

Perkembangan Pemanfaatan Geographic Information System (GIS) dalam Maritime surveillance: Analisis Bibliometrik dan Systematic Literature Review

Aridha Ulul Azmi Pakukuh^{1*}, Steven Toar Sambouw², Asep Suryana³, Nefra Firdaus⁴, Harri Dolli Hutabarat⁵, Yuniar⁶, Lukman Yudho Prakoso⁷
aridha.pakukuh@km.idu.ac.id^{1*}, nefra.firdaus@idu.ac.id⁴, harri.dolli@idu.ac.id⁵,
yuniar@idu.ac.id⁶, lukman.prakoso@idu.ac.id⁷

*Corresponding Author

Article Info	Abstrak
Article history: Received : 13 July, 2026 Revised : 13 July, 2026 Accepted : 14 July, 2026	
Kata Kunci: Bibliometric Analysis; Geographic Information System; Maritime surveillance; Remote Sensing; Systematic Literature Review; VOSviewer.	Perkembangan teknologi geospasial telah mendorong pemanfaatan <i>Geographic Information System</i> (GIS) sebagai salah satu teknologi utama dalam mendukung <i>maritime surveillance</i>. Namun demikian, penelitian mengenai GIS dalam domain maritim masih berkembang secara terfragmentasi sehingga belum tersedia pemetaan yang komprehensif mengenai struktur intelektual, tren penelitian, serta arah pengembangannya. Penelitian ini bertujuan memetakan perkembangan penelitian GIS dalam <i>maritime surveillance</i> melalui pendekatan <i>Systematic Literature Review</i> (SLR) yang dipadukan dengan bibliometric analysis. Proses seleksi literatur mengikuti pedoman PRISMA 2020 terhadap artikel yang diperoleh dari basis data Scopus periode 2016–2026. Dari 370 artikel yang teridentifikasi, sebanyak 99 artikel memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis menggunakan <i>VOSviewer</i> melalui <i>network</i>, <i>overlay</i>, dan <i>density visualization</i>, kemudian disintesis menggunakan content analysis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>Geographic Information System</i> merupakan tema sentral yang memiliki keterhubungan paling kuat dengan <i>Remote Sensing</i>, <i>Oil Spill</i>, <i>Monitoring</i>, <i>Coastal Management</i>, dan <i>Risk Assessment</i>. Analisis temporal menunjukkan pergeseran penelitian dari pemetaan wilayah pesisir menuju pemanfaatan penginderaan jauh, kemudian berkembang ke penerapan <i>Artificial Intelligence</i>, <i>Machine Learning</i>, dan <i>Deep Learning</i> sebagai pendekatan analitik baru. <i>Content analysis</i> mengidentifikasi enam tema utama penelitian, dengan dominasi kajian mengenai <i>Coastal Management</i> dan <i>Oil Spill Monitoring</i>, sedangkan integrasi kecerdasan buatan masih relatif terbatas. Sintesis hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan GIS dalam <i>maritime surveillance</i> berlangsung melalui tiga fase, yaitu pemetaan wilayah pesisir, integrasi GIS dan <i>Remote Sensing</i>, serta integrasi GIS dan <i>Artificial Intelligence</i>. Temuan ini menunjukkan bahwa peluang penelitian selanjutnya terletak pada pengembangan sistem <i>maritime surveillance</i> yang lebih adaptif melalui integrasi GIS dengan teknologi analitik cerdas dan sistem pendukung keputusan berbasis data.

PENDAHULUAN

Wilayah laut menempati posisi strategis dalam sistem perdagangan, distribusi energi, dan logistik global, mengingat sebagian besar arus barang dan sumber daya dunia bergantung pada jalur pelayaran maritim (Sanchez-Gonzalez et al., 2019). Intensitas pemanfaatan ruang laut yang terus meningkat, baik untuk aktivitas pelayaran komersial maupun eksploitasi sumber daya kelautan, memperluas kompleksitas pengelolaan wilayah perairan yang harus mampu mengakomodasi kepentingan ekonomi sekaligus keberlanjutan lingkungan (Dupont et al., 2020). Data pemantauan aktivitas laut bahkan telah mengungkap skala industri maritim yang jauh lebih luas dari perkiraan sebelumnya, menegaskan bahwa laut bukan sekadar ruang transit, melainkan ruang produksi ekonomi yang padat aktivitas (Paolo et al., 2024). Kondisi ini menempatkan kemampuan memantau ruang laut secara berkelanjutan sebagai kebutuhan yang tidak dapat ditunda. Semakin tinggi intensitas pemanfaatan laut, semakin besar pula kebutuhan terhadap sistem *maritime surveillance* yang mampu menyediakan gambaran situasional secara akurat dan tepat waktu bagi otoritas maupun pemangku kepentingan terkait.

Kebutuhan tersebut semakin mendesak seiring meningkatnya berbagai ancaman keamanan maritim yang bersifat lintas batas dan saling berkelindan. Praktik penangkapan ikan ilegal telah lama menjadi ancaman struktural terhadap keamanan manusia dan negara di berbagai kawasan pesisir (Okafor-Yarwood, 2020), dan studi terbaru bahkan menunjukkan keterkaitan kausal antara aktivitas tersebut dengan meningkatnya insiden pembajakan di laut (Phayal et al., 2024). Selain ancaman kejahatan terorganisir seperti penyelundupan dan pembajakan, wilayah maritim juga menghadapi risiko kecelakaan pelayaran serta pencemaran laut akibat tumpahan minyak yang berdampak luas terhadap ekosistem pesisir (Asif et al., 2022). Dampak sistemik dari ketidakstabilan keamanan maritim ini turut terlihat pada terganggunya arus perdagangan regional, sebagaimana ditunjukkan oleh kasus gangguan perdagangan maritim Afrika Barat selama pandemi (Sackey et al., 2022), maupun pada kompleksitas tata kelola lintas lembaga dalam menangani ancaman maritim di kawasan Afrika (Agyekum et al., 2024). Kompleksitas dan keragaman ancaman inilah yang mendorong pergeseran orientasi pemantauan maritim dari pendekatan konvensional menuju sistem berbasis teknologi geospasial yang lebih terintegrasi.

Dalam konteks tersebut, *Geographic Information System* (GIS) telah berkembang menjadi salah satu teknologi kunci dalam pengelolaan data spasial kelautan, karena kemampuannya mengintegrasikan, menganalisis, dan memvisualisasikan data lintas sumber secara terstruktur (Narayanan & Manimaran, 2023). Perkembangan GIS pada domain maritim tidak berdiri sendiri, melainkan semakin banyak diintegrasikan dengan penginderaan jauh, data Automatic Identification System (AIS), serta kecerdasan buatan dan *machine learning* untuk memperkuat kapasitas deteksi dan analisis spasial (Şahin et al., 2026; Krishnamoorthy et al., 2025). Integrasi ini memungkinkan GIS tidak hanya berfungsi sebagai alat pemetaan statis, tetapi juga sebagai kerangka analitik yang mendukung deteksi objek, pelacakan pergerakan, dan penilaian risiko secara lebih presisi dan adaptif (Isbaex et al., 2025). Dengan demikian, nilai penting GIS dalam *maritime surveillance* terletak pada kapasitasnya menjembatani volume data spasial yang besar dan heterogen dengan kebutuhan pengambilan keputusan yang cepat dan berbasis bukti.

Literatur yang membahas penerapan GIS dalam *maritime surveillance* secara umum berkembang mengikuti beberapa tema utama yang saling melengkapi, mulai dari deteksi dan pemantauan kapal (Alexandre et al., 2024), pemantauan tumpahan minyak (Balogun et al., 2020), pengelolaan wilayah pesisir (Christofi et al., 2025), hingga analisis lalu lintas dan penilaian risiko maritim (Wang et al., 2022; Rawson et al., 2021). Perkembangan pada

masing-masing tema tersebut menunjukkan tren peningkatan penggunaan data spasial resolusi tinggi serta pendekatan komputasi cerdas untuk meningkatkan akurasi deteksi dan prediksi. Namun demikian, perkembangan ini secara umum berlangsung secara paralel pada masing-masing tema tanpa upaya sistematis untuk memetakan keterkaitan antar tema tersebut secara keseluruhan. Akibatnya, gambaran menyeluruh mengenai bagaimana bidang penelitian GIS dalam *maritime surveillance* berkembang sebagai satu kesatuan intelektual masih sulit diperoleh hanya dari kajian pada masing-masing tema secara terpisah.

Sintesis terhadap perkembangan tersebut mengungkap keterbatasan yang bersifat struktural pada literatur yang ada. Studi-studi sebelumnya cenderung terfragmentasi berdasarkan studi kasus lokal atau satu jenis teknologi tertentu, sebagaimana terlihat pada tinjauan sistematis penerapan GIS di sektor maritim-pelabuhan yang masih berorientasi pada konteks kasus spesifik (Isbaex et al., 2025), maupun pada tinjauan perkembangan GIS lintas domain yang belum secara khusus memetakan struktur intelektual bidang *maritime surveillance* (Narayanan & Manimaran, 2023). Tinjauan metodologis terhadap fusi data multisensor dalam *maritime surveillance* juga menunjukkan bahwa sintesis yang tersedia umumnya bersifat naratif-deskriptif dan belum memanfaatkan pendekatan bibliometrik untuk memetakan tren, jejaring penulis, maupun kata kunci secara kuantitatif (Şahin et al., 2026). Padahal, pendekatan bibliometrik telah terbukti efektif memetakan struktur intelektual suatu bidang keilmuan secara sistematis pada berbagai disiplin lain (Du et al., 2024). Kesenjangan ini menegaskan pentingnya kajian yang mengintegrasikan analisis bibliometrik dengan systematic literature review untuk memetakan perkembangan penelitian GIS dalam *maritime surveillance* secara global dan komprehensif.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memetakan perkembangan penelitian GIS dalam *maritime surveillance*, mengidentifikasi tren publikasi dan kata kunci yang dominan, menganalisis hubungan antar topik penelitian menggunakan VOSviewer, serta melakukan sintesis melalui systematic literature review guna mengidentifikasi research gap dan merumuskan arah penelitian di masa depan. Secara teoritis, penelitian ini berkontribusi memperkaya literatur mengenai penerapan GIS dalam konteks *maritime surveillance* yang selama ini masih tersebar pada tema-tema yang terpisah. Secara metodologis, penelitian ini berkontribusi melalui integrasi bibliometric analysis dengan systematic literature review berbasis pedoman PRISMA 2020 (Page et al., 2021; Husaeni & Nandiyanto, 2021). Adapun secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan menjadi rujukan bagi peneliti, pemerintah, dan pemangku kepentingan dalam merancang teknologi *maritime surveillance* berbasis GIS yang lebih terintegrasi dan responsif terhadap tantangan keamanan maritim di masa mendatang.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain campuran yang mengintegrasikan Bibliometric Analysis dengan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk memetakan perkembangan penelitian mengenai penerapan *Geographic Information System* (GIS) dalam *maritime surveillance*. Bibliometric analysis digunakan untuk memetakan pola kuantitatif publikasi dan struktur jejaring kata kunci secara sistematis (Du et al., 2024), sementara SLR digunakan untuk mensintesis isi, metode, dan temuan setiap artikel secara kualitatif (Klarin, 2024). Proses seleksi literatur mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for *Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020 guna menjamin transparansi dan replikabilitas tahapan identifikasi hingga penetapan kelayakan artikel (Page et al., 2021). Dengan demikian, penelitian ini terdiri atas tiga tahap utama, yaitu pencarian dan seleksi

literatur berbasis PRISMA 2020, analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer, dan content analysis terhadap seluruh artikel yang memenuhi kriteria kelayakan.

Pencarian literatur dilakukan melalui basis data Scopus, yang dipilih karena cakupan indeksasinya yang luas dan konsistensi metadata bibliografi yang dibutuhkan untuk analisis bibliometrik. Rentang waktu publikasi yang digunakan adalah tahun 2016 hingga 2026, guna menangkap perkembangan penelitian GIS dalam *maritime surveillance* sejak mulai berkembangnya integrasi teknologi geospasial modern hingga tren penelitian terkini. Pencarian dibatasi pada jenis dokumen journal articles dan review berbahasa Inggris untuk menjaga kualitas serta keterbandingan istilah antarartikel. String pencarian yang digunakan pada basis data Scopus adalah sebagai berikut:

TITLE-ABS-KEY (("Geographic Information System" OR GIS) AND (Maritime OR Marine) AND (Surveillance OR Monitoring)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))

String tersebut disusun dengan menggabungkan dua konsep utama penelitian, yaitu *Geographic Information System* dan *maritime surveillance*, menggunakan operator Boolean AND, serta memanfaatkan operator OR untuk menangkap variasi istilah yang merepresentasikan konsep yang sama, seperti GIS, *Maritime/Marine*, dan *Surveillance/Monitoring*. Pencarian pada kolom judul, abstrak, dan kata kunci (*TITLE-ABS-KEY*) dipilih untuk memastikan bahwa artikel yang terjaring benar-benar membahas kedua konsep tersebut secara substantif, bukan hanya menyebutkannya secara insidental. Proses pencarian ini menghasilkan 370 artikel yang menjadi dasar bagi tahap penyaringan berikutnya.

Kriteria inklusi ditetapkan agar hanya artikel yang secara substantif membahas keterkaitan GIS dan *maritime surveillance* yang dimasukkan ke dalam analisis. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel merupakan jurnal ilmiah yang telah melalui proses peer-review; (2) artikel membahas penerapan, pengembangan, atau integrasi GIS dalam konteks pemantauan, keamanan, atau pengelolaan wilayah laut; (3) artikel dipublikasikan dalam rentang tahun 2016–2026; dan (4) artikel ditulis dalam bahasa Inggris. Sebaliknya, kriteria eksklusi meliputi: (1) artikel yang tidak relevan dengan topik penelitian meskipun muncul dalam hasil pencarian awal karena kesamaan kata kunci; (2) artikel yang membahas GIS tanpa keterkaitan dengan domain maritim; (3) artikel yang membahas *maritime surveillance* tanpa penggunaan komponen GIS atau analisis spasial; dan (4) publikasi berupa prosiding konferensi, bab buku, atau editorial. Penerapan kriteria ini secara konsisten pada tahap title dan abstract screening bertujuan menjaga relevansi dan kualitas literatur yang digunakan pada tahap analisis selanjutnya.

Proses seleksi artikel mengikuti tahapan PRISMA 2020, yaitu *identification*, *screening*, dan *included*, yang bertujuan menjamin transparansi metodologis dan mengurangi bias seleksi literatur (Page et al., 2021; Sohrabi et al., 2021). Pada tahap *identification*, pencarian melalui basis data Scopus menggunakan string pencarian yang telah disebutkan pada bagian 2.2 menghasilkan 370 artikel. Tahap *screening* dilakukan melalui dua langkah berurutan, yaitu title screening dan abstract screening, yang diterapkan terhadap seluruh 370 artikel tersebut untuk menilai kesesuaiannya dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Pada title *screening*, artikel yang judulnya secara jelas tidak berkaitan dengan GIS maupun *maritime surveillance* disingkirkan terlebih dahulu. Artikel yang lolos tahap ini kemudian dinilai lebih lanjut melalui abstract screening, di mana abstrak setiap artikel diperiksa untuk memastikan bahwa fokus, objek, dan konteks penelitiannya benar-benar relevan dengan topik penelitian. Melalui kedua tahap screening tersebut, sebanyak 271 artikel dikeluarkan karena dinilai membahas topik yang tidak relevan, bukan merupakan studi berbasis GIS, tidak berkaitan dengan *maritime surveillance*, atau

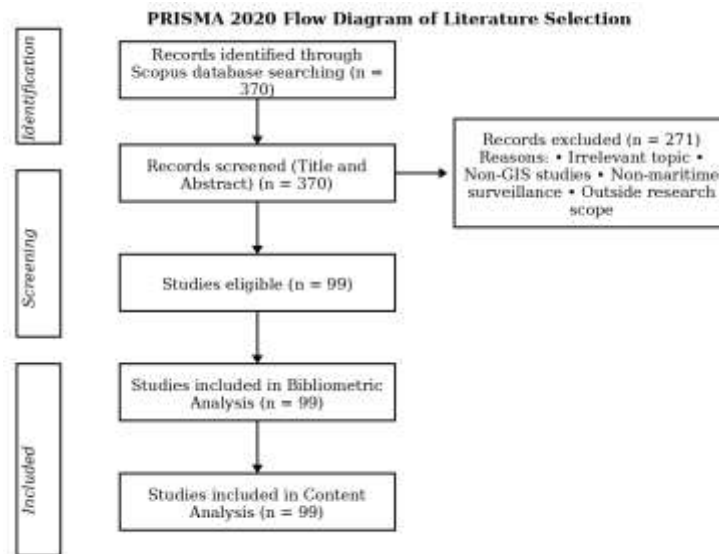
berada di luar cakupan penelitian yang ditetapkan. Hasil akhir dari proses seleksi ini adalah 99 artikel yang dinyatakan memenuhi seluruh kriteria kelayakan, sehingga seluruhnya dimasukkan baik ke dalam tahap bibliometric analysis maupun content analysis. Keseluruhan alur seleksi tersebut divisualisasikan dalam diagram alur PRISMA 2020. Pendekatan pelaporan berbasis PRISMA 2020 ini konsisten dengan praktik pelaporan tinjauan sistematis yang telah banyak diadopsi pada berbagai bidang keilmuan untuk meningkatkan akurasi dan keterbacaan proses seleksi literatur (Parums, 2021).

Analisis bibliometrik terhadap 99 artikel yang lolos seleksi dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer, yang dipilih karena kemampuannya menghasilkan visualisasi jejaring keilmuan secara intuitif serta kemudahannya diintegrasikan dengan data metadata dari Scopus (Husaeni & Nandiyanto, 2021). Unit analisis yang digunakan adalah *Author Keywords*, karena kata kunci yang ditetapkan langsung oleh penulis dinilai lebih representatif dalam menggambarkan fokus dan kontribusi utama setiap artikel dibandingkan kata kunci indeks yang dihasilkan basis data secara otomatis. Analisis dilakukan melalui pendekatan *co-occurrence analysis*, yang memetakan keterkaitan antar kata kunci berdasarkan frekuensi kemunculan bersama dalam artikel yang sama, sehingga memungkinkan identifikasi kluster tematik utama dalam penelitian GIS pada *maritime surveillance* (Du et al., 2024; Klarin, 2024). Metode penghitungan yang digunakan adalah *full counting*, yang memberikan bobot yang sama pada setiap kemunculan kata kunci tanpa memperhitungkan jumlah kata kunci lain dalam artikel yang sama, sehingga menghasilkan gambaran jejaring yang lebih merepresentasikan frekuensi kemunculan aktual dibandingkan pendekatan *fractional counting*. Ambang batas minimum *occurrence* ditetapkan sebesar dua, dengan pertimbangan bahwa nilai tersebut cukup untuk menyaring kata kunci yang benar-benar berulang tanpa menghilangkan tema spesifik yang relevan, mengingat jumlah artikel yang dianalisis relatif terbatas. Sebelum visualisasi dilakukan, seluruh kata kunci diproses menggunakan thesaurus file untuk menyatukan variasi penulisan, singkatan, maupun sinonim istilah yang merujuk pada konsep yang sama, misalnya antara "*Geographic Information System*" dan "GIS", atau antara "*unmanned aerial vehicle*" dan "UAV", sehingga akurasi pemetaan jejaring dapat ditingkatkan. Pendekatan bibliometrik semacam ini telah banyak diterapkan pada berbagai bidang keilmuan lain untuk memetakan tren dan struktur intelektual suatu topik penelitian secara sistematis (Kuzior & Sira, 2022). Hasil analisis divisualisasikan melalui tiga jenis tampilan, yaitu *network visualization* untuk menunjukkan keterkaitan dan kluster antar kata kunci, *overlay visualization* untuk menggambarkan perkembangan tren penelitian dari waktu ke waktu, dan *density visualization* untuk mengidentifikasi kata kunci yang paling dominan berdasarkan intensitas kemunculannya dalam jejaring.

Setelah tahap analisis bibliometrik, dilakukan content analysis secara mendalam terhadap keseluruhan 99 artikel guna melengkapi pemetaan kuantitatif dengan sintesis kualitatif yang lebih rinci (Klarin, 2024). Setiap artikel dikodifikasi berdasarkan enam aspek utama, yaitu tujuan penelitian, metode penelitian, objek atau lokasi kajian, teknologi yang diterapkan, temuan utama, serta keterbatasan atau research gap yang diidentifikasi oleh masing-masing penulis. Proses ekstraksi ini dilakukan secara sistematis menggunakan matriks kodifikasi agar setiap artikel dapat dibandingkan secara konsisten pada dimensi yang sama. Artikel-artikel yang memiliki kemiripan tema kemudian dikelompokkan ke dalam kluster topik yang saling melengkapi, sejalan dengan pola kluster yang telah teridentifikasi melalui *co-occurrence analysis* pada tahap bibliometrik. Pendekatan pengelompokan tematik semacam ini konsisten dengan cara sintesis yang digunakan pada tinjauan sistematis serupa mengenai penerapan GIS pada

domain maritim (Isbaex et al., 2025) maupun pada tinjauan metode fusi data multisensor dalam *maritime surveillance* (Şahin et al., 2026). Sintesis lintas klaster ini digunakan untuk mengidentifikasi pola perkembangan penelitian secara kronologis, mengungkap keterbatasan metodologis maupun tematik yang berulang pada literatur yang ada, serta merumuskan research gap yang menjadi dasar bagi arah penelitian masa depan. Dengan menggabungkan hasil pemetaan kuantitatif dari VOSviewer dan sintesis kualitatif dari content analysis, penelitian ini menghasilkan gambaran yang komprehensif mengenai struktur intelektual, tren tematik, dan arah perkembangan penelitian GIS dalam *maritime surveillance*.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. PRISMA Flow Diagram
(Sumber: diolah penulis, 2026)

Proses seleksi literatur pada penelitian ini menghasilkan struktur data yang menjadi landasan bagi seluruh analisis bibliometrik dan content analysis pada bab ini. Penelusuran awal pada basis data *Scopus* menghasilkan 370 dokumen yang relevan dengan kata kunci pencarian terkait *Geographic Information System* dan *maritime surveillance*. Dari 370 artikel tersebut, dilakukan proses screening judul dan abstrak secara sistematis, yang berujung pada eliminasi 271 artikel. Eliminasi ini didasarkan pada empat kategori alasan utama, yaitu topik yang tidak relevan dengan fokus kajian, penelitian yang tidak menggunakan pendekatan *Geographic Information System*, penelitian yang tidak berada pada konteks *maritime surveillance*, serta artikel yang secara substansial berada di luar ruang lingkup penelitian yang telah ditetapkan.

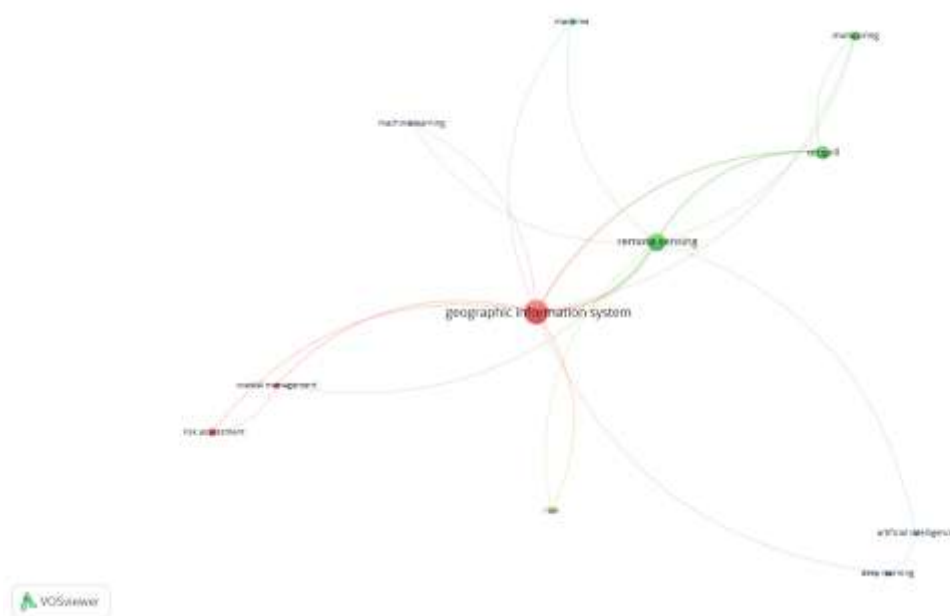
Hasil akhir dari proses penyaringan ini menyisakan 99 artikel yang memenuhi kriteria kelayakan (*eligibility*) untuk dianalisis lebih lanjut. Seluruh 99 artikel tersebut digunakan secara konsisten pada dua tahap analisis berikutnya, yaitu analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer dan content analysis mendalam terhadap isi masing-masing artikel. Konsistensi jumlah artikel pada kedua tahap analisis ini penting untuk menjaga keterlacakan (*traceability*) antara temuan bibliometrik yang bersifat makro dengan temuan content analysis yang bersifat mikro, sehingga sintesis pada akhir bab ini dapat dibangun di atas fondasi data yang sama.

Tingkat eliminasi yang mencapai lebih dari 73% dari total dokumen awal (271 dari 370 artikel) mengindikasikan bahwa istilah pencarian yang digunakan bersifat luas, sehingga menjaring dokumen-dokumen dari domain yang berdekatan namun tidak selalu

berada pada inti kajian *Geographic Information System* untuk *maritime surveillance*. Kondisi ini lazim ditemukan pada penelusuran basis data besar seperti Scopus, mengingat istilah seperti “*Geographic Information System*” dan “*Monitoring*” bersifat generik dan digunakan lintas disiplin ilmu, mulai dari kajian lingkungan pesisir, kesehatan masyarakat, hingga tata kelola sumber daya alam. Proses screening dua tahap sebagaimana direkomendasikan dalam kerangka PRISMA 2020 (Page et al., 2020; Page et al., 2021) memungkinkan penyaringan bertahap yang mengurangi bias inklusi sekaligus menjaga transparansi metodologis, sebagaimana ditegaskan pula oleh Page, Moher, dan McKenzie (2021) mengenai pentingnya pelaporan alur seleksi yang eksplisit bagi keterulangan (*reproducibility*) tinjauan sistematis.

Hasil *content analysis* terhadap 99 artikel terpilih menunjukkan bahwa korpus akhir ini memiliki sebaran topik yang cukup heterogen. Sebagian besar artikel memang berada pada inti kajian yang dituju, yaitu pemantauan tumpahan minyak, pengelolaan wilayah pesisir, penginderaan jauh maritim, penerapan kecerdasan buatan dan machine learning, serta penilaian risiko maritim. Namun demikian, ditemukan pula sejumlah artikel yang meskipun menggunakan pendekatan *Geographic Information System*, topik substantifnya berada pada domain yang lebih jauh dari inti *maritime surveillance*, seperti pemantauan kontaminasi logam berat pada sedimen pesisir, evaluasi kualitas air, hingga pemetaan penyakit hewan berbasis daratan. Kondisi ini akan dibahas lebih lanjut sebagai bagian dari evaluasi kritis terhadap presisi kata kunci pencarian pada Subbab *Content Analysis* dan sub bab Sintesis Temuan, karena hal tersebut memiliki implikasi terhadap interpretasi kekuatan dan kelemahan korpus penelitian ini secara keseluruhan.

Analisis Co-occurrence Author Keywords



Gambar 2. *Network Visualization of Author Keywords*

(Sumber: VOSviewer, diolah penulis(2026))

Analisis *co-occurrence* terhadap author keywords dari 99 artikel terpilih, yang diproses menggunakan *VOSviewer* mengikuti protokol yang direkomendasikan oleh Du et al. (2024) dan Husaeni dan Nandiyanto (2021), menghasilkan struktur jaringan yang terbagi ke dalam enam klaster tematik. Pembentukan enam klaster ini bukan semata-mata artefak algoritmik dari proses clustering *VOSviewer*, melainkan merefleksikan pengelompokan konseptual yang koheren dari perkembangan riset GIS dalam konteks *maritime surveillance* selama periode publikasi yang dicakup oleh korpus ini.

Klaster pertama mengelompokkan *Geographic Information System* bersama *Coastal Management* dan *Risk Assessment*, merepresentasikan garis penelitian yang berfokus pada pemanfaatan GIS untuk pengelolaan wilayah pesisir dan penilaian risiko lingkungan maritim. Klaster kedua menyatukan *Remote Sensing*, *Oil Spill*, dan *Monitoring*, mencerminkan aliran riset yang secara spesifik memanfaatkan penginderaan jauh untuk pemantauan maritim, khususnya deteksi dan pemantauan tumpahan minyak. Klaster ketiga terdiri atas *Artificial Intelligence* dan *Deep Learning*, merepresentasikan pendekatan kecerdasan buatan dalam analisis data geospasial. Klaster keempat berisi kata kunci Risk secara mandiri, mengindikasikan kajian mengenai analisis risiko dalam domain maritim yang belum sepenuhnya terintegrasi dengan klaster metodologis lainnya. Klaster kelima terdiri atas *Machine learning* sebagai metode analisis spasial yang berdiri sendiri, sementara klaster keenam berisi kata kunci Maritime yang merepresentasikan konteks penerapan penelitian secara umum pada domain maritim.

Ringkasan keenam klaster tersebut, beserta interpretasi konseptualnya, disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 1. Interpretasi Klaster *Co-occurrence Author Keywords*

Klaster	Kata Kunci Utama	Interpretasi
Klaster 1	<i>Geographic Information System, Coastal Management, Risk Assessment</i>	Pemanfaatan GIS dalam pengelolaan wilayah pesisir dan penilaian risiko
Klaster 2	<i>Remote Sensing, Oil Spill, Monitoring</i>	Pemanfaatan penginderaan jauh untuk pemantauan maritim, khususnya deteksi tumpahan minyak
Klaster 3	<i>Artificial Intelligence, Deep Learning</i>	Pendekatan kecerdasan buatan dalam analisis data geospasial
Klaster 4	Risk	Kajian mengenai analisis risiko dalam domain maritim
Klaster 5	Machine Learning	Pemanfaatan <i>machine learning</i> sebagai metode analisis spasial
Klaster 6	Maritime	Konteks penerapan penelitian pada domain maritim

(Sumber: diolah penulis, 2026)

Pembentukan enam klaster yang terpisah, alih-alih tergabung menjadi klaster yang lebih sedikit dan lebih besar, mengindikasikan bahwa *co-occurrence* antar-istilah metodologis (*Machine Learning, Artificial Intelligence, Deep Learning*) dengan istilah substantif (*Oil Spill, Coastal Management, Risk Assessment*) masih relatif jarang terjadi secara bersamaan dalam satu artikel yang sama. Dengan kata lain, mayoritas penelitian dalam korpus ini masih menempatkan GIS dan *Remote Sensing* sebagai instrumen inti, sementara pendekatan kecerdasan buatan dan *machine learning* baru muncul sebagai lapisan analitik tambahan pada sebagian kecil studi, sehingga secara bibliometrik belum terjalin erat dengan klaster inti. Pola ini konsisten dengan temuan pada content analysis, yang memperlihatkan bahwa artikel-artikel yang mengintegrasikan *Deep Learning* dengan pemantauan tumpahan minyak (misalnya Lau & Huang, 2024) atau *machine learning* dengan deteksi objek maritim (misalnya Pols et al., 2025) masih berjumlah relatif terbatas dibandingkan artikel yang menggunakan analisis spasial GIS konvensional.

Makna konseptual dari struktur klaster ini juga menunjukkan hubungan antarklaster yang tidak simetris. Klaster 1 (GIS, *Coastal Management, Risk Assessment*) dan Klaster 2 (*Remote Sensing, Oil Spill, Monitoring*) menunjukkan keterhubungan yang erat karena keduanya sama-sama berakar pada penggunaan data spasial untuk pemantauan lingkungan maritim, sebagaimana tercermin pada artikel-artikel yang mengintegrasikan penginderaan jauh dengan pengelolaan pesisir (misalnya Apostolopoulos & Nikolakopoulos, dalam konteks metodologi umum RS-GIS; Krishnamoorthy et al., 2025).

Sebaliknya, Klaster 3 (*Artificial Intelligence, Deep Learning*) dan Klaster 5 (*Machine Learning*) berada pada posisi yang relatif terpisah dari klaster inti, mengindikasikan bahwa integrasi kecerdasan buatan ke dalam arus utama penelitian GIS maritim masih berada pada tahap awal perkembangan (*emerging*), bukan tahap matang (*established*).

Cluster dominan dalam jaringan ini adalah kombinasi Klaster 1 dan Klaster 2, yang secara agregat menaungi mayoritas node dengan ukuran (*occurrence*) terbesar, yaitu *Geographic Information System, Remote Sensing*, dan *Oil Spill*. Dominasi ini konsisten dengan hasil content analysis, di mana tema GIS dan *Remote Sensing* (23 artikel) serta GIS untuk *Oil Spill Monitoring* (16 artikel) dan GIS untuk *Coastal Management* (37 artikel) secara kumulatif meliputi lebih dari tujuh puluh lima persen dari keseluruhan korpus 99 artikel (dibahas rinci pada Subbab 3.6), sementara tema *Artificial Intelligence* (6 artikel) dan *Machine learning* (3 artikel) hanya mencakup sebagian kecil dari korpus.

Geographic Information System menjadi pusat jaringan (*centrality* tertinggi) karena secara metodologis GIS berfungsi sebagai kerangka integratif yang menyatukan berbagai jenis data spasial baik data optik, radar, maupun data posisi kapal ke dalam satu sistem analisis dan visualisasi yang koheren. Studi-studi yang termasuk dalam Klaster 1, seperti pemetaan kerentanan lingkungan pesisir (Fatehian et al., 2018), analisis multikriteria untuk perencanaan wilayah pesisir (Ahmad et al., 2025), maupun penilaian risiko struktur pelabuhan (Repetto et al., 2018), seluruhnya menempatkan GIS sebagai kerangka analisis utama tempat data lain baik data lingkungan, sosial, maupun risiko diintegrasikan. Posisi sentral ini menjelaskan mengapa GIS memiliki keterhubungan (*co-occurrence*) dengan hampir seluruh node lain dalam jaringan, sebagaimana tervisualisasikan melalui banyaknya garis penghubung yang berpangkal dari node *Geographic Information System*.

Remote Sensing memiliki hubungan paling kuat dengan GIS karena kedua teknologi ini bersifat komplementer secara fungsional: penginderaan jauh menyediakan data mentah (citra satelit, radar, atau sensor udara), sedangkan GIS menyediakan kerangka kerja untuk mengolah, menganalisis, dan memvisualisasikan data tersebut secara spasial. Ketebalan garis penghubung (*edge weight*) antara kedua node ini pada visualisasi jaringan mengonfirmasi intensitas ko-kemunculan yang tinggi, sebagaimana tercermin pada studi-studi yang secara eksplisit menggabungkan kedua pendekatan tersebut, misalnya pemantauan tumpahan minyak menggunakan citra Sentinel dan GIS (Abou Samra & Ali, 2022; Ivanov et al., 2022, 2024), pemantauan perubahan garis pantai (Ktari et al., 2026), maupun pemetaan sampah laut menggunakan citra UAV (Bao et al., 2018). Ketergantungan fungsional inilah yang menjelaskan mengapa hubungan GIS-*Remote Sensing* menjadi salah satu tautan terkuat dalam keseluruhan jaringan.

Sementara itu, *Artificial Intelligence, Machine Learning*, dan *Deep Learning* masih merupakan tema berkembang (*emerging themes*) dalam korpus ini karena tiga alasan yang saling terkait. Pertama, secara kuantitas, jumlah artikel yang secara eksplisit mengintegrasikan pendekatan ini ke dalam analisis GIS maritim relatif kecil dibandingkan pendekatan spasial konvensional, sebagaimana ditunjukkan pada content analysis (9 dari 99 artikel tergolong Tema *Artificial Intelligence* dan *Machine learning* secara gabungan). Kedua, secara temporal, sebagian besar artikel yang mengusung pendekatan ini dipublikasikan pada tahun-tahun terakhir cakupan data (2023–2026), sebagaimana akan diperjelas pada pembahasan overlay visualization di Subbab 3.4. Ketiga, secara posisional dalam jaringan, node *Artificial Intelligence* dan *Deep Learning* berada pada tepi peta (*periphery*) dengan jumlah tautan yang lebih sedikit dibandingkan node inti seperti *Geographic Information System* dan *Remote Sensing*, sebagaimana tampak pada Figure 3, yang mengindikasikan bahwa kolaborasi konseptual antara AI/ML dengan tema pesisir dan maritim tradisional masih dalam tahap pembentukan.

Implikasi dari struktur jaringan ini terhadap perkembangan penelitian GIS dalam *maritime surveillance* adalah bahwa arah riset ke depan kemungkinan besar akan bergerak menuju penguatan jembatan konseptual antara klaster metodologis konvensional (GIS, *Remote Sensing*) dengan klaster kecerdasan buatan yang masih berkembang. Studi seperti Ren et al. (2025) yang mengintegrasikan multisensor *Remote Sensing* dengan *long short-term memory* (LSTM) untuk klasifikasi resiliensi kawasan pesisir, atau Pols et al. (2025) yang mengombinasikan *machine learning* dengan inferensi topografis untuk deteksi kapal karam, dapat dipandang sebagai preseden awal dari arah integrasi tersebut, yang berpotensi menjadi arus utama riset pada periode mendatang.

Network Visualization

Interpretasi posisi setiap kata kunci pada network visualization memberikan pemahaman yang lebih rinci mengenai peran fungsional masing-masing konsep dalam struktur pengetahuan yang terbentuk.

Geographic Information System. Sebagai node dengan ukuran terbesar dan berada tepat di pusat jaringan, *Geographic Information System* berfungsi sebagai simpul integratif yang menghubungkan hampir seluruh tema lain, mulai dari *Coastal Management*, *Risk Assessment*, hingga *Remote Sensing* dan *Oil Spill*. Posisi sentral ini konsisten dengan peran GIS sebagai kerangka metodologis dasar pada mayoritas artikel dalam korpus, baik yang berfokus pada pemantauan tumpahan minyak (Balogun et al., 2021; Valdor et al., 2016), pengelolaan pesisir (Fatehian et al., 2018; Seifi et al., 2019), maupun penilaian risiko (Repetto et al., 2018). Kontribusi GIS terhadap perkembangan penelitian terletak pada kapasitasnya sebagai wadah integrasi data lintas sumber, yang memungkinkan sintesis data lingkungan, sosial, dan risiko dalam satu kerangka analisis spasial yang konsisten.

Remote Sensing. Berada tepat di sebelah node GIS dengan ukuran node terbesar kedua, *Remote Sensing* menempati posisi krusial sebagai penyedia data utama bagi analisis spasial maritim. Hubungannya dengan GIS bersifat saling melengkapi dan paling kuat di antara seluruh pasangan node dalam jaringan. Perkembangan konsep *Remote Sensing* dalam korpus ini terlihat dari beragamnya sumber data yang digunakan, mulai dari citra Sentinel-1/2 berbasis radar (Abou Samra & Ali, 2022; Ivanov et al., 2022), citra UAV untuk pemantauan sampah pantai (Bao et al., 2018), hingga integrasi data multisensor untuk klasifikasi resiliensi pesisir (Ren et al., 2025). Kontribusinya terhadap perkembangan penelitian adalah menyediakan basis data observasional berkala dan berskala luas yang tidak dapat diperoleh melalui survei lapangan konvensional.

Oil Spill. Node ini memiliki ukuran besar dan posisi yang berdekatan dengan *Remote Sensing* serta *Monitoring*, mencerminkan konsentrasi riset yang signifikan pada topik pemantauan tumpahan minyak sebagai salah satu aplikasi maritim yang paling matang dalam pemanfaatan GIS dan penginderaan jauh. Studi-studi seperti Ivanov et al. (2022, 2024) di Laut Barents dan Teluk Persia, Bing et al. (2019) di Laut Bohai, serta Otay et al. (2025) mengenai pemetaan risiko multifaktor tumpahan minyak menunjukkan bahwa topik ini telah berkembang dari sekadar deteksi menjadi pemodelan trajektori dan penilaian kerentanan lingkungan (Zhang et al., 2024). Hubungannya dengan keyword lain menunjukkan keterkaitan erat dengan *Remote Sensing* (sebagai sumber data) dan *Monitoring* (sebagai fungsi operasional), serta mulai terhubung dengan *Deep Learning* pada studi-studi terbaru (Lau & Huang, 2024).

Monitoring. Berperan sebagai node fungsional yang menghubungkan aspek teknis (*Remote Sensing*, GIS) dengan aspek operasional (*Oil Spill*, *Coastal Management*), *Monitoring* merepresentasikan fungsi keberlanjutan pengamatan yang menjadi tujuan akhir dari sebagian besar aplikasi GIS maritim. Perkembangan konsep ini terlihat pada evolusi dari sistem pemantauan konvensional yang bersifat episodik menuju sistem

pemantauan berkelanjutan dan berbasis web, sebagaimana dicontohkan oleh sistem pemantauan proaktif lingkungan maritim (Moroni et al., 2016) dan sistem peringatan dini pasang surut berbasis GIS (Lin, 2017).

Coastal Management. Node ini berada pada klaster yang sama dengan GIS dan *Risk Assessment*, merepresentasikan penerapan GIS pada tata kelola dan pengelolaan wilayah pesisir. Posisinya yang relatif berjarak dari klaster *Remote Sensing-Oil Spill* mengindikasikan bahwa penelitian pengelolaan pesisir dalam korpus ini lebih banyak berorientasi pada aspek manajerial dan partisipatif, seperti sistem informasi geografis partisipatif untuk pemantauan polusi (Fatehian et al., 2018), perencanaan tata ruang laut untuk mengatasi konflik antarsektor (Yang et al., 2024), dan indikator risiko ekspor nutrisi dari daratan ke laut (Ahmad et al., 2025), dibandingkan pada aspek teknis penginderaan jauh murni. Kontribusinya terhadap perkembangan penelitian terletak pada penyediaan kerangka kebijakan dan tata kelola yang mengintegrasikan data spasial ke dalam pengambilan keputusan.

Risk Assessment, berdekatan dengan *Coastal Management* dalam struktur klaster, *Risk Assessment* merepresentasikan orientasi penelitian pada kuantifikasi dan pemetaan risiko lingkungan dan keselamatan maritim. Perkembangan konsep ini tampak jelas pada beragamnya jenis risiko yang dikaji, mulai dari risiko kontaminasi logam berat pada sedimen (Kuang et al., 2023; Lin et al., 2026), risiko radiologis pada pasir pantai (Zesha et al., 2026), hingga risiko keselamatan pelayaran seperti tabrakan kapal (Firdaus et al., 2026) dan pembajakan maritim (Küçük et al., 2025). Keberagaman ini menunjukkan bahwa *Risk Assessment* berfungsi sebagai tema payung yang menaungi berbagai subdomain risiko, namun sebagian besar masih dianalisis secara terpisah dari pendekatan *machine learning* yang idealnya dapat meningkatkan akurasi prediksi risiko.

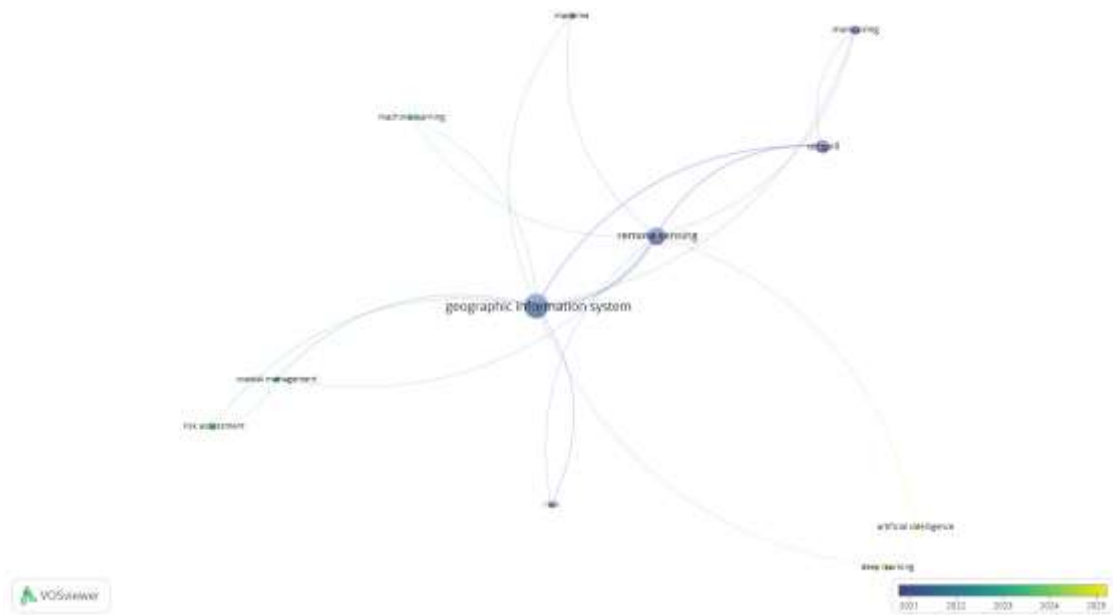
Machine Learning, berada pada posisi yang relatif terisolasi di bagian kiri atas peta jaringan dengan ukuran node yang kecil, *Machine learning* menunjukkan keterhubungan langsung dengan *Coastal Management* dan *Risk Assessment*, namun belum menunjukkan integrasi erat dengan *Oil Spill* maupun *Remote Sensing* dalam *co-occurrence* keyword. Studi yang mewakili tema ini antara lain evaluasi salinitas air permukaan menggunakan pendekatan *machine learning* (Borovskaya et al., 2022) dan inovasi *machine learning* untuk pemantauan pembuangan minyak kapal (Camliyurt et al., 2024). Posisi perifer ini mengindikasikan bahwa *machine learning* belum menjadi metode arus utama, melainkan masih berperan sebagai pendekatan komplementer pada studi-studi tertentu.

Artificial Intelligence. Berada di sudut kanan bawah peta jaringan, berdekatan dengan *Deep Learning*, node *Artificial Intelligence* menunjukkan keterhubungan dengan *Geographic Information System* namun dengan bobot tautan yang relatif tipis, mengindikasikan hubungan yang belum intensif. Studi representatif dalam tema ini mencakup *review* pemanfaatan AI dan drone untuk asesmen sampah laut (Gayathri et al., 2025) serta analisis multisensor berbasis AI untuk klasifikasi resiliensi pesisir dan perkotaan (Ren et al., 2025). Posisi ini menegaskan bahwa AI dalam konteks GIS maritim masih berada pada tahap eksplorasi awal, dengan potensi pengembangan lebih lanjut ke arah otomatisasi analisis spasial (*Autonomous GIS*).

Deep Learning, sebagai node dengan ukuran terkecil dan berada di posisi paling perifer pada peta jaringan, *Deep Learning* menunjukkan bahwa penerapan pembelajaran mendalam dalam korpus penelitian ini masih sangat terbatas, meskipun tautannya dengan *Artificial Intelligence* relatif kuat. Studi seperti deteksi tumpahan minyak dekat pantai menggunakan U-Net dan Mask R-CNN (Lau & Huang, 2024) serta klasifikasi jenis operasi penangkapan ikan menggunakan convolutional neural network multi-cabang (Jiang & Zhou, 2025) menunjukkan bahwa *Deep Learning* mulai diaplikasikan pada

persoalan spesifik, namun belum menjadi arus utama metodologi dalam penelitian GIS untuk *maritime surveillance* secara keseluruhan. Secara keseluruhan, posisi relatif setiap keyword pada network visualization ini menggambarkan sebuah lanskap penelitian yang masih didominasi oleh pendekatan GIS dan *Remote Sensing* konvensional, dengan pendekatan kecerdasan buatan yang baru mulai merambah ke pinggiran jaringan pengetahuan. Pola ini menjadi dasar penting bagi interpretasi evolusi temporal pada overlay visualization berikutnya.

Overlay Visualization



Gambar 3. *Overlay Visualization of Author Keywords*

(Sumber: VOSviewer, diolah penulis (2026))

Overlay visualization memberikan dimensi temporal terhadap struktur jaringan kata kunci yang telah dibahas sebelumnya, dengan gradasi warna yang merepresentasikan rentang waktu kemunculan rata-rata (*average publication year*) setiap kata kunci, mulai dari warna biru tua (sekitar tahun 2021) hingga warna kuning (sekitar tahun 2025). Pembacaan gradasi ini memungkinkan rekonstruksi evolusi fokus penelitian GIS dalam *maritime surveillance* dari waktu ke waktu, bukan sekadar pemetaan keterkaitan konseptual semata. Pada tahap awal perkembangan riset (direpresentasikan oleh warna biru tua hingga hijau kebiruan), fokus penelitian terkonsentrasi pada tiga tema utama, yaitu *Geographic Information System*, *Coastal Management*, dan *Risk Assessment*. Tema-tema ini merepresentasikan generasi awal penelitian yang menempatkan GIS sebagai instrumen dasar untuk pengelolaan wilayah pesisir dan penilaian risiko lingkungan secara umum, sebagaimana tercermin pada studi-studi dengan pendekatan spasial konvensional seperti pemetaan kerentanan lingkungan pesisir menggunakan volunteered geographic information (Fatehian et al., 2018), analisis fuzzy logam berat pada sedimen Teluk Daya (Gu et al., 2016), dan pemetaan risiko lingkungan tumpahan minyak menggunakan toolbox GIS (Valdor et al., 2016). Pada fase ini, penekanan penelitian lebih banyak berorientasi pada pemetaan kondisi eksisting dan penilaian risiko statis, dengan keterlibatan teknologi penginderaan jauh yang masih terbatas.

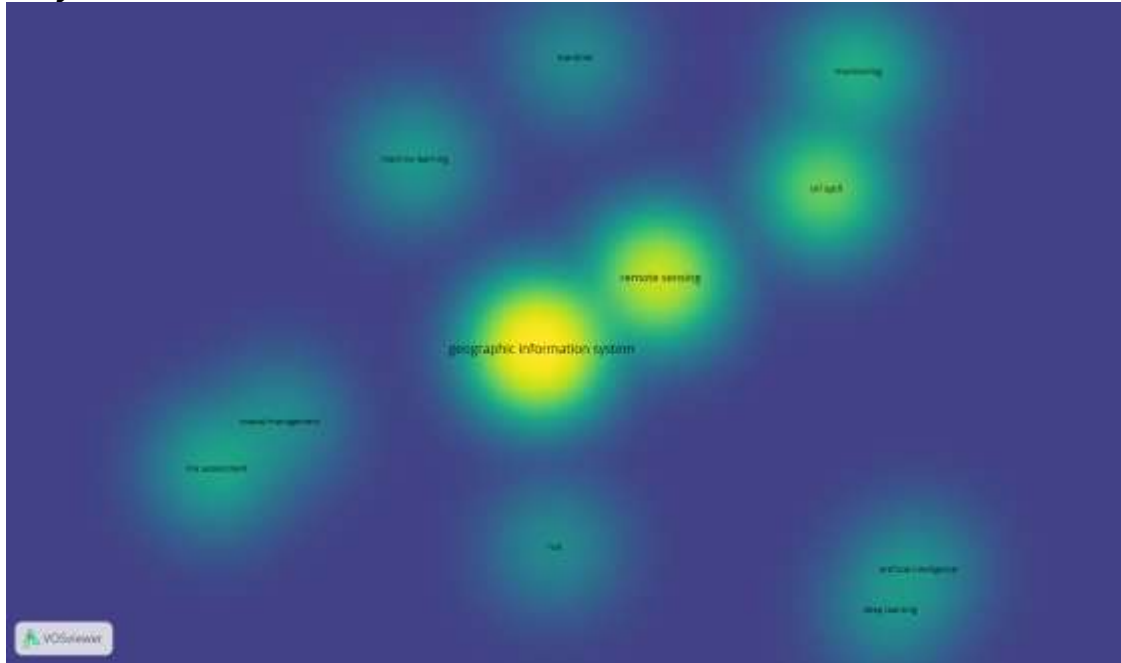
Tahap berkembang (direpresentasikan oleh warna hijau hingga hijau kekuningan) ditandai oleh pergeseran fokus menuju *Remote Sensing* dan *Oil Spill Monitoring* sebagai tema yang semakin dominan. Pergeseran ini mencerminkan meningkatnya ketersediaan dan aksesibilitas data penginderaan jauh, khususnya citra satelit Sentinel, yang

memungkinkan pemantauan tumpahan minyak secara lebih presisi dan berkala. Studi-studi pada fase ini, seperti pemantauan tumpahan minyak di Delta Nil menggunakan data Sentinel (Abou Samra & Ali, 2022), pemantauan multitalahun tumpahan minyak di Laut Barents menggunakan synthetic aperture radar (Ivanov et al., 2022), serta integrasi GIS dan penginderaan jauh untuk memantau perubahan garis pantai (Ktari et al., 2026), menunjukkan konsolidasi metodologis antara GIS dan teknologi penginderaan jauh sebagai pasangan metodologi inti dalam riset maritim.

Tahap terbaru (direpresentasikan oleh warna kuning) menunjukkan kemunculan tema *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, dan *Deep Learning* sebagai lapisan analitik baru yang mulai diintegrasikan ke dalam kerangka GIS dan penginderaan jauh yang telah mapan. Studi representatif pada fase termutakhir ini antara lain pemantauan tumpahan minyak dekat pantai menggunakan *Deep Learning* dan GIS (Lau & Huang, 2024), klasifikasi resiliensi kawasan pesisir dan perkotaan menggunakan penginderaan jauh multisensor berbasis kecerdasan buatan (Ren et al., 2025), pengenalan jenis operasi penangkapan ikan menggunakan convolutional neural network (Jiang & Zhou, 2025), serta deteksi kapal karam menggunakan kombinasi *machine learning* dan inferensi topografis (Pols et al., 2025). Rangkaian studi ini menandai babak baru penelitian GIS maritim, di mana kecerdasan buatan tidak lagi digunakan sebagai alat pelengkap, melainkan mulai menjadi komponen analitik inti yang terintegrasi dengan data spasial dan penginderaan jauh.

Pergeseran fokus penelitian dari GIS, *Coastal Management*, dan *Risk Assessment* menuju *Remote Sensing* dan *Oil Spill Monitoring*, kemudian berkembang lebih lanjut ke *Machine Learning*, *Artificial Intelligence*, dan *Deep Learning*, dapat dimaknai sebagai evolusi tiga fase yang berkesinambungan: fase pemetaan dan penilaian kondisi (deskriptif), fase pemantauan aktif berbasis penginderaan jauh (observasional), dan fase analisis prediktif serta otomatisasi berbasis kecerdasan buatan (prediktif-analitik). Pola evolusi tiga fase ini akan menjadi kerangka utama pembahasan pada Sintesis Temuan. Perlu dicatat secara kritis bahwa dalam korpus 99 artikel yang dianalisis, referensi eksplisit terhadap teknologi pendukung seperti Sentinel dan synthetic aperture radar (SAR) memang ditemukan secara nyata (Abou Samra & Ali, 2022; Ivanov et al., 2022, 2024; Santamaria et al., 2017 dalam konteks metodologi Sentinel-1), begitu pula penggunaan UAV untuk pemantauan sampah pantai (Bao et al., 2018). Namun demikian, istilah-istilah seperti *Cloud GIS*, *Big Data Geospatial*, *GeoAI*, dan *Internet of Things* (IoT) tidak muncul secara eksplisit sebagai author keyword yang signifikan pada peta overlay yang dianalisis dalam penelitian ini. Oleh karena itu, sesuai dengan prinsip kehati-hatian akademik yang hanya menyimpulkan sesuatu berdasarkan bukti yang tersedia, perkembangan menuju teknologi-teknologi tersebut pada bab ini diposisikan sebagai arah proyeksi masa depan berdasarkan pola tren yang teramati, bukan sebagai temuan definitif yang telah terverifikasi keberadaannya secara eksplisit dalam data *co-occurrence* kata kunci penelitian ini.

Density Visualization



Gambar 4. *Density Visualization of Author Keywords*

(Sumber: VOSviewer, diolah penulis (2026))

Density visualization memberikan perspektif komplementer terhadap *network* dan *overlay visualization* dengan menonjolkan intensitas kepadatan penelitian pada setiap area tematik, di mana warna kuning terang merepresentasikan hotspot dengan kepadatan penelitian tertinggi, dan warna hijau kebiruan hingga biru tua merepresentasikan area dengan kepadatan penelitian yang lebih rendah. *Geographic Information System* menjadi hotspot utama dengan intensitas warna kuning paling terang dan area cakupan (halo) paling luas pada keseluruhan peta. Hal ini mengonfirmasi kembali temuan pada *network visualization* bahwa GIS berfungsi sebagai kerangka metodologis dasar yang digunakan hampir pada seluruh artikel dalam korpus, baik sebagai metode utama maupun sebagai komponen pendukung dalam kombinasi dengan metode lain. Kepadatan yang tinggi pada node ini mengindikasikan bahwa penelitian mengenai GIS dalam konteks maritim telah mencapai tingkat kematangan (*maturity*) yang tinggi, dengan basis pengetahuan yang luas dan mapan, sebagaimana tercermin dari banyaknya variasi aplikasi GIS yang teridentifikasi dalam content analysis, mulai dari pengelolaan pesisir hingga pemantauan tumpahan minyak.

Remote Sensing, *Oil Spill*, dan *Monitoring* secara bersama-sama membentuk hotspot kedua dengan intensitas kepadatan yang juga tinggi, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan *Geographic Information System*. Konsentrasi kepadatan pada ketiga tema ini mencerminkan bahwa pemantauan tumpahan minyak menggunakan penginderaan jauh merupakan salah satu aplikasi paling matang dan paling banyak diteliti dalam domain GIS maritim, dengan basis metodologis yang telah terstandardisasi, seperti penggunaan citra SAR untuk deteksi tumpahan minyak (Ivanov et al., 2022, 2024; Bing et al., 2019) dan integrasi model trajektori GNOME dengan GIS (Balogun et al., 2021). Tingginya kepadatan pada klaster ini menegaskan bahwa topik *Oil Spill Monitoring* telah menjadi arus utama (mainstream) riset GIS maritim selama periode yang dicakup oleh korpus penelitian ini.

Sebaliknya, *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, dan *Deep Learning* masih belum menjadi hotspot dominan, ditunjukkan oleh warna yang jauh lebih redup (mendekati biru tua) dan area cakupan yang jauh lebih sempit dibandingkan node-node inti lainnya. Rendahnya kepadatan ini bukan semata-mata karena ketiadaan penelitian pada tema

tersebut, melainkan karena jumlah artikel yang secara eksplisit mengintegrasikan pendekatan tersebut ke dalam kerangka GIS maritim memang masih relatif sedikit dalam korpus 99 artikel yang dianalisis (Tema *Artificial Intelligence* dan *Machine learning* secara gabungan hanya mencakup sembilan artikel, sebagaimana dijabarkan pada Subbab 3.6).

Kondisi rendahnya kepadatan pada tema kecerdasan buatan ini menunjukkan adanya peluang penelitian (*research opportunity*) yang signifikan, namun peluang tersebut perlu dimaknai secara hati-hati dan tidak serta-merta disebut sebagai “kesenjangan penelitian” (*research gap*) tanpa argumentasi yang memadai. Rendahnya kepadatan dapat pula mengindikasikan bahwa integrasi AI/ML ke dalam domain GIS maritim menghadapi tantangan riil, seperti keterbatasan ketersediaan data berlabel (*labeled data*) untuk pelatihan model, kompleksitas integrasi antara model pembelajaran mesin dengan sistem GIS konvensional, atau kebutuhan sumber daya komputasi yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan spasial tradisional. Bukti dari content analysis mendukung interpretasi ini: studi-studi yang berhasil mengintegrasikan *Deep Learning* dengan GIS, seperti Lau dan Huang (2024) yang menggunakan U-Net dan Mask R-CNN untuk deteksi tumpahan minyak dekat pantai, maupun Ren et al. (2025) yang mengintegrasikan LSTM dengan data multisensor untuk klasifikasi resiliensi pesisir, keduanya merupakan publikasi yang relatif baru (2024–2025), menandakan bahwa integrasi ini memang baru dimulai dan memerlukan waktu untuk mencapai tingkat kematangan metodologis yang setara dengan pendekatan GIS-*Remote Sensing* konvensional. Dengan demikian, kepadatan rendah pada kluster kecerdasan buatan lebih tepat dimaknai sebagai indikasi awal dari peluang pengembangan riset ke arah otomatisasi analisis spasial dan sistem pendukung keputusan berbasis kecerdasan buatan, yang perkembangannya dapat dipantau lebih lanjut melalui pertumbuhan jumlah publikasi pada periode mendatang, sebagaimana akan dielaborasi lebih jauh pada bagian Sintesis Temuan.

Content Analysis

Content analysis terhadap 99 artikel terpilih mengungkapkan gambaran yang lebih mendalam mengenai substansi penelitian yang berada di balik struktur bibliometrik yang telah dibahas pada subbab-subbab sebelumnya. Sebelum menguraikan sintesis tematik, perlu ditegaskan sebuah temuan kritis yang relevan bagi keseluruhan pembahasan: meskipun seluruh 99 artikel menggunakan pendekatan *Geographic Information System* dan berada dalam domain maritim atau pesisir secara luas, tidak seluruh artikel berada tepat pada inti kajian *maritime surveillance* sebagaimana dimaksudkan pada judul penelitian ini. Sebagian artikel menggunakan GIS sebagai instrumen analisis spasial, namun substansi penelitiannya lebih dekat pada kajian lingkungan dan kesehatan lingkungan pesisir dibandingkan pengawasan (*surveillance*) aktivitas maritim itu sendiri. Fenomena ini akan didiskusikan secara eksplisit sebagai bagian dari evaluasi kekuatan dan kelemahan korpus pada akhir subbab ini, karena hal tersebut memiliki implikasi penting terhadap presisi cakupan (scope precision) tinjauan sistematis ini.

Tema 1: GIS untuk Oil Spill Monitoring

Tema ini diwakili oleh enam belas artikel yang secara konsisten menggunakan GIS terintegrasi dengan data penginderaan jauh untuk mendeteksi, memetakan, dan memodelkan tumpahan minyak di perairan maritim. Metode yang digunakan pada tema ini didominasi oleh analisis spasial berbasis citra synthetic aperture radar (SAR), seperti pada pemantauan multitalahun tumpahan minyak di Laut Barents (Ivanov et al., 2022) dan Teluk Persia (Ivanov et al., 2024), maupun kombinasi citra optik dan radar Sentinel untuk pemantauan Delta Nil (Abou Samra & Ali, 2022). Sebagian artikel menggabungkan pendekatan spasial dengan model trajektori tumpahan, seperti model GNOME yang digunakan Balogun et al. (2021) untuk memetakan kerentanan lingkungan di Malaysia,

serta pendekatan pemetaan indeks sensitivitas lingkungan (environmental sensitivity index) yang direview secara komprehensif oleh D’Affonseca et al. (2023).

Kecenderungan penelitian pada tema ini menunjukkan pergeseran dari deteksi tumpahan minyak yang bersifat deskriptif menuju pemodelan prediktif dan penilaian risiko yang lebih terintegrasi. Studi-studi awal seperti Valdor et al. (2016) berfokus pada pengembangan toolbox GIS untuk menilai risiko lingkungan tumpahan minyak pada fasilitas pelabuhan, sementara studi yang lebih baru seperti Zhang et al. (2024) telah mengembangkan kerangka evaluasi kerentanan yang lebih komprehensif menggunakan pendekatan Pressure-Situation-Sensitivity-Recovery (PSSR) yang dipadukan dengan Analytic Hierarchy Process. Temuan utama dari tema ini secara konsisten menegaskan bahwa integrasi GIS dan data penginderaan jauh mampu meningkatkan akurasi deteksi lokasi dan luasan tumpahan minyak, sebagaimana ditunjukkan oleh Bing et al. (2019) di Laut Bohai yang berhasil mengkarakterisasi pola distribusi spasial tumpahan minyak menggunakan kombinasi citra satelit dan analisis GIS.

Persamaan yang menonjol di antara studi-studi pada tema ini adalah ketergantungan pada data SAR sebagai sumber utama deteksi, mengingat kemampuan radar untuk menembus tutupan awan dan beroperasi pada kondisi malam hari, sehingga cocok untuk pemantauan maritim yang bersifat kontinu. Perbedaan yang teridentifikasi terletak pada tingkat integrasi teknologi lanjutan: sebagian besar studi masih menggunakan analisis spasial GIS konvensional (Valdor et al., 2016; Otay et al., 2025), sementara studi yang lebih mutakhir seperti Lau dan Huang (2024) telah mengintegrasikan *Deep Learning* (U-Net dan Mask R-CNN) untuk meningkatkan akurasi segmentasi tumpahan minyak di kawasan nearshore, dan Xu et al. (2020) menerapkan support vector machine untuk pengolahan citra radar kapal dalam mendeteksi tumpahan minyak. Perbedaan pendekatan ini menunjukkan bahwa tema *Oil Spill Monitoring*, meskipun secara keseluruhan matang, masih memiliki gradasi kematangan teknologi yang bervariasi di dalamnya.

Kekuatan tema ini terletak pada tingkat validasi empiris yang tinggi, mengingat sebagian besar studi menggunakan data satelit riil dari peristiwa tumpahan minyak aktual (misalnya insiden di Delta Nil, Laut Barents, dan Laut Bohai), sehingga temuan yang dihasilkan memiliki relevansi operasional langsung bagi otoritas maritim. Kelemahan yang dapat diidentifikasi adalah masih terbatasnya integrasi antara deteksi berbasis penginderaan jauh dengan sistem peringatan dini yang bersifat real-time dan otomatis; sebagian besar studi masih berfokus pada analisis pasca-kejadian (post-event analysis) dibandingkan sistem deteksi dan respons proaktif. Peluang penelitian berikutnya pada tema ini terletak pada pengembangan sistem deteksi otomatis berbasis *Deep Learning* yang terintegrasi dengan platform GIS berbasis cloud, sehingga memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap insiden tumpahan minyak, sebagaimana diisyaratkan oleh arah pengembangan pada studi Lau dan Huang (2024) dan Thanopoulou et al. (2023) yang telah mengembangkan platform elektronik berbasis webGIS untuk mendukung respons publik terhadap insiden tumpahan minyak.

Tema 2: GIS untuk Coastal Management

Tema tersebut merupakan tema dengan jumlah artikel terbanyak dalam korpus, yaitu tiga puluh tujuh artikel, mencerminkan luasnya cakupan aplikasi GIS pada pengelolaan wilayah pesisir. Metode yang digunakan pada tema ini sangat beragam, mulai dari sistem informasi geografis partisipatif untuk pemantauan polusi lingkungan (Fatehian et al., 2018), analisis multikriteria untuk perencanaan tata ruang laut (Yang et al., 2024), hingga analisis spasial kontaminasi logam berat pada sedimen pesisir menggunakan indeks geoakumulasi dan faktor pengayaan (Seifi et al., 2019; Gu et al., 2016). Sebagian besar studi pada tema ini menggunakan pendekatan pemetaan deskriptif-analitik yang

mengombinasikan data sampling lapangan dengan analisis spasial GIS, seperti pemetaan sebaran sampah laut di Laut Mediterania (Arcangeli et al., 2018; García-Rivera et al., 2017, 2018) dan di perairan Maroko (Loulad et al., 2017).

Kecenderungan penelitian pada tema ini menunjukkan fokus yang kuat pada pemantauan pencemaran lingkungan pesisir, baik yang bersumber dari aktivitas darat (land-based) maupun aktivitas maritim. Sejumlah besar studi mengkaji distribusi spasial kontaminan seperti logam berat pada sedimen (Huang & Chen, 2023; Aghadadashi et al., 2021), mikroplastik (Liu et al., 2025), maupun sampah plastik makro (Strand et al., 2021; Fang et al., 2026). Selain aspek pencemaran, tema ini juga mencakup penelitian mengenai infrastruktur pesisir, seperti kadaster pesisir tiga dimensi (Atulukwu et al., 2025), platform pemantauan pelabuhan pintar (Fernández et al., 2016), serta pengelolaan konflik pemanfaatan ruang laut untuk sektor perikanan dan budi daya (Yang et al., 2024).

Temuan utama dari tema ini menegaskan bahwa GIS memberikan kontribusi signifikan dalam mengidentifikasi pola spasial sumber pencemaran dan zona berisiko tinggi di wilayah pesisir, sehingga dapat menjadi dasar bagi kebijakan mitigasi yang tepat sasaran. Sebagai contoh, Rouse et al. (2017) menunjukkan bagaimana data intensitas penangkapan ikan dapat dipetakan untuk mendukung keputusan dekomisioning pipa lepas pantai, sementara Dheen et al. (2016) mengidentifikasi titik panas (*hot spot*) kontaminasi bakteri fekal di perairan pesisir Kepulauan Andaman menggunakan analisis geospasial. Persamaan yang menonjol pada studi-studi ini adalah penggunaan analisis hot spot dan pemetaan kerentanan sebagai instrumen utama untuk mendukung pengambilan keputusan pengelolaan pesisir.

Perbedaan yang teridentifikasi pada tema ini terletak pada skala kajian dan jenis kontaminan atau isu yang menjadi fokus penelitian: sebagian studi berfokus pada skala lokal seperti pelabuhan atau teluk tertentu (Bojke et al., 2024, di Pelabuhan Gdynia), sementara studi lain mengkaji skala regional yang lebih luas seperti seluruh garis pantai Laut Hitam (Zaman et al., 2026) atau Delta Sungai Yangtze (Fang et al., 2026). Kekuatan tema ini terletak pada keragaman aplikasinya yang menunjukkan fleksibilitas GIS sebagai kerangka analisis lintas isu pesisir, mulai dari pencemaran, infrastruktur, hingga tata kelola. Kelemahan yang dapat diidentifikasi adalah bahwa sebagian besar studi bersifat studi kasus lokal yang sulit digeneralisasi, serta minimnya integrasi antarstudi dalam bentuk kerangka pengelolaan pesisir yang terpadu secara regional atau global.

Perlu digarisbawahi bahwa sejumlah artikel dalam tema ini, seperti kajian kontaminasi logam berat pada sedimen (Seifi et al., 2019; Kuang et al., 2023, yang lebih dekat pada Tema *Risk Assessment* namun beririsan konseptual dengan pengelolaan pesisir), pemetaan penyakit hewan lintas batas (Mtaallah et al., 2022), maupun pemetaan potensi persebaran virus Ebola (Lee-Cruz et al., 2021), menunjukkan bahwa penerapan GIS dalam konteks pesisir dan lingkungan memiliki cakupan yang jauh lebih luas daripada domain *maritime surveillance* itu sendiri. Kehadiran artikel-artikel semacam ini dalam korpus mengindikasikan bahwa strategi pencarian literatur yang digunakan pada tahap awal penelitian ini, meskipun berhasil menjaring topik inti secara memadai, juga menjaring sejumlah studi pada domain yang bersinggungan namun tidak sepenuhnya berada pada inti *maritime surveillance*. Peluang penelitian ke depan pada tema ini terletak pada pengembangan kerangka pengelolaan pesisir terpadu yang secara eksplisit menghubungkan pemantauan pencemaran dengan sistem peringatan dini berbasis data waktu-nyata, serta perlunya penajaman kriteria inklusi pada tinjauan sistematis mendatang agar cakupan topik lebih fokus pada aspek pengawasan aktivitas maritim.

Tema 3: GIS dan Remote Sensing

Tema tersebut diwakili oleh dua puluh empat artikel yang menempatkan integrasi GIS dan penginderaan jauh sebagai inti metodologis penelitian, tanpa fokus spesifik pada tumpahan minyak sebagaimana Tema 1. Metode yang digunakan mencakup analisis citra satelit multitemporal untuk memantau perubahan garis pantai (Ktari et al., 2026), penggunaan citra Landsat dan data MODIS untuk mengidentifikasi zona potensi penangkapan ikan (Karuppasamy et al., 2020), serta penerapan UAV untuk pemantauan sampah pantai (Bao et al., 2018) dan deteksi objek maritim lainnya. Sebagian studi menggunakan pendekatan penginderaan jauh untuk memantau fenomena lingkungan pesisir yang lebih luas, seperti kenaikan muka air laut dan dampaknya terhadap warisan budaya (Howey, 2020) maupun deteksi zona potensi air tanah segar di akuifer pesisir yang terintrusi air asin (Howlader et al., 2024).

Kecenderungan penelitian pada tema ini menunjukkan diversifikasi aplikasi penginderaan jauh dari sekadar pemantauan lingkungan fisik menuju pemantauan aktivitas dan infrastruktur maritim, seperti rekonstruksi lalu lintas maritim dari data *sémaphore* Prancis (Minelli et al., 2021) dan analisis integritas data *Automatic Identification System* (Jaskólski et al., 2021). Temuan utama dari tema ini menegaskan bahwa penginderaan jauh menyediakan kemampuan pemantauan berkelanjutan dan berskala luas yang tidak dapat dicapai melalui survei lapangan, sebagaimana ditunjukkan oleh Tian dan Huang (2019) yang mengembangkan sistem pemantauan dan peramalan harmful algal bloom berbasis web di Shenzhen, serta Schwartz-Belkin dan Portman (2023) yang mengulas secara komprehensif berbagai teknologi geospasial untuk mendukung perencanaan tata ruang laut.

Persamaan pada studi-studi tersebut adalah penggunaan data spasial multitemporal sebagai basis analisis tren dan perubahan, sedangkan perbedaannya terletak pada jenis sensor dan platform yang digunakan, mulai dari satelit orbit rendah (Ktari et al., 2026), UAV (Bao et al., 2018), hingga jaringan sensor darat seperti stasiun *sémaphore* (Minelli et al., 2021). Kekuatan tema ini terletak pada kontribusinya dalam menyediakan data dasar (baseline data) yang esensial bagi tema-tema lain, termasuk pemantauan tumpahan minyak dan penilaian risiko. Kelemahan yang teridentifikasi adalah bahwa sebagian studi, seperti evaluasi status trofik perairan darat (Liu et al., 2022) atau analisis navigasi maritim menggunakan augmentasi EGNOS (Innac et al., 2022), memiliki keterkaitan yang relatif tipis dengan aspek pengawasan (*surveillance*) maritim secara langsung, dan lebih dekat pada domain penginderaan jauh lingkungan secara umum. Peluang penelitian selanjutnya pada tema ini terletak pada integrasi data multisensor secara real-time ke dalam platform GIS berbasis cloud untuk mendukung pengambilan keputusan maritim yang lebih responsif.

Tema 4: GIS dan Artificial Intelligence

Tema ini diwakili oleh enam artikel yang secara eksplisit mengintegrasikan pendekatan kecerdasan buatan ke dalam kerangka analisis GIS untuk konteks maritim dan pesisir. Metode yang digunakan mencakup *convolutional neural network* multi-cabang untuk mengenali jenis operasi penangkapan ikan berdasarkan data trajektori kapal (Jiang & Zhou, 2025), pemantauan dinamis transportasi debu terhadap visibilitas maritim menggunakan pendekatan *Deep Learning* dan data satelit multisumber (Alsubhi et al., 2025), serta klasifikasi resiliensi kawasan pesisir dan perkotaan melalui fusi data multisensor berbasis kecerdasan buatan (Ren et al., 2025).

Kecenderungan penelitian pada tema ini menunjukkan bahwa kecerdasan buatan mulai diterapkan pada persoalan-persoalan yang sebelumnya sulit dipecahkan melalui pendekatan spasial konvensional, seperti prediksi perubahan tutupan lahan

menggunakan *cellular automata* dan jaringan saraf tiruan (Pandey & Kumari, 2023) dan deteksi kapal karam pada data batimetri menggunakan kombinasi *machine learning* dan inferensi topografis (Pols et al., 2025). Temuan utama menegaskan bahwa integrasi kecerdasan buatan mampu meningkatkan efisiensi pemrosesan data spasial berskala besar dan menangkap pola-pola kompleks yang sulit dideteksi melalui analisis statistik konvensional, sebagaimana ditunjukkan dalam review pemanfaatan AI dan *drone* untuk asesmen sampah laut (Gayathrri et al., 2025).

Persamaan pada studi-studi ini adalah orientasi pada otomatisasi proses analisis yang sebelumnya dilakukan secara manual atau semi-otomatis, sedangkan perbedaannya terletak pada arsitektur kecerdasan buatan yang digunakan, mulai dari *convolutional neural network* (Jiang & Zhou, 2025), *long short-term memory* (Ren et al., 2025), hingga *cellular automata-artificial neural network* (Pandey & Kumari, 2023). Kekuatan tema ini terletak pada potensi peningkatan akurasi dan efisiensi analisis yang ditunjukkan pada masing-masing studi kasus. Kelemahan yang dapat diidentifikasi adalah jumlah studi yang masih sangat terbatas (enam dari sembilan puluh sembilan artikel), sehingga generalisasi mengenai efektivitas pendekatan AI dalam konteks GIS maritim secara luas belum dapat ditarik secara meyakinkan, serta belum tersedianya studi yang secara eksplisit membandingkan kinerja berbagai arsitektur AI pada persoalan yang identik. Peluang penelitian berikutnya terletak pada pengembangan kerangka kerja Autonomous GIS yang memungkinkan analisis spasial maritim berjalan secara mandiri dengan intervensi manusia yang minimal, sejalan dengan arah perkembangan yang mulai terlihat pada studi-studi termutakhir dalam tema ini.

Tema 5: GIS dan Machine Learning

Tema ini merupakan tema dengan jumlah artikel paling sedikit dalam korpus, yaitu tiga artikel, yang secara spesifik menerapkan pendekatan *machine learning* (di luar *Deep Learning*) dalam kerangka GIS maritim. Metode yang digunakan mencakup evaluasi salinitas air permukaan menggunakan regresi linier dan data penginderaan jauh (Borovskaya et al., 2022), pemantauan perubahan garis pantai selama dua puluh tiga tahun menggunakan data Landsat time-series dan teknik deteksi tepi berbasis *machine learning* (Tsai, 2022), serta inovasi *machine learning* berupa extreme gradient boosting dan light gradient boosting machine untuk pemantauan peralatan pembuangan minyak kapal (Camliyurt et al., 2024).

Kecenderungan penelitian pada tema ini menunjukkan bahwa *machine learning* digunakan sebagai alat bantu peningkatan akurasi pada persoalan spesifik yang sudah memiliki basis data spasial yang mapan, alih-alih sebagai pendekatan yang berdiri sendiri. Temuan utama menegaskan bahwa penerapan *machine learning* mampu meningkatkan presisi deteksi perubahan spasial dibandingkan metode analisis konvensional, sebagaimana ditunjukkan oleh Tsai (2022) dalam mendeteksi perubahan garis pantai Estuari Zengwun di Taiwan Selatan secara lebih akurat menggunakan teknik deteksi tepi otomatis.

Persamaan antara ketiga studi ini adalah penggunaan *machine learning* sebagai lapisan analitik tambahan di atas data spasial dan penginderaan jauh yang telah ada, sedangkan perbedaannya terletak pada algoritma spesifik yang digunakan serta domain aplikasi yang berbeda (salinitas air, perubahan garis pantai, dan pemantauan pembuangan minyak kapal). Kekuatan tema ini terletak pada bukti awal bahwa integrasi *machine learning* dengan data GIS mampu memberikan hasil yang lebih presisi dibandingkan pendekatan konvensional. Kelemahan utama tema ini adalah jumlah studi yang sangat minim, yang membatasi kemampuan untuk menarik kesimpulan umum mengenai efektivitas *machine learning* dalam konteks GIS maritim secara menyeluruh,

serta terbatasnya keragaman algoritma yang telah diuji secara komparatif. Peluang penelitian ke depan terletak pada eksplorasi lebih lanjut terhadap berbagai algoritma *machine learning* untuk persoalan-persoalan maritim lain yang belum banyak dijamah, termasuk kombinasi dengan Big Data Geospasial untuk pemrosesan data spasial berskala besar secara efisien.

Tema 6: Risk Assessment

Tema ini diwakili oleh tiga belas artikel yang berfokus pada kuantifikasi dan pemetaan risiko dalam konteks maritim dan pesisir. Metode yang digunakan sangat beragam, mencakup analisis geospasial risiko kontaminasi mikroplastik (Özpolat et al., 2026; Aghadadashi et al., 2024), penilaian risiko radiologis pada sedimen pantai menggunakan simulasi Monte Carlo (Zesha et al., 2026) dan analisis multivariat radionuklida (Radomirović et al., 2021; Sancho & García-Tenorio, 2019), hingga analisis hot spot kejadian pembajakan dan perampokan bersenjata di laut menggunakan kernel density estimation (Küçük et al., 2025). Sebagian studi mengkaji risiko keselamatan pelayaran secara lebih langsung, seperti tinjauan komprehensif mengenai penilaian risiko tabrakan kapal dan pengembangan indeks keselamatan (Firdaus et al., 2026).

Kecenderungan penelitian pada tema ini menunjukkan bahwa penilaian risiko dalam konteks maritim mencakup spektrum yang sangat luas, mulai dari risiko kontaminasi lingkungan (logam berat, mikroplastik, radionuklida) hingga risiko keselamatan operasional (tabrakan kapal, pembajakan) dan risiko infrastruktur (keselamatan struktur pelabuhan terhadap angin, sebagaimana dikaji Repetto et al., 2018). Temuan utama menegaskan bahwa GIS memberikan kontribusi penting dalam memetakan sebaran spasial risiko dan mengidentifikasi area dengan tingkat kerentanan tertinggi, sebagaimana ditunjukkan oleh Küçük et al. (2025) yang berhasil mengidentifikasi wilayah rawan pembajakan maritim secara global melalui analisis 3.241 insiden selama periode 2010–2021, serta Cüce et al. (2026) yang memetakan risiko kontaminasi logam berbahaya di muara sungai sepanjang jalur raya pesisir Laut Hitam.

Persamaan pada studi-studi ini adalah penggunaan pendekatan pemetaan hot spot atau indeks komposit untuk mengkuantifikasi tingkat risiko secara spasial, sedangkan perbedaannya terletak pada jenis risiko yang dikaji serta metode kuantifikasi yang digunakan, mulai dari indeks pengayaan geokimia (Özpolat et al., 2026), analisis kepadatan kernel (Küçük et al., 2025), hingga simulasi probabilistik Monte Carlo (Zesha et al., 2026). Kekuatan tema ini terletak pada kontribusinya yang signifikan bagi perencanaan mitigasi dan tanggap darurat berbasis lokasi, karena hasil pemetaan risiko secara spasial memungkinkan otoritas maritim memprioritaskan sumber daya pengawasan pada area dengan risiko tertinggi. Kelemahan yang dapat diidentifikasi adalah bahwa sebagian besar studi *Risk Assessment* pada tema ini masih bersifat statis (snapshot pada satu periode waktu tertentu) dan belum terintegrasi dengan sistem pemantauan dinamis berbasis *machine learning* yang dapat memperbarui peta risiko secara berkelanjutan.

Peluang penelitian berikutnya pada tema *Risk Assessment* terletak pada integrasi model prediksi risiko berbasis *machine learning* dengan sistem pemantauan waktu-nyata, sehingga peta risiko tidak lagi bersifat statis, melainkan dapat diperbarui secara dinamis seiring dengan masuknya data pemantauan baru. Arah ini juga sejalan dengan kebutuhan untuk menghubungkan tema *Risk Assessment* yang saat ini relatif berdiri sendiri dalam struktur klaster bibliometrik (Klaster 4, sebagaimana dibahas pada Subbab 3.2) dengan klaster metodologis *Machine learning* dan *Artificial Intelligence* yang tengah berkembang, sehingga penilaian risiko maritim di masa depan dapat menjadi lebih responsif dan prediktif dibandingkan pendekatan deskriptif yang saat ini masih mendominasi.

Sebagai catatan penutup pada bagian content analysis ini, penting untuk ditegaskan kembali bahwa istilah *Maritime Security*, *Maritime Domain Awareness*, *Automatic Identification System* sebagai sistem keamanan nasional, dan *Decision Support System* tidak muncul sebagai tema dominan dalam hasil bibliometrik maupun dalam pengelompokan content analysis di atas. Sebagian kecil artikel memang menyentuh topik keamanan maritim secara tangensial, seperti analisis integritas data *Automatic Identification System* (Jaskólski et al., 2021, dikategorikan pada Tema GIS dan *Remote Sensing*) dan pemetaan hot spot pembajakan maritim (Küçük et al., 2025, dikategorikan pada Tema *Risk Assessment*). Namun demikian, keberadaan artikel-artikel tersebut dalam korpus ini lebih tepat dimaknai sebagai dasar interpretasi peluang penelitian dan arah pengembangan masa depan menuju integrasi yang lebih erat antara GIS, penginderaan jauh, dan sistem keamanan maritim, dan bukan sebagai indikasi bahwa keamanan maritim telah menjadi tema utama dalam korpus penelitian yang dianalisis pada studi ini.

Sintesis Temuan

Pembahasan pada subbab-subbab sebelumnya, baik yang bersumber dari analisis bibliometric, maupun content analysis secara konsisten mengarah pada satu narasi perkembangan yang koheren mengenai evolusi pemanfaatan *Geographic Information System* dalam konteks *maritime surveillance*. Struktur klaster keyword *co-occurrence*, gradasi temporal pada overlay visualization, konsentrasi kepadatan pada density visualization, serta pengelompokan tematik pada content analysis, seluruhnya menunjuk pada pola evolusi yang dapat dipahami melalui tiga fase perkembangan yang saling berkesinambungan. Fase pertama adalah pemanfaatan GIS untuk pemetaan wilayah pesisir dan pengelolaan lingkungan laut. Fase ini merepresentasikan generasi awal penelitian yang menempatkan GIS sebagai instrumen dasar untuk memetakan kondisi eksisting wilayah pesisir, mengidentifikasi sumber dan pola sebaran pencemaran, serta mendukung perencanaan tata ruang laut. Fase ini tercermin secara jelas pada dominasi Tema GIS untuk *Coastal Management* (37 artikel) dalam content analysis, serta posisi sentral node *Geographic Information System*, *Coastal Management*, dan *Risk Assessment* pada Klaster 1 dalam analisis jaringan kata kunci. Karakteristik metodologis fase ini adalah pendekatan spasial deskriptif-analitik yang berorientasi pada pemetaan kondisi dan penilaian risiko statis.

Fase kedua adalah integrasi GIS dengan *Remote Sensing* untuk *Monitoring* dan deteksi fenomena maritim. Fase ini ditandai oleh konsolidasi GIS dengan teknologi penginderaan jauh sebagai pasangan metodologi inti, khususnya dalam konteks pemantauan tumpahan minyak yang menjadi salah satu aplikasi paling matang dalam korpus penelitian ini, sebagaimana ditunjukkan oleh dominasi Klaster 2 (*Remote Sensing*, *Oil Spill*, *Monitoring*) pada network visualization dan tingginya kepadatan hotspot kedua pada density visualization. Fase ini juga tercermin pada gabungan tiga puluh sembilan artikel dari Tema GIS untuk *Oil Spill Monitoring* dan Tema GIS dan *Remote Sensing* dalam content analysis, yang secara kumulatif merepresentasikan hampir empat puluh persen dari keseluruhan korpus.

Fase ketiga adalah integrasi GIS dengan *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, dan *Deep Learning* untuk analisis spasial otomatis dan sistem pengambilan keputusan. Fase ini merupakan tahap paling mutakhir dan masih berada pada tahap awal perkembangan, sebagaimana ditunjukkan oleh posisi perifer node *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, dan *Deep Learning* pada network visualization, gradasi warna kuning (representasi tahun-tahun terbaru) pada overlay visualization, serta rendahnya kepadatan hotspot pada density visualization untuk klaster ini. Dalam content analysis, fase ini direpresentasikan oleh gabungan Tema GIS dan *Artificial Intelligence* serta Tema

GIS dan *Machine learning* yang secara total hanya mencakup sembilan artikel, namun menunjukkan tren pertumbuhan yang jelas pada tahun-tahun publikasi terakhir dalam cakupan data penelitian ini (2023–2026).

Ketiga fase ini tidak terjadi secara terpisah atau saling menggantikan, melainkan bersifat kumulatif dan saling melengkapi: fase kedua tidak menggantikan fase pertama, melainkan menambahkan lapisan kemampuan pemantauan berkelanjutan di atas kerangka pengelolaan pesisir yang telah mapan. Demikian pula, fase ketiga tidak menggantikan fase kedua, melainkan menambahkan lapisan analitik prediktif dan otomatis di atas kemampuan pemantauan penginderaan jauh yang telah terbangun. Pola evolusi kumulatif inilah yang menjelaskan mengapa dalam struktur bibliometrik saat ini, ketiga klaster tersebut (*GIS-Coastal Management-Risk Assessment*, *Remote Sensing-Oil Spill-Monitoring*, dan *Artificial Intelligence-Deep Learning-Machine Learning*) tetap terpisah sebagai klaster yang berbeda, alih-alih menyatu menjadi satu klaster besar yang terintegrasi penuh.

Berdasarkan pola evolusi tiga fase ini, dapat diidentifikasi sejumlah peluang penelitian masa depan yang secara logis mengikuti arah perkembangan yang telah teramati dalam korpus penelitian ini. Studi-studi termutakhir seperti Ren et al. (2025) yang mengintegrasikan multisensor *Remote Sensing* dengan *Deep Learning* untuk klasifikasi resiliensi pesisir, serta Pols et al. (2025) yang mengombinasikan *machine learning* dengan inferensi topografis untuk deteksi kapal karam, memberikan indikasi awal bahwa arah pengembangan berikutnya kemungkinan besar akan menuju konsep GeoAI, yaitu integrasi yang lebih erat antara kecerdasan buatan dengan analisis geospasial sehingga proses interpretasi data spasial dapat dilakukan secara lebih otomatis dan akurat. Selain itu, mengingat kesenjangan integrasi yang teridentifikasi antara Klaster *Risk Assessment* yang masih relatif berdiri sendiri dengan klaster metodologis *machine learning* yang tengah berkembang, terdapat peluang pengembangan menuju sistem penilaian risiko maritim yang lebih dinamis dan prediktif, yang dapat diarahkan pada konsep *Autonomous GIS* sebagaimana mulai dieksplorasi pada sejumlah kajian konseptual dalam literatur kecerdasan buatan geospasial secara umum.

Perlu ditegaskan kembali, sejalan dengan prinsip kehati-hatian akademik yang membatasi klaim hanya pada bukti yang tersedia dalam korpus penelitian ini, bahwa istilah-istilah seperti *Cloud GIS*, *Big Data Geospatial*, *Digital Twin*, dan *Internet of Things* tidak ditemukan sebagai tema dominan atau bahkan sebagai author keyword yang signifikan dalam analisis bibliometrik maupun content analysis pada 99 artikel yang dianalisis. Oleh karena itu, peluang pengembangan menuju arah tersebut pada bagian ini diposisikan murni sebagai proyeksi logis berdasarkan pola tren yang teramati dari fase ketiga (integrasi kecerdasan buatan) yang sedang berlangsung, bukan sebagai kesimpulan yang didukung secara langsung oleh bukti eksplisit dalam data penelitian ini.

Sintesis ini juga perlu mengakomodasi temuan kritis mengenai heterogenitas cakupan topik dalam korpus 99 artikel, sebagaimana telah didiskusikan pada Subbab Seleksi Literatur menggunakan PRISMA dan Content Analysis. Keberadaan sejumlah artikel yang berada pada domain yang bersinggungan dengan, namun tidak sepenuhnya berada pada inti, *maritime surveillance* menunjukkan bahwa strategi pencarian literatur pada penelitian bibliometrik dan tinjauan sistematis semacam ini perlu terus disempurnakan pada iterasi berikutnya, khususnya dalam hal presisi kata kunci pencarian yang mampu membedakan secara lebih tajam antara aplikasi GIS pada domain lingkungan pesisir secara umum dengan aplikasi GIS yang secara spesifik ditujukan bagi pengawasan aktivitas maritim (*maritime surveillance*). Catatan metodologis ini tidak mengurangi validitas temuan substantif yang telah diuraikan di atas, melainkan menjadi bagian

integral dari evaluasi kritis yang diperlukan bagi pengembangan kerangka tinjauan sistematis yang lebih presisi pada penelitian-penelitian mendatang di bidang ini.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memetakan perkembangan pemanfaatan *Geographic Information System* (GIS) dalam *maritime surveillance* melalui integrasi Systematic Literature Review (SLR) berbasis PRISMA 2020, bibliometric analysis menggunakan VOSviewer, dan content analysis terhadap 99 artikel yang diseleksi dari 370 publikasi pada basis data Scopus. Hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa *Geographic Information System* merupakan tema inti yang menjadi pusat keterhubungan seluruh jaringan penelitian, diikuti oleh *Remote Sensing*, *Oil Spill*, *Monitoring*, *Coastal Management*, dan *Risk Assessment* sebagai tema-tema dominan yang membentuk struktur intelektual bidang ini. Sebaliknya, *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, dan *Deep Learning* masih berada pada tahap perkembangan awal, ditunjukkan oleh ukuran node yang relatif kecil, keterhubungan yang terbatas, serta intensitas kemunculan yang masih rendah dalam peta bibliometrik.

Analisis content analysis memperlihatkan bahwa penelitian GIS dalam *maritime surveillance* berkembang melalui enam tema utama, yaitu GIS untuk *Coastal Management*, *Oil Spill Monitoring*, integrasi GIS dan *Remote Sensing*, *Artificial Intelligence*, machine learning, dan *Risk Assessment*. Sebagian besar penelitian masih berorientasi pada pemetaan spasial, pemantauan lingkungan pesisir, serta deteksi tumpahan minyak menggunakan kombinasi GIS dan penginderaan jauh. Sementara itu, penerapan kecerdasan buatan masih terbatas pada sejumlah studi yang memanfaatkan *Deep Learning* dan *machine learning* untuk meningkatkan akurasi deteksi objek, klasifikasi spasial, dan analisis prediktif. Temuan ini menunjukkan bahwa transformasi menuju sistem *maritime surveillance* yang lebih cerdas masih berada pada tahap awal implementasi.

Sintesis antara hasil bibliometrik dan content analysis mengindikasikan bahwa evolusi penelitian berlangsung melalui tiga fase utama, yaitu pemanfaatan GIS untuk pemetaan dan pengelolaan wilayah pesisir, integrasi GIS dengan *Remote Sensing* untuk pemantauan fenomena maritim, serta integrasi GIS dengan *Artificial Intelligence* untuk analisis spasial otomatis. Ketiga fase tersebut berkembang secara kumulatif sehingga membentuk fondasi menuju sistem *maritime surveillance* yang semakin adaptif, prediktif, dan berbasis data. Meskipun demikian, penelitian ini juga menemukan bahwa tema *Maritime Security*, *Maritime Domain Awareness* (MDA), *Automatic Identification System* (AIS), dan *Decision Support System* (DSS) belum menjadi fokus dominan dalam literatur yang dianalisis. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang penelitian pada masa mendatang untuk mengintegrasikan teknologi GIS, penginderaan jauh, dan kecerdasan buatan ke dalam sistem pendukung keputusan yang mampu memperkuat pengawasan dan keamanan maritim secara lebih terstruktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Aattan, S. A. A., & Al-Bakri, M. (2020). Development of Bridges Maintenance Management System based on *Geographic Information System* Techniques (Case study: Al-Muthanna \ Iraq). *Journal of Engineering*. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.09.09>
- Agrawal, N., Verma, K., & Kumar, T. (2021). Multicriteria Spatial Decision Support System for Soil Fertility Assessment in Agriculture. *International Journal of Computer Applications*. <https://doi.org/10.5120/ijca2021920975>

- Agyekum, H., Ali, K.-D., Bueger, C., & Larsen, S. (2024). Maritime security and the inter-agency challenge: The case of Ghana. *African Security Review*, 33, 353–370. <https://doi.org/10.1080/10246029.2024.2314467>
- Akhtar, M. J., Azhar, M., Khan, N., & Rahman, M. N. (2023). Conceptualizing social media analytics in digital economy: An evidence from bibliometric analysis. *Journal of Digital Economy*. <https://doi.org/10.1016/j.jdec.2023.03.004>
- Alexandre, C., Devillers, R., Mouillot, D., Seguin, R., & Catry, T. (2024). Ship Detection With SAR C-Band Satellite Images: A Systematic Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 14353–14367. <https://doi.org/10.1109/jstars.2024.3437187>
- Amiri, A. M., Kushwaha, B., & Singh, R. (2023). Visualisation of global research trends and future research directions of digital marketing in small and medium enterprises using bibliometric analysis. *Journal of Small Business and Enterprise Development*. <https://doi.org/10.1108/jsbed-04-2022-0206>
- Andriulo, F. C., Fiore, M., Mongiello, M., Traversa, E., & Zizzo, V. (2024). Edge Computing and Cloud Computing for Internet of Things: A Review. *Informatics*, 11, 71. <https://doi.org/10.3390/informatics11040071>
- Anuja, R., & Annrose, J. (2025). End-to-end *Deep Learning* for smart maritime threat detection: an AE-CNN-LSTM-based approach. *Scientific Reports*, 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19450-4>
- Apostolopoulos, D. N., & Nikolakopoulos, K. (2021). A review and meta-analysis of *Remote Sensing* data, GIS methods, materials and indices used for *Monitoring* the coastline evolution over the last twenty years. *European Journal of Remote Sensing*, 54, 240 - 265. <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1904293>
- Ardern, C., Büttner, F., Andrade, R., Weir, A., Ashe, M., Holden, S., Impellizzeri, F., Delahunt, E., Dijkstra, H., Mathieson, S., Rathleff, M., Reurink, G., Sherrington, C., Stamatakis, E., Vicenzino, B., Whittaker, J. L., Wright, A., Clarke, M., Moher, D., . . . Winters, M. (2021). Implementing the 27 PRISMA 2020 Statement items for systematic reviews in the sport and exercise medicine, musculoskeletal rehabilitation and sports science fields: the PERSiST (implementing Prisma in Exercise, Rehabilitation, Sport medicine and SporTs science) guidance. *British Journal of Sports Medicine*, 56, 175 - 195. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-103987>
- Asif, Z., Chen, Z., An, C., & Dong, J. (2022). Environmental Impacts and Challenges Associated with *Oil Spill* s on Shorelines. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse10060762>
- Ba, H., Zhang, L., He, X., & Li, S. (2025). Knowledge Mapping and Global Trends in Simulation in Medical Education: Bibliometric and Visual Analysis. *JMIR Medical Education*, 11. <https://doi.org/10.2196/71844>
- Bae, I., & Hong, J. (2023). Survey on the Developments of Unmanned Marine Vehicles: Intelligence and Cooperation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23104643>
- Baghdady, S. M., & Abdelsalam, A. A. (2024). Ten years of oil pollution detection in the Eastern Mediterranean shipping lanes opposite the Egyptian coast using *Remote Sensing* techniques. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67983-x>
- Bakirci, M. (2024). Advanced Ship Detection and Ocean *Monitoring* with Satellite Imagery and *Deep Learning* for Marine Science Applications. *Regional Studies in Marine Science*. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103975>

- Balogun, A., Yekeen, S., Pradhan, B., & Yusof, W. K. (2020). *Oil Spill* trajectory modelling and environmental vulnerability mapping using GNOME model and GIS. *Environmental Pollution*, 115812. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115812>
- Barros, R. P., Fajardo, A., & Lara-Borrero, J. (2025). Decentralized Renewable-Energy Desalination: Emerging Trends and Global Research Frontiers—A Comprehensive Bibliometric Review. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w17142054>
- Bernabé, P., Gotlieb, A., Legeard, B., Marijan, D., Sem-Jacobsen, F., & Spieker, H. (2023). Detecting Intentional AIS Shutdown in Open Sea *Maritime surveillance* Using Self-Supervised *Deep Learning*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 25, 1166-1177. <https://doi.org/10.1109/tits.2023.3322690>
- Boloy, R., Da Cunha Reis, A., Rios, E. M., De Araújo Santos Martins, J., Soares, L., De Sá Machado, V. A., & De Moraes, D. R. (2021). Waste-to-Energy Technologies Towards Circular Economy: a Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05224-x>
- Bosso, L., Saviano, S., Abagnale, M., Bellardini, D., Bolinesi, F., Botte, V., Buondonno, A., Carotenuto, Y., Casotti, R., Chiusano, M., Cipolletta, F., Conversano, F., De Domenico, F., Del Gaizo, G., Donnarumma, V., Furia, M., Iudicone, D., Kokoszka, F., Laface, F., . . . D'Alelio, D. (2025). GIS-based integration of marine data for assessment and management of a highly anthropized coastal area. *Scientific Reports*, 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00206-z>
- Brennan, S., & Munn, Z. (2021). PRISMA 2020: a reporting guideline for the next generation of systematic reviews.. *JB1 evidence synthesis*, 19 5, 906-908 . <https://doi.org/10.11124/jbies-21-00112>
- Bueger, C., & Stockbruegger, J. (2022). Maritime security and the Western Indian Ocean's militarisation dilemma. *African Security Review*, 31, 195 - 210. <https://doi.org/10.1080/10246029.2022.2053556>
- Buri, Z., & Kiss, J. T. (2025). Digitalisation in the Context of Industry 4.0 and Industry 5.0: A Bibliometric Literature Review and Visualisation. *Applied System Innovation*. <https://doi.org/10.3390/asi8050137>
- Carpenter-Kling, T., Truter, H., Lemahieu, A., Snow, B., Strand, M., Rivers, N., Nupnau, L., & Lombard, A. T. (2025). Scenario planning from the bottom up: supporting inclusive and ecosystem-based approaches to marine spatial planning. *npj Ocean Sustainability*, 4. <https://doi.org/10.1038/s44183-025-00140-7>
- Cavalli, R. (2024). Remote Data for Mapping and *Monitoring* Coastal Phenomena and Parameters: A Systematic Review. *Remote. Sens.*, 16, 446. <https://doi.org/10.3390/rs16030446>
- Chaal, M., Ren, X., Bahootoroody, A., Basnet, S., Bolbot, V., Banda, O. V., & Van Gelder, P. (2023). Research on risk, safety, and reliability of autonomous ships: A bibliometric review. *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106256>
- Chainando, N., Martawidjaja, M., Darius, R. A., Yahya, L. C., Yemima, S., Tan, W. S., Harito, C., Chandra, R. C., Andhini, G. K., Putra, K. B., Tobing, C. C. L., Syafi'i, M., & Syafrudin, M. (2025). Applying 3D Scanning and Printing Techniques to Produce Upper Limb Prostheses: Bibliometric Analysis and Scoping Review. *Prosthesis*. <https://doi.org/10.3390/prosthesis7020026>
- Chang, C.-H., Kontovas, C. A., Yu, Q., & Yang, Z. (2021). *Risk Assessment* of the operations of maritime autonomous surface ships. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 207, 107324. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107324>

- Chipunza, T., & Ntsalaze, L. (2025). Multi-dimensional poverty: a bibliometric analysis and content *co-occurrence* literature review. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04924-7>
- Christofi, D., Mettas, C., Evagorou, E., Stylianou, N., Eliades, M., Theocharidis, C., Chatzipavlis, A. E., Hasiotis, T., & Hadjimitsis, D. (2025). A Review of Open *Remote Sensing* Data with GIS, AI, and UAV Support for Shoreline Detection and Coastal Erosion *Monitoring*. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app15094771>
- Couto, J., & Baltazar, M. E. (2025). Sustainable Airport Development: A Literature Review Based on Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Methodology, Using OpenAlex Database. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su17094184>
- De Magalhães, M. E., Barbosa, C. E., Cordeiro, K. F., Isidório, D., & Souza, J. (2023). Improving Maritime Domain Awareness in Brazil through Computer Vision Technology. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse11071272>
- Dike, E., Oyetunji, A., & Amaechi, C. (2023). Shoreline Delineation from Synthetic Aperture Radar (SAR) Imagery for High and Low Tidal States in Data-Deficient Niger Delta Region. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse11081528>
- Dima, A., Zamfir, A., Dobrin, C., Triculescu, M., Mişu, S., & Pantelimon, A. D. (2026). Women's Leadership as a Driver of Small and Medium-Sized Enterprises Sustainability and Green Transition: A Bibliometric and Systematic Review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. <https://doi.org/10.1002/csr.70756>
- Ding, G., Liu, J., Li, D., Fu, X., Zhou, Y., Zhang, M., Li, W., Wang, Y., Li, C., & Geng, X. (2025). A Cross-Stage Focused Small Object Detection Network for Unmanned Aerial Vehicle Assisted Maritime Applications. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse13010082>
- Dong, J., Liang, X., Du, B., Ju, Y., Wang, Y., & Guo, H. (2025). Applications of *Geographic Information Systems* in Ecological Impact Assessment: A Methods Landscape, Practical Bottlenecks, and Future Pathways. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su172210358>
- Dong, P., Liu, J., Tao, H., Zhao, Y., Feng, Z., & Luo, H. (2025). Long-Endurance Collaborative Search and Rescue Based on Maritime Unmanned Systems and Deep-Reinforcement Learning. *Sensors* (Basel, Switzerland), 25. <https://doi.org/10.3390/s25134025>
- Dritsas, E., & Trigka, M. (2025). *Remote Sensing* and Geospatial Analysis in the Big Data Era: A Survey. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs17030550>
- Du, Q., Zhao, R., Wan, Q., Li, S., Li, H., Wang, D., Ho, C. W., Dai, Z., Chen, Y., & Shan, D. (2024). Protocol for conducting bibliometric analysis in biomedicine and related research using CiteSpace and VOSviewer software. *STAR Protocols*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.xpro.2024.103269>
- Dupont, C., Gourmelon, F., Meur-Férec, C., Herpers, F., & Visage, C. L. (2020). Exploring uses of *maritime surveillance* data for marine spatial planning: A review of scientific literature. *Marine Policy*, 117, 103930. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103930>
- Durlik, I., Miller, T., Cembrowska-Lech, D., Krzemińska, A., Złoczowska, E., & Nowak, A. (2023). Navigating the Sea of Data: A Comprehensive Review on Data Analysis in

- Maritime IoT Applications. Applied Sciences.
<https://doi.org/10.3390/app13179742>
- Edwards, S. (2022). Fragmentation, Complexity and Cooperation: Understanding Southeast Asia's Maritime Security Governance. *Contemporary Southeast Asia: A Journal of International and Strategic Affairs*, 44, 121 - 87. <https://doi.org/10.1355/cs44-1d>
- El-Magd, I., Zakzouk, M., Ali, E., & Abdulaziz, A. M. (2021). An Open Source Approach for Near-Real Time Mapping of *Oil Spill* s along the Mediterranean Coast of Egypt. *Remote. Sens.*, 13, 2733. <https://doi.org/10.3390/rs13142733>
- Elsman, E., Mookink, L., Terwee, C., Beaton, D., Gagnier, J. J., Tricco, A. C., Baba, A., Butcher, N. J., Smith, M., Hofstetter, C., Aiyegbusi, O., Berardi, A., Farmer, J., Haywood, K. L., Krause, K., Markham, S., Mayo-Wilson, E., Mehdipour, A., Ricketts, J., . . . Offringa, M. (2024). Guideline for reporting systematic reviews of outcome measurement instruments (OMIs): PRISMA-COSMIN for OMIs 2024. *Health and Quality of Life Outcomes*, 22. <https://doi.org/10.1186/s12955-024-02256-9>
- Escandón-Panchana, J., Vallejo, R. E., Escandón-Panchana, P., Velástegui-Montoya, A., & Herrera-Franco, G. (2022). Spatial Planning of the Coastal Marine Socioecological System—Case Study: Punta Carnero, Ecuador. *Resources*. <https://doi.org/10.3390/resources11080074>
- Ezzeddini, L., Ktari, J., Frikha, T., Alsharabi, N., Alayba, A., Alzahrani, A. J., Jadi, A., Alkholidi, A., & Hamam, H. (2024). Analysis of the performance of Faster R-CNN and YOLOv8 in detecting fishing vessels and fishes in real time. *PeerJ Computer Science*, 10. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2033>
- Forti, N., d’Afflisio, E., Braca, P., Millefiori, L. M., Carniel, S., & Willett, P. (2022). Next-Gen Intelligent Situational Awareness Systems for *Maritime surveillance* and Autonomous Navigation [Point of View]. *Proc. IEEE*, 110, 1532-1537. <https://doi.org/10.1109/jproc.2022.3194445>
- Franchi, F., Graziosi, F., Di Fina, E., & Galassi, A. (2024). A Survey of Cloud-Enabled GIS Solutions Toward Edge Computing: Challenges and Perspectives. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 5, 312-331. <https://doi.org/10.1109/ojcoms.2023.3344198>
- Freire, W. P., Melo, W. S., Nascimento, V. D. D., Nascimento, P. R. M., & De Sá, A. O. (2022). Towards a Secure and Scalable Maritime *Monitoring* System Using Blockchain and Low-Cost IoT Technology. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22. <https://doi.org/10.3390/s22134895>
- Gaadha, B., & Umasankar, M. (2026). A systematic literature review on non-familial financial socialization. *Discover Psychology*. <https://doi.org/10.1007/s44202-026-00640-8>
- Gamage, C., Dinalankara, R., Samarabandu, J., & Subasinghe, A. (2023). A comprehensive survey on the applications of *machine learning* techniques on *maritime surveillance* to detect abnormal maritime vessel behaviors. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 22, 447 - 477. <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00312-7>
- Gao, Z., Li, Y., Shao, Y., Tao, F., Wang, Z., & Chen, G. (2026). HPRT-YOLO: Enhanced lightweight UAV maritime search and rescue model based on YOLOv11n. *iScience*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2026.115366>
- Garcia, L. P., Furano, G., Ghiglione, M., Zancan, V., Imbembo, E., Ilioudis, C., Clemente, C., & Trucco, P. (2024). Advancements in Onboard Processing of Synthetic Aperture Radar (SAR) Data: Enhancing Efficiency and Real-Time Capabilities. *IEEE Journal*

- of Selected Topics in Applied Earth Observations and *Remote Sensing*, 17, 16625-16645. <https://doi.org/10.1109/jstars.2024.3406155>
- Guardia, M. (2025). 3D Urban Digital Twinning on the Web with Low-Cost Technology: 3D Geospatial Data and IoT Integration for Wellness *Monitoring*. *Big Data Cogn. Comput.*, 9, 107. <https://doi.org/10.3390/bdcc9040107>
- 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>
- Gupta, H., Verma, O. P., Sharma, T., Varshney, H., Agarwal, S., & Pak, W. (2024). Ship detection using ensemble *Deep Learning* techniques from synthetic aperture radar imagery. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80239-y>
- Han, W., Wang, T., He, Z., Wang, C., Hui, Z., Lei, S., Hao, N., Li, N., & Wang, X. (2025). Global research trends on gastrointestinal cancer and mental health (2004–2024): a bibliographic study. *Frontiers in Medicine*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1515853>
- Han, X., Armenakis, C., & Jadidi, M. (2021). Modeling Vessel Behaviours by Clustering AIS Data Using Optimized DBSCAN. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13158162>
- Haque, T., Syed, M. A. B., Das, S., & Ahmed, I. (2024). Advancing Marine Surveillance: A Hybrid Approach of Physics-Infused Neural Network for Enhanced Vessel Tracking Using Automatic Identification System Data. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse12111913>
- Huang, I.-L., Lee, M.-C., Chang, L., & Huang, J.-C. (2024). Development and Application of an Advanced Automatic Identification System (AIS)-Based Ship Trajectory Extraction Framework for Maritime Traffic Analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse12091672>
- Huang, Y., Liu, W., Lin, Y., Kang, J., Zhu, F., & Wang, F. (2025). FLCSDet: Federated Learning-Driven Cross-Spatial Vessel Detection for *Maritime surveillance* With Privacy Preservation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 26, 1177-1192. <https://doi.org/10.1109/tits.2024.3488497>
- Huo, Y., Dong, X., & Beatty, S. (2020). Cellular Communications in Ocean Waves for Maritime Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 7, 9965-9979. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2988634>
- Husaeni, D. F. A., & Nandiyanto, A. (2021). Bibliometric Using Vosviewer with Publish or Perish (using Google Scholar data): From Step-by-step Processing for Users to the Practical Examples in the Analysis of Digital Learning Articles in Pre and Post Covid-19 Pandemic. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. <https://doi.org/10.17509/ajse.v2i1.37368>
- Isbaex, C., Costa, F. D. R. F., & Batista, T. (2025). Application of GIS in the Maritime-Port Sector: A Systematic Review. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su17083386>
- Jahanbakht, M., Xiang, W., Hanzo, L., & Azghadi, M. R. (2020). Internet of Underwater Things and Big Marine Data Analytics—A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23, 904-956. <https://doi.org/10.1109/comst.2021.3053118>
- Jelokhani-Niaraki, M., Moradi-Pour, S., Samany, N., & Mohammadkhan, S. (2023). A multiple models-multiple users group GIS-based decision support system for land

- use problems. Land Use Policy.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106916>
- Jung, S., Jeong, S., Kang, J., & Kang, J. (2023). Marine IoT Systems With Space–Air–Sea Integrated Networks: Hybrid LEO and UAV Edge Computing. *IEEE Internet of Things Journal*, 10, 20498-20510. <https://doi.org/10.1109/jiot.2023.3287196>
- Karst, J., McGurrian, R., Gavin, K. E., Luttrell, J., Rippey, W., Coniglione, R., McKenna, J. R., & Riedel, R. (2025). Enhancing Maritime Domain Awareness Through AI-Enabled Acoustic Buoys for Real-Time Detection and Tracking of Fast-Moving Vessels. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25. <https://doi.org/10.3390/s25061930>
- Kelly, C., Ellis, G., & Flannery, W. (2018). Conceptualising change in marine governance: Learning from Transition Management. *Marine Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.06.023>
- Kim, M., Park, J., & Hyun, C.-U. (2026). A Review of *Oil Spill* Detection and *Monitoring* Techniques Using Satellite *Remote Sensing* Data and the Google Earth Engine Platform. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse14060565>
- Kim, Y., Kim, J., Lee, W., Park, H., & Cho, D. (2025). FURIOUS: Fully unified risk-assessment with interactive operational user system for vessels. *PLOS One*, 20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323300>
- Kiran, M., Xie, Y., Anjum, N., Ball, G., Pierscionek, B., & Russell, D. (2025). *Machine learning and Artificial Intelligence* in type 2 diabetes prediction: a comprehensive 33-year bibliometric and literature analysis. *Frontiers in Digital Health*, 7. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2025.1557467>
- Klarin, A. (2024). How to conduct a bibliometric content analysis: Guidelines and contributions of content *co-occurrence* or co-word literature reviews. *International Journal of Consumer Studies*. <https://doi.org/10.1111/ijcs.13031>
- Koldasbayeva, D., Tregubova, P., Gasanov, M., Zaytsev, A., Petrovskaya, A., & Burnaev, E. (2024). Challenges in data-driven geospatial modeling for environmental research and practice. *Nature Communications*, 15. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-55240-8>
- Krishnamoorthy, R., Tanaka, K., & Begum, M. (2025). Integrating GIS-*Remote Sensing*: A Comprehensive Approach to Predict Oceanographic Health and Coastal Dynamics. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 8, 200 - 212. <https://doi.org/10.1007/s41976-024-00185-1>
- Kuo, C., & Chou, H. (2023). An ontology-based framework for semantic *Geographic Information Systems* development and understanding. *Comput. Geosci.*, 181, 105462. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2023.105462>
- Kuzior, A., & Sira, M. (2022). A Bibliometric Analysis of Blockchain Technology Research Using VOSviewer. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14138206>
- Lee, D., Jang, D., & Yoo, S. (2025). Development of a Multidimensional Analysis and Integrated Visualization Method for Maritime Traffic Behaviors Using DBSCAN-Based Dynamic Clustering. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app15020529>
- Lester, S., Dubel, A. K., Hernán, G., McHenry, J., & Rassweiler, A. (2020). Spatial Planning Principles for Marine Ecosystem Restoration. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00328>
- Li, H., Çelik, C., Bashir, M., Zou, L., & Yang, Z. (2024). Incorporation of a global perspective into data-driven analysis of maritime collision accident risk. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 249, 110187. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110187>

- Li, H., Jiao, H., & Yang, Z. (2023). AIS data-driven ship trajectory prediction modelling and analysis based on *machine learning* and *Deep Learning* methods. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103152>
- Li, J., Zhang, G., Jiang, C., & Zhang, W. (2023). A survey of maritime unmanned search system: Theory, applications and future directions. *Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115359>
- Li, M., Mou, J., Liu, R., Chen, P., Dong, Z., & He, Y. (2019). Relational Model of Accidents and Vessel Traffic Using AIS Data and GIS: A Case Study of the Western Port of Shenzhen City. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse7060163>
- Li, W., Cheng, K., Shi, G., Desrosiers, R., & Wang, X. (2025). Ship domain models: Reviewing the advancements and exploring the future directions in the maritime autonomous surface ships. *Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120935>
- Li, X., Yue, J., Wang, S., Luo, Y., Su, C., Zhou, J., Xu, D., & Lu, H. (2023). Development of *Geographic Information System* Architecture Feature Analysis and Evolution Trend Research. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16010137>
- Li, Z., Ning, H., Gao, S., Janowicz, K., Li, W., Arundel, S., Yang, C., Bhaduri, B., Wang, S., Zhu, A.-X., Gahegan, M., Shekhar, S., Ye, X., McKenzie, G., Cervone, G., & Hodgson, M. E. (2025). GIScience in the era of *Artificial Intelligence*: a research agenda towards Autonomous GIS. *Annals of GIS*, 31, 501 - 536. <https://doi.org/10.1080/19475683.2025.2552161>
- 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>
- Liao, L., Zhao, Q., & Song, W. (2023). *Monitoring of Oil Spill Risk in Coastal Areas Based on Polarimetric SAR Satellite Images and Deep Learning Theory*. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su151914504>
- Lieske, D., Avery-Gomm, S., Champagne, P. S., & Fulton, L. (2025). GIS, *Remote Sensing* and Machine Learning: Data Integration to Support the Management of Coastal Island Ecosystems. *Environmental Management*, 75, 2625 - 2646. <https://doi.org/10.1007/s00267-025-02202-5>
- 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, R. W., Yuan, W., Chen, X., & Lu, Y. (2021). An enhanced CNN-enabled learning method for promoting ship detection in *maritime surveillance* system. *Ocean Engineering*, 235, 109435. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109435>
- Lopac, N., Jurdana, I., Brnelić, A., & Krljan, T. (2022). Application of Laser Systems for Detection and Ranging in the Modern Road Transportation and Maritime Sector. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22. <https://doi.org/10.3390/s22165946>
- Lyu, M., Zhao, Y., Huang, C., & Huang, H. (2023). Unmanned Aerial Vehicles for Search and Rescue: A Survey. *Remote. Sens.*, 15, 3266. <https://doi.org/10.3390/rs15133266>

- Mahrad, B. E., Newton, A., Icely, J., Kacimi, I., Abalansa, S., & Snoussi, M. (2020). Contribution of *Remote Sensing* Technologies to a Holistic Coastal and Marine Environmental Management Framework: A Review. *Remote. Sens.*, 12, 2313. <https://doi.org/10.3390/rs12142313>
- Masria, A. (2024). Bridging Coastal Challenges: The Role of *Remote Sensing* and Future Research. *Regional Studies in Marine Science*. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103502>
- Melet, A., Teatini, P., Cozannet, G., Jamet, C., Conversi, A., Benveniste, J., & Almar, R. (2020). Earth Observations for *Monitoring* Marine Coastal Hazards and Their Drivers. *Surveys in Geophysics*, 41, 1489 - 1534. <https://doi.org/10.1007/s10712-020-09594-5>
- Mishra, B., Garg, D., Narang, P., & Mishra, V. (2020). Drone-surveillance for search and rescue in natural disaster. *Comput. Commun.*, 156, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.012>
- Morzaria-Luna, H., Turk-Boyer, P., Hernandez, J., Polanco-Mizquez, E., Downton-Hoffmann, C., Cruz-Piñón, G., Carrillo-Lammens, T., Loaiza-Villanueva, R., Valdivia-Jiménez, P. A., Sánchez-Cruz, A., Peña-Mendoza, V., López-Ortiz, A. M., Koch, V., Vázquez-Vera, L., Arreola-Lizárraga, J., Amador-Castro, I. G., Castillo, A. S. N., & Munguía-Vega, A. (2020). Fisheries management tools to support coastal and marine spatial planning: A case study from the Northern Gulf of California, Mexico. *MethodsX*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101108>
- Murray, B., & Perera, L. (2021). Ship behavior prediction via trajectory extraction-based clustering for maritime situation awareness. *Journal of Ocean Engineering and Science*. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2021.03.001>
- Narayanan, K. J. S., & Manimaran, A. (2023). Recent developments in *Geographic Information Systems* across different application domains: a review. *Knowledge and Information Systems*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s10115-023-01969-5>
- Nascimento, V. D. D., Alves, T. A. O., Farias, C. M. D., & Dutra, D. (2024). A Hybrid Framework for *Maritime surveillance*: Detecting Illegal Activities through Vessel Behaviors and Expert Rules Fusion. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 24. <https://doi.org/10.3390/s24175623>
- Nasios, I., & Vogklis, K. (2025). AI at Sea, Year Six: Performance Evaluation, Failures, and Insights from the Operational Meta-Analysis of SatShipAI, a Sensor-Fused *Maritime surveillance* Platform. *Electronics*. <https://doi.org/10.3390/electronics14183648>
- Nayak, P. P., B, P. J., & Govindan, S. (2025). Leveraging *Geographic Information System* for dengue surveillance: a scoping review. *Tropical Medicine and Health*, 53. <https://doi.org/10.1186/s41182-025-00783-9>
- Ngo, T. B., Ngo, L., Nguyen, D. T., Phi, A. V., Perera, A. G., & Nguyen, A. (2026). UAV-Based Visual Detection and Tracking of Drowning Victims in Maritime Rescue Operations. *Drones*. <https://doi.org/10.3390/drones10020146>
- Nikouei, M., Baroutian, B., Nabavi, S., Taraghi, F., Aghaei, A., Sajedi, A., & Moghaddam, M. E. (2025). Small Object Detection: A Comprehensive Survey on Challenges, Techniques and Real-World Applications. *ArXiv*, abs/2503.20516. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2025.200561>
- Ning, H., Li, Z., Akinboyewa, T., & Lessani, M. (2024). An autonomous GIS agent framework for geospatial data retrieval. *International Journal of Digital Earth*, 18. <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2458688>

- Nomikos, N., Gkonis, P., Bithas, P., & Trakadas, P. (2022). A Survey on UAV-Aided Maritime Communications: Deployment Considerations, Applications, and Future Challenges. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 4, 56-78. <https://doi.org/10.1109/ojcoms.2022.3225590>
- Nurfalah, A., Supangkat, S., & Mulyana, E. (2023). Effective & near real-time track-to-track association for large sensor data in Maritime Tactical Data System. *ICT Express*, 10, 312-319. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2023.07.010>
- Okafor-Yarwood, I. (2020). The Cyclical Nature of Maritime Security Threats: Illegal, Unreported, and Unregulated Fishing as a Threat to Human and National Security in the Gulf of Guinea. *African Security*, 13, 116 - 146. <https://doi.org/10.1080/19392206.2020.1724432>
- Okafor-Yarwood, I., Eastwood, O., Chikowore, N., & De Oliveira Paes, L. (2024). Technology and maritime security in Africa: Opportunities and challenges in Gulf of Guinea. *Marine Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105976>
- Omar, O. E., Mahad, H., Gedi, O. A., Bashir, S. G., & Bilow, I. A. (2026). Revisiting the fisheries-piracy nexus in Somalia: illegal fishing, governance collapse, and maritime crime. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2026.1821353>
- Ouellette, W., & Getinet, W. (2016). *Remote Sensing* for Marine Spatial Planning and Integrated Coastal Areas Management: Achievements, challenges, opportunities and future prospects. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4, 138-157. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.07.003>
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J. M., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Page, M., Moher, D., & McKenzie, J. (2021). Introduction to PRISMA 2020 and implications for research synthesis methodologists. *Research Synthesis Methods*, 13, 156 - 163. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1535>
- Page, M., Moher, D., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J. M., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . McKenzie, J. (2020). PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- Paolo, F. S., Kroodsmas, D., Raynor, J., Hochberg, T., Davis, P., Cleary, J., Marsaglia, L., Orofino, S., Thomas, C., & Halpin, P. N. (2024). Satellite mapping reveals extensive industrial activity at sea. *Nature*, 625, 85–91. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06825-8>
- Park, H. Y., Suh, C., Woo, S., Kim, P., & Kim, K. (2022). Quality Reporting of Systematic Review and Meta-Analysis According to PRISMA 2020 Guidelines: Results from Recently Published Papers in the Korean Journal of Radiology. *Korean Journal of Radiology*, 23, 355 - 369. <https://doi.org/10.3348/kjr.2021.0808>
- Park, H., Jung, J., Seo, M.-S., Choi, H., Cho, D., Park, S., & Choi, D.-G. (2025). AIS-LLM: A Unified Framework for Maritime Trajectory Prediction, Anomaly Detection, and Collision Risk Assessment with Explainable Forecasting. *ArXiv*, abs/2508.07668. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2508.07668>

- Park, S., & Song, A. (2023). Shoreline Change Analysis with *Deep Learning* Semantic Segmentation Using *Remote Sensing* and GIS Data. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 28, 928 - 938. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1604-9>
- Parums, D. (2021). Editorial: Review Articles, Systematic Reviews, Meta-Analysis, and the Updated Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 Guidelines. *Medical Science Monitor : International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 27, e934475-1 - e934475-3. <https://doi.org/10.12659/msm.934475>
- Pastina, D., Santi, F., Pieralice, F., Antoniou, M., & Cherniakov, M. (2021). Passive Radar Imaging of Ship Targets With GNSS Signals of Opportunity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59, 2627-2642. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2020.3005306>
- Patel, K., Bhatt, C., & Mazzeo, P. (2022). *Deep Learning*-Based Automatic Detection of Ships: An Experimental Study Using Satellite Images. *Journal of Imaging*, 8. <https://doi.org/10.3390/jimaging8070182>
- Peng, J., Wang, S., Mu, L., & Wang, S. (2024). *Risk Assessment of Oil Spills* along the Coastline of Jiaozhou Bay Using GIS Techniques and the MEDSLIK-II Model. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w16070996>
- Phayal, A., Gold, A., Maharani, C., Palomares, M. L., Pauly, D., Prins, B., & Riyadi, S. (2024). All maritime crimes are local: Understanding the causal link between illegal fishing and maritime piracy. *Political Geography*. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2024.103069>
- Pieri, G., Cocco, M., & Salvetti, O. (2018). A Marine Information System for Environmental Monitoring: ARGO-MIS. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6, 15. <https://doi.org/10.3390/jmse6010015>
- Qi, S., Lin, B., Deng, Y., Chen, X., & Fang, Y. (2024). Minimizing Maximum Latency of Task Offloading for Multi-UAV-Assisted Maritime Search and Rescue. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 73, 13625-13638. <https://doi.org/10.1109/tvt.2024.3384570>
- Qiao, D., Liu, G., Lv, T., Li, W., & Zhang, J. (2021). Marine Vision-Based Situational Awareness Using Discriminative *Deep Learning*: A Survey. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9, 397. <https://doi.org/10.3390/jmse9040397>
- Qingquan, L., Yi, L., Shuibo, H., Zhongwen, H., Hongzhong, L., Peng, L., Tiezhu, S., Chisheng, W., Junjie, W., & Guofeng, W. (2016). Review of remotely sensed geo-environmental *Monitoring* of coastal zones. *National Remote Sensing Bulletin*. <https://doi.org/10.11834/jrs.20166168>
- 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>
- Ramieri, E., Bocci, M., Brigolin, D., Campostrini, P., Carella, F., Fadini, A., Farella, G., Gissi, E., Madeddu, F., Menegon, S., Monaco, M. R., Musco, F., Soffietti, F., Barberi, L., & Barbanti, A. (2024). Designing and implementing a multi-scalar approach to Maritime Spatial Planning: The case study of Italy. *Marine Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105911>
- Ramovha, N., Mokoatle, M., Rathebe, P., & Sithole, T. (2026). Advancing Smart Water Loss and *Oil Spill* age Management: a Comprehensive Review of *Remote Sensing* and GIS Application. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-026-04508-3>

- Rangel, G. C., Da Silva Alves, V. B. A., De Araújo Costa, I. P., Moreira, M., De Araújo Costa, A. P., Santos, M., & Eckstrand, E. (2025). Efficient Naval Surveillance: Addressing Label Noise with Rockafellian Risk Minimization for Water Security. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w17030401>
- Rawson, A., & Brito, M. (2020). A critique of the use of domain analysis for spatial collision *Risk Assessment*. *Ocean Engineering*, 108259. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108259>
- Rawson, A., Brito, M., & Sabeur, Z. (2021). Spatial Modeling of Maritime Risk Using *Machine Learning Risk Analysis*, 42. <https://doi.org/10.1111/risa.13866>
- Rawson, A., Sabeur, Z., & Brito, M. (2021). Intelligent geospatial maritime risk analytics using the Discrete Global Grid System. *Big Earth Data*, 6, 294 - 322. <https://doi.org/10.1080/20964471.2021.1965370>
- Razzaq, A. (2022). Blockchain-based secure data transmission for internet of underwater things. *Cluster Computing*, 25, 4495-4514. <https://doi.org/10.1007/s10586-022-03701-4>
- Razzaq, A., Mohsan, S. A. H., Li, Y., & Alsharif, M. H. (2023). Architectural Framework for Underwater IoT: Forecasting System for Analyzing Oceanographic Data and Observing the Environment. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse11020368>
- Reggiannini, M., Salerno, E., Bacciu, C., D'Errico, A., Duca, A. L., Marchetti, A., Martinelli, M., Mercurio, C., Mistretta, A., Righi, M., Tampucci, M., & Di Paola, C. (2024). *Remote Sensing* for Maritime Traffic Understanding. *Remote. Sens.*, 16, 557. <https://doi.org/10.3390/rs16030557>
- 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>
- Sackey, A. D., Lomotey, B., Sackey, A. D., Lee, R. O.-D., Teye, A. A., Quarcoo, R., & Bansah, J. E. K. (2022). Delineating the relationship between maritime insecurity and COVID-19 pandemic on West African maritime trade. *Journal of Shipping and Trade*, 7. <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00121-w>
- Şahin, B. B., Erdaş, Ç., & Sümer, E. (2026). Multi-sensor data fusion in *maritime surveillance*: a review on methods and applications. *PeerJ Computer Science*. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.3765>
- Saif, A. N. M., & Islam, M. A. (2022). Blockchain in human resource management: a systematic review and bibliometric analysis. *Technology Analysis & Strategic Management*, 36, 635 - 650. <https://doi.org/10.1080/09537325.2022.2049226>
- Salam, A., Pranasari, T. E., Sasmita, W. S., & Paramashanti, B. (2026). Global trends and emerging themes in digital human resource management in healthcare: A bibliometric analysis.. *Health services management research*, 9514848261461230 . <https://doi.org/10.1177/09514848261461230>
- Sanchez-Gonzalez, P.-L., Díaz-Gutiérrez, D., Leo, T., & Núñez-Rivas, L. R. (2019). Toward Digitalization of Maritime Transport? *Sensors*, 19. <https://doi.org/10.3390/s19040926>
- Santamaria, C., Alvarez, M., Greidanus, H., Syrris, V., Soille, P., & Argentieri, P. (2017). Mass Processing of Sentinel-1 Images for *Maritime surveillance*. *Remote. Sens.*, 9, 678. <https://doi.org/10.3390/rs9070678>
- Santos, C. F., Agardy, T., Andrade, F., Crowder, L., Ehler, C., & Orbach, M. (2018). Major challenges in developing marine spatial planning. *Marine Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.032>

- Sedaghat, A., Arbabkhah, H., Kang, M. J., & Hamidi, M. (2024). *Deep Learning Applications in Vessel Dead Reckoning to Deal with Missing Automatic Identification System Data*. Journal of Marine Science and Engineering. <https://doi.org/10.3390/jmse12010152>
- Seyed, A. G., Ahmadi, A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M. M. I. S., Hamed, S., Moghaddam, A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., Brisco, B., S. M., & M. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for *Remote Sensing* Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326-5350. <https://doi.org/10.1109/jstars.2020.3021052>
- Sharma, S., Beslity, J. O., Rustad, L., Shelby, L. J., Manos, P. T., Khanal, P., Reinmann, A., & Khanal, C. (2024). *Remote Sensing and GIS in Natural Resource Management: Comparing Tools and Emphasizing the Importance of In-Situ Data*. *Remote. Sens.*, 16, 4161. <https://doi.org/10.3390/rs16224161>
- Snapir, B., Waine, T., & Biermann, L. (2019). Maritime Vessel Classification to Monitor Fisheries with SAR: Demonstration in the North Sea. *Remote. Sens.*, 11, 353. <https://doi.org/10.3390/rs11030353>
- Sohrabi, C., Franchi, T., Mathew, G., Kerwan, A., Nicola, M., Griffin, M., Agha, M., & Agha, R. (2021). PRISMA 2020 statement: What's new and the importance of reporting guidelines. *International Journal of Surgery*, 105918. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105918>
- Soldi, G., Gaglione, D., Forti, N., Simone, A. D., Daffinà, F., Bottini, G., Quattrociochi, 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>
- Song, Y.-S., Kalacska, M., Gašparović, M., Yao, J., & Najibi, N. (2023). Advances in geocomputation and geospatial *Artificial Intelligence* (GeoAI) for mapping. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, 120, 103300. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103300>
- Soulami, M., Benchekroun, S., & Galiulina, A. (2024). Exploring how AI adoption in the workplace affects employees: a bibliometric and systematic review. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1473872>
- Spinosa, A., Ziemba, A., Saponieri, A., Damiani, L., & Serafy, E. G. (2021). *Remote Sensing-Based Automatic Detection of Shoreline Position: A Case Study in Apulia Region*. Journal of Marine Science and Engineering, 9, 575. <https://doi.org/10.3390/jmse9060575>
- Syed, M. A. B., & Ahmed, I. I. (2023). A CNN-LSTM Architecture for Marine Vessel Track Association Using Automatic Identification System (AIS) Data. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23146400>
- Talbot-Jones, J., Macpherson, E., Jorgensen, E., Allison, A., Fisher, K., Hewitt, J., Paul, A., Rennie, H., & Zylla, A. (2025). Facilitating the ecosystem-based management transition in Aotearoa New Zealand. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 55, 1880 - 1896. <https://doi.org/10.1080/03036758.2024.2426628>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L. J., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152-170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>

- Thanopoulou, H., Patera, A., Moresis, O., Georgoulis, G., Lioumi, V., Kanavos, A., Papadimitriou, O., Zervakis, V., & Dagkinis, I. (2023). Supporting Informed Public Reactions to Shipping Incidents with *Oil Spill* Potential: An Innovative Electronic Platform. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su152015035>
- Theodoropoulos, P., Spandonidis, C. C., Giannopoulos, F., & Fassois, S. (2021). A *Deep Learning*-Based Fault Detection Model for Optimization of Shipping Operations and Enhancement of Maritime Safety. *Sensors* (Basel, Switzerland), 21. <https://doi.org/10.3390/s21165658>
- Thodi, M. F. C., Gopinath, G., Surendran, U., Prem, P., Al-Ansari, N., & Mattar, M. A. (2023). Using RS and GIS Techniques to Assess and Monitor Coastal Changes of Coastal Islands in the Marine Environment of a Humid Tropical Region. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w15213819>
- Thombre, S., Zhao, Z., Ramm-Schmidt, H., Garcia, J. V., Malkamaki, T., Nikolskiy, S., Hammarberg, T., Nuortie, H., Bhuiyan, M. Z. H., Särkkä, S., & Lehtola, V. (2020). Sensors and AI Techniques for Situational Awareness in Autonomous Ships: A Review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23, 64-83. <https://doi.org/10.1109/tits.2020.3023957>
- 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>
- Valencia-Arias, A., Gómez-Bayona, L., Moreno-López, G., Sialer-Rivera, N., Bernal, O.-V., Gallegos, A., & Arias-Vargas, F. J. (2023). Research trends around open innovation in higher education: advancements and future direction. *Frontiers in Education*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1146990>
- Vance, T., Wengren, M., Burger, E., Hernandez, D., Kearns, T., Medina-Lopez, E., Merati, N., O'Brien, K., O'Neil, J., Potemra, J., Signell, R., & Wilcox, K. (2019). From the Oceans to the Cloud: Opportunities and Challenges for Data, Models, Computation and Workflows. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00211>
- Velástegui-Montoya, A., Montalvan-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Rivera-Torres, H., Sadeck, L., & Adami, M. (2023). Google Earth Engine: A Global Analysis and Future Trends. *Remote. Sens.*, 15, 3675. <https://doi.org/10.3390/rs15143675>
- Vo, D., Nguyen, X., Nguyen, T., Hidayat, R., Huynh, T., & Nguyen, D. (2021). A review on the internet of thing (IoT) technologies in controlling ocean environment. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 47, 10064 - 10082. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1960932>
- Wang, C., Mouche, A., Tandeo, P., Stopa, J., Longépé, N., Erhard, G., Foster, R., Vandemark, D., & Chapron, B. (2019). A labelled ocean SAR imagery dataset of ten geophysical phenomena from Sentinel-1 wave mode. *Geoscience Data Journal*, 6, 105 - 115. <https://doi.org/10.1002/gdj3.73>
- Wang, H., Liu, Z., Liu, Z., Wang, X., & Wang, J. (2022). GIS-based analysis on the spatial patterns of global maritime accidents. *Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110569>
- 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>
- Won, W., Lim, M., & Kang, W. (2024). Estimating Accident Reduction Rate after Maritime Traffic Safety Assessment Using Synthetic Minority Oversampling Technique and

- Machine learning* Algorithm. Applied Sciences.
<https://doi.org/10.3390/app14083283>
- Wright, D., Janzen, C., Bochenek, R., Austin, J., & Page, E. (2019). Marine Observing Applications Using AIS: Automatic Identification System. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00537>
- Wu, J., Gan, W., Chao, H.-C., & Yu, P. S. (2024). Geospatial Big Data: Survey and Challenges. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 17007-17020. <https://doi.org/10.1109/jstars.2024.3438376>
- Xia, H., Liu, Z., Maria, E., Liu, X., & Lin, C.-H. (2022). Study on City Digital Twin Technologies for Sustainable Smart City Design: a Review and Bibliometric Analysis of *Geographic Information System* and Building Information Modeling Integration. *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104009>
- Xin, X., Liu, K., Li, H., & Yang, Z. (2024). Maritime traffic partitioning: An adaptive semi-supervised spectral regularization approach for leveraging multi-graph evolutionary traffic interactions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104670>
- Xin, X., Liu, K., Loughney, S., Wang, J., Li, H., Ekere, N., & Yang, Z. (2023). Multi-scale collision risk estimation for maritime traffic in complex port waters. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 240, 109554. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109554>
- Xu, G., Shi, Y., Sun, X., & Shen, W. (2019). Internet of Things in Marine Environment Monitoring: A Review. *Sensors* (Basel, Switzerland), 19. <https://doi.org/10.3390/s19071711>
- Xu, H., Wu, J., Pan, Q., Guan, X., & Guizani, M. (2023). A Survey on Digital Twin for Industrial Internet of Things: Applications, Technologies and Tools. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25, 2569-2598. <https://doi.org/10.1109/comst.2023.3297395>
- Xu, S., Fu, Y., Xu, D., Han, S., Wu, M., Ju, X., Liu, M., Huang, D., & Guan, P. (2023). Mapping Research Trends of Medications for Multidrug-Resistant Pulmonary Tuberculosis Based on the *Co-occurrence* of Specific Semantic Types in the MeSH Tree: A Bibliometric and Visualization-Based Analysis of PubMed Literature (1966–2020). *Drug Design, Development and Therapy*, 17, 2035 - 2049. <https://doi.org/10.2147/dddt.s409604>
- Yang, C., Huang, Q., Li, Z., Liu, K., & Hu, F. (2017). Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges. *International Journal of Digital Earth*, 10, 13 - 53. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1239771>
- Yang, D., Wu, L., Wang, S., Jia, H., & Li, K. X. (2019). How big data enriches maritime research – a critical review of Automatic Identification System (AIS) data applications. *Transport Reviews*, 39, 755 - 773. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1649315>
- Yang, J.-H., Yang, J.-Y., & Chang, Y. (2025). Toward Sustainable Development in the Ocean: A Framework for Blue Economy Marine Spatial Planning. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.70183>
- Yang, T., Jiang, Z., Sun, R., Cheng, N., & Feng, H. (2020). Maritime Search and Rescue Based on Group Mobile Computing for Unmanned Aerial Vehicles and Unmanned Surface Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16, 7700-7708. <https://doi.org/10.1109/tii.2020.2974047>
- 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>
- Yang, Y., Shao, Z., Hu, Y., Mei, Q., Pan, J., Song, R., & Wang, P. (2022). Geographical spatial analysis and risk prediction based on *machine learning* for maritime traffic accidents: A case study of Fujian sea area. *Ocean Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113106>
- Yıldız, S., Uğurlu, Ö., Loughney, S., Wang, J., & Tonoğlu, F. (2022). Spatial and statistical analysis of operational conditions influencing accident formation in narrow waterways: A Case Study of Istanbul Strait and Dover Strait. *Ocean Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112647>
- Yosep, I., Hikmat, R., Mardhiyah, A., & Kurniawan, K. (2026). Trends and research hotspots in digital interventions for recovery in Schizophrenia: A Bibliometric analysis (2016–2025). *International Journal of Africa Nursing Sciences*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijans.2026.101026>
- Yu, H., Zhang, F., Yu, H., & Li, Y. (2025). A Multi-Criteria Framework for Sustainable Marine Spatial Planning in Coastal Cities: Case Study in Shenzhen, China. *Sustainability*.
<https://doi.org/10.3390/su17104480>
- ZekiAbdAlsammed, S. M. (2021). Advanced GIS-based Multi-Function Support System for Identifying the Best Route. *Baghdad Science Journal*.
<https://doi.org/10.21123/bsj.2022.19.3.0631>
- Zhan, H.-X., Zhang, Y., Huang, J., Song, Y., Xing, L., Wu, J., & Gao, Z. (2024). A reinforcement learning-based evolutionary algorithm for the unmanned aerial vehicles maritime search and rescue path planning problem considering multiple rescue centers. *Memetic Computing*, 16, 373 - 386. <https://doi.org/10.1007/s12293-024-00420-8>
- Zhang, D., Zhan, J., Tan, L., Gao, Y., & Zupan, R. (2020). Comparison of two *Deep Learning* methods for ship target recognition with optical remotely sensed data. *Neural Computing and Applications*, 33, 4639 - 4649. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05307-6>
- Zhang, Q., Fan, H., Qin, Y., & Zhou, Y. (2025). Advances in Interferometric Synthetic Aperture Radar Technology and Systems and Recent Advances in Chinese SAR Missions. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25. <https://doi.org/10.3390/s25154616>
- Zhang, T., Zhang, X., Liu, C., Shi, J., Wei, S., Ahmad, I., Zhan, X., Zhou, Y., Pan, D., Li, J., & Su, H. (2021). Balance learning for ship detection from synthetic aperture radar *Remote Sensing* imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.10.010>
- Zhang, W., Chen, G., & Yang, Z. (2025). Auction- and Pheromone-Based Multi-UAV Cooperative Search and Rescue in Maritime Environments. *Drones*.
<https://doi.org/10.3390/drones9110794>
- Zhang, X., Tan, R., Lam, W., Yao, L., Wang, X., Cheng, C.-W., Liu, F., Chan, J. C. P., Aixinjueluo, Q.-Y., Lau, C., Chen, Y., Yang, K., Wu, T., Lyu, A., & Bian, Z. (2020). PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) Extension for Chinese Herbal Medicines 2020 (PRISMA-CHM 2020).. *The American journal of Chinese medicine*, 1-35 . <https://doi.org/10.1142/s0192415x20500639>
- Zhang, X., Zhang, C., Chen, X., & Su, P. (2024). Evaluation of the vulnerability of Huanghe estuary coastal wetlands to marine *Oil Spill* stress. *Frontiers in Marine Science*.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1481868>

Zissis, D., Chatzikokolakis, K., Spiliopoulos, G., & Voudas, M. (2020). A Distributed Spatial Method for Modeling Maritime Routes. *IEEE Access*, 8, 47556-47568.
<https://doi.org/10.1109/access.2020.2979612>