 0,0237, yang mengindikasikan bahwa sebaran pelanggaran tidak terjadi secara acak. Selanjutnya, analisis Getis-Ord G_i^* mengidentifikasi adanya hotspot signifikan di Perairan Maluku dan Maluku Utara pada tingkat kepercayaan 95–99%, sehingga kedua wilayah tersebut dapat dikategorikan sebagai kawasan dengan kerawanan pelanggaran penangkapan ikan tertinggi di WPPNRI 715.

Model pengelolaan pengawasan perikanan berbasis *Vessel Monitoring System* (VMS) dan hotspot pelanggaran berhasil dirumuskan melalui pendekatan *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa Perairan Maluku dan Maluku Utara termasuk dalam kategori wilayah prioritas tinggi, Perairan Sulawesi Utara berada pada kategori prioritas sedang, sedangkan Perairan Papua Barat tergolong sebagai wilayah prioritas rendah. Model tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pengawasan, penentuan prioritas patroli, pengalokasian sumber daya pengawasan, serta pengembangan sistem pengawasan adaptif berbasis risiko di WPPNRI 715.

DAFTAR PUSTAKA

- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Campbell, M. S., Stehfest, K. M., Votier, S. C., & Hall-Spencer, J. M. (2014). Mapping fisheries for marine spatial planning: Gear-specific vessel monitoring system data improve transparency in fishing activity. *Marine Policy*, 45, 293-300. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.09.015>
- FAO. (2001). International plan of action to prevent, deter and eliminate illegal, unreported and unregulated fishing. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/y1224e/y1224e.pdf>
- FAO. (2022). The state of world fisheries and aquaculture 2022: Towards blue transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FAO. (2024). The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Fujii, I., Okochi, Y., Kawamura, H., & Inoue, J. (2021). Promoting cooperation of monitoring, control, and surveillance of IUU fishing in the Asia-Pacific. *Sustainability*, 13(18), 10231. <https://doi.org/10.3390/su131810231>
- Henriques, N. S., Russo, T., Erzini, K., Gonçalves, J.M.S. (2025). Improving monitoring, control and surveillance efforts in fisheries using vessel tracking and fishery-dependent data. *Ocean & Coastal Management*, Vol. 269. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107789>.
- Hintzen, N. T., Bastardie, F., Beare, D., Piet, G. J., Ulrich, C., Deporte, N., Egekvist, J., & Degel, H. (2012). VMStools: Open-source software for the processing, analysis and visualisation of fisheries logbook and VMS data. *Fisheries Research*, 115-116, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.11.007>
- Kroodsma, D. A., Mayorga, J., Hochberg, T., Miller, N. A., Boerder, K., Ferretti, F., Wilson, A., Bergman, B., White, T. D., Block, B. A., Woods, P., Sullivan, B., Costello, C., &

- Worm, B. (2018). Tracking the global footprint of fisheries. *Science*, 359(6378), 904-908. <https://doi.org/10.1126/science.aao5646>
- Laia, D. Y. W., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2023). Hot spots analysis of fishing vessels in Anambas Islands 2014-2020. *Indonesian Fisheries Research Journal*, 29(1), 13-24.
- Lee, J., South, A. B., & Jennings, S. (2010). Developing reliable, repeatable, and accessible methods to provide high-resolution estimates of fishing-effort distributions from vessel monitoring system data. *ICES Journal of Marine Science*, 67(6), 1260-1271. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsq010>
- Russo, T., D'Andrea, L., Parisi, A., & Cataudella, S. (2014). VMSbase: An R-package for VMS and logbook data management and analysis in fisheries ecology. *PLoS ONE*, 9(6), e100195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100195>
- Yan, Z., He, R., Ruan, X., & Yang, H. (2022). Footprints of fishing vessels in Chinese waters based on automatic identification system data. *Journal of Sea Research*, Vol. 187. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2022.102255>