

Efek Pencemaran Laut terhadap Kehidupan Biota Laut: Tinjauan Ruang Lingkup

The Effects of Marine Pollution on Marine Life: A Scoping Review

Albertus Erico Jerry Krisna Nugroho^{1,*}, Chatarina Muryani¹

¹Magister Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

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

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak pencemaran laut terhadap biota laut melalui pendekatan tinjauan ruang lingkup. Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur sistematis dengan pendekatan tinjauan ruang lingkup dengan menggunakan berbagai database yang relevan untuk penelitian ini. Sampel penelitian ini menggunakan string kueri rumus Boolean dan menetapkan kriteria inklusi sehingga menghasilkan database literatur penelitian. Database literatur yang diperoleh dianalisis menggunakan panduan PRISMA-ScR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencemaran mikroplastik, pencemaran bahan kimia dan logam berat, pencemaran minyak dan barang tambang serta pencemaran akustik dan fisik adalah penyebab pencemaran laut yang memiliki dampak signifikan terhadap kehidupan biota laut. Dampak yang ditimbulkan bukan hanya pada ekosistem laut namun memberikan dampak luas bagi keberlangsungan makhluk hidup. Penelitian ini memberikan pendekatan komprehensif terhadap isu pencemaran laut sehingga temuan ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan kebijakan terkait pengelolaan limbah, regulasi industri, dan konservasi ekosistem laut. Kajian ini menyimpulkan bahwa pencemaran laut berdampak luas terhadap keseimbangan ekosistem dan keberlangsungan kehidupan laut, serta hal ini penting untuk menjadi dasar dalam pengembangan kebijakan pengelolaan limbah dan konservasi laut.

Kata Kunci: Biota laut, Organisme laut, Pencemaran laut, Tinjauan Ruang Lingkup

Abstract

This research aims to analyze the impact of marine pollution on marine biota through a scoping review approach. This research uses a systematic literature review method with a scope review approach using various databases relevant to this research. This research sample used a Boolean formula query string and set inclusion criteria resulting in a research literature database. The obtained literature database was analyzed using the PRISMA-ScR guide. The results showed that microplastic pollution, chemical and heavy metal pollution, oil and mining pollution and acoustic and physical pollution are causes of marine pollution that have a significant impact on marine life. The impact is not only on the marine ecosystem but also has a broad impact on the sustainability of living things. This study provides a comprehensive approach to the issue of marine pollution so that the findings can be the basis for policy development related to waste management, industry regulation, and conservation of marine ecosystems. This study concludes that marine pollution has far-reaching impacts on the balance of ecosystems and the sustainability of marine life, and this is important to be the basis for developing policies on waste management and marine conservation.

Keywords: *Marine life, Marine organisms, Marine pollution, Scoping Review*

PENDAHULUAN

Laut merupakan ekosistem terbesar di Bumi yang mencakup sekitar 71% dari luas permukaan di bumi ini memiliki peran sangat penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem global (Nugraha & Mulyono, 2017). Laut memiliki keanekaragaman hayati yang sangat kompleks mulai dari mikroorganisme hingga mamalia laut (Rangkuti et al., 2022). Ekosistem laut tidak hanya menjadi tempat tinggal bagi berbagai biota laut namun juga memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem global seperti pengendalian iklim, siklus hidrologi hingga siklus karbon (Handayani, 2019). Namun, dalam beberapa dekade terakhir ancaman terhadap kelestarian laut

semakin meningkat akibat aktivitas manusia (Uar et al., 2016). Ancaman terhadap kelestarian laut semakin meningkat akibat aktivitas manusia seperti penangkapan ikan yang berlebihan (overfishing) sehingga kegiatan ini menyebabkan berkurangnya populasi spesies ikan tertentu secara drastis dan mengganggu keseimbangan rantai makanan laut (Pham et al., 2023). Hal ini dapat memicu hilangnya spesies predator maupun mangsa serta menurunkan keanekaragaman hayati laut. Ancaman lain seperti limbah plastik yang masuk ke perairan laut, terutama dalam bentuk mikroplastik, dapat mengancam biota laut seperti ikan, burung laut, dan plankton karena termakan secara tidak sengaja. Partikel ini juga dapat membawa bahan kimia berbahaya yang teradsorpsi di permukaannya (LI et al., 2016). Fenomena ini berdampak langsung pada keberlangsungan kehidupan biota laut dan pada akhirnya merusak ekosistem laut secara keseluruhan (F. Lestari, 2017). Berbagai aktivitas tersebut secara langsung menjadi penyebab utama berbagai bentuk pencemaran laut yang kini mengancam keberlanjutan ekosistem dan kehidupan biota laut.

Pencemaran air laut mencakup berbagai jenis dan faktor seperti limbah plastik, tumpahan minyak, limbah industri, dan pencemaran nutrient akibat aktivitas pertanian (Wijayanti & Chamid, 2021). Misalnya pencemaran air laut akibat limbah plastik telah ditemukan dari permukaan laut hingga dasar samudera terdalam (LI et al., 2016). Mikroplastik yang terfragmentasi dari limbah ini berpotensi merusak rantai makanan biota laut bahkan dapat masuk ke tubuh manusia melalui konsumsi ikan dan makanan laut (Thushari & Senevirathna, 2020). Selain itu, pengeboran dan transportasi laut telah menyebabkan tumpahan minyak yang berpotensi merusak ekosistem laut sehingga berdampak pada habitat tertentu seperti terumbu karang dan hutan mangrove (Zhang et al., 2019). Faktor lain yang memperparah pencemaran adalah eutrofikasi yaitu peningkatan nutrient berlebihan di perairan laut akibat limbah pupuk pertanian (Smith, 2003). Fenomena ini sering kali memicu ledakan populasi fitoplankton atau alga beracun yang dikenal sebagai *harmful algal blooms* (HABs) sehingga dampaknya terhadap biota laut seperti ikan, kerrang dan mamalia laut mengalami keracunan massal bahkan kerusakan ekosistem (Anderson et al., 2002).

Ancaman pencemaran air laut dapat terjadi di Indonesia yang memiliki posisi geografis strategis dan dilalui oleh jalur perdagangan tol laut. Kondisi ini berpotensi meningkatkan tekanan terhadap ekosistem laut akibat tingginya aktivitas pelayaran dan industri di wilayah pesisir. Jika tidak diimbangi dengan regulasi yang ketat dan penanganan yang tepat, maka risiko pencemaran akan semakin besar dan berdampak pada kerusakan biota serta degradasi lingkungan laut (Prisandani & Amanda, 2019). Menurut Mukharommah et al (2023), data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan bahwa sekitar 80% sampah laut di Indonesia berasal dari wilayah daratan terutama plastic sekali pakai. Masalah ini diperburuk oleh minimnya pengelolaan limbah domestik dan kurangnya kesadaran Masyarakat akan pentingnya menjaga kebersihan laut (Kusumawati et al., 2019). Akibatnya adalah wilayah pesisir dan laut di Indonesia yang seharusnya menjadi biodiversitas ekosistem laut kini menghadapi tantangan degradasi lingkungan yang perlu mendapatkan perhatian dan penanganan yang lebih optimal (Hikmah et al., 2024; Kusumawati et al., 2019). Fenomena pencemaran air laut tidak hanya berdampak ekologis akan tetapi juga berdampak pada sosial ekonomi seperti hilangnya populasi ikan akibat pencemaran yang memberikan dampak langsung pada mata pencaharian nelayan tradisional dengan bergantung pada sumberdaya laut sebagai mata pencaharian utamanya (Ofiara & Seneca, 2006). Kerusakan ekosistem laut turut mengurangi peluang pariwisata seperti di Provinsi Bali yang bergantung pada atraksi alam Bahari (Widyowati et al., 2018).

Di Tengah kompleksitas dampak pencemaran air laut diperlukan tindakan strategis untuk menemukan dan memahami dasar permasalahannya. Salah satu metode yang relevan adalah melakukan penelitian tinjauan literature dengan pendekatan tinjauan ruang lingkup (*scoping review*) yang mendalam (Tricco et al., 2016). Hal ini dilakukan untuk menemukan berbagai jenis pencemaran laut serta efeknya terhadap kehidupan laut dan cara penanggulangannya secara tepat. Kajian ini sangat penting untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang permasalahan pencemaran laut dari sudut pandang lokal dan internasional (Anthony et al., 2023). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak pencemaran air laut terhadap kehidupan biota laut melalui pendekatan tinjauan ruang lingkup (*scoping review*). Penelitian ini berupaya mengidentifikasi pola dampak dari berbagai jenis pencemaran laut, mengkaitkan interaksi antara factor pencemaran

dan respon ekosistem. Dengan demikian artikel ini tidak hanya menawarkan analisis kritis terhadap pencemaran laut akan tetapi juga berfungsi sebagai sarana untuk meningkatkan kesadaran berbagai pihak mulai dari masyarakat umum hingga pembuat kebijakan mengenai kelestarian laut. Pada konteks yang lebih luas hasil kajian ini dapat memberikan kontribusi pada pencapaian tujuan Pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*) khususnya tujuan ke-14 yaitu “Kehidupan di Bawah Laut” (*Life Below Water*) (Hunger et al., 2016).

METODE

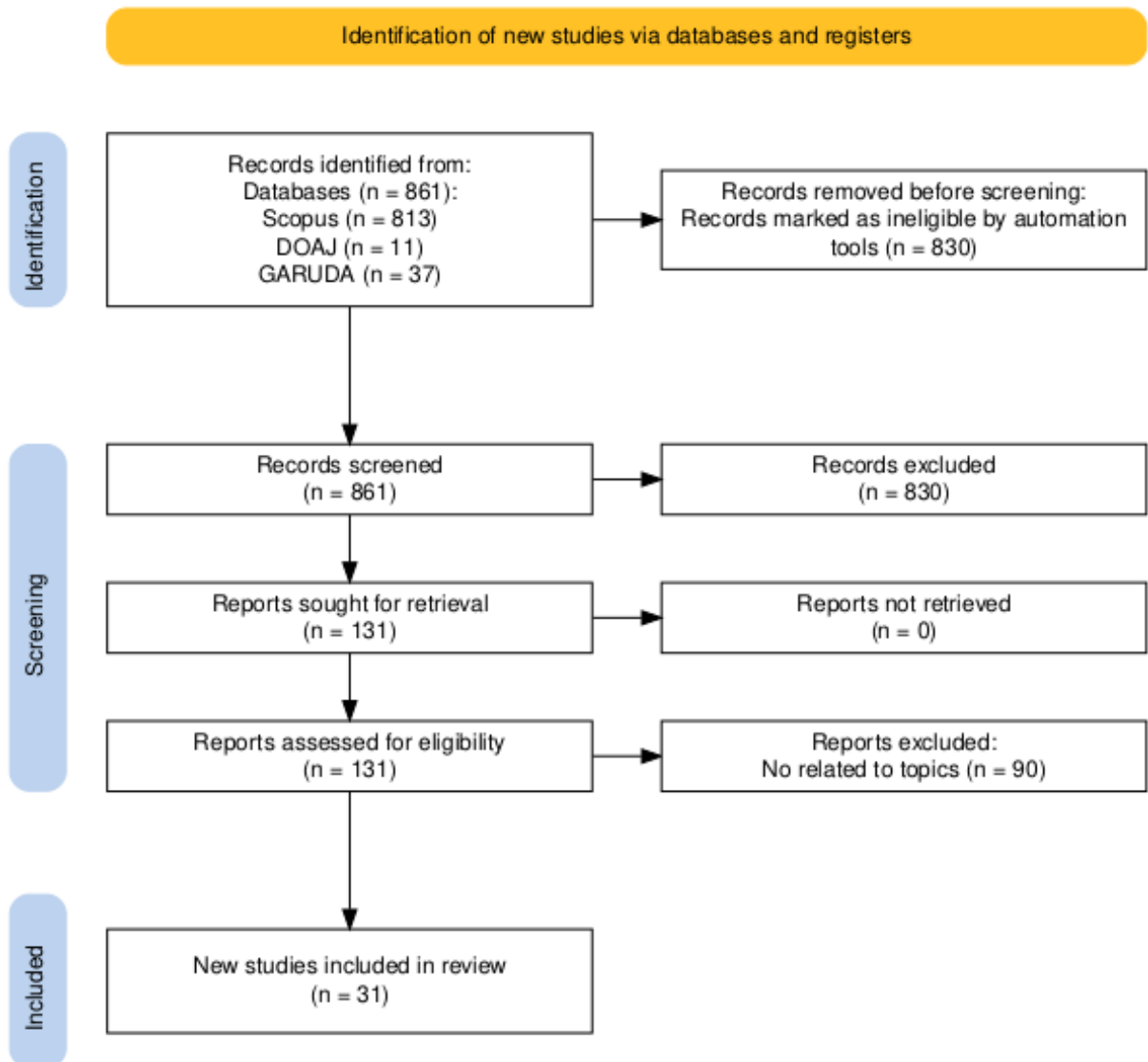
Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode tinjauan literatur sistematis melalui pendekatan tinjauan ruang lingkup (*scoping review*). Tujuan metode ini digunakan yaitu untuk mengidentifikasi serta memetakan berbagai definisi, metode hingga hasil dari berbagai penelitian empiris yang lebih luas dan komprehensif (Page et al., 2021; Tricco et al., 2016). Pada penelitian ini digunakan beberapa database antara lain: Scopus, DOAJ, dan GARUDA. Teknik pengambilan sampel artikel yang ketat digunakan pada penelitian ini untuk mengidentifikasi literatur sehingga menghasilkan string kueri yang berbeda untuk judul, abstrak, serta kata kunci yang diindeks (Booth et al., 2021). Rumus Boolean yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Rumus Boolean Penelitian

Keywords	Explanation
"Seawater Pollution" OR "Marine Pollution" AND	Frasa ini adalah inti pencarian yang mencakup berbagai bentuk pencemaran yang terjadi di laut.
"Marine Organisms" OR "Marine Life" AND	Frasa ini untuk mencari topik penelitian yang berkaitan dengan organisme laut dengan menggunakan istilah atau sinonim yang lebih umum serta mencakup semua makhluk hidup dilaut
"Effects"	Frasa ini untuk memastikan bahwa hanya artikel yang membahas dampak atau efek dari pencemaran laut yang akan dimunculkan

Sumber : Analisis Peneliti, 2024

Kriteria inklusi yang digunakan pada penelitian ini yaitu: 1) Artikel diterbitkan minimal dari tahun 2018 hingga maksimal 2024; 2) Bukan merupakan artikel review; 3) Artikel ditulis dalam Bahasa Inggris dan /atau Bahasa Indonesia; 4) Bersifat open-access; 5) Bukan merupakan buku; dan 6) artikel dalam lingkup rumus formula Boolean penelitian. Tahapan dalam menyeleksi artikel dengan menggunakan panduan PRISMA-ScR yang dapat dilihat pada gambar 1 (Page et al., 2021). Prosedur penelitian dimulai dengan menentukan sumber data, membuat formula Boolean, dan menentukan kriteria inklusi selanjutnya artikel yang sesuai dengan tujuan penelitian di telaah oleh para rater pada saat terjadi perbedaan pendapat atau pendapat antar rater diselesaikan melalui diskusi bersama sehingga artikel yang dipilih secara menyeluruh dianalisis untuk menjawab pertanyaan penelitian (Haddaway et al., 2022).



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian PRISMA-ScR
Sumber: Haddaway et al. (2022), dengan modifikasi

PEMBAHASAN

Penelitian tentang pencemaran laut telah banyak dilakukan oleh para peneliti, meskipun banyak penelitian tentang pencemaran laut dan lingkungan sehingga para peneliti memfokuskan pada satu topik tertentu sehingga memudahkan penelitian ini untuk memberikan informasi kajian yang komprehensif tentang dampak atau efek pencemaran air laut terhadap kehidupan biota laut melalui pendekatan tinjauan ruang lingkup. Hasil tinjauan penelitian terhadap 31 Artikel yang ditemukan sesuai dengan kriteria dan tujuan penelitian. Kesimpulan dari tinjauan artikel disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil dari Tinjauan Artikel

Penyebab Pencemaran Laut	Efek Pencemaran	Sumber
Pencemaran Mikroplastik	Gangguan Fisiologi Organisme Laut	(Mutuku et al., 2024), (Iwalaye & Maldonado, 2024), (Hawke et al., 2024), (Margeta et al., 2021)
	Akumulasi Mikroplastik pada Organisme Laut	(Rafsanjani Fajrin et al., 2024), (Parolini et al., 2023), (Jiang et al., 2022), (Menicagli et al., 2022)
	Akumulasi Mikroplastik pada lingkungan laut	(Boukadida et al., 2024), (Kannan et al., 2023), (Hsieh et al., 2023), (Tallec et al., 2022), (Rafsanjani Fajrin et al., 2024)
Pencemaran Bahan Kimia dan Logam	Gangguan Biokimia pada Biota Laut	(Benaltabet et al., 2021), (Pinto et al., 2024), (Cunha et al., 2024), (González-Soto et al., 2023), (Naumann et al., 2022)
	Penurunan Kualitas Ekosistem Laut Akibat Logam Berat	(Alharbi et al., 2024), (Ullah et al., 2023), (Yu et al., 2020), (Barbosa et al., 2023)
	Dampak Toksikologis pada Organisme Laut	(Simbiak et al., 2023), (Sørensen et al., 2017), (González-Soto et al., 2023), (Du et al., 2022), (Pouil et al., 2018)
Pencemaran Minyak dan Barang Tambang	Gangguan Metabolisme Akibat Paparan Minyak Mentah	(MacIntosh et al., 2022), (Armstrong et al., 2022), (Kapsalis et al., 2021)
	Dampak Subletal pada Organisme Laut	(Bedulina et al., 2024), (Pouil et al., 2018)
Pencemaran Akustik dan Fisik	Pengaruh Kebisingan Bawah Air terhadap Spesies Laut	(Mauro et al., 2024), (Shabangu et al., 2022)
	Risiko Invasi Organisme melalui Debris Laut	(Kannan et al., 2023)

Sumber: Analisis Peneliti, 2024

Pencemaran Mikroplastik

Mikroplastik merupakan partikel plastic dengan ukuran kurang dari 5mm yang berasal dari plastic besar yang telah rusak atau terurai seperti botol, kantong plastic, dan atau seperti barang kosmetik dan pakaian sintetis (Akbar & Maghfira, 2023). Mikroplastik dengan mudah masuk ke laut melalui aliran Sungai, limpasan air hujan atau langsung dari aktivitas manusia di wilayah pesisir (Dwiyanti Suryono, 2019). Pencemaran mikroplastik dianggap sebagai ancaman signifikan karena ukuran kecilnya membuat mikroplastik mudah masuk ke dalam rantai makanan dan sulit untuk

dikeluarkan dari lingkungan laut sehingga dampaknya tidak hanya dirasakan oleh organisme laut namun juga pada manusia melalui konsumsi hasil laut (Mardiyana & Kristiningsih, 2020). Berdasarkan hasil tinjauan ruang lingkup penelitian ini mendapatkan temuan pencemaran mikroplastik dapat memberikan dampak sebagai berikut:

1) Gangguan Fisiologi Organisme Laut

Mikroplastik sering kali tertelan oleh organisme laut baik secara tidak sengaja karena terlihat menyerupai makanan sehingga organisme seperti ikan, plankton, moluska dan burung laut sangat rentan terhadap hal ini (Mardiyana & Kristiningsih, 2020). Partikel mikroplastik menyebabkan kerusakan fisik pada saluran pencernaan biota laut (Bertucci et al., 2022). Organisme yang terkena dampak ini mengalami kesulitan untuk mencerna makanan dan mengakibatkan penurunan kemampuan menyerap nutrisi (Iwalaye & Maldonado, 2024). Penurunan kapasitas organisme laut dalam menyerap nutrisi akan berdampak pada pertumbuhan dan reproduksi nya (Hawke et al., 2024). Melihat dampak tersebut berawal dari plastic yang dimanfaatkan oleh manusia ternyata menjadi ancaman bagi keberlangsungan organisme di laut (Dewi, 2022). Mikroplastik juga sering menyebabkan bahan kimia berbahaya seperti pestisida, logam berat, dan bisphenol A (BPA) yang teradsorpsi pada permukaannya (Dewi, 2022). Bahan kimia yang dilepaskan ke tubuh hewan Ketika mikroplastik ini tertelan oleh organisme laut akan menimbulkan dampak jangka panjang seperti inflamasi, stress oksidatif, kerusakan jaringan, penurunan produktivitas dan mengganggu keseimbangan ekosistem (Siregar & Soegianto, 2024).

2) Akumulasi Mikroplastik pada Organisme Laut

Mikroplastik yang dikonsumsi oleh plankton dapat berpindah ke organisme yang lebih tinggi dalam rantai makanan seperti ikan dan mamalia laut (Azharil & Paskah, 2023). Serta mikroplastik pada limbah dikonsumsi oleh plankton yang kemudian dimakan oleh kepeiting dan ikan hingga berakhir di predator puncak seperti anjing laut (Akbar & Maghfira, 2023). Akumulasi mikroplastik dapat ditemukan pada jaringan lemak dan organ dalam biota laut yang pada akhirnya mempengaruhi metabolisme organisme laut (Menicagli et al., 2022). Dengan mempengaruhi rantai makanan di laut mikroplastik memiliki efek ekologis yang sangat kompleks (LI et al., 2016). Plankton merupakan organisme utama dalam rantai makanan laut sering mengkonsumsi mikroplastik yang mengapung di permukaan laut hal ini akan mengganggu transfer energi ke Tingkat trofik yang lebih tinggi seperti predator laut dan ikan kecil (Thushari & Senevirathna, 2020). Dampaknya nyata yang dihadapi mikroplastik tidak hanya mengurangi produktivitas ekosistem akan tetapi jika dibiarkan begitu saja tanpa adanya penanganan Solusi yang tepat akan mengancam keberlangsungan organisme laut (Mearns et al., 2017).

3) Akumulasi Mikroplastik pada Lingkungan Laut

Mikroplastik ditemukan hampir di semua bagian ekosistem laut termasuk wilayah pesisir laut wilayah Indonesia (Dwiyanti Suryono, 2019; Hermawan et al., 2023). Kondisi ini tentu sangat berdampak mengingat tingginya konsentrasi mikroplastik di laut dapat memberikan dampak pada biota laut yang pada akhirnya dapat mengkontaminasi manusia sebagai puncak dari rantai makanan bahkan menimbulkan dampak bagi Kesehatan pada manusia akibat konsumsi biota laut yang terkontaminasi mikroplastik (Landrigan et al., 2020). Pada hasil tinjauan ruang lingkup penelitian ini telah banyak hasil penelitian menemukan bahaya mikroplastik yang mencemari biota laut sehingga apabila biota laut dikonsumsi oleh manusia akan memberikan dampak secara lebih luas (Boukadida et al., 2024; Parolini et al., 2023). Akumulasi mikroplastik yang tinggi memberikan dampak juga bagi mangrove seperti terganggunya pertumbuhan dan reproduksi, dan berkurangnya kemampuan menyerap karbon dan penurunan keseimbangan ekosistem mangrove (Rafsanjani Fajrin et al., 2024). Upaya pengurangan sampah plastic dan pembersihan lingkungan sangat penting dilakukan terutama di wilayah pesisir meskipun tidak berdampak secara global akan tetapi memberikan dampak positive di sekitar pesisir (Wijayanti & Chamid, 2021).

Pencemaran Bahan Kimia dan Logam berat

Bahan kimia seperti pestisida, hidrokarbon, logam berat (merkuri, cadmium), limbah domestik dapat masuk ke laut melalui aliran Sungai yang bermuara ke laut lepas (Karthikeyan et al., 2021; Razi et al., 2023). Efek pencemaran bahan kimia dan logam berat tentu memberikan dampak

yang mengkhawatirkan. Berdasarkan hasil tinjauan literatur dapat ditemukan dampak tersebut antara lain:

1) Gangguan Biokimia pada Biota Laut

Logam berat seperti merkuri, cadmium dan timbal diketahui dapat terakumulasi pada jaringan organisme laut sehingga memberikan dampak bagi biota laut (Gravina et al., 2022). Paparan logam berat dapat menyebabkan gangguan fungsi enzimatis dan metabolisme pada ikan maupun biota laut lainnya (Benaltable et al., 2021; Pinto et al., 2024). Akumulasi logam berat dapat memberikan dampak negative bagi biota laut seperti siklus reproduksi organisme, keracunan kronis hingga keseimbangan ekosistem (González-Soto et al., 2023). Pencemaran logam berat telah memberikan dampak paparan secara cepat dan berdampak pada wilayah laut yang tercemar (Razi et al., 2023). Paparan logam berat pada ikan dapat menurunkan kapasitas ikan dalam melakukan aktivitasnya seperti mencari makan, melarikan diri dari predator hingga mempengaruhi kelangsungan spesies ikan tersebut (Gravina et al., 2022; Hawke et al., 2024). Efek kumulatif dari logam berat dan bahan kimia dapat menyebabkan perubahan structural pada populasi seperti dominasi spesies yang lebih toleran terhadap polutan hingga mempengaruhi pola keberlangsungan biota laut akibat dampak yang ditimbulkan (Cunha et al., 2024; Tallec et al., 2022). Di sisi lain plankton sebagai produsen utama dalam rantai makanan laut juga tidak luput dari dampak logam berat dan kimia (Du et al., 2022). Fitoplankton yang terpapar logam berat dapat mempengaruhi kemampuan berfotosintesisnya dan memberikan dampak pada seluruh ekosistem laut (Herrera et al., 2022; Niu et al., 2021). Distribusi konsentrasi logam berat di perairan laut harus segera dilakukan regulasi secara tepat terutama dikawasan pesisir laut yang berdekatan dengan wilayah industry (Nindyapuspa & Ni'am, 2017).

2) Penurunan Kualitas Ekosistem Laut akibat Logam Berat

Keberadaan logam berat dalam sedimen laut dapat menyebabkan kerusakan ekosistem laut hingga punahnya biodiversitas laut yang menjadi ancaman serius saat ini (Barbosa et al., 2023; Ullah et al., 2023). Konsentrasi logam berat yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton yang merupakan dasar dari rantai makanan laut (Yu et al., 2020). Pada konteks ini logam berat juga dapat mempengaruhi organisme seperti moluska dan krustasea yang bergantung pada sedimen untuk mendapatkan makanan dan perlindungan (Handayani, 2019). Menurut (L. Lestari & Edward, 2010) bahwa logam berat tidak hanya berdampak pada spesies individu namun juga pada interaksi antar spesies misalnya, predator akan kesulitan mendapatkan sumber makanan karena populasi mangsa berkurang karena dampak logam berat yang ditimbulkan. Penurunan biodiversitas ini berdampak luas pada fungsi ekosistem termasuk penurunan penyerapan karbon dan pemurnian air oleh sebab itu perlunya penanganan dan pengendalian secara tepat untuk mengatasi pencemaran logam berat dan kimia (Yolanda et al., 2022).

3) Dampak Toksikologi pada Organisme Laut

Logam berat memiliki efek toksik yang merusak jaringan internal ikan dilaut pada bagian-bagian tertentu yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup ikan dilaut (Kurniawan & Ekowati, 2016). Efek toksik ini dapat diperburuk oleh faktor lingkungan seperti perubahan suhu yang ekstrim akibat perubahan iklim (González-Soto et al., 2023). Penelitian lain menunjukkan bahwa logam berat dan kimia dapat mempengaruhi system imun organisme dan membuat mereka lebih rentan terhadap infeksi dan penyakit sehingga mengganggu keberlangsungan hidup spesies tertentu (Dwiyanti Suryono, 2019; Isman et al., 2022). Dampak biota laut yang terkena logam berat dan kimia bukan hanya merusak ekosistem laut akan tetapi juga memberikan dampak pada manusia jika manusia mengonsumsi biota laut yang terkontaminasi logam berat (Hananingtyas, 2017).

Pencemaran Minyak dan Barang Tambang

Laut menjadi moda transportasi dalam menghubungkan antar wilayah untuk meningkatkan perdagangan, ekonomi, pariwisata hingga keamanan dan Kerjasama antar negara (Ambarita & Sirait, 2020). Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas wilayah laut lebih besar daripada luas daratan nya, sehingga untuk memaksimalkan potensi transportasi dan distribusi sumberdaya dilakukan menggunakan transportasi laut (Wahyuni et al., 2020). Perkembangan transportasi laut tentu memberikan dampak positive dan negative. Meningkatnya aktivitas transportasi juga

meningkatkan produktivitas eksploitasi sumberdaya alam di laut. Berdasarkan hasil tinjauan ruang lingkup penelitian ini menemukan hasil pencemaran Minyak dan Barang Tambang sebagai berikut:

1) Gangguan Metabolisme akibat Paparan Minyak Mentah

Minyak mentah yang mencemari lautan menyebabkan stres metabolik pada organisme laut seperti penurunan kapasitas respirasi pada moluska dan ikan (Armstrong et al., 2022). Senyawa aromatic polisiklik dalam minyak dapat menyebabkan mutase genetik dan kerusakan pada organisme laut (Darza, 2020). Dalam jangka panjang, paparan minyak dapat menyebabkan penurunan populasi biota laut secara signifikan khususnya pada spesies yang memiliki siklus hidup panjang dengan Tingkat reproduksi rendah (Darza, 2020; Sørensen et al., 2017). Perlunya regulasi yang tepat untuk memberikan pencegahan akibat yang ditimbulkan karena paparan minyak mentah dan barang tambang di laut (Danial et al., 2023). Tumpahan minyak tidak hanya merusak permukaan laut tetapi hingga kedasar laut (Zhang et al., 2019). Terumbu karang yang rusak karena tumpahan minyak memerlukan puluhan tahun untuk memulihkan ekosistemnya (Mauro et al., 2024; Vikas & Dwarakish, 2015). Kerusakan ekosistem ini juga mempengaruhi masyarakat pesisir seperti nelayan yang bergantung dari hasil laut maupun pariwisata sebagai mata pencaharian utamanya (Akbar & Maghfira, 2023; Wijayanti & Chamid, 2021).

2) Dampak Subletal pada Organisme Laut

Paparan minyak dalam jangka panjang dapat menyebabkan efek subletal seperti penurunan daya tahan metabolisme biota laut hingga penurunan kemampuan bereproduksi (Bedulina et al., 2024). Dampak subletal lainnya terhadap biota laut seperti perubahan perilaku biota laut secara drastis hingga menyebabkan kepunahan spesies biota laut (Darza, 2020). Perlunya penanganan yang tepat untuk mencegah kerusakan ekosistem laut terutama di wilayah perairan laut yang berdekatan dengan industri minyak bumi (Sulistiyono, 2013). Perlunya pembuatan zona-zona khusus untuk perawatan kapal dalam transportasi laut sehingga mengoptimalkan regulasi yang ada pada suatu wilayah (Robertua et al., 2019)

Pencemaran Akustik dan Fisik

Pencemaran ini mencakup gangguan suara (akustik) dan fisik (debris laut). Keduanya memiliki dampak signifikan pada kehidupan laut. Melalui tinjauan ruang lingkup dapat dihasilkan dampak pencemaran antara lain:

1) Dampak Kebisingan terhadap Biota Laut

Kebisingan yang dihasilkan oleh kapal, pengeboran minyak bumi, dan aktivitas sonar dapat mengganggu komunikasi spesies laut seperti paus dan lumba-lumba (Shabangu et al., 2022). Hal ini berpotensi menyebabkan disorientasi, gangguan migrasi bahkan kematian karena stress yang mengganggu kelangsungan hidupnya (Mauro et al., 2024). Supangat (2006), suara bising dapat mempengaruhi ikan dan invertebrata yang mengganggu proses reproduksi mereka yang bergantung pada sinyal akustik. Kebisingan bawah laut dapat menyebabkan trauma fisik pada organisme tertentu bahkan kebisingan kronis juga dapat mengganggu kemampuan hewan laut untuk mendeteksi predator serta memberikan dampak risiko predasi (Shabangu et al., 2022; Supangat, 2006).

2) Dampak Fisik akibat Debris Laut

Debris laut yang massif yang diakibatkan oleh sampah plastik dan limbah industri domestik dapat menjadi media transportasi bagi organisme asing yang invasif seperti bakteri-bakteri yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem biota laut (Kannan et al., 2023). Debris laut dapat mempengaruhi ekosistem habitat seperti padang lamun dan terumbu karang dengan menutupi permukaan substrat yang diperlukan untuk pertumbuhan organisme tersebut (Azharil & Paskah, 2023)

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menemukan hasil tinjauan ruang lingkup bahwa pencemaran laut dapat disebabkan oleh pencemaran mikroplastik, pencemaran bahan kimia dan logam berat, pencemaran minyak dan barang tambang serta pencemaran akustik dan fisik. Efek yang ditimbulkan karena pencemaran laut meliputi debris laut dapat memengaruhi ekosistem habitat, seperti padang lamun

dan terumbu karang, dengan menutupi permukaan substrat yang diperlukan untuk pertumbuhan organisme yang memberikan dampak signifikan serta memerlukan penanganan dan regulasi yang tepat agar mengurangi dampak yang ditimbulkan dan menjaga ekosistem laut. Perlunya regulasi yang tegas dan edukasi pada publik serta kolaborasi antar *stakeholder* untuk mengkolaborasikan dan mengoptimalkan kerjasama dalam menangani pencemaran laut. Di sisi lain, perlunya dilakukan penelitian lanjutan untuk memperkirakan perkembangan pencemaran laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan kepada Program Studi Magister Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dalam mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M., & Maghfira, A. (2023). Pengaruh Sampah Plastik Dalam Pencemaran Air Laut Di Kota Makassar. *Riset Sains Dan Teknologi Kelautan*, 6(1), 25–29. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i1.24234>
- Alharbi, T., El-Sorogy, A. S., & Al-Kahtany, K. (2024). Distribution and Comprehensive Risk Evaluation of Cr, Cd, Fe, Zn, and Pb from Al Lith Coastal Seawater, Saudi Arabia. *Water (Switzerland)*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/w16131923>
- Ambarita, Y. M. R., & Sirait, T. (2020). Penerapan Model Gravitasi Data Panel: Kajian Perdagangan Internasional Indonesia Ke Negara Anggota Asean. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2019(1), 726–737. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2019i1.85>
- Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2002). Harmful Algal Blooms and Eutrophication: Nutrient Sources, Composition, and Consequences. *Chemical Society Reviews*, 25(4b), 704–728. <https://doi.org/10.1039/b709565c>
- Anthony, D., Siriwardana, H., Ashvini, S., & Pallewatta, S. (2023). Trends in marine pollution mitigation technologies : Scientometric analysis of published literature (1990-2022). *Regional Studies in Marine Science*, 66, 103156. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103156>
- Armstrong, E. K., Mondon, J., Miller, A. D., Revill, A. T., Stephenson, S. A., Tan, M. H., Greenfield, P., Tromp, J. J., Corbett, P., & Hook, S. E. (2022). Transcriptomic and Histological Analysis of the Greentail Prawn (*Metapenaeus bennettiae*) Following Light Crude Oil Exposure. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(9), 2162–2180. <https://doi.org/10.1002/etc.5413>
- Azhari, M. Y., & Paskah, I. (2023). Bahaya Sampah Plastik Di Laut Bagi Mahluk Hidup. *Riset Sains Dan Teknologi Kelautan*, 6(2), 174–177. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i2.31704>
- Barbosa, H., Soares, A. M. V. M., Pereira, E., & Freitas, R. (2023). Are the consequences of lithium in marine clams enhanced by climate change? *Environmental Pollution*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121416>
- Bedulina, D., Lupše, Š. K., Hildebrandt, L., Duan, Y., Klein, O., Primpke, S., Bock, C., Krause, S., Czichon, S., Pröfrock, D., Gerdt, G., & Lannig, G. (2024). Effect of particles from wind turbine blades erosion on blue mussels *Mytilus edulis*. *Science of the Total Environment*, 957. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177509>
- Benaltabet, T., Gutner-Hoch, E., & Torfstein, A. (2021). Heavy Metal, Rare Earth Element and Pb Isotope Dynamics in Mussels During a Depuration Experiment in the Gulf of Aqaba, Northern Red Sea. *Frontiers in Marine Science*, 8(June), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.669329>
- Bertucci, J. I., Juez, A., & Bellas, J. (2022). Impact of microplastics and ocean acidification on critical stages of sea urchin (*Paracentrotus lividus*) early development. *Chemosphere*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134783>
- Booth, A., Sutton, A., Clowes, M., & Martyn, M. (2021). *Systematic Approaches To A Successful Literature Review*. SAGE Publication Ltd.
- Boukadida, K., Mlouka, R., Abelouah, M. R., Chelly, S., Romdhani, I., Conti, G. O., Ferrante, M., Cammarata, M., Parisi, M. G., AitAlla, A., & Banni, M. (2024). Unraveling the interplay between environmental microplastics and salinity stress on *Mytilus galloprovincialis* larval

- development: A holistic exploration. *Science of the Total Environment*, 927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172177>
- Cunha, M., Nardi, A., Botelho, M. J., Sales, S., Pereira, E., Soares, A. M. V. M., Regoli, F., & Freitas, R. (2024). Can exposure to *Gymnodinium catenatum* toxic blooms influence the impacts induced by Neodymium in *Mytilus galloprovincialis* mussels? What doesn't kill can make them stronger? *Journal of Hazardous Materials*, 471(April 2024). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134220>
- Danial, D., Jaya, B. P. M., & Rahayu, F. S. (2023). Marine Pollution by State-Owned Companies in Offshore Areas Reviewed Based on the 1982 UNCLOS (Case Study: Oil Spill by PT Pertamina in Offshore Area of North Karawang). *Jurnal Dinamika Hukum*, 23(1), 16. <https://doi.org/10.20884/1.jdh.2023.23.1.3326>
- Darza, S. E. (2020). Dampak Pencemaran Bahan Kimia Dari Perusahaan Kapal Indonesia Terhadap Ekosistem Laut. *Jurnal Ilmiah MEA (Manajemen, Ekonomi, Dan Akuntansi)*, 4(3).
- Dewi, N. M. N. B. S. (2022). Studi Literatur Dampak Mikroplastik Terhadap Lingkungan. *Jurnal Sosial Sains Dan Teknologi*, 2(2), 239–250.
- Du, S., Meng, F., Duan, W., Liu, Q., Li, H., & Peng, X. (2022). Oxidative stress responses in two marine diatoms during acute n-butyl acrylate exposure and the toxicological evaluation with the IBRv2 index. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113686>
- Dwiyanti Suryono, D. (2019). Sampah Plastik di Perairan Pesisir dan Laut : Implikasi Kepada Ekosistem Pesisir Dki Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 17–23. <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i1.2>
- González-Soto, N., Blasco, N., Irazola, M., Bilbao, E., Guilhermino, L., & Cajaraville, M. P. (2023). Fate and effects of graphene oxide alone and with sorbed benzo(a)pyrene in mussels *Mytilus galloprovincialis*. *Journal of Hazardous Materials*, 452. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131280>
- Gravina, M. F., Longo, C., Puthod, P., Rosati, M., Colozza, N., & Scarselli, M. (2022). Heavy metal accumulation capacity of *Axinella damicornis* (Esper, 1794) (Porifera, Demospongiae): A tool for bioremediation of polluted seawaters. *Mediterranean Marine Science*, 23(1), 125–133. <https://doi.org/10.12681/mms.27792>
- 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>
- Hananingtyas, I. (2017). BAHAYA KONTAMINASI LOGAM BERAT MERKURI (Hg) DALAM IKAN LAUT. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(2), 38–45.
- Handayani, T. (2019). PERANAN EKOLOGI MAKROALGA BAGI EKOSISTEM LAUT. *Oseana*, 44(1), 1–14.
- Hawke, A. M., Trujillo, J. E., Oey, I., Giteru, S. G., & Allan, B. J. M. (2024). Exposure to petroleum-derived and biopolymer microplastics affect fast start escape performance and aerobic metabolism in a marine fish. *Science of the Total Environment*, 906. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167423>
- Hermawan, R., Adel, Y. S., Mubin, M., Salanggon, A. M., Aristawati, A. T., Renol, R., Pramita, E. A., Dewanto, D. K., Syahril, M., Muliadin, M., & Ula, R. (2023). Analisis Cemarkan Mikroplastik Di Pesisir Teluk Palu, Sulawesi Tengah. *JAGO TOLIS : Jurnal Agrokompleks Tolis*, 3(2), 68. <https://doi.org/10.56630/jago.v3i2.294>
- Herrera, A., Acosta-Dacal, A., Pérez Luzardo, O., Martínez, I., Rapp, J., Reinold, S., Montesdeoca-Esponda, S., Montero, D., & Gómez, M. (2022). Bioaccumulation of additives and chemical contaminants from environmental microplastics in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Science of the Total Environment*, 822. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153396>
- Hikmah, S., Sari, J., Yona, D., Saputra, D. K., & Bakti, M. A. (2024). Analisis Perbandingan Sampah Laut Jenis Plastik dan Non-Plastik di Pulau Gili Ketapang , Probolinggo , Jawa Timur Comparative Analysis of Plastic and Non-Plastic Marine Debris on Gili Ketapang Island , Probolinggo , East Java. 6(2),

- 110–118. <https://doi.org/10.35308/jlik.v6i1.10684>
- Hsieh, S. L., Hsieh, S., Xu, R. Q., Chen, Y. T., Chen, C. W., Singhanian, R. R., Chen, Y. C., Tsai, T. H., & Dong, C. Di. (2023). Toxicological effects of polystyrene nanoplastics on marine organisms. *Environmental Technology and Innovation*, 30, 103073. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103073>
- Hunger, Z., POVERTY, N., WATER, C., ENERGY, C., & LIFE, C. A. L. B. W., LAND, O., & PEACE, J. (2016). *Achieving SDGs Through Organic Cotton*. Textile Exchange.
- Isman, H., Rupiwardani, I., & Sari, D. (2022). Gambaran Pencemaran Limbah Cair Industri Tambak Udang Kualitas Air Laut di Pesisir Pantai Lombeng. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 4(3), 1349–1358.
- Iwalaye, O. A., & Maldonado, M. T. (2024). Microcosm study of the effects of polyester microfibers on the indigenous marine amphipod (*Cyphocaris challenger*) in the Strait of Georgia (BC, Canada). *Science of the Total Environment*, 906. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167301>
- Jiang, X., Conner, N., Lu, K., Tunnell, J. W., & Liu, Z. (2022). Occurrence, distribution, and associated pollutants of plastic pellets (nurdles) in coastal areas of South Texas. *Science of the Total Environment*, 842. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156826>
- Kannan, G., Mghili, B., Di Martino, E., Sanchez-Vidal, A., & Figuerola, B. (2023). Increasing risk of invasions by organisms on marine debris in the Southeast coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115469>
- Kapsalis, K., Kavvalou, M., Damikouka, I., & Cavoura, O. (2021). Investigation of petroleum hydrocarbon pollution along the coastline of South Attica, Greece, after the sinking of the Agia Zoni II oil tanker. *SN Applied Sciences*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04114-x>
- Karthikeyan, P., Marigoudar, S. R., Mohan, D., Sharma, K. V., & Ramana Murthy, M. V. (2021). Prescribing sea water quality criteria for arsenic, cadmium and lead through species sensitivity distribution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111612>
- Kurniawan, A., & Ekowati, N. (2016). Review: Potensi Mikoremediasi Logam Berat. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia (JBBi)*, 3(1), 36. <https://doi.org/10.29122/jbbi.v3i1.21>
- 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). <https://doi.org/10.35308/jlaot.v1i1.1073>
- Landrigan, P. J., Stegeman, J. J., Fleming, L. E., Allemand, D., Anderson, D. M., Backer, L. C., Brucker-Davis, F., Chevalier, N., Corra, L., Czerucka, D., Bottein, M.-Y. D., Demeneix, B., Depledge, M., Deheyn, D. D., Dorman, C. J., Fénichel, P., Fisher, S., Gaill, F., Galgani, F., ... Rampal, P. (2020). Human health and ocean pollution. *Annals of Global Health*, 86(1), 1–64. <https://doi.org/10.5334/aogh.2831>
- Lestari, F. (2017). Tingkat Kerusakan Laut di Indonesia dan Tanggung Jawab Negara Terhadap Kerusakan Ekosistem Laut Dikaitkan dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut dan Konvensi Hukum Laut 19. *Gema Keadilan*, 4(1), 73–85. <https://doi.org/10.14710/gk.2017.3772>
- Lestari, L., & Edward, E. (2010). Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Kualitas Air Laut Dan Sumberdaya Perikanan (Studi Kasus Kematian Massal Ikan-Ikan Di Teluk Jakarta). *MAKARA of Science Series*, 8(2). <https://doi.org/10.7454/mss.v8i2.414>
- LI, W. C., TSE, H. F., & FOK, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment*, 566–567, 333–349. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- MacIntosh, A., Koppel, D. J., Johansen, M. P., Beresford, N. A., Coppelstone, D., Penrose, B., & Cresswell, T. (2022). Radiological risk assessment to marine biota from exposure to NORM from a decommissioned offshore oil and gas pipeline. *Journal of Environmental Radioactivity*, 251–252. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106979>
- Mardiyana, M., & Kristiningsih, A. (2020). Dampak Pencemaran Mikroplastik di Ekosistem Laut

- terhadap Zooplankton : Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(1), 29–36. <https://doi.org/10.35970/jppl.v2i1.147>
- Margeta, A., Šabalja, Đ., & Đorđević, M. (2021). The presence and danger of microplastics in the oceans. *Pomorstvo*, 35(2), 224–230. <https://doi.org/10.31217/p.35.2.4>
- Mauro, M., Vazzana, M., Ceraulo, M., de Vita, C., di Fiore, V., Giacalone, V. M., Grammauta, R., Lazzara, V., Papale, E., Vizzini, A., & Buscaino, G. (2024). Effects of seismic water guns on the peristomial membrane of sea urchins (*Arbacia lixula*, Linnaeus 1758). *Marine Pollution Bulletin*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116892>
- Mearns, A. J., Reish, D. J., Oshida, P. S., Morrison, A. M., Rempel-Hester, M. A., Arthur, C., Rutherford, N., & Pryor, R. (2017). Effects of pollution on marine organisms. *Water Environment Research*, 89(10), 1704–1798. <https://doi.org/10.2175/106143017X15023776270647>
- Menicagli, V., Castiglione, M. R., Balestri, E., Giorgetti, L., Bottega, S., Sorce, C., Spanò, C., & Lardicci, C. (2022). Early evidence of the impacts of microplastic and nanoplastic pollution on the growth and physiology of the seagrass *Cymodocea nodosa*. *Science of the Total Environment*, 838. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156514>
- Mukharommah, A. K., Nugroho, G. P., Imansari, M. B., & Arum, M. (2023). *PROFIL INDEK KUALITAS LINGKUNGAN HIDUP 2022*. Direktorat Jendral Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Mutuku, J., Tock, M., Yanotti, M., Tinch, D., & Hatton MacDonald, D. (2024). Public perceptions of the value of reducing marine plastics in Australian waters. *Ecological Economics*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108065>
- Naumann, T., Bento, C. P. M., Wittmann, A., Gandrass, J., Tang, J., Zhen, X., Liu, L., & Ebinghaus, R. (2022). Occurrence and ecological risk assessment of neonicotinoids and related insecticides in the Bohai Sea and its surrounding rivers, China. *Water Research*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117912>
- Nindyapuspa, A., & Ni'am, A. C. (2017). Distribusi Logam Berat Timbal Di Perairan Laut Kawasan Pesisir Gresik. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.29080/alard.v3i1.254>
- Niu, L., Li, J., Luo, X., Fu, T., Chen, O., & Yang, Q. (2021). Identification of heavy metal pollution in estuarine sediments under long-term reclamation: Ecological toxicity, sources and implications for estuary management. *Environmental Pollution*, 290(July), 118126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118126>
- Nugraha, E., & Mulyono, M. (2017). *Laut Sumber Kehidupan*. STP PRESS.
- Ofiara, D. D., & Seneca, J. J. (2006). Biological effects and subsequent economic effects and losses from marine pollution and degradations in marine environments: Implications from the literature. *Marine Pollution Bulletin*, 52(8), 844–864. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.02.022>
- 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>
- Parolini, M., Stucchi, M., Ambrosini, R., & Romano, A. (2023). A global perspective on microplastic bioaccumulation in marine organisms. *Ecological Indicators*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110179>
- Pham, C. Van, Wang, H. C., Chen, S. H., & Lee, J. M. (2023). The Threshold Effect of Overfishing on Global Fishery Outputs: International Evidence from a Sustainable Fishery Perspective. *Fishes*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/fishes8020071>
- Pinto, E. P., Paredes, E., Santos-Echeandía, J., Campillo, J. A., León, V. M., & Bellas, J. (2024). Comparative assessment of microplastics and microalgae as vectors of mercury and chlorpyrifos in the copepod *Acartia tonsa*. *Science of the Total Environment*, 945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173791>

- Pouil, S., Clausing, R. J., Metian, M., Bustamante, P., & Dechraoui-Bottein, M. Y. (2018). A study of the influence of brevetoxin exposure on trace element bioaccumulation in the blue mussel *Mytilus edulis*. *Journal of Environmental Radioactivity*, 192, 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.06.008>
- Prisandani, U. Y., & Amanda, A. L. (2019). The Importance of Regulating Plastic Marine Pollution for the Protection of Indonesian Marine Environment. *Yuridika*, 35(1), 171. <https://doi.org/10.20473/ydk.v35i1.10962>
- Rafsanjani Fajrin, E., Damar, A., & Taryono. (2024). Marine Debris Pollution and Its Impact on the Mangrove Ecosystem (Case Study: Karimunjawa Island and Kemujan Island, Indonesia). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 14(3), 516–524. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.3.516>
- Rangkuti, A. M., Cordova, M. R., Rahmawati, A., Yulma, Y., & Adimu, H. E. (2022). *Ekosistem Pesisir & Laut Indonesia* (S. B. Hastutu & R. Damayanti (eds.); I). 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. <https://doi.org/10.35308/jlik.v5i1.7175>
- Robertua, V., Bryan Libertho Karyoprawiro, & Wahyuningtyas, E. M. (2019). Special Zone for Ship Washing in Transboundary Marine Pollution Reduction At Malaka Strait. *Sociae Polites*, 20(2), 103–114. <https://doi.org/10.33541/sp.v20i2.1548>
- Shabangu, F. W., Yemane, D., Best, G., & Estabrook, B. J. (2022). Acoustic detectability of whales amidst underwater noise off the west coast of South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114122>
- Simbiak, H. M., Tania Imoliana, W., Krismono, K., & Rahardjo, D. (2023). The Effect of Motored Houses on Coliform Pollution in Marine Waters and Its Impact On Public Health, Jayapura City. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN: Jurnal Dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 20(1), 91–98. <https://doi.org/10.31964/jkl.v20i1.567>
- 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.
- Smith, V. H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: A global problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(2), 126–139. <https://doi.org/10.1065/espr2002.12.142>
- Sørensen, L., Sørhus, E., Nordtug, T., Incardona, J. P., Linbo, T. L., Giovanetti, L., Karlsen, Ø., & Meier, S. (2017). Oil droplet fouling and differential toxicokinetics of polycyclic aromatic hydrocarbons in embryos of Atlantic haddock and cod. *PLoS ONE*, 12(7), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180048>
- Sulistiyono. (2013). Dampak Tumpahan Minyak (Oil Spill) di Perairan Laut pada Kegiatan Industri Migas dan Metode Penanggulangannya. *Forum Teknologi*, 3(1), 49–57. http://pusdiklatmigas.esdm.go.id/file/t7-_Dampak_Tumpahan_---_Sulistiyono.pdf
- Supangat, A. (2006). Reinventing Indonesia Dengan Kelautan. *Inovasi*, 6(XVIII), 61–66.
- Taltec, K., Huvet, A., Yeuc'h, V., Le Goïc, N., & Paul-Pont, I. (2022). Chemical effects of different types of rubber-based products on early life stages of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Journal of Hazardous Materials*, 427. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127883>
- Thushari, G. G. N., & Senevirathna, J. D. M. (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6(8), e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>
- 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>
- Uar, N. D., Murti, S. H., & Hadisusanto, S. (2016). KERUSAKAN LINGKUNGAN AKIBAT AKTIVITAS MANUSIA PADA EKOSISTEM TERUMBU KARANG. *Majalah Geografi Indonesia*, 30(1), 88–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.22146/mgi.15626>
- Ullah, I., Nuta, F. M., Levente, D., Yiyu, B., Yihan, Z., Yi, C., Shah, M. H., & Kumar, R. (2023).

- Nexus between trade, industrialization, and marine pollution: A quantile regression approach. *Ecological Indicators*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110992>
- Vikas, M., & Dwarakish, G. S. (2015). Coastal Pollution: A Review. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 381–388. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.051>
- Wahyuni, T. I. E., Sunusi, S., Jaya, I., & B. N., S. (2020). Analisis Perkembangan Transportasi Laut Dalam Wilayah Sulawesi Untuk Mendukung Tol Laut. *Jurnal Venus*, 7(13), 61–74. <https://doi.org/10.48192/vns.v7i13.242>
- Widyowati, W., Syaputri, A. R., & Febrianto, D. (2018). Kebijakan Pemerintah Kota Denpasar Terhadap Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan Hidup Kota Denpasar. *Jurnal Reformasi Hukum : Cogito Ergo Sum*, 1(2), 45–50.
- 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>
- Yolanda, Y., Amri, N., Mawardin Adi, & Adareswari Novi. (2022). Formulasi Pengelolaan Pencemaraan Logam Berat di Perairan Pelabuhan Belawan. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 13(2), 45–54.
- Yu, D., Peng, X., Ji, C., Li, F., & Wu, H. (2020). Metal pollution and its biological effects in swimming crab *Portunus trituberculatus* by NMR-based metabolomics. *Marine Pollution Bulletin*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111307>
- Zhang, B., Matchinski, E. J., Chen, B., Ye, X., Jing, L., & Lee, K. (2019). *Chapter 21 - Marine Oil Spills—Oil Pollution, Sources and Effects* (C. B. T.-W. S. A. E. E. (Second E. Sheppard (ed.); pp. 391–406). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00024-3>