

Sistem Maklumat Geografi dalam perikanan: Analisis sistematik ke arah kelestarian sumber

Noorashikin Md Noor^{1,2}, Muhamad Amirul Hakimi Mohd Sani³, Mai Izatul Nuraishah Mior Hazri¹,
Khairul Nizam Abdul Maulud^{1,4}, Azlan Abas³

¹Pusat Pencerapan Bumi, Institut Perubahan Iklim, Universiti Kebangsaan Malaysia

²Pusat Penyelidikan Ekosistem Marin (EKOMAR), Pusat Pengurusan Makmal Alami & Fizikal UKM (ALAF-UKM), Universiti Kebangsaan Malaysia

³Pusat Pembangunan Sosial Dan Persekitaran, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan

⁴Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia

Correspondence: Noorashikin Md Noor (email: noor@ukm.edu.my)

Received: 21 August 2024; Accepted: 1 February 2025; Published: 14 February 2025

Abstrak

Kajian ini meneliti peranan Sistem Maklumat Geografi (GIS) dalam pengurusan sumber perikanan, khususnya dalam menangani cabaran kelestarian sumber semula jadi. GIS berkesan dalam mengumpulkan, menganalisis, dan memvisualisasikan data bagi merumuskan strategi pengurusan yang mampan. Asia Tenggara, sebagai pengeluar utama produk perikanan global, menghadapi keperluan mendesak untuk mengukuhkan pengurusan lestari di kawasan pesisir, perairan pedalaman, dan laut terbuka bagi menjamin keselamatan makanan serta pemuliharaan biodiversiti marin. Kajian ini menggunakan pendekatan sistematik menganalisis artikel jurnal berindeks tinggi yang diterbitkan antara 2017–2023. Artikel diperoleh daripada Scopus, Web of Science, dan SpringerLink, menggunakan kata kunci seperti “*Geographic Information Systems (GIS)*,” “*Fisheries Management*,” “*Remote Sensing*,” dan “*Sustainable Fisheries*”. Penilaian dilakukan berdasarkan kriteria inklusi seperti fokus terhadap aplikasi GIS dalam perikanan, integrasi teknologi penderiaan jauh, serta kesannya terhadap pengurusan sumber perikanan yang mampan. Hasil analisis menunjukkan GIS berperanan penting dalam pemetaan habitat kritikal, penilaian kesesuaian habitat, dan pemantauan sumber perikanan. Integrasi GIS dengan teknologi penderiaan jauh dan pangkalan data piawai memperkukuh pengambilan keputusan berasaskan data, terutama dalam menangani spesies invasif dan terancam. Selain itu, aplikasi GIS dalam kajian dinamik perikanan dan perancangan pengurusan sumber secara holistik semakin mendapat perhatian dalam konteks perubahan iklim dan tekanan ekosistem. Kesimpulannya, GIS menawarkan potensi besar untuk meningkatkan pengurusan perikanan yang mampan, menyokong pemuliharaan ekosistem, serta membimbing dasar perikanan yang lebih strategik bagi generasi akan datang.

Kata kunci: Asia Tenggara, ekologi, kelestarian sumber, pengurusan perikanan, teknologi geospasial

Geographic Information System in Fisheries: A systematic analysis towards resource sustainability

Abstract

This article examines the role of Geographic Information Systems (GIS) in fisheries resource management, particularly in addressing sustainability challenges. GIS has proven effective in collecting, analyzing, and visualizing critical data to formulate sustainable fisheries management strategies while supporting ecosystem conservation. Southeast Asia, as a major global fisheries producer, faces an urgent need to strengthen sustainable management in coastal, inland, and marine areas to ensure food security and biodiversity conservation. This study employs a systematic review approach, analyzing high-indexed journal articles published between 2017 and 2023. Articles were sourced from Scopus, Web of Science, and SpringerLink, using keywords such as “*Geographic Information Systems (GIS)*,” “*Fisheries Management*,” “*Remote Sensing*,” and “*Sustainable Fisheries*.” Articles were evaluated based on inclusion criteria, including the application of GIS in fisheries, the integration of remote sensing technologies, and their impact on sustainable fisheries management. Findings highlight that GIS plays a crucial role in mapping critical habitats, assessing habitat suitability, predicting species distribution, monitoring fisheries resources, and analyzing fish population patterns. The integration of GIS with remote sensing and standardized databases enhances data-driven decision-making, particularly in managing invasive and endangered species. Additionally, GIS applications in dynamic fisheries research and holistic resource management planning are increasingly recognized in the context of climate change and ecosystem stress. In conclusion, GIS presents significant potential for enhancing sustainable fisheries management, supporting ecosystem conservation, and guiding strategic fisheries policies for future generations.

Keywords: Southeast Asia, ecology, resource sustainability, fisheries management, geospatial technology

Pengenalan

Sistem Maklumat Geografi (GIS) telah muncul sebagai teknologi kritikal dalam pengurusan perikanan dan akuakultur, membolehkan pengumpulan, analisis, dan visualisasi data spatial untuk menyokong perancangan dan pengurusan yang lebih baik. Pada asalnya dibangunkan untuk kegunaan darat seperti pembangunan infrastruktur, pengurusan tadahan air, dan pemuliharaan hutan, GIS kini telah diterapkan secara meluas dalam sektor perikanan. Keupayaan teknologi ini untuk mengintegrasikan data ruang dengan parameter alam sekitar menjadikannya alat yang penting dalam mengenal pasti habitat kritikal, menilai kesesuaian habitat, dan meramal keberadaan spesies ikan dengan ketepatan yang lebih tinggi (Noor & Abdul Maulud, 2022). Penggunaan GIS dalam sektor perikanan bukan sahaja membantu meningkatkan kecekapan pengurusan sumber, tetapi juga memperkukuhkan usaha ke arah pembangunan yang lebih lestari dalam menghadapi cabaran global seperti perubahan iklim dan eksploitasi berlebihan sumber.

Asia Tenggara, sebagai salah satu wilayah pengeluar utama ikan dan produk perikanan global, memegang kedudukan strategik dalam memastikan keselamatan makanan global. Pada tahun 2014, rantau ini menyumbang 22% daripada pengeluaran perikanan dunia, dengan Indonesia

muncul sebagai peneraju utama (Warren & Steenbergen, 2021). Kepentingan sektor perikanan di rantau ini tidak hanya terletak pada penyediaan sumber protein utama kepada populasi tempatan, tetapi juga pada sumbangannya kepada ekonomi global. Namun, peningkatan tekanan antropogenik, termasuk perubahan guna tanah, pencemaran, dan kemerosotan habitat, telah menimbulkan cabaran besar kepada pengurusan sumber perikanan. Dalam konteks ini, penggunaan teknologi GIS menjadi lebih penting untuk memastikan keberkesanan pengurusan sumber perikanan dan menyokong usaha pemuliharaan ekosistem berkaitan.

GIS bukan sahaja membantu dalam pemetaan habitat penting dan taburan spesies, tetapi juga menyediakan data spatial yang menyeluruh untuk memahami hubungan kompleks antara faktor alam sekitar dan dinamik populasi ikan. Melalui gabungan teknologi seperti Penderiaan Jauh (RS) dan perisian pangkalan data, GIS membolehkan analisis yang dinamik dan holistik terhadap pelbagai aspek pengurusan perikanan (Craigie et al., 2016). Aplikasi ini juga sangat relevan dalam menilai kesan perubahan iklim terhadap sumber perikanan, memantau sumber secara berterusan, dan merancang langkah-langkah adaptasi yang diperlukan untuk memastikan kelestarian sektor perikanan dalam jangka panjang. Penggunaan GIS yang meluas telah membawa perubahan paradigma dalam pendekatan pengurusan perikanan, menjadikannya lebih proaktif dan berasaskan data. Tambahan pula, penerapan GIS dalam sektor perikanan memberikan impak yang ketara dalam konteks rantau Asia Tenggara. Dengan keupayaan untuk memetakan kawasan memancing dan zon perlindungan, GIS membantu mengenal pasti kawasan berpotensi tinggi untuk pembangunan akuakultur, di samping menyokong penguatkuasaan dasar-dasar pengurusan lestari. Teknologi ini juga berguna dalam menangani isu spesies invasif dan terancam, di mana analisis spatial dapat membantu dalam perancangan pemuliharaan dan perlindungan ekosistem yang lebih berkesan (Dali et al., 2023; Landuci et al., 2020). Dalam era di mana pembangunan lestari menjadi keutamaan global, penerapan GIS dalam sektor perikanan bukan sahaja relevan tetapi juga kritikal untuk menjamin kesinambungan sumber semula jadi bagi generasi akan datang. Bahagian seterusnya akan membincangkan sorotan kajian literatur yang mengupas aplikasi GIS dalam pelbagai aspek pengurusan perikanan, termasuk pemantauan sumber, pemetaan habitat, dan perancangan pemuliharaan. Sorotan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai potensi dan cabaran teknologi ini dalam konteks pengurusan sumber lestari.

Metodologi

Sorotan kajian literatur

Kajian literatur ini memfokuskan kepada analisis kajian-kajian terdahulu yang berkaitan dengan pengaplikasian teknologi GIS dalam pengurusan perikanan. Untuk memastikan kajian ini komprehensif, pendekatan kajian sistematik telah digunakan, di mana sejumlah 50 artikel dari jurnal berindeks tinggi telah dianalisis secara terperinci. Daripada jumlah ini, 14 artikel telah dikenal pasti relevan untuk sorotan ini berdasarkan kriteria inklusi seperti fokus terhadap aplikasi GIS, penggunaan teknologi RS, dan kesannya terhadap pengurusan perikanan secara mampan. Kajian ini bertujuan untuk memberikan panduan saintifik yang berharga dalam memahami bagaimana teknologi GIS dapat menyumbang kepada keberkesanan pengurusan perikanan dan pemuliharaan ekosistem berkaitan.

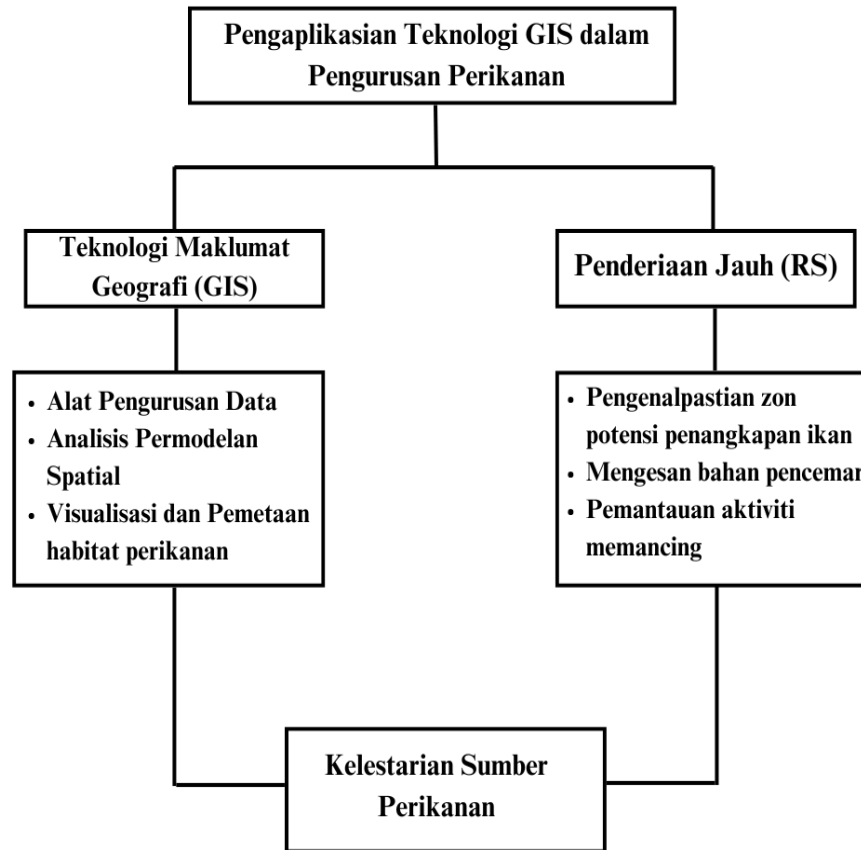
Metodologi yang digunakan untuk kajian literatur ini melibatkan pencarian artikel daripada pangkalan data akademik utama seperti Scopus, Web of Science, dan SpringerLink. Kata kunci

yang digunakan termasuk “Geographic Information Systems (GIS)”, “Fisheries Management”, “Remote Sensing”, dan “Sustainable Fisheries”. Artikel yang diterbitkan dalam tempoh lima tahun terakhir (2017–2023) diprioritikan untuk memastikan kebaruan dan relevansi penemuan. Proses saringan melibatkan penilaian tajuk, abstrak, dan isi kandungan penuh untuk memastikan hanya kajian yang memenuhi kriteria inklusi disertakan. Artikel yang lebih bersifat konseptual atau tidak menyediakan data empirikal yang mencukupi telah dikecualikan daripada analisis.

Selain itu, sorotan kajian literatur ini turut menekankan bagaimana GIS digunakan untuk mengenal pasti habitat kritikal, menilai kesesuaian habitat, dan meramal kehadiran spesies terancam. Kajian seperti ini menunjukkan bahawa teknologi GIS tidak hanya membantu dalam pengurusan sumber perikanan, tetapi juga memberikan asas saintifik yang kukuh untuk perancangan dasar yang lebih strategik. Jadual 1 menyediakan gambaran ringkas sorotan kajian utama yang akan dibincangkan dalam subtajuk seterusnya, manakala Rajah 1 menunjukkan bagaimana GIS diaplikasikan secara praktikal dalam pengurusan perikanan lestari berdasarkan sorotan kajian literatur. Hasil perbincangan daripada sorotan kajian literatur ini akan dibincangkan dengan lebih terperinci dalam subtajuk seterusnya, di mana aplikasi praktikal dan implikasi teknologi GIS dalam pengurusan perikanan akan dianalisis secara mendalam.

Jadual 1. Sorotan kajian literatur berkaitan penggunaan GIS dalam pengurusan perikanan

Pengaplikasian GIS	Rujukan
Menganalisis spatial taburan ikan dan pemuliharaan ekosistem akuatik	Konate & Etchian (2023)
GIS dan RS meningkatkan produktiviti dan pengurusan sumber perikanan secara mampan	Zhang (2023)
Identifikasi kawasan tangkapan ikan dengan kos minimum dan usaha optimum	Shaari & Mustapha (2018)
Penilaian kesesuaian habitat untuk spesies ikan terancam	Theuerkauf et al. (2019)
Pemantauan sumber perikanan menggunakan teknologi RS dan GIS	Bao et al. (2019)
Penentuan zon perlindungan habitat kritikal untuk pemuliharaan	Peng et al. (2019)
Analisis impak perubahan iklim terhadap taburan spesies ikan	Dali et al. (2023)
Pemetaan kawasan pemuliharaan laut bagi perlindungan ekosistem akuatik	Landuci et al. (2020)
Penggunaan GIS untuk memahami dinamik ruang dan masa populasi ikan	Subramani et al. (2017)
Pengurusan sumber perikanan dengan teknologi RS untuk pemetaan kawasan strategik	Panthi & Hodar (2021)
Perancangan langkah mitigasi terhadap spesies invasif menggunakan GIS	Tú et al. (2023)
Kajian potensi akuakultur melalui pemetaan kawasan sesuai	Noble et al. (2019)
Penilaian risiko terhadap ekosistem akuatik melalui analisis GIS	Serpetti et al. (2017)
Pemantauan populasi ikan melalui analisis RS dan GIS	Howson (2020)



Rajah 1. Pengaplikasian GIS dalam pengurusan perikanan yang lestari

Penentuan keperluan GIS dalam pengurusan perikanan terhadap pembangunan mampan

Kemajuan teknologi dalam bidang GIS dan RS telah menyediakan pelbagai alat dan sumber yang serba boleh, sekali gus meningkatkan keperluan untuk penyelidikan berterusan dan pembangunan teknologi ini dalam sektor perikanan (Suzzi-Simmons & Devarajan, 2023). GIS memainkan peranan penting dalam memaparkan, mengurus, menganalisis, dan memodelkan data spatial, termasuk visualisasi dan pemetaan yang relevan untuk pengurusan sumber perikanan (Rajah 1). Data ekologi, termasuk data berkaitan perikanan, sering mengandungi elemen spatial yang kompleks dan sesuai untuk dianalisis menggunakan GIS, kerana keupayaannya untuk mengintegrasikan pelbagai jenis data dan menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap ekosistem akuatik (Teniwut et al., 2022).

Teknologi GIS mempunyai keupayaan untuk mengenal pasti kawasan yang memenuhi parameter optimum, menjadikannya alat yang efektif dalam menentukan lokasi terbaik untuk aktiviti perikanan dan akuakultur. GIS juga memungkinkan integrasi data spatial dengan parameter persekitaran untuk mengenal pasti habitat kritikal, menilai kesesuaian habitat, dan meramal kehadiran spesies ikan di kawasan tertentu. Sebagai contoh, kajian oleh Konate & Etchian (2023) menunjukkan penggunaan GIS untuk menganalisis data spatial taburan ikan, yang sangat relevan dalam pemuliharaan sumber perikanan dan perlindungan habitat akuatik. Selain itu, GIS turut

menyokong analisis mendalam terhadap corak ruang dan masa, seperti yang dibuktikan dalam kajian oleh Subramani et al. (2017), yang menekankan peningkatan produktiviti dalam sektor perikanan melalui pendekatan yang mampan.

Penggunaan teknologi GIS juga telah terbukti berkesan dalam mengurangkan kos dan usaha operasi perikanan. Shaari dan Mustapha (2018) menunjukkan bahawa teknologi GIS dapat mengenal pasti kawasan tangkapan ikan dengan kos yang lebih rendah dan usaha yang lebih efisien. Kajian lain oleh Zhang (2023) menekankan bagaimana GIS digunakan untuk memetakan kawasan strategik bagi pemuliharaan laut, sementara Dali et al. (2023) menunjukkan keberkesanannya dalam menangani spesies invasif dan melindungi habitat kritikal. Integrasi teknologi ini dengan RS juga telah memperluas potensi GIS dalam pemantauan persekitaran dan penilaian risiko, seperti yang dilaporkan oleh Landuci et al. (2020). GIS juga memainkan peranan penting dalam menyelesaikan konflik antara pelbagai operasi akuakultur marin, termasuk kesan terhadap kualiti air dan ketersediaan habitat. GIS membolehkan penyelidik dan pembuat dasar menyepadukan pelbagai lapisan data untuk mengenal pasti masalah dan menghasilkan penyelesaian yang sesuai. Sebagai contoh, kajian oleh Teniwut et al. (2022) menunjukkan bahawa GIS dapat meningkatkan kebarangkalian penemuan kawasan tangkapan ikan, manakala Peng et al. (2019) menggariskan potensi GIS untuk memantau dan menilai kesan perubahan iklim terhadap taburan spesies ikan. Oleh itu, potensi besar GIS untuk menyumbang kepada pengurusan perikanan yang lebih lestari semakin diiktiraf, menjadikannya keperluan penting dalam mencapai pembangunan mampan dan pemeliharaan ekosistem akuatik.

GIS sebagai alat pengurusan data

Penggunaan teknologi Sistem Maklumat Geografi (GIS) dalam pengurusan perikanan telah membuka peluang besar untuk meningkatkan kecekapan dalam pengumpulan, pengurusan, analisis, dan visualisasi data spatial (Ershad, 2020; Haiti et al., 2019). GIS mampu menyimpan dan mengintegrasikan maklumat seperti data populasi ikan, habitat, zon memancing, dan pembolehubah alam sekitar, menjadikannya alat yang sangat berkesan untuk menyokong pengurusan lestari sumber perikanan (Maulud et al., 2020). Selain itu, GIS menawarkan keupayaan untuk memanipulasi data spatial dalam pelbagai bentuk untuk menjalankan analisis yang kompleks, membolehkan pembuat dasar membuat keputusan yang lebih berinformasi dan berasaskan bukti dalam pengurusan perikanan (Patera et al., 2023). Sebagai contoh, kajian oleh Palazzi et al. (2020) menunjukkan bahawa GIS dapat membantu mengenal pasti titik panas pemuliharaan dan meningkatkan ketepatan dalam pemodelan ramalan spesies, yang merupakan kunci untuk pengurusan perikanan yang lebih efektif.

Teknologi GIS juga memainkan peranan penting dalam menyokong pembangunan sistem amaran awal bagi spesies yang berisiko akibat kehilangan habitat atau perubahan iklim. Contohnya, penggunaan GIS membolehkan pengumpulan dan pemprosesan data secara serentak, membantu dalam visualisasi maklumat seperti dinamik populasi ikan dan ancaman kepada ekosistem akuatik (Teniwut et al., 2022). Dengan kemampuan untuk menggabungkan pelbagai jenis data dalam satu pangkalan data tunggal, GIS menyokong pengurusan data yang lebih cekap dan menyumbang kepada keberkesanan pengurusan sumber marin (Nurul & Kamarul, 2023). Penggunaan GIS secara konsisten menunjukkan potensinya sebagai alat strategik dalam pemuliharaan dan pengurusan perikanan secara mampan.

Pengenalpastian zon potensi penangkapan ikan dengan Penderiaan Jauh (RS)

Melalui integrasi GIS dan RS, pengenalpastian zon potensi penangkapan ikan menjadi lebih efisien dan strategik. Teknologi RS, yang melibatkan pengumpulan imej satelit dan data oseanografi seperti klorofil-a dan suhu permukaan laut, telah digunakan secara meluas untuk mengenal pasti lokasi kawasan memancing yang berpotensi tinggi (Yulius et al., 2021; Sasmito et al., 2022). Kajian oleh Riandi et al. (2023) menunjukkan bahawa klorofil-a, sebagai parameter oseanografi utama, memainkan peranan penting dalam menentukan kawasan dengan produktiviti laut yang tinggi, di mana kepekatan klorofil-a yang tinggi sering menjadi indikator utama kawasan berkumpulnya ikan. Tambahan pula, kajian oleh Ricky et al. (2023) mendapati bahawa perubahan suhu permukaan laut mempengaruhi taburan kepekatan klorofil-a, seterusnya menentukan lokasi potensi memancing.

Teknologi RS seperti Aqua-MODIS telah digunakan untuk mengesan kepekatan klorofil-a di perairan, memberikan hasil yang signifikan dalam menentukan lokasi penangkapan ikan (Daqamseh et al., 2019). Peta dasar laut yang dihasilkan melalui teknologi sonar juga memberikan kelebihan tambahan dalam memahami struktur habitat dan membantu menentukan zon perlindungan yang sesuai. Kombinasi GIS dan RS ini bukan sahaja mempermudah perancangan zon memancing tetapi juga menyokong pemantauan jangka panjang terhadap kesihatan ekosistem marin.

GIS sebagai alat pengurusan perikanan marin dan pemuliharaan sumber marin

GIS juga telah menunjukkan keberkesanannya sebagai alat pengurusan perikanan marin, khususnya dalam mengenal pasti taburan spatio-temporal spesies ikan dan habitat kritikal (Nelson & Burnside, 2019). Kajian yang dilaksanakan di pantai Karnataka, India, mendapati bahawa GIS dapat membantu dalam mengenal pasti kawasan pemijahan, pertumbuhan in-situ, dan pergerakan populasi ikan, memberikan maklumat yang sangat penting untuk pengurusan sumber marin yang Lestari. Di samping itu, teknologi ini telah digunakan untuk mengesan pergerakan mamalia laut seperti paus dan lumba-lumba, menyokong usaha pemuliharaan dan pengurusan kawasan perlindungan laut secara lebih efektif.

GIS juga memainkan peranan penting dalam menangani masalah seperti pencemaran laut dan pemulihan terumbu karang. Kajian oleh Dali et al. (2023) menunjukkan bahawa GIS membantu memetakan kawasan yang terdedah kepada ancaman antropogenik, manakala Peng et al. (2019) menyatakan bahawa teknologi ini boleh digunakan untuk menilai kesan perubahan iklim terhadap ekosistem marin. Keupayaan GIS untuk mengintegrasikan data spatial dan temporal menjadikannya alat penting dalam merancang strategi mitigasi untuk menghadapi cabaran kelestarian. Dengan kemampuan untuk menguruskan data besar, GIS menjadi alat yang tidak ternilai dalam menghadapi cabaran global seperti perubahan iklim dan eksploitasi berlebihan. Melalui pendekatan ini, GIS berfungsi sebagai pemacu utama dalam memastikan pembangunan mampan sektor perikanan, seterusnya menyumbang kepada keseimbangan ekologi dan ekonomi global.

Peranan GIS dalam pembangunan perikanan

Teknologi GIS dan RS telah memainkan peranan penting dalam membuat keputusan dan pengurusan kawasan marin dan pesisir pantai. Salah satu kelebihan utama RS ialah kemampuannya untuk memantau kawasan yang luas secara efisien, memberikan gambaran jelas mengenai perubahan spatial dan ekologi, seperti yang dibincangkan oleh Kim et al. (2020). Dengan integrasi data Pemerhatian Bumi ke dalam GIS, pendekatan ini dapat membantu menangani cabaran persekitaran yang kompleks serta batasan sosioekonomi yang dihadapi dalam sektor perikanan dan akuakultur (Falconer et al., 2020; Barillé et al., 2020). Menurut Adjovu (2023), RS mampu menilai parameter penting seperti suhu, kemasinan, oksigen terlarut, dan pH dalam air. Melalui analisis imej satelit, penyelidik dapat mengesan perubahan dalam kejernihan air serta pencemaran yang berpotensi menjejaskan kesihatan ikan dan organisma akuatik. Dengan data ini, RS bukan sahaja membantu mengenal pasti isu-isu seperti pencemaran atau wabak penyakit, tetapi juga membolehkan pemantauan tingkah laku dan kesihatan ikan, penilaian biojisim, dan pengesanan kawasan di mana ikan menghadapi tekanan akibat perubahan kualiti air (Wang et al., 2021). Teknologi ini memberikan asas kukuh bagi pengurusan perikanan secara lestari dan memastikan ketersediaan sumber laut untuk generasi akan datang.

GIS kini menjadi alat utama dalam menyokong pengurusan perikanan mampan kerana kemampuannya mengintegrasikan data spatial dan temporal untuk menyelesaikan pelbagai masalah yang kompleks. GIS telah terbukti berkesan dalam memodelkan risiko spatio-temporal yang berkaitan dengan penyebaran penyakit, menilai kebarangkalian penularan, dan mengawal wabak penyakit dalam akuakultur (Mengistu, 2017). Selain itu, GIS membolehkan analisis pelbagai jenis data seperti lokasi titik, ciri linear, dan ciri poligon, yang memberikan kefleksibelan dalam memahami corak spatial dan ekosistem perikanan (Dorotia et al., 2023). Teknologi ini juga menjadi tulang belakang dalam menangani isu global yang tidak menentu, seperti perubahan iklim dan eksploitasi sumber, dengan menyediakan alat yang kukuh untuk analisis data besar-besaran dan pengurusan risiko bencana (Noralfishah et al., 2022). Sebagai contoh, RS telah digunakan untuk menyediakan maklumat visual mengenai tahap kerosakan dan lokasi kawasan yang terjejas akibat bencana, membolehkan tindakan segera dan lebih cekap oleh pihak berkuasa (Kamal et al., 2020).

Seiring dengan perkembangan teknologi, GIS telah menjadi komponen penting dalam kehidupan moden, khususnya dalam pengurusan perikanan. Penggunaannya yang meluas kini tidak hanya terhad kepada pengurusan data tetapi juga meliputi pembangunan protokol dan alat pengurusan yang inovatif. Sebagai contoh, di India, kapal nelayan moden yang dilengkapi teknologi canggih dapat memanfaatkan GIS untuk mengesan lokasi ikan secara efisien, meningkatkan ketahanan operasi di laut dalam, dan menyokong peningkatan pengeluaran ikan global (Panthi & Hodar, 2021). Kajian oleh Derdabi et al. (2022) menunjukkan bahawa GIS dapat mengenal pasti 16 kawasan memancing yang berpotensi, membuktikan keupayaan teknologi ini untuk memetakan lokasi yang strategik bagi operasi perikanan. Dengan alat seperti ArcGIS, GIS juga dapat digunakan untuk mengumpul data spatial tentang aktiviti komersial, memantau operasi tangkapan ikan secara haram, dan menyekat eksploitasi berlebihan, seterusnya melindungi biodiversiti dan spesies terancam.

Selain itu, GIS membolehkan pembinaan pangkalan data yang komprehensif untuk menguruskan perikanan marin dengan lebih efektif. Sebagai contoh, pemetaan zon pemijahan ikan, analisis spatio-temporal, dan pengurusan kawasan perlindungan laut dapat dijalankan dengan lebih efisien menggunakan GIS (Nelson & Burnside, 2019). Teknologi ini juga menyokong

penguatkuasaan dasar yang lebih ketat melalui pemantauan operasi tangkapan ikan dan pergerakan kapal nelayan, yang penting untuk mencegah kegiatan menangkap ikan secara berlebihan dan melindungi ekosistem marin. Melalui integrasi teknologi GIS dan RS, pengurusan perikanan kini lebih efisien, tepat, dan lestari. Kemampuan teknologi ini untuk memantau perubahan ekologi, mengenal pasti kawasan strategik, dan menyokong pemuliharaan sumber marin telah menjadikannya elemen penting dalam mencapai Matlamat Pembangunan Mampan (SDG), khususnya SDG 14 yang berfokus kepada kelestarian sumber marin. Dengan teknologi yang terus berkembang, GIS dan RS dijangka akan terus menjadi asas utama dalam pengurusan perikanan global yang mampan.

Cabaran pengaplikasian teknologi GIS dalam perikanan

Penggunaan teknologi GIS dalam perikanan menghadapi pelbagai cabaran yang perlu diatasi untuk memastikan keberkesanan dan keberlanjutan pengurusan sumber perikanan yang lestari. Salah satu cabaran utama ialah pembangunan *marine spatial planning* (MSP), yang memerlukan pengumpulan dan analisis data spatial untuk membuat keputusan strategik berhubung pelbagai aktiviti marin seperti perikanan, pemuliharaan, dan pelancongan. Kajian menunjukkan bahawa pelaksanaan MSP sering tergendala akibat kekurangan penyelidik mahir yang mampu menggunakan GIS secara efektif (Triana & Wahyudi, 2020) serta kekurangan data persekitaran laut dalam, khususnya di bawah paras 200 meter (Danovaro et al., 2017). Tambahan pula, sifat dinamik laut, yang sentiasa berubah secara spatial dan temporal, mencabar pendekatan pengurusan yang masih cenderung bersifat statik. Kekurangan data terkini mengenai taburan spesies dan pergerakan ekosistem marin menghalang pengurusan yang lebih responsif terhadap perubahan persekitaran (Zaucha & Gee, 2019). Walaupun GIS berpotensi besar untuk menyokong perancangan pengurusan berasaskan ekosistem (EBM), pelaksanaannya sering terhalang oleh cabaran teknikal dan kekurangan kapasiti (Kirkfeldt, 2019).

Penggunaan teknologi RS yang terintegrasi dengan GIS telah memberikan sumbangan besar kepada pembangunan perikanan yang mampan, seperti yang telah dilaksanakan oleh negara maju seperti Amerika Syarikat, Kanada, Perancis, dan Jepun (Zu et al., 2019). Namun, negara-negara membangun, termasuk Malaysia, sering menghadapi keterbatasan teknologi, infrastruktur, dan sumber manusia, yang menyukarkan penerapan GIS secara meluas. Kekangan kos menjadi cabaran utama, dengan kos permulaan seperti pembelian data digital, penyelenggaraan, dan pembangunan sistem pengumpulan data yang tinggi (Nath et al., 2020). Kajian menunjukkan bahawa negara-negara membangun memerlukan kerjasama dengan negara maju dalam penyelarasan dasar, pembiayaan, dan pemindahan teknologi untuk meningkatkan keupayaan GIS mereka (Ye & Gutierrez, 2017). Selain itu, banyak kawasan pesisir dan luar bandar di negara membangun kekurangan akses kepada teknologi GIS yang mencukupi, menyebabkan ketidakseimbangan dalam pengurusan sumber marin.

Selepas era milenium tahun 2000-an, teknologi RS berkembang pesat dan memainkan peranan penting dalam sektor seperti perancangan bandar, pertanian, perikanan, dan keselamatan negara. Namun, dengan perkembangan ini muncul cabaran baharu seperti jalur lebar yang tidak mencukupi untuk penghantaran data RS, kekangan fleksibiliti kaedah pengimejan satelit, dan kecekapan masa dalam pemprosesan data (Zhang, 2023). Pemprosesan data RS sering memerlukan masa yang lama, sedangkan pengguna memerlukan maklumat yang cepat dan tepat untuk membuat keputusan yang kritikal. Hal ini menimbulkan cabaran besar, terutamanya dalam pengurusan

perikanan yang bergantung pada data spatial terkini untuk mengenal pasti taburan spesies ikan, kawasan tangkapan utama, dan isu ekosistem.

Kos penggunaan GIS dalam perikanan juga menjadi halangan besar, dengan kos yang tidak dapat diramal pada peringkat awal pembangunan. Kajian oleh Nath et al. (2020) menunjukkan bahawa kos ini termasuk pembelian perisian GIS, pembiayaan untuk latihan pengguna, dan pengumpulan data digital berterusan, yang semuanya menjadikan nilai keseluruhan pelaksanaan GIS tinggi. Selain kos, kebolehcapaian teknologi ini di kawasan pedalaman dan pesisir juga menjadi cabaran. Tanpa pelaburan yang signifikan dalam teknologi dan kapasiti manusia, penerapan GIS mungkin terbatas kepada kawasan tertentu sahaja, mewujudkan jurang digital dalam pengurusan perikanan global.

Walaupun terdapat cabaran ini, teknologi GIS telah menunjukkan potensinya untuk menyumbang kepada keberkesanan pengurusan perikanan yang mampan. Sebagai contoh, teknologi ini dapat digunakan untuk memantau spesies terancam, merancang kawasan perlindungan marin, dan menyokong pemuliharaan biodiversiti melalui analisis data spatial yang terperinci. Kajian oleh Gissi et al. (2018) menekankan bahawa pendekatan GIS yang lebih inklusif dan berasaskan data dapat membantu mengurangkan konflik ruang di antara pelbagai sektor, termasuk perikanan, pemuliharaan, dan pelancongan. Justeru itu, usaha berterusan untuk mengatasi cabaran seperti kos, keterbatasan teknologi, dan kekurangan data menjadi keutamaan dalam memastikan GIS dapat dimanfaatkan sepenuhnya untuk pengurusan perikanan.

Langkah masa depan dalam pengurusan perikanan dengan teknologi GIS

Gabungan teknologi GIS dan RS telah membawa perubahan besar dalam pengurusan perikanan, menjadi alat penting dalam menghadapi cabaran pemuliharaan dan penggunaan sumber perikanan secara mampan (Sedyaw et al., 2024). Dengan kemajuan dalam teknologi ini, resolusi spatial data deria jauh kini semakin tinggi, memberikan maklumat yang lebih terperinci untuk perancangan dan pengurusan ekosistem marin. Teknologi ini tidak hanya digunakan untuk analisis, tetapi juga untuk memantau usaha perikanan dan mengawal aras penangkapan ikan, terutamanya di kawasan yang mengalami eksploitasi berlebihan. GIS membolehkan pemantauan corak spatial perikanan, perancangan laluan penangkapan ikan, peramalan biojisim, dan mengenal pasti titik panas kawasan memancing (Kristina et al., 2018). Dalam konteks rantau Asia Tenggara, keupayaan dan fungsi pelbagai teknologi GIS dan RS memberikan peluang besar untuk pembangunan perikanan yang lebih lestari, termasuk dalam menangani isu perikanan haram, tidak dilaporkan, dan tidak dikawal (IUU).

Salah satu langkah signifikan ialah pengintegrasian data secara langsung daripada pergerakan kapal dan pangkalan data perikanan untuk membentuk sistem pemantauan, kawalan, dan pengawasan (MCS) yang lebih berkesan. SEAFDEC telah memainkan peranan penting dalam mempromosikan penggunaan sistem penjejakan elektronik bagi ikan dan produk perikanan di kalangan Negara-Negara Anggota ASEAN (AMS). Melalui pengumpulan data pengesan jauh dan pangkalan data perikanan serantau, SEAFDEC membantu menjejaki asal-usul produk perikanan sepanjang rantai bekalan, memastikan kebolehesanan dan pematuhan terhadap piawaian antarabangsa. Usaha ini disokong oleh pembangunan pelan pengurusan bersama untuk stok ikan lintas sempadan di kawasan seperti Teluk Thailand dan Laut Andaman, menggunakan teknik pemetaan berbasis GIS. Tambahan pula, dengan sokongan kerajaan Sweden, SEAFDEC telah

memulakan aktiviti sub-serantau untuk menubuhkan rangkaian MCS yang lebih kukuh, bertujuan menangani isu stok ikan lintas sempadan secara komprehensif.

Penggunaan GIS dan RS dalam pengurusan perikanan darat dan akuakultur juga semakin mendapat perhatian. RS menyediakan keupayaan untuk mengumpul maklumat terperinci tentang ekosistem perikanan, termasuk parameter seperti suhu air, kepekatan klorofil, dan kesesuaian habitat. Teknologi ini juga berperanan penting dalam memantau kesihatan ekosistem marin dan menyokong biodiversiti yang diperlukan untuk pembangunan mampan. Tambahan pula, RS semakin popular sebagai alat pengurusan kerana kemudahannya untuk diakses dan kos efektif dalam pengumpulan data (Yen & Chen, 2021). Negara-negara seperti China dan India telah menunjukkan perkembangan pesat dalam teknologi RS, dengan banyak kajian yang mendokumentasikan keberkesanan teknologi ini dalam menguruskan sumber perikanan secara lestari (Syed et al., 2019). Peningkatan pengetahuan saintifik dan pembangunan keupayaan penyelidikan adalah langkah penting untuk masa depan. Latihan dalam teknologi GIS dan RS harus diperkukuhkan untuk memastikan penyelidik dan pengurus perikanan dapat memanfaatkan teknologi ini dengan optimum. SEAFDEC dan institusi lain perlu terus memainkan peranan mereka dalam membangun kapasiti dan mempromosikan kerjasama serantau untuk penyelidikan dan pembangunan teknologi marin. Dengan memanfaatkan pengetahuan dan teknologi terkini, keadaan persekitaran marin dapat ditingkatkan, manakala biodiversiti marin dapat memberikan sumbangan yang lebih besar kepada pembangunan negara yang mampan (Iskin & Wohl, 2023).

Kesimpulan

Sistem Maklumat Geografi (GIS) memainkan peranan penting dalam pengurusan perikanan dan pemuliharaan ekosistem marin, menjadikannya alat yang sangat diperlukan dalam menghadapi cabaran persekitaran dan pengurusan sumber semula jadi. Walaupun terdapat cabaran seperti kos, kekurangan tenaga mahir, dan keterbatasan teknologi dalam sesetengah kawasan, GIS tetap dianggap sebagai teknologi paling sesuai untuk menguruskan perikanan. Keupayaannya untuk mengakses potensi perikanan, menilai kesihatan alam sekitar, serta memperuntukkan sumber secara efisien antara pengurusan perikanan dan pembangunan akuakultur menjadikannya alat yang tidak ternilai. Selain itu, GIS membolehkan penyelidik merangka rancangan praktikal untuk memantau, mengurus, dan mengurangkan kesan buruk terhadap alam sekitar, menjadikannya relevan untuk pengurusan yang lestari dalam jangka panjang. Seiring dengan kemajuan teknologi, GIS telah berkembang menjadi platform yang berkesan untuk mengumpul, menganalisis, dan memvisualisasikan data spasial. Penggunaannya bukan sahaja menyokong pemantauan dan pengawasan perikanan, tetapi juga mitigasi terhadap bencana serta perancangan strategik untuk melindungi ekosistem marin. Teknologi yang mengintegrasikan GIS dengan kecerdasan buatan (AI) telah membawa revolusi baharu dalam sektor perikanan, membolehkan pemantauan aktiviti penangkapan ikan di seluruh dunia melalui data satelit dan algoritma pintar. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan kecekapan pengurusan tetapi juga membuka peluang baharu untuk meminimumkan kesan negatif terhadap biodiversiti marin.

Lebih penting lagi, aplikasi GIS dalam pengurusan perikanan memberikan sumbangan besar kepada pencapaian Matlamat Pembangunan Mampan (SDG), khususnya SDG 14 yang memfokuskan kepada pemuliharaan dan penggunaan lestari sumber lautan dan marin. Kajian menunjukkan bahawa data geospasial yang dihasilkan melalui GIS adalah alat yang berkesan untuk memantau kemajuan SDG, memberikan pandangan yang jelas tentang bagaimana perancangan

masa depan dapat diselaraskan dengan objektif kelestarian global. Selain itu, integrasi GIS dengan teknologi lain seperti RS dan kecerdasan buatan menawarkan potensi yang luar biasa untuk meningkatkan keberkesanan pengurusan perikanan, termasuk dalam menangani isu-isu seperti perikanan haram, perubahan iklim, dan eksploitasi berlebihan. Dengan perkembangan teknologi yang pesat, GIS bukan sahaja membantu dalam pengurusan sumber perikanan tetapi juga dalam perlindungan ekosistem marin yang penting bagi kehidupan laut dan manusia. Pengaplikasian teknologi ini dalam pengurusan perikanan yang mampan dan efektif dapat memastikan kesinambungan sumber perikanan dan menyokong biodiversiti marin untuk generasi akan datang.

Penghargaan

Bantuan kewangan kepada penulis melalui geran penyelidikan UKM, GUP-2024-033 amat dihargai.

Rujukan

- Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Overview of the application of remote sensing in effective monitoring of water quality parameters. *Remote Sensing*, 15(7), 1938.
- Avtar, R., Aggarwal, R., Kharrazi, A., Kumar, P., & Kurniawan, T. A. (2020). Utilizing geospatial information to implement SDGs and monitor their Progress. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(25), 1-21.
- Bao, J., Gao, S., & Ge, J. (2019). Dynamic land use and its policy in response to environmental and social-economic changes in China: A case study of the Jiangsu coast (1750–2015). *Land Use Policy*, 82(C), 169–180 .
- Cavender-Bares, J., Schneider, F. D., Santos, M. J., Armstrong, A., Carnaval, A., Dahlin, K. M., Fatoyinbo, L., Hurtt, G. C., Schimel, D., Townsend, P. A., Ustin, S. L., Wang, Z., & Wilson, A. M. (2022). Integrating remote sensing with ecology and evolution to advance biodiversity conservation. *Nature Ecology and Evolution*, 6, 506-519.
- Craigie, I. D. (2016). Ten-milestones for integrated environmental assessment. *Conservation Biology*, 30(5), 1000-1007.
- Daqamseh, S. T., Al-Fugara, A., Pradhan, B., Al-Oraiqat, A., & Habib, M. (2019). MODIS derived sea surface salinity, temperature, and chlorophyll-a data for potential fish zone mapping: West Red Sea coastal areas, Saudi Arabia. *Sensors*, 19(9), 2069.
- Derdabi, M. R., Aksissou, M., & Toujgani, I. (2022). Using Fishermen's Knowledge and GIS to Identify Fishing Grounds, Gears and Species in the Projected Marine Protected Area 'Jabal Moussa'. *Journal of Sustainability and Environmental Management*, 1(2), 112-119.
- Danovao, R., Aguzzi, J., Fanelli, E., & David, S. M. (2017). An ecosystem-based deep-ocean strategy. *Science*, 355(6324), 452-454.
- Ershad, A. (2020). Geographic Information System (GIS): Definition, development, applications & components.
- Gissi, E., Portman, M. E., & Hornidge, A. K. (2018). Un-gendering the ocean: Why women matter in ocean governance for sustainability. *Marine Policy*, 94, 215-219.
- Howson, P. (2020). Building trust and equity in marine conservation and fisheries supply chain management with blockchain. *Marine Policy*, 115, 103873.

- Iskin, E. P., & Wohl, E. (2023). Quantifying floodplain heterogeneity with field observation, remote sensing, and landscape ecology: Methods and metrics. *River Research and Applications*, 39, 911–929.
- Kamal, M., Kumar, K., & Kumar, V. (2020). Integration of Remote Sensing and GIS in disaster management. In *Geospatial Technologies for Sustainable Development Goals* (pp. 251-272). Springer.
- Maulud, K. N. A., Nazman, N. A., & Rahman, M. A. (2020). Disposal sites determination for the purpose of Solid Waste Management optimize by using Geographic Information System (GIS). *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(6), 2175-2179.
- Kirkfeldt, T. K. (2019). An ocean of concepts: Why choosing between ecosystem-based management, ecosystem-based approach and ecosystem approach makes a difference, *Marine Policy*, 106, 103541.
- Kim, J., Jeong, U., Ahn, M. H., Kim, J. H., Park, R. J., Lee, H., et al. (2020). New era of air quality monitoring from space Geostationary Environment Monitoring Spectrometer (GEMS). *Bulletin of the Meteorological Society*, 101(1), E1-E22.
- Konaté, S., & Etchian, O. (2023). Spatial analysis of fish distribution patterns: Integrating GIS and Taxonomic data for insights. *FishTaxa-Journal of Fish Taxonomy*, 27, 47-56.
- Lines, E. R., Fischer, F. J., Owen, H. J. F., & Jucker, T. (2022). The shape of trees: Reimagining forest ecology in three dimensions with remote sensing. *Journal of Ecology*, 110(8), 1730-1745.
- Mengistu, T. S., & Haile, A. W. (2017). Review on the Application of Geographical Information Systems (GIS) in Veterinary Medicine. *International Journal of Veterinary Sciences Research (IJVHSR)*, 5(4), 176–182.
- Nurul, F. M. J., & Kamarul, I. (2023). Potensi dan cabaran implimentasi teknologi Sistem Maklumat Geografi (GIS) di peringkat Pra-Universiti di Malaysia. *GEOGRAFI*, 11(2), 67–80.
- Nath, R. J., Chutia, S. J., Sarmah, N., Bora, G., Chutia, A., Koutsu, K., Dutta, R., & Yashwanth, B. S. (2020). A review on applications of Geographic Information System (GIS) in fisheries and aquatic resources. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 7(3), 07-12.
- Nelson, K., & Burnside, N. G. (2019). Identification of marine management priority areas using a GIS-based multi-criteria approach. *Ocean & Coastal Management*, 172, 82-92.
- Noor, N. M., & Abdul Maulud, K. N. (2022). Coastal vulnerability: A brief review on integrated assessment in Southeast Asia. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 595.
- Noralfishah, S., Nazirah, M. A., Umber, N., Maziah, I., Latib, S. K. K., & Mahmud, N. P. N. (2022). Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) applications in Disaster Risk Reduction (DRR) in Malaysia. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(5), 25-37.
- Noble, M. M., Harasti, D., Pittock, J., & Doran, B. (2019). Linking the social to the ecological using GIS methods in marine spatial planning and management to support resilience: A review. *Marine policy*, 108, 103657.
- Panthi, M. F., & Hodar, A. R. (2021). GIS Technology and its application in fisheries sector. *Agriculture and Environment*, 2(4), 22-25.
- Palazzi, E., Di Febbraro, M., Maiorano, L., Guisan, A., & Lehmann, A. (2020). Machine learning in conservation biology: A review. *Diversity and Distributions*, 26(12), 1712-1728.

- Patera, A., Pataki, Z., & Kitsiou, D. (2022). Development of a webGIS application to assess conflicting activities in the framework of marine spatial planning. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(3), 389.
- Peng, B. (2019). Application of marine remote sensing technology in the development of fishery economy. *Journal of Coastal Research*, 94, 783–787.
- Ricky, A. K., Noor, N. M., Eboy, O. V., Sieng, K. T., Nor, N. F. M., & Suab, S. A. (2023). Fenomena El Nino dan impak terhadap hasil tangkapan ikan: Kajian kes di Sabah. *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space*, 19(3), 216-232.
- Riandi, M., Irham, M., Rusdi, M., Deli A., Abdullah, F., & Miswar, E. (2023). The analysis of chlorophyll-a distribution in fishing areas of Aceh waters. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 12(2), 137-142.
- Serpetti, N., Baudron, A. R., Burrows, M. T., Payne, B. L., Helaouët, P., Fernandes, P. G., & Heymans, J. J. (2017). Impact of ocean warming on sustainable fisheries management informs the ecosystem approach to fisheries. *Scientific Reports*, 7, 13438.
- Shaari, N. R., & Mustapha, M. A. (2018). Predicting potential rastrelliger kanagurta fish habitat using MODIS satellite data and GIS modeling: A case study of exclusive economic zone, Malaysia, *Sains Malaysiana*, 47(7), 1369–1378.
- Suzzi-Simmons, A., & Devarajan, K. (2023). Enhancing conservation strategies with GIS: Advances, collaborations, and future directions.
- Subramani, T., Moorthy, K. K. V., & Priyanka, S. (2017). Assessment of impact on aquaculture using Remote Sensing data and GIS in Tiruchendur. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, 6(3).
- Syed, S., Aodha, L., Scougal, C., & Spruit, M. (2019). Mapping the global network of fisheries science collaboration. *Fish and Fisheries*, 20, 830–856.
- Teniwut, W. A., Hasyim, C. L., & Pentury, F. (2022). Towards smart government for sustainable fisheries and marine development: An intelligent web-based support system approach in small islands. *Marine Policy*, 143, 105158.
- Theuerkauf, S. J., Eggleston, D. B., & Puckett, B. J. (2019). Integrating ecosystem services considerations within a GIS-based habitat suitability index for oyster restoration. *PLOS ONE*, 14(1), e0210936.
- Triana, K., & Wahyudi, A. J. (2020). GIS developments for ecosystem-based marine spatial planning and the challenges faced in Indonesia. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 36(3), 113-118.
- Wang C., Li, Z., Wang, T., Xu, X., Zhang X., & Li, D. (2021). Intelligent fish farm—the future of aquaculture. *Aquaculture International*, 1, 1-31.
- Warren, C., & Steenbergen, D. J. (2021). Fisheries decline, local livelihoods and conflicted governance: An Indonesian case. *Ocean & Coastal Management*, 202, 105498.
- Yen, K. W., & Chen, C. H. (2021). Research gap analysis of Remote Sensing application in fisheries: Prospects for achieving the Sustainable Development Goals. *Remote Sensing*, 13, 1013.
- Yulius, Y., Aidina, V., Ramdhan, M., & Daulat, A. (2021). Fishing ground mapping based on chlorophyll-a distribution using Aqua MODIS satellite imagery in the Fisheries Management Area (FMA) 712. *E3S Web of Conferences*, 324, 01007.
- Zaucha, J., & Gee, K. (2019). *Maritim Spatial Planning, Past, Present, Future*. Palgrave Macmillan.

Zhang, S. (2023). Applications of marine Geographic Information Systems (GIS) in ocean surveying. *Advances in Computer, Signals and Systems*, 7, 62-68.