

Dampak Ekosistem Mangrove terhadap Kualitas Air Laut di Wilayah Pesisir: Tinjauan Ruang Lingkup

Albertus Erico Jerry Krisna Nugroho*, Imam Mahdi, Ike Fitri Samsiyah, Nadya Putri Fitriani,
Chatarina Muryani

Magister Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 Kentingan, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah, 57126 Indonesia

*Email: albertusericojerry@student.uns.ac.id

Abstrak

Ekosistem mangrove memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas air laut di daerah pesisir. Studi ini menggunakan tinjauan literatur sistematis (SLR) dengan pendekatan tinjauan ruang lingkup (scoping review) untuk menganalisis secara komprehensif dampak ekosistem mangrove terhadap kualitas air laut. Data dikumpulkan dari empat basis data akademik utama: ScienceDirect, Scopus, MDPI, dan GARUDA. Kriteria Inklusi ditetapkan untuk menyeleksi artikel yang dikaji serta penelusuran artikel menggunakan kata kunci (string query) yang telah ditetapkan. Studi ini mengikuti panduan PRISMA-ScR untuk penyaringan dan seleksi. Sebanyak 13 artikel yang memenuhi syarat ditinjau dan dianalisis. Hasilnya menunjukkan bahwa mangrove mengatur parameter fisiko-kimia (suhu, salinitas, kandungan oksigen), bertindak sebagai biofilter alami untuk logam berat dan nutrisi, mendukung konservasi jangka panjang dan ekosistem laut yang sehat, serta berkontribusi pada penyimpanan karbon biru dan rekayasa lingkungan. Temuan ini menyoroti pentingnya strategis konservasi dan restorasi mangrove sebagai solusi berbasis ekosistem untuk meningkatkan kualitas air pesisir dan ketahanan ekologi.

Kata kunci: Ekosistem Mangrove, Kualitas Air Laut, Pesisir, Tinjauan Ruang Lingkup

Abstract

Impact of Mangrove Ecosystems on Seawater Quality in Coastal Areas: A Scoping Review

Mangrove ecosystems play an important role in improving seawater quality in coastal areas. This study uses a systematic literature review (SLR) with a scoping review approach to comprehensively analyze the impact of mangrove ecosystems on seawater quality. Data were collected from four major academic databases: ScienceDirect, Scopus, MDPI, dan GARUDA. Inclusion criteria were established to select the articles to be reviewed, dan the articles were searched using predefined keywords (string queries). This study followed the PRISMA-ScR guidelines for screening dan selection. A total of 13 eligible articles were reviewed dan analyzed. The results showed that mangroves regulate physico-chemical parameters (temperature, salinity, oxygen content), act as natural biofilters for heavy metals dan nutrients, support long-term conservation dan healthy marine ecosystems, dan contribute to blue carbon storage dan environmental engineering. These findings highlight the strategic importance of mangrove conservation dan restoration as an ecosystem-based solution to improve coastal water quality dan ecological resilience.

Keywords: Mangrove Ecosystem, Seawater Quality, Coastal, Scoping Review

PENDAHULUAN

Kualitas air laut sangat penting untuk menjaga ekosistem biologis pesisir, mendukung keanekaragaman hayati, dan memastikan keberlanjutan aset laut untuk pemanfaatan ekonomis manusia (Weisberg *et al.*, 2016). Dalam beberapa dekade terakhir, kualitas air laut semakin mengalami penurunan akibat berbagai aktivitas yang ditimbulkan oleh manusia (Akhtar *et al.*, 2021). Dampak kontaminasi yang signifikan terjadi di wilayah pesisir seluruh dunia karena adanya urbanisasi yang meningkat, pelepasan bahan kimia, limpasan air dari hulu ke daerah hilir, pembuangan sampah disungai, sedimentasi hingga perkembangan kawasan industri (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021). Polutan ini membawa zat berbahaya ke laut yang menyebabkan eutrofikasi dan logam yang berlebihan, sampah plastik dan semua zat-zat berbahaya yang mengancam keseimbangan biologis dan kesehatan makhluk hidup di laut (Mearns *et al.*, 2018). Secara global,

polusi yang meningkat terutama nitrogen dan fosfor telah menyebabkan eutrofikasi yang signifikan terhadap ekosistem laut (Malone dan Newton, 2020). Hal ini menyebabkan ledakan alga, zona hipoksik dan kerusakan rantai makanan laut (Glibert *et al.*, 2018). Menurut Breitburg *et al* (2018), penelitiannya menunjukkan bahwa zona mati hipoksik di lautan dunia mengalami peningkatan drastis pada awal 2000 dengan kondisi saat ini mengalami peningkatan secara signifikan. Perubahan ini dapat membahayakan kehidupan laut dan komunitas yang bergantung pada akuakultur dan perikanan bahkan pariwisata sebagai sumber mata pencaharian masyarakat (Siregar dan Soegianto, 2024).

Indonesia sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia kini mengalami dampak signifikan dari penurunan kualitas air laut (Wuldanari *et al.*, 2024). Indonesia dengan lebih dari 17.000 pulau dan garis pantai yang luas sehingga negara ini sangat bergantung pada ekosistem laut untuk ketahanan pangan, aktivitas ekonomi dan layanan ekologis (Rahmanta *et al.*, 2022). Namun, dalam laporan Status Lingkungan Hidup Indonesia 2022 menunjukkan bahwa lebih dari 60% wilayah pesisir Indonesia mengalami pencemaran sedang hingga berat (Liyanto *et al.*, 2022). Limpasan dari lahan pertanian, limbah domestik yang tidak diolah dan puing-puing plastik yang terbawa hingga ke laut adalah beberapa penyebab utama pencemaran laut yang mengakibatkan kualitas air laut menurun serta mengancam keanekaragaman hayati (Kusumawati, Nasution dan Alamsyah, 2019; Larasati *et al.*, 2021). Kondisi saat ini yang mendominasi pencemaran laut di wilayah pesisir Indonesia sebagian besar adalah sampah plastik. Bahkan Indonesia teridentifikasi sebagai salah satu kontributor terbesar polusi plastik di dunia dengan lebih dari 620.000m³ ton limbah plastik masuk ke laut setiap tahunnya (Jambeck *et al.*, 2015). Penelitian Razi *et al* (2023), menunjukkan bahwa pencemaran logam berat pada Pelabuhan di wilayah Indonesia semakin meningkat signifikan hal ini juga turut memberikan dampak bagi keberlangsungan ekosistem laut. Selain pencemaran tersebut, perubahan iklim juga memperburuk kondisi kualitas air laut sehingga mempengaruhi ekosistem laut hingga menurunkan produktivitas masyarakat sebagai nelayan dan budidaya tambak (Maulu *et al.*, 2021).

Ekosistem mangrove merupakan ciri utama vegetasi di wilayah pesisir tropis dan subtropis semakin mendapat perhatian dalam upaya konservasi dan restorasi global karena kepentingan ekologis serta manfaat sosio-ekonomi yang diberikannya (Arifanti *et al.*, 2022). Mangrove merupakan vegetasi di wilayah pesisir yang membantu menjaga keseimbangan ekosistem laut dari pencemaran laut yang semakin meningkat (Nugroho dan Muryani, 2025). Terdapat kesenjangan yang muncul dalam penelitian saat ini mengenai mekanisme dan efektivitas mangrove dalam pengelolaan pencemaran laut. Kondisi lain misalnya, di Indonesia memiliki luas wilayah 3,1 juta hektar mangrove saat ini menghadapi ancaman nyata melalui degradasi ekosistem pada mangrove ini tidak hanya akan mengurangi fungsi ekologisnya namun juga mengganggu ekosistem laut secara global (Eddy *et al.*, 2015). Sementara itu kondisi pesisir diberbagai wilayah mengalami penurunan luas wilayah mangrove hingga 20% dalam beberapa dekade terakhir ini (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021). Keberadaan mangrove tidak hanya penting untuk biodiversitas dan menjaga ekosistem, tetapi juga berkontribusi besar dalam mengurangi pencemaran yang dapat merusak kualitas air laut (Nugroho dan Muryani, 2025).

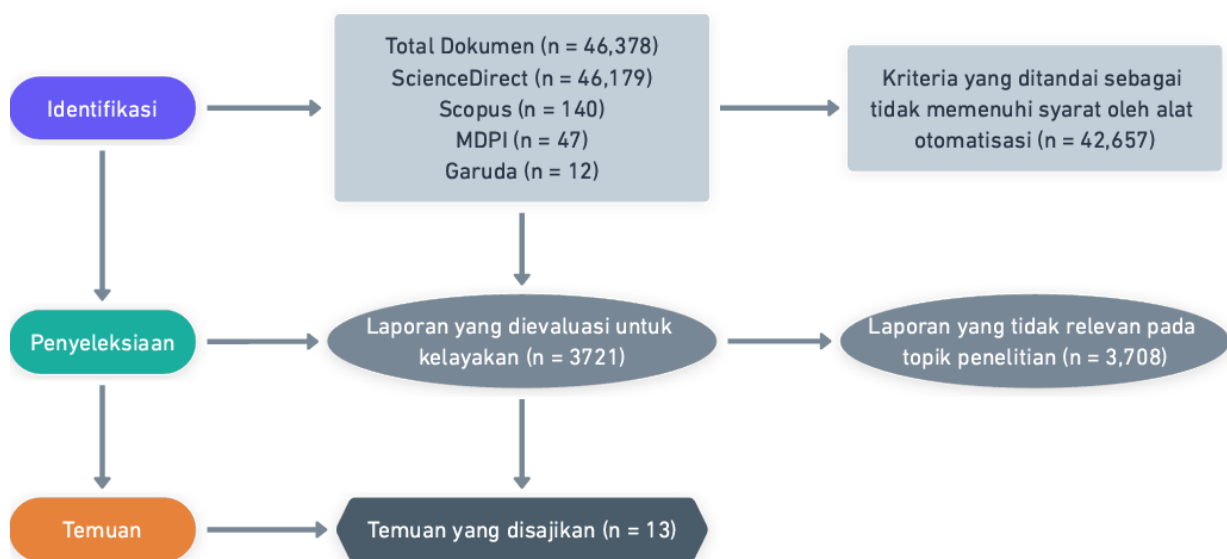
Berdasarkan permasalahan tersebut pentingnya memahami bahwa kualitas air laut mengalami penurunan akibat pencemaran laut hingga merusak ekosistem laut dengan kondisi mangrove saat ini yang mengalami degradasi dan penurunan luas wilayahnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif dampak ekosistem mangrove terhadap kualitas air laut di wilayah pesisir menggunakan pendekatan ruang lingkup. Melalui tinjauan ruang lingkup pada penelitian ini diharapkan membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dalam mengidentifikasi dan menganalisis konservasi ekosistem mangrove dalam perbaikan kualitas lingkungan pesisir.

MATERI DAN METODE

Metode tinjauan literature sistematis dengan pendekatan tinjauan ruang lingkup (*scoping review*) yang digunakan dalam penelitian (Khalil *et al.*, 2021). Tujuan Metode ntuk memetakan konsep utama, sumber bukti, dan kesenjangan penelitian yang ada dalam suatu bidang studi yang luas, serta mengklarifikasi definisi dan karakteristik utama dari topik yang ditinjau (Tricco *et al.*, 2016). Pendekatan ini sangat bermanfaat ketika kajian sistematis terlalu sempit atau saat suatu area kajian masih dalam tahap awal pengembangan. Penelitian ini menggunakan database antara lain: ScienceDirect, Scopus, MDPI, dan GARUDA (Roy-Hubara dan Sturm, 2020). Pada penelitian ini metodologi pengambilan sampel artikel yang ketat digunakan untuk mengidentifikasi literatur sehingga menghasilkan string kueri yang berbeda untuk judul, abstrak, dan kata kunci yang di indeks (Booth *et al.*, 2021). Pada Tabel 1, menunjukkan kata kunci yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Kata Kunci Penelitian

Kata Kunci	Deskripsi
“Mangrove” OR “Mangrove Ecosystem” OR “Mangrove Forest” DAN “Water Quality” OR “Marine Water Quality” OR “Coastal Water Quality” OR “Sea Water Quality” DAN “Ecosystem Service” OR “Environmental Impact” OR “Biofilter Function”	Untuk mencakup berbagai istilah yang merujuk pada ekosistem mangrove
	Untuk mencakup berbagai istilah yang merujuk pada kualitas air laut
	Untuk mencakup berbagai istilah yang merujuk pada fungsi ekosistem mangrove sebagai biofilter atau jasa ekosistem

**Gambar 1.** Diagram Alur Penelitian PRISMA – ScR

Kriteria inklusi yang ditetapkan dan digunakan pada penelitian ini yaitu: 1) Artikel diterbitkan mulai tahun 2020 hingga 2024, 2) Hanya artikel empiris, 3) Artikel ditulis dalam Bahasa Inggris dan/ atau Bahasa Indonesia (khusus database GARUDA), 4) bersifat *open-access*, dan 5) artikel dalam relevansi topik penelitian. Tahapan pada penyeleksian artikel dengan menggunakan panduan PRISMA-ScR yang disajikan pada Gambar 1 (Page *et al.*, 2021). Proses penelitian dimulai dengan menentukan sumber database yang digunakan, membuat rumus Boolean dan menetapkan kriteria inklusi yang digunakan selanjutnya artikel yang memenuhi tujuan penelitian kemudian ditinjau oleh peninjau apabila terdapat perbedaan pendapat antar peninjau dilakukan telaah serta diskusi bersama hasil tinjauan di analisis secara menyeluruh untuk menjawab pertanyaan penelitian ini (Haddaway *et al.*, 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Banyak peneliti yang melakukan penelitian tentang ekosistem mangrove hanya berfokus pada satu topik tertentu meskipun banyak topik penelitian tentang ekosistem mangrove telah banyak dihasilkan. Untuk mengkaji artikel-artikel yang telah terpilih dalam penelitian ini serta memberikan informasi penelitian yang komprehensif mengenai dampak ekosistem mangrove terhadap kualitas air laut melalui pendekatan tinjauan ruang lingkup. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa 13 artikel memenuhi kriteria dan tujuan penelitian. Tabel 2, menunjukkan hasil evaluasi artikel tersebut.

Tabel 2. Hasil Tinjauan Artikel

Dampak Ekosistem Mangrove terhadap Kualitas Air Laut	Sumber
Mengatur Fisikokimia Air Laut	(Putra dan Hendrasarie, 2022), (Pratama <i>et al.</i> , 2023)
Biofilter Polutan Air Laut	(Febriansyah, Hakim dan Retnaningdyah, 2022), (Harefa <i>et al.</i> , 2023), (Londoño, Leal-Flórez dan Blanco-Libreros, 2020)
Konservasi Jangka Panjang	(Sabdaningsih <i>et al.</i> , 2023)
Mendukung Ekosistem Laut yang Sehat	(Luo <i>et al.</i> , 2024), (Nguyen, Le dan Richter, 2020), (Arceo-Carranza <i>et al.</i> , 2024)
Mengatur Stok Karbon untuk Stabilitas Ekosistem Laut	(Mattone dan Sheaves, 2024), (Cobacho <i>et al.</i> , 2024)
Rekayasa Lingkungan melalui Ekosistem Laut	(K <i>et al.</i> , 2024), (Sahari <i>et al.</i> , 2024)

Mengatur Paramater Fisikokimia Air Laut

Ekosistem mangrove memiliki peran penting sebagai pengatur parameter fisikokimia air laut yang mencakup suhu, salinitas, bahan organik dan kandungan oksigen (DO). Peran ini terjadi karena adanya interaksi kompleks antara struktur vegetasi mangrove, aktivitas biologis dan kemampuan remediatifnya (Pratama *et al.*, 2023). Kerapatan vegetasi mangrove yang lebat, seperti penelitian yang ditunjukkan oleh Kaliu (2018), mampu mengurangi penerasi sinar matahari langsung ke permukaan air laut sehingga menjaga suhu perairan sekitar tetap stabil. Kawasan konservasi mangrove membantu mempertahankan salinitas dalam kisaran ideal untuk kehidupan laut (Yoswaty *et al.*, 2024). Selain itu, distribusi jenis mangrove seperti *Avicennia Marina*, dapat memoderasi fluktuasi salinitas sehingga mampu berperan dalam stabilitas ekosistem pesisir. Masiyah, Suriani dan Lutfi (2023) mangrove secara efektif mengendalikan tingkat kekeruhan air bahwa Kawasan mangrove di Merauke memiliki tingkat kekeruhan yang lebih rendah dibandingkan dengan wilayah tanpa mangrove karena berkat akar-akar pneumatoforik yang mampu mengikat sedimen laut. Hal serupa juga ditegaskan oleh Damaianto dan Musduqi (2014), yang menemukan bahwa penurunan signifikan pada *Total Suspended Solid* (TSS) di wilayah perairan dekat mangrove mampu meningkatkan kecerahan air. Dengan demikian mangrove terbukti berfungsi sebagai penyaring alami yang menjaga kualitas perairan pesisir.

Kemampuan mangrove untuk meningkatkan kandungan oksigen terlarut (DO) juga menjadi aspek penting seperti kehadiran fitoplankton di wilayah pesisir dipengaruhi oleh mangrove sehingga meningkatkan produksi oksigen melalui proses fotosintesis (Djohan dan Ulul Azmi, 2020). Menurut Wilda, Hamdan dan Rahmi (2020), ekosistem mangrove mampu menyediakan bahan organik melalui proses *outwelling*, yang mendukung produktivitas primer dan meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO). Namun Mentari, Soenardjo dan Yulianto (2022), memperingatkan bahwa akumulasi bahan organik yang berlebihan dapat menyebabkan hipoksia di beberapa wilayah mangrove terutama jika sirkulasi air tidak memadai. Ekosistem mangrove juga memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap dan mengakumulasi logam berat melalui mekanisme fitoremediasi sehingga mampu mengurangi polusi perairan (Awaliyah, Yona dan Pratiwi, 2018). Akar mangrove juga memainkan peran penting dalam penyerapan polutan seperti tembaga dan kromium (Rosyid, 2020). Temuan Mentari, Soenardjo dan Yulianto (2022), menunjukkan bahwa *Rhizophora Mucronata* secara signifikan menurunkan kadar logam berat tembaga di Kawasan pesisir Pekalongan sehingga mempertegas peran mangrove dalam pengendalian pencemaran air.

Mangrove juga berperan dalam memantau kualitas air laut melalui indeks saprobic, kemampuan alami mangrove dapat mengurai bahan organik dan meningkatkan kualitas air secara biologis (Putri *et al.*, 2023). Perbedaan musim dan wilayah mempengaruhi parameter fisikokimia yang diatur oleh mangrove sehingga perlunya mengidentifikasi jenis mangrove yang tepat untuk ditanam di wilayah tersebut (Chaudhary dan Trivedi, 2024). Dinamika musiman mempengaruhi distribusi nutrient dan bahan organik melalui proses *outwelling* mangrove yang mendukung produktivitas nya (Seleyi *et al.*, 2024). Secara keseluruhan, ekosistem mangrove berkontribusi signifikan dalam menjaga kualitas air laut melalui pengaturan suhu, salinitas, kecerahan dan oksigen terlarut serta fitoremediasi polutan. Peran multifungsinya tidak hanya mampu meningkatkan kualitas air laut tetapi juga mendukung keseimbangan ekosistem pesisir. Oleh karena itu pelestarian dan pemulihan mangrove menjadi langkah strategis untuk memitigasi dampak negative pencemaran dan perubahan lingkungan di wilayah pesisir (Akhrianti dan Gustomi, 2020; Luo *et al.*, 2024).

Biofilter Polutan Air Laut

Mangrove memiliki peran penting sebagai biofilter alami dalam mengendalikan polutan di perairan laut melalui struktur akar mangrove yang kompleks memungkinkan penyerapan, akumulasi dan transformasi berbagai jenis polutan termasuk logam berat sehingga membantu menjaga kualitas air laut di wilayah pesisir (Utami, Rismawati dan Sapanli, 2018; Manikasari dan Mahayani, 2019). Ekosistem mangrove bertindak sebagai penghalang fisik yang mampu menjebak polutan sebelum mencapai perairan terbuka sekaligus memanfaatkan proses biologis untuk mendekomposisi senyawa beracun (Manikasari dan Mahayani, 2019). Kemampuan mangrove sebagai biofilter juga dipengaruhi oleh jenis mangrove dan kepadatan vegetasi di wilayah tersebut (Kaliu, 2018). Menurut Martuti, Anggraito dan Anggraini (2019), menunjukkan bahwa mangrove di Kawasan tambak bdanek di Tapak, Semarang mampu mengurangi pencemaran air laut secara efektif melalui mekanisme fitoremediasi. *Avicennia Marina*, merupakan salah satu spesies mangrove yang dominan dengan kemampuan tinggi dalam menyerap logam berat seperti *Zn* (Farhan dan Razif, 2017). Proses ini melibatkan penyerapan polutan ke dalam jaringan tanaman melalui akar mangrove, logam berat kemudian terakumulasi tanpa mempengaruhi fungsi fisiologis tanaman secara signifikan (Utami, Rismawati dan Sapanli, 2018).

Ekosistem mangrove tidak hanya berfungsi sebagai biofilter logam berat tetapi juga sebagai pengendali nutrient berlebih, hal ini membantu mencegah eutrofikasi (Saputri, Wahyuningsih dan Sari, 2022). Kawasan pesisir mangrove mampu bertindak sebagai bioakumulator limbah logam yang menjadikannya solusi efisien dan berkelanjutan untuk pengelolaan pencemaran (Mawardi *et al.*, 2022). Mangrove terbukti mampu memecah senyawa organik dan menyerap logam berat seperti merkuri dan tembaga melalui mekanisme fitoremediasi pasif dan aktif sehingga menegaskan potensi mangrove sebagai solusi berbasis ekologi yang efektif untuk pengelolaan kualitas air laut (Nildanita, 2015). Selain logam berat, mangrove juga berperan dalam menyaring limbah organik melalui proses bioremediasi yang melibatkan mikroorganisme di sekitar akar mangrove (Utami, Rismawati dan Sapanli, 2018). Pentingnya pelestarian hutan mangrove untuk mencegah pencemaran air laut melalui perlindungan dan pemulihan mangrove menjadi langkah penting dalam strategi pengelolaan lingkungan pesisir (Wijayanti dan Chamid, 2021). Secara keseluruhan, peran mangrove sebagai biofilter polutan air laut tidak hanya mendukung peningkatan kualitas air laut tetapi juga memastikan keberlanjutan ekosistem pesisir.

Konservasi Jangka Panjang

Konservasi mangrove jangka Panjang merupakan salah satu strategi penting dalam menjaga kualitas air laut di wilayah pesisir (Bai'un *et al.*, 2020). Ekosistem mangrove menyediakan berbagai layanan ekosistem termasuk perlindungan pesisir, penyaringan polutan, serta tempat bagi biota laut (Luo *et al.*, 2024). Konservasi Mangrove berkontribusi terhadap pengurangan erosi Pantai dan meningkatkan kualitas air laut melalui filtrasi alami (Idris *et al.*, 2021). Upaya konservasi ini perlu dukungan dan keterlibatan Masyarakat setempat untuk berperan aktif dalam menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove (Wijayanti dan Chamid, 2021). Melalui pendekatan inovatif berbasis teknologi dan komunitas untuk menangani degradasi mangrove dianggap sebagai langkah penting untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya ekosistem mangrove bagi wilayah pesisir (Zega *et al.*, 2024). Program-program seperti ini tidak hanya mempertahankan mangrove sebagai penyaring alami, tetapi juga mendukung peningkatan kualitas air laut dengan mengurangi polutan yang masuk ke wilayah pesisir (Wijayanti dan Chamid, 2021). Program pengembangan Kawasan mangrove menjadi destinasi ekowisata dapat mendukung upaya konservasi, tidak hanya meningkatkan kesadaran public terhadap pentingnya mangrove namun menghasilkan manfaat ekonomi bagi Masyarakat sekitar wilayah mangrove melalui pariwisata (Febriyanto, 2020). Pendekatan berbasis ekosistem dalam konservasi mangrove mampu berperan penting dalam menjaga ekologis wilayah pesisir (Kresnasari, Mustikasari dan Hdanoko, 2022).

Implementasi program penanaman bakau di wilayah pesisir tidak hanya bertujuan untuk mengurangi abrasi, tetapi juga memperbaiki kualitas air laut melalui filtrasi alami polutan (Zukhra *et al.*, 2024). Penanaman mangrove ini melibatkan Masyarakat setempat sehingga memperkuat kolaborasi dan sinergitas antara komunitas lokal dan pemangku kebijakan (Turisno, Suharto dan Priyono, 2018). Dukungan Kawasan konservasi juga berkontribusi untuk memberikan perlindungan terhadap gelombang pasang dan abrasi, serta menjaga kehidupan biota laut dengan menyediakan habitat alami (Husain, Idrus dan Ihsan, 2020). Secara keseluruhan, konservasi mangrove jangka panjang memerlukan pendekatan holistik yang melibatkan restorasi ekosistem, pemberdayaan masyarakat, dan integrasi dengan sektor ekonomi. Strategi ini memastikan

keberlanjutan ekosistem mangrove sebagai penyaring alami, pelindung wilayah pesisir, dan pendukung kualitas air laut. Dengan demikian, konservasi mangrove tidak hanya memberikan manfaat ekologis tetapi juga mendukung kesejahteraan sosial dan ekonomi masyarakat.

Mendukung Ekosistem Laut yang Sehat

Ekosistem mangrove memiliki peranan penting dalam mendukung ekosistem laut yang sehat baik sebagai perlindungan habitat biota laut, penyediaan nutrient, fungsi ekologis, pengendali perubahan iklim, abrasi hingga fungsi ekonomis bagi masyarakat disekitarnya (Kresnasari, Mustikasari dan Hdanoko, 2022). Akar-akar mangrove yang kompleks menciptakan habitat unik bagi biota laut sehingga mampu meningkatkan keanekaragaman hayati dengan mendukung rantai makanan laut yang kompleks (Nagelkerken *et al.*, 2008). Upaya konservasi mangrove menjadi kunci dalam menjaga keberlanjutan ekosistem laut untuk mengurangi degradasi dan eksploitasi berlebihan di wilayah pesisir (I. S. Putra, 2019). Menurut Lugina *et al* (2017), pengelolaan mangrove yang berkelanjutan mampu memperbaiki habitat laut yang terdegradasi dan memulihkan fungsi ekosistem sebagai pelindung alami pesisir. Pentingnya partisipasi warga dalam pengelolaan mangrove, tidak hanya menjaga keanekaragaman hayati tetapi juga memperkuat ketahanan ekosistem di wilayah pesisir terhadap perubahan lingkungan sehingga mendukung ekosistem laut yang sehat (Rachman *et al.*, 2023).

Ekosistem mangrove dapat mengurangi dampak gelombang pasang, abrasi, dan intrusi laut sehingga mampu melindungi habitat laut di sekitarnya (Sunkur *et al.*, 2023). Ekosistem mangrove yang sehat dapat meningkatkan kualitas air laut di wilayah pesisir juga mengoptimalkan rantai makanan sehingga memperkuat fungsi ekologis laut di wilayah pesisir (Kurniawan *et al.*, 2022). Ekosistem mangrove yang sehat dapat menghasilkan bahan organik yang menjadi sumber makanan bagi organisme laut melalui nutrient yang dihasilkan akan mengalir ke perairan sekitar sehingga mengoptimalkan rantai makanan laut di wilayah pesisir (Das, Das dan Tah, 2022). Husain, Idrus dan Ihsan (2020), juga menyatakan bahwa wilayah pesisir dengan menyediakan layanan ekosistem yang penting bagi biota laut seperti pemeliharaan keanekaragaman hayati dan stabilitas ekosistem dapat menjaga ekosistem laut yang sehat. Penanaman mangrove dapat membantu memperbaiki habitat laut yang rusak sekaligus meningkatkan kesadaran Masyarakat akan pentingnya menjaga ekosistem pesisir (Botha *et al.*, 2024). Pentingnya kebijakan dan regulasi yang tepat untuk mendukung kebijakan mengenai konservasi ekosistem mangrove di wilayah pesisir sehingga konservasi dapat berlangsung optimal (Johari *et al.*, 2022). Secara keseluruhan, ekosistem mangrove memainkan peran penting dalam menjaga kesehatan ekosistem laut. Mangrove tidak hanya menyediakan habitat penting bagi biota laut, tetapi juga membantu menjaga keseimbangan ekosistem melalui penyediaan nutrien, perlindungan pesisir, dan pengurangan risiko bencana. Oleh karena itu, upaya konservasi dan restorasi mangrove harus terus ditingkatkan untuk memastikan keberlanjutan ekosistem laut di daerah pesisir.

Mengatur Stok Karbon untuk Stabilitas Ekosistem Laut

Ekosistem mangrove memiliki peran krusial dalam mengatur stok karbon untuk menjaga stabilitas ekosistem laut (Hickmah *et al.*, 2021). Ekosistem mangrove merupakan salah satu penyimpan *blue carbon* yang paling efektif di dunia dengan berkontribusi besar dalam mitigasi perubahan iklim dan menjaga kualitas air laut (Carnell *et al.*, 2022). Mangrove dapat menyimpan karbon dalam jumlah besar melalui akumulasi bahan organik di tanahnya yang berfungsi sebagai penyerapan karbon dalam jangka Panjang (Irsadi *et al.*, 2022). Karbon yang tersimpan ini membantu mengurangi konsentrasi karbon dioksida (CO²) di atmosfer sekaligus mendukung stabilitas lingkungan pesisir (Melati, 2021). Tingkat kerapatan tutupan mangrove memiliki hubungan erat dengan kapasitas penyimpanan karbon biru sehingga sangat optimal dalam penyerapan karbon dibandingkan wilayah mangrove yang terdegradasi (Azzahra, Muryani dan Tjahjono, 2023). Ekosistem mangrove di wilayah tropis seperti di Indonesia memiliki potensi penyimpanan karbon tertinggi dibandingkan daerah lain (Atwood *et al.*, 2017). Kida dan Fujitake (2020), menjelaskan bahwa tanah mangrove memiliki mekanisme alami yang memungkinkan karbon organik untuk bertahan dalam waktu lama melalui interaksi dengan mineral tanah dan mikroorganisme sehingga stabilitas ini penting untuk mempertahankan fungsi ekosistem pesisir.

Menurut Yu *et al.* (2023), menemukan bahwa karbon biru di tanag mangrove yang berkembang mengalami dinamika perubahan dengan potensi pelepasan karbon yang lebih tinggi jika terjadi kerusakan ekosistem. Oleh karena itu perlindungan dan restorasi mangrove menjadi prioritas utama untuk memastikan

keberlanjutan penyimpanan karbon (K *et al.*, 2024; Yu *et al.*, 2023). Kusumaningtyas *et al.* (2019), mencatat bahwa ekosistem mangrove di Indonesia memiliki variasi stok karbon yang signifikan, tergantung pada sumber bahan organik, kondisi lingkungan dan intervensi manusia. Mangrove yang terjaga dengan baik memiliki tingkat akumulasi karbon yang lebih tinggi sehingga menunjukkan bahwa konservasi mangrove tidak hanya penting untuk stabilitas karbon namun juga mendukung stabilitas ekosistem laut secara keseluruhan (Rangkuti *et al.*, 2022). Regenerasi mangrove dapat menjadi strategi mitigasi perubahan iklim yang efektif sekaligus mendukung stabilitas ekosistem pesisir (Luo *et al.*, 2024). Pentingnya pengelolaan stok karbon di wilayah pesisir dan kepulauan sebagai bagian integral dari strategi konservasi pesisir (Hickmah *et al.*, 2021). Sudirman, Helmi dan Salim (2019), menggunakan permodelan geospasial untuk menunjukkan bahwa degradasi mangrove di Teluk Jakarta berdampak langsung pada pelepasan karbon dan peningkatan kerentanan ekosistem pesisir. Secara keseluruhan, ekosistem mangrove memainkan peran penting dalam mengatur stok karbon dan menjaga stabilitas ekosistem laut. Peran ini semakin relevan dalam konteks perubahan iklim dan degradasi lingkungan pesisir. Dengan memprioritaskan konservasi, restorasi, dan pengelolaan mangrove yang berkelanjutan, manfaat karbon biru yang dihasilkan oleh mangrove dapat dimaksimalkan, mendukung kualitas air laut, dan memastikan kelestarian ekosistem pesisir.

Rekayasa Lingkungan Ekosistem Laut

Ekosistem mangrove memiliki peran strategis dalam rekayasa lingkungan ekosistem laut, khususnya dalam mendukung perbaikan kualitas air dan mitigasi pencemaran laut (Nildanita, 2015). Rekayasa lingkungan menggunakan ekosistem mangrove melibatkan biofisik, seperti fitoremediasi dan bioremediasi untuk mengatasi polusi logam berat dan kontaminasi lainnya di wilayah pesisir (Rosyid, 2020). Melalui pemanfaatan mangrove sebagai penyaring alami dapat mengurangi dampak pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas antropogenik (Zainuri, Takwanto dan Syarifuddin, 2017). Kemampuan mangrove menyerap dan mengakumulasi logam berat dalam jaringan akarnya menjadikannya solusi yang ramah lingkungan untuk perbaikan kualitas air (Yadav *et al.*, 2023). Potensi besar mangrove dalam pengelolaan pencemaran lingkungan secara berkelanjutan untuk memainkan peran adaptif terhadap kontaminasi logam berat melalui mekanisme penyesuaian fisiologis yang kompleks (Rahman *et al.*, 2024). Remediasi berbasis mangrove juga mencakup pengelolaan sedimen yang terkontaminasi bahwa sedimentasi yang difasilitasi oleh mangrove tidak hanya menstabilkan logam berat tetapi juga mencegah penyebarannya ke perairan terbuka (Birch, Nath dan Chaudhuri, 2015). Ekosistem mangrove menyediakan layanan ekosistem yang multifungsi termasuk perlindungan pesisir dan peningkatan kualitas air laut (Pratiwi, Maslukah dan Sugianto, 2022). Melalui ekosistem mangrove yang tercemar minyak mentah dapat pulih lebih cepat dengan memanfaatkan kemampuan mikroorganisme yang berasosiasi dengan akar mangrove untuk memecah hidrokarbon kompleks dengan optimal (Manikasari dan Mahayani, 2019; Larasati *et al.*, 2021).

Rehabilitasi mangrove dapat menjadi bagian integral dari strategi pengelolaan lingkungan pesisir yang berkelanjutan (Makaruku dan Aliman, 2019). Selain remediasi dan rehabilitasi rekayasa lingkungan berbasis mangrove juga dapat diintegrasikan dengan teknologi budidaya perikanan untuk meningkatkan fungsi ekologis sebagai habitat alami (Samidjan, Rachmawati dan Pranggono, 2019). Secara keseluruhan, rekayasa lingkungan berbasis mangrove menawarkan solusi berkelanjutan untuk memperbaiki kualitas air laut dan mengatasi berbagai bentuk pencemaran. Dengan memanfaatkan kemampuan alami mangrove untuk fitoremediasi, bioremediasi, dan pengelolaan sedimen, ekosistem ini tidak hanya membantu pemulihan lingkungan tetapi juga mendukung keseimbangan ekosistem laut. Untuk menjamin keberhasilan jangka panjang, strategi konservasi, rehabilitasi, dan integrasi harus memanfaatkan kemampuan alami mangrove untuk

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa ekosistem mangrove memiliki peran yang signifikan dalam meningkatkan kualitas air laut di wilayah pesisir melalui enam mekanisme utama yaitu: pengaturan parameter fisikokimia, biofilter polutan, konservasi jangka Panjang, dukungan terhadap ekosistem laut yang sehat, pengaturan stok karbon, dan rekayasa lingkungan. Ekosistem mangrove dapat membantu menjaga suhu, salinitas dan kandungan oksigen sekaligus mengurangi kekeruhan air. Fungsi biofilter mangrove mampu menyerap dan mengakumulasi logam berat serta mencegah eutrofikasi. Konservasi jangka Panjang dapat memastikan keberlanjutan ekosistem pesisir, sedangkan peran mangrove dalam mentaur stok karbon dapat membantu mitigasi perubahan iklim dan menjaga stabilitas ekosistem laut. Melalui pendekatan rekayasa

lingkungan, mangrove mendukung pemulihan ekosistem pesisir dari pencemaran. Oleh karena itu, upaya pelestarian, restorasi dan pengelolaan ekosistem mangrove harus diperkuat dengan kebijakan, regulasi dan keterlibatan seluruh lapisan masyarakat untuk memastikan keberlanjutan ekosistem pesisir dan kualitas air laut untuk lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhrianti, I., & Gustomi, A. 2020. Important value aspect of mangrove community at coastal area of Pangkalpinang City, Bangka Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 599(1): 012056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/599/1/012056>
- Akhtar, N., Syakir Ishak, M. I., Bhawani, S. A., & Umar, K. 2021. Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water (Switzerland)*, 13(19): 2660. <https://doi.org/10.3390/w13192660>
- Arceo-Carranza, D., Hernández Mendoza, L. C., Teutli-Hernández, C., Herrera-Silveira, J. A., Caballero Vázquez, J. A., & Chiappa-Carrara, X. 2024. Mangrove ecosystems as fundamental habitats for fish from the Mexican Caribbean: An evaluation between a conserved and restoration zone. *Regional Studies in Marine Science*, 77: 103650. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103650>
- Arifanti, V. B., Kauffman, J. B., Subarno, J. B., Iman, M., Tosiani, A., & Novita, N. (2022). Contributions of mangrove conservation and restoration to climate change mitigation in Indonesia. *Global Change Biology*, 28(15): 4523-4538. <https://doi.org/10.1111/gcb.16216>
- Atwood, T. B., Connolly, R. M., Almahasheer, H., Carnell, P. E., Duarte, C. M., Lewis, C. J. E., Irigoien, X., Kelleway, J. J., Lavery, P. S., Macreadie, P. I., Serrano, O., Sanders, C. J., Santos, I., Steven, A. D. L., & Lovelock, C. E. 2017. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change*, 7(7): 523-528. <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>
- Awaliyah, H. F., Yona, D., & Pratiwi, D. C. 2018. Akumulasi logam berat (Pb dan Cu) pada Akar dan daun mangrove *Avicennia marina* di Sungai Lamong, Jawa Timur. *Depik*, 7(3): 187-197. <https://doi.org/10.13170/depik.7.3.11020>
- Azzahra, R., Muryani, C., & Tjahjono, G. A. 2023. *Development of GIS-Based Learning Multimedia To Improve Spatial Thinking Ability of Social Students In High School*. 9(2): 242-255. https://doi.org/10.2991/978-2-38476-114-2_67
- Bai'un, N. H., Riyantini, I., Mulyani, Y., & Zallesa, S. 2020. Keanekaragaman Makrozoobentos Sebagai Indikator Kondisi Perairan Di Ekosistem Mangrove Pulau Pari , Kepulauan Seribu. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2): 227 - 238.
- Birch, G., Nath, B., & Chaudhuri, P. 2015. Effectiveness of remediation of metal-contaminated mangrove sediments (Sydney estuary, Australia). *Environmental Science and Pollution Research*, 22(8): 6185-6197. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3830-7>
- Booth, A., Sutton, A., Clowes, M., & Martyn, M. 2021. *Systematic Approaches To A Successful Literature Review*. SAGE Publication Ltd.
- Botha, P. M., Eme, Y., Toulwala, R. B., Samgar, A., & Leda, H. A. 2024. Penanaman Mangrove Untuk Kelestarian Alam di Desa Nabe, Kecamatan Maukaro, Kabupaten Ende. *Journal Of Human And Education*, 4(1): 202-207. <https://doi.org/10.31004/jh.v4i1.578>
- Breitburg, D., Levin, L. A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F. P., Conley, D. J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G. S., Limburg, K. E., Montes, I., Naqvi, S. W. A., Pitcher, G. C., Rabalais, N. N., Roman, M. R., Rose, K. A., Seibel, B. A., Zhang, J. 2018. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(6371): eaam7240. <https://doi.org/10.1126/science.aam7240>
- Carnell, P. E., Palacios, M. M., Waryszak, P., Trevathan-Tackett, S. M., Masqué, P., & Macreadie, P. I. 2022. Blue carbon drawdown by restored mangrove forests improves with age. *Journal of Environmental Management*, 306: p.114301. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114301>
- Chaudhary, S. R., & Trivedi, R. 2024. Physico-chemical analysis of water quality of Bhitarkanika Mangrove Forest. *International Journal of Environmental Sciences*, 13(3):57-62. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36339.95521>
- Cobacho, S. P., Leemans, L. H., Weideveld, S. T. J., Fu, X., van Katwijk, M. M., Lamers, L. P. M., Smolders, A. J. P., & Christianen, M. J. A. 2024. Addition of iron does not ameliorate sulfide toxicity by sargassum influx to mangroves but dampens methane and nitrous oxide emissions. *Marine Pollution Bulletin*, 202:

116303. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116303>
- Damaianto, B., & Musduqi, A. 2014. Indeks Pencemaran Air Laut Pantai Utara Kabupaten Tuban dengan Parameter Logam. *Proceedings of the Fifth IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, 3(1): D1-D4.
- Das, S. C., Das, S., & Tah, J. 2022. *Mangrove Ecosystems and Their Services BT - Mangroves: Biodiversity, Livelihoods and Conservation* (S. C. Das, Pullaiah, & E. C. Ashton (eds.); pp. 139–152). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0519-3_6
- Djohan, T. S., & Ulul Azmi, A. B. 2020. Kemelimpahan Fitoplankton Di Perairan Estuari Payau Bondan Cilacap, Jawa Tengah (The Abundance of Phytoplankton in the Brackish Estuary of Bondan, Cilacap, Central Java). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 27(1): 7. <https://doi.org/10.22146/jml.42323>
- Eddy, S., Mulyana, A., Ridho, M. R., & Iskandar, I. 2015. Dampak Antropogenik Terhadap Degradasi Hutan Mangrove Di Indonesia. *Jurnal Lingkungan Dan Pembangunan*, 1(3): 240–254.
- Farhan, I., & Razif, M. 2017. Penyisihan Konsentrasi Logam Zn Menggunakan Mangrove *Avicennia marina*. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): F224-F228. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.23898>
- Febriansyah, S. C., Hakim, L., & Retnaningdyah, C. 2022. Evaluation of Mangrove Water Quality in Pancer Cengkong, Trenggalek and Sine, Tulungagung, East Java, Indonesia Using Phytoplankton as Bioindicators. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 14(2): 297-312. <https://doi.org/10.20473/jipk.v14i2.32459>
- Febriyanto, O. 2020. Strategi pengembangan kawasan ekowisata mangrove Pantai Indah Kapuk sebagai daya tarik di DKI Jakarta. *Geomedia*, 18(1): 1-11.
- Glibert, P. M., Al-Azri, A., Icarus Allen, J., Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W., Burford, M. A., Harrison, P. J. & Zhou, M. 2018. Key questions and recent research advances on harmful algal blooms in relation to nutrients and eutrophication. In: Glibert, P. M., Berdalet, E., Burford, M. A., Pitcher, G. C. & Zhou, M. (eds.) *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms*. Springer International Publishing, pp. 229-259. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70069-4_12
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C. & McGuinness, L. A. 2022. PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and open synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 18(2): e1230. <https://doi.org/10.1002/cl2.1230>
- Harefa, M. S., Nasution, Z., Tuhono, E. & Susilowati, A. 2023. Floristic composition and carbon stock estimation under restored mangrove area in Bagan Serdang, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(4): 2037-2044. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240413>
- Hickmah, N., Maslukah, L., Wulandari, S. Y., Sugianto, D. N. & Wirasatriya, A. 2021. Kajian stok karbon organik dalam sedimen di area vegetasi mangrove Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(4): 419-426. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i4.12494>
- Husain, P., Idrus, A. A. & Ihsan, M. S. 2020. The ecosystem service of mangroves for sustainable coastal area and marine fauna in Lombok, Indonesia: A review. *Jurnal Inovasi Pendidikan dan Sains*, 1(1): 1-7.
- Idris, N. S., Mustapha, M. A., Sulaiman, N., Khamis, S., Husin, S. M. & Darbis, N. D. A. 2021. The dynamics of landscape changes surrounding a firefly ecotourism area. *Global Ecology and Conservation*, 29: e01741. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01741>
- Irsadi, A., Hadiyanti, L. N., E. K., N., Partaya, P., Abdullah, M. & S. A., H. 2022. Peran ekosistem mangrove dalam mitigasi pemanasan global. *Bookchapter Alam Universitas Negeri Semarang*, 1: 144-166. <https://doi.org/10.15294/ka.v1i1.88>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. & Law, K. L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223): 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Johari, H. I., Sukuryadi, Mas'ad & Ibrahim. 2022. Valuasi manfaat tidak langsung mangrove di Kecamatan Jerowaru Kabupaten Lombok Timur Nusa. *Geography*, 10(1): 55-72.
- K, A., Parveen K, H., V K, S., P, B., Muhammed, J. & Augustine, A. 2024. Mangroves in environmental engineering: Harnessing the multifunctional potential of nature's coastal architects for sustainable ecosystem management. *Results in Engineering*, 21: 101765. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101765>
- Kaliu, S. 2018. Struktur vegetasi mangrove dan fekunditas di Desa Terapungmawasangka Sulawesi

- Tenggara. *Saintifik*, 4(1): 31-38. <https://doi.org/10.31605/saintifik.v4i1.141>
- Khalil, H., Peters, M. D., Tricco, A. C., Pollock, D., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M. & Munn, Z. 2021. Conducting high quality scoping reviews-challenges and solutions. *Journal of Clinical Epidemiology*, 130: 156-160. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2020.10.009>
- Kida, M. & Fujitake, N. 2020. Organic carbon stabilization mechanisms in mangrove soils: A review. *Forests*, 11(9): 1-15. <https://doi.org/10.3390/f11090981>
- Kresnasari, D., Mustikasari, D. & Handoko, B. 2022. Konservasi mangrove berbasis pendekatan ekosistem sebagai penunjang pengembangan ilmu pengetahuan di Segara Anakan, Cilacap. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 6(4): 1857. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v6i4.11714>
- Kurniawan, R., Saputra, A. M. W., Wijayanto, A. W. & Caesarendra, W. 2022. Eco-environment vulnerability assessment using remote sensing approach in East Kalimantan, Indonesia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27: 100791. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100791>
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahaean, A. A., Fischer, H. W., Pérez-Mayo, M., Ransby, D. & Jennerjahn, T. C. 2019. Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218: 310-323. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.007>
- Kusumawati, I., Nasution, M. A. & Alamsyah, A. 2019. Distribusi dan komposisi sampah laut pesisir di Kecamatan Kuala Pesisir Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 1(1): 1-10. <https://doi.org/10.35308/jlaot.v1i1.1073>
- Larasati, N. N., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., Zainuri, M. & Kunarso, K. 2021. Kandungan pencemar detejen dan kualitas air di perairan muara Sungai Tapak, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1): 1-13. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i1.9470>
- Liyanto, L., Setiawan, Y., Siahaan, L., Permatasari, P. A., Trisanti, V. N., Firmansyah, F. S., Amalo, L. F., Prayoga, G., Prasetyo, L. B., Abidin, Z., Syartinilia, S., Hartoyo, A. P. P., R, W. H., Martiandi, B., Agathis, P., Lukmansjah, D., Sakina, H., Karim, A., Hermansyah, Y. & Astuti, N. 2022. *Status Lingkungan Hidup Indonesia 2022*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Londoño, L. A. S., Leal-Flórez, J. & Blanco-Libreros, J. F. 2020. Linking mangroves and fish catch: A correlational study in the southern Caribbean Sea (Colombia). *Bulletin of Marine Science*, 96(3): 415-429. <https://doi.org/10.5343/bms.2019.0022>
- Lugina, M., Alviya, I., Indartik, I. & Aulia Pribadi, M. 2017. Strategi keberlanjutan pengelolaan hutan mangrove di Tahura Ngurah Rai Bali. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 14(1): 61-77. <https://doi.org/10.20886/jakk.2017.14.1.61-77>
- Luo, J., Huang, Q., Zhang, H., Xu, Y., Zu, X. & Song, B. 2024. Impact of conservation in the Futian Mangrove National Nature Reserve on water quality in the last twenty years. *Forests*, 15(7): 1246. <https://doi.org/10.3390/f15071246>
- Makaruku, A. & Aliman, R. 2019. Analisis tingkat keberhasilan rehabilitasi mangrove di Desa Piru Kecamatan Seram Barat Kabupaten Seram Bagian Barat. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 19(2): 1-17. <https://doi.org/10.37412/jrl.v2i2.2>
- Malone, T. C. & Newton, A. 2020. The globalization of cultural eutrophication in the coastal ocean: Causes and consequences. *Frontiers in Marine Science*, 7: 1-30. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00670>
- Manikasari, G. P. & Mahayani, N. P. D. 2019. Peran hutan mangrove sebagai biofilter dalam pengendalian polutan Pb dan Cu di hutan mangrove Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan*, 2(2): 105. <https://doi.org/10.22146/jnt.42721>
- Martuti, N. K. T., Anggraito, Y. U. & Anggraini, S. 2019. Vegetation stratification in Semarang coastal area. *Biosaintifika*, 11(1): 139-147. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v11i1.18621>
- Masiyah, S., Suriani, W. O. & Lutfi, M. A. 2023. Fisikokimia tanah dan air pada habitat persembunyian kepiting bakau (*Scylla serrata*) pada ekosistem mangrove di pesisir Lampu Satu Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan. *Research Article*, 16(1): 321-327.
- Mattone, C. & Sheaves, M. 2024. Mangrove forest ecological function is influenced by the environmental settings and the benthic fauna composition. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 309: 108959. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108959>
- Maulu, S., Hasimuna, O. J., Haambiya, L. H., Monde, C., Musuka, C. G., Makorwa, T. H., Munganga, B. P., Phiri, K. J. & Nsekanabo, J. D. M. 2021. Climate change effects on aquaculture production: Sustainability

- implications, mitigation, and adaptations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 609097. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.609097>
- Mawardi, A. L., Sarjani, T. M., Khalil, M. & Atmaja, T. H. W. 2022. *Potensi Wilayah Pesisir: Mangrove sebagai Bioakumulator Limbah Logam*. CV. Eureka Media Aksara, pp. 1-101.
- Mearns, A. J., Reish, D. J., Bissell, M., Morrison, A. M., Rempel-Hester, M. A., Arthur, C., Rutherford, N. & Pryor, R. 2018. Effects of pollution on marine organisms. *Water Environment Research*, 90(10): 1206-1300. <https://doi.org/10.2175/106143018X15289915807218>
- Melati, D. N. 2021. Mangrove ecosystem and climate change mitigation: A literature review. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 16(1): 1-8. <https://doi.org/10.29122/jstmb.v16i1.4979>
- Mentari, R. J., Soenardjo, N. & Yulianto, B. 2022. Potensi fitoremediasi mangrove *Rhizophora mucronata* terhadap logam berat tembaga di kawasan Mangrove Park, Pekalongan. *Journal of Marine Research*, 11(2): 183-188. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.33246>
- Nagelkerken, I., Blaber, S. J. M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L. G., Meynecke, J. O., Pawlik, J., Penrose, H. M., Sasekumar, A. & Somerfield, P. J. 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*, 89(2): 155-185. <https://doi.org/10.1016/j.aqua.bot.2007.12.007>
- Nguyen, A., Le, B. V. Q. & Richter, O. 2020. The role of mangroves in the retention of heavy metal (chromium): A simulation study in the Thi Vai river catchment, Vietnam. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16): 1-22. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165823>
- Nilandita, W. 2015. Studi literatur teknologi fitoremediasi untuk pemulihan ekosistem laut terkontaminasi logam berat. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1): 46-50. <https://doi.org/10.29080/alard.v1i1.33>
- Nugroho, A. E. J. K. & Muryani, C. 2025. Efek pencemaran laut terhadap kehidupan biota laut: Tinjauan ruang lingkup. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 7(1): 10-23. <https://doi.org/10.35308/jlik.v7i1.11299>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S. & Moher, D. 2021. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pratama, F. A. P., MS, Y., Zallesa, S. & Sunarto, S. 2023. Relationship between sediment type, total organic matter, and water quality on mangrove density on Tunda Island, Serang Banten. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 10(1): 15. <https://doi.org/10.29103/aa.v1i2.7954>
- Pratiwi, F. K. W. N., Maslukah, L. & Sugianto, D. N. 2022. Kualitas air dan sedimen di Pusat Informasi Mangrove (PIM), Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(3): 33-43. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i3.14141>
- Putra, B. S. E. & Hendrasarie, N. 2022. The effect of mangrove density to estuary water quality based on physic-chemist parameters at Wonorejo, Surabaya. *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, 9(2): 75-82. <https://doi.org/10.21776/ub.jeest.2022.009.02.5>
- Putra, I. S. 2019. Dampak pulau reklamasi terhadap sedimentasi dan potensi perkembangan mangrove di pesisir Teluk Jakarta (Muara Angke). *Jurnal Sumber Daya Air*, 15(2): 81-94. <https://doi.org/10.32679/jsda.v15i2.587>
- Putri, A. D. A. S., Soeprbowati, T. R., Jumari, J., Hidayat, J. W. & Muhammad, F. 2023. Indeks saprobik di kawasan mangrove Bedono, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1): 258-263. <https://doi.org/10.14710/jil.22.1.258-263>
- Rachman, F., Yunita, S., Manik, M. M., Girsang, O. B., Safitri, E., Sabri, T. M., Halizah, N., Yasmin, P. & Juliandi, J. 2023. Pembangunan ekosistem laut berkelanjutan melalui keterlibatan warga dalam pengelolaan hutan mangrove di Desa Tanjung Rejo. *Jurnal Kewarganegaraan*, 20(1): 40. <https://doi.org/10.24114/jk.v20i1.43782>
- Rahman, S. U., Han, J. C., Zhou, Y., Ahmad, M., Li, B., Wang, Y., Huang, Y., Yasin, G., Ansari, M. J., Saed, M. & Ahmad, I. 2024. Adaptation and remediation strategies of mangroves against heavy metal contamination in global coastal ecosystems: A review. *Journal of Cleaner Production*, 441: 140868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140868>
- Rahmantya, K. F., Setiawan, A., Wahyuni, T., Asianto, A. D., Malika, R., Wulansari, R. E., Annisa, A. K., Zunianto, A. K., Putra, H. I. K., Luvianita, A. A., Nurfaizah, A., Retno, R. A., Listyowati, T., Pebriani,

- R., Priyadi, D. M., Rakhman, F. A., Fitriyani, M. K., Indria, P. D., Rahmah, N. M. & Tambunan, M. L. M. 2022. *Kelautan dan Perikanan dalam Angka Tahun 2022* (1st ed.). Pusat Data, Statistik dan Informasi Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Rangkuti, A. M., Cordova, M. R., Rahmawati, A., Yulma, Y. & Adimu, H. E. 2022. *Ekosistem Pesisir & Laut Indonesia*. Hastutu, S. B. & Damayanti, R. (eds.). Bumi Aksara.
- Razi, N. M., Fildzah, F., Dhani, D. N., Nasir, M., Rizki, A. & Firdus, F. 2023. Literatur review: Pencemaran logam berat di pelabuhan Indonesia. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 5(1): 48-57. <https://doi.org/10.35308/jlik.v5i1.7175>
- Rosyid, N. U. 2020. *Fitoremediasi Mangrove*. Guepedia.
- Roy-Hubara, N. & Sturm, A. 2020. Design methods for the new database era: A systematic literature review. *Software and Systems Modeling*, 19(2): 297-312. <https://doi.org/10.1007/s10270-019-00739-8>
- Sabdaningsih, A., Adyasari, D., Suryanti, S., Febrianto, S. & Eshananda, Y. 2023. Environmental legacy of aquaculture and industrial activities in mangrove ecosystems. *Journal of Sea Research*, 196: 102454. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.102454>
- Sahari, M. S. I., Mohd Razali, N. A., Redzuan, N. S., Shah, A. M., Awang, N. A., Lee, L. H., Juahir, H. & Muhammad Nor, S. M. 2024. Carbon stock variability of Setiu Lagoon mangroves and its relation to the environmental parameters. *Global Ecology and Conservation*, 53: e02994. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02994>
- Samidjan, I., Rachmawati, D. & Pranggono, H. 2019. Rekayasa teknologi budidaya kepiting bakau (*Scylla paramaosain*) melalui rekayasa pakan dan lingkungan untuk percepatan pertumbuhan dan kelulushidupan. *PENA Akuatika*, 18(2): 47-62.
- Saputri, B. T. J., Wahyuningsih, E. & Sari, D. P. 2022. Peranan mangrove sebagai biofilter pencemaran air di Desa Lembar Selatan Kecamatan Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 6(2): 128-139.
- Seleyi, S. C., Ravindran, C., Mohandass, C., Patra, P. & Naik, T. A. 2024. Seasonal dynamics of mangrove outwelling and its impact on estuarine productivity: Insights from multi-parameter analysis across tidal variations. *Aquatic Sciences*, 86(3): 1-18. <https://doi.org/10.1007/s00027-024-01092-9>
- Siregar, M. N. F. & Soegianto, A. 2024. Literature review: Investigasi pengaruh polutan mikrologam dan mikroplastik terhadap biota ekosistem pesisir pantai Bali. *JB&P: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 11(2): 143-160.
- Sudirman, N., Helmi, M. & Salim, H. L. 2019. Geospatial modeling of blue carbon ecosystem coastal degradation in Jakarta Bay. *Indonesian Journal of Oceanography*, 1(1): 80-92. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v1i1.6266>
- Sunkur, R., Kantamaneni, K., Bokhoree, C. & Ravan, S. 2023. Mangroves' role in supporting ecosystem-based techniques to reduce disaster risk and adapt to climate change: A review. *Journal of Sea Research*, 196: 102449. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.102449>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K., Colquhoun, H., Kastner, M., Levac, D., Ng, C., Sharpe, J. P., Wilson, K., Kenny, M., Warren, R., Wilson, C., Stelfox, H. T. & Straus, S. E. 2016. A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 16(1): 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12874-016-0116-4>
- Turisno, B. E., Suharto, R. & Priyono, E. A. 2018. Peran serta masyarakat dan kewenangan pemerintah dalam konservasi mangrove sebagai upaya mencegah rob dan banjir serta sebagai tempat wisata. *Masalah-Masalah Hukum*, 47(4): 479-497. <https://doi.org/10.14710/mmh.47.4.2018.479-497>
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2021. *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. United Nations Environment Programme (UNEP) and GRID-Arendal.
- Utami, R., Rismawati, W. & Sapanli, K. 2018. Pemanfaatan mangrove untuk mengurangi logam berat di perairan. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia 2018*: 141-150.
- Weisberg, S. B., Bednaršek, N., Feely, R. A., Chan, F., Boehm, A. B., Sutula, M., Ruesink, J. L., Hales, B., Largier, J. L. & Newton, J. A. 2016. Water quality criteria for an acidifying ocean: Challenges and opportunities for improvement. *Ocean and Coastal Management*, 126: 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.03.010>
- Wijayanti, B. I. & Chamid, C. 2021. Kajian pengendalian pencemaran air laut berdasarkan partisipasi

- masyarakat di kawasan pesisir Pantai Santolo Kecamatan Cikelet Kabupaten Garut. *Jurnal Riset Perencanaan Wilayah dan Kota*, 1(1): 23-29. <https://doi.org/10.29313/jrpwk.v1i1.74>
- Wilda, R., Hamdan, A. M. & Rahmi, R. 2020. A review: The use of mangrove for biomonitoring on aquatic environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(1): 012083. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/980/1/012083>
- Wulandari, R., Iswara, A. P., Qadafi, M., Prayogo, W., Astuti, R. D. P., Utami, R. R., Jayanti, M., Awfa, D., Suryawan, I. W. K., Fitria, L. & Andhikaputra, G. 2024. Water pollution and sanitation in Indonesia: A review on water quality, health and environmental impacts, management, and future challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(58): 65967-65992. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35567-x>
- Yadav, K. K., Gupta, N., Prasad, S., Malav, L. C., Bhutto, J. K., Ahmad, A., Gacem, A., Jeon, B. H., Fallatah, A. M., Asghar, B. H., Cabral-Pinto, M. M. S., Awwad, N. S., Alharbi, O. K. R., Alam, M. & Chairapat, S. 2023. An eco-sustainable approach towards heavy metals remediation by mangroves from the coastal environment: A critical review. *Marine Pollution Bulletin*, 188: 114569. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114569>
- Yoswaty, D., Siregar, Y. I., Mubarak, Efriyeldi, Kurniawan, R., Oktavian, R., Ismet, G. & Maulana, A. 2024. Seawater quality parameters in the mangrove conservation area of Bukit Batu District, Bengkalis Regency, Riau Province. *BIO Web of Conferences*, 136: 03004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413603004>
- Yu, C., Feng, J., Yue, W., Wei, L., Ma, Y., Huang, X., Ling, J. & Dong, J. 2023. The role of blue carbon stocks becomes more labile with mangrove development. *Ecological Indicators*, 154: 110634. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110634>
- Zainuri, A. M., Takwanto, A. & Syarifuddin, A. 2017. Konservasi ekologi hutan mangrove di Kecamatan Mayangan Kota Probolinggo. *Jurnal Kehutanan*, 14(1): 1-7.
- Zega, A., Susanti, N. M., Tillah, R. & Laoli, D. 2024. Innovative strategies in the face of ecosystem degradation: An updated assessment of the vital role of mangrove forests in environmental conservation. *Journal of Environmental Conservation*, 2(2): 71-83.
- Zukhra, R. M., Marsella, A., Afriansyah, A., Afriani, D., Sasmita, I., Irawan, M. R., Ufiasari, N. H., Keperawatan, F., Riau, U., Perikanan, F., Riau, U., Riau, U., Ekonomi, F., Riau, U., Keguruan, F. & Riau, U. 2024. Implementasi program penanaman bakau untuk memperkuat lahan pesisir di Kelurahan Sinaboi Kota Kabupaten Rokan Hilir. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(7): 2653-2657.