

Evaluasi dampak pencemaran mikroplastik pada sistem budidaya perikanan: Strategi pengelolaan berkelanjutan

(Evaluation of the impact of microplastic pollution on aquaculture systems: Sustainable management strategies)

Muh. Amri Yusuf^{1,2}, Irzal Effendi³

¹⁾ Mahasiswa Pascasarjana Program Studi Doktorat Ilmu Akuakultur, Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor (IPB), Indonesia

²⁾ Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Institut Teknologi Sains dan Bisnis Muhammadiyah (ITSBM) Selayar, Indonesia

³⁾ Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor (IPB), Indonesia

Penulis Korespondensi: M.A. Yusuf, muhammadamriyusuf@itsbm.ac.id

Abstract

Microplastic (MP) pollution presents a significant challenge to the sustainability of aquaculture. MPs, originating from various sources such as domestic plastic waste and the degradation of aquaculture equipment, have been detected in aquaculture media, including water and sediment. Cultured organisms like fish, shrimp, and seaweed exhibit MP accumulation, impacting their health and posing risks to human consumers. This study reviews the distribution, ecological impacts, and potential mitigation strategies for MPs in aquaculture environments. Findings reveal that MPs cause bioaccumulation and trophic transfer, leading to physiological disturbances in organisms. Moreover, MPs act as carriers for other harmful pollutants. Mitigation technologies, such as water filtration systems and biodegradable materials, are under development but require further evaluation. Biological approaches utilizing microorganisms for MP degradation offer sustainable solutions. This study recommends integrated management through technological innovation, policy development, and community-based approaches to mitigate MP impacts in aquaculture. These measures are crucial to ensuring food safety and environmental sustainability.

Keywords: microplastics, aquaculture, mitigation, environment, sustainability

Abstrak

Pencemaran mikroplastik (MP) merupakan tantangan besar dalam keberlanjutan akuakultur. MP, yang berasal dari berbagai sumber seperti limbah plastik domestik dan degradasi peralatan budidaya, telah terdeteksi di media budidaya, termasuk air dan sedimen. Organisme budidaya seperti ikan, udang, dan rumput laut juga menunjukkan akumulasi MP, memengaruhi kesehatan organisme dan berisiko terhadap konsumen manusia. Studi ini meninjau distribusi, dampak ekologis, serta potensi mitigasi MP di lingkungan akuakultur. Hasil kajian menunjukkan bahwa MP dapat menyebabkan bioakumulasi dan transfer trofik

yang berujung pada gangguan fisiologis organisme. Selain itu, MP juga bertindak sebagai pembawa polutan berbahaya lainnya. Teknologi mitigasi seperti filtrasi air dan penggunaan material biodegradabel mulai dikembangkan, namun memerlukan evaluasi lebih lanjut. Pendekatan biologis menggunakan mikroorganisme untuk degradasi MP menawarkan solusi berkelanjutan. Studi ini merekomendasikan pengelolaan terpadu melalui inovasi teknologi, pengembangan kebijakan, dan pendekatan berbasis komunitas untuk memitigasi dampak MP di akuakultur. Langkah-langkah ini penting untuk menjamin keamanan pangan dan keberlanjutan lingkungan.

Kata Kunci: mikroplastik, akuakultur, mitigasi, lingkungan, keberlanjutan

PENDAHULUAN

Sektor budidaya perikanan memiliki peran yang semakin penting dalam memenuhi kebutuhan protein global seiring meningkatnya tekanan pada perikanan tangkap. Produksi akuakultur berkembang pesat dengan berbagai inovasi (Yusuf *dkk.*, 2024) sistem budidaya, seperti; tambak intensif, bioflok, dan akuakultur berbasis laut, yang bertujuan meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan (Mujtahidah *et al.*, 2023; Rashid *et al.*, 2024). Namun, kemajuan ini menghadapi ancaman besar dari pencemaran mikroplastik, salah satu bentuk limbah plastik yang paling tersebar luas dan persisten di lingkungan perairan (Gallo *et al.*, 2018).

Mikroplastik, partikel plastik dengan ukuran kurang dari 5 mm, berasal dari berbagai sumber, termasuk degradasi plastik besar, limbah industri, dan aktivitas domestik (Thompson *et al.*, 2004; Cole *et al.*, 2011; Rezania *et al.*, 2018). Di lingkungan akuakultur, sumber tambahan seperti jaring plastik, peralatan budidaya, dan bahan penutup tambak turut berkontribusi pada pencemaran ini (Wicaksono, 2022). Mikroplastik tidak hanya mencemari air dan sedimen, tetapi juga dapat masuk ke rantai makanan melalui organisme budidaya seperti ikan, udang, dan kerang, yang kemudian menjadi ancaman bagi kesehatan manusia (Li *et al.*, 2018).

Meskipun dampak mikroplastik pada ekosistem laut telah banyak diteliti, kajian yang berfokus pada distribusi dan efeknya dalam sistem budidaya masih terbatas. Beberapa penelitian menunjukkan adanya bioakumulasi mikroplastik dalam tubuh organisme budidaya, tetapi data jangka panjang terkait efek toksik dan implikasi pada kualitas produk akuakultur masih belum memadai. Selain itu, penelitian tentang teknologi mitigasi mikroplastik di lingkungan akuakultur, seperti penggunaan material biodegradabel atau sistem filtrasi air, belum terintegrasi dengan baik dengan praktik budidaya.

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan pendekatan terpadu yang mencakup evaluasi sistematis dampak mikroplastik, pengembangan teknologi mitigasi, serta penerapan kebijakan dan regulasi yang relevan (Galloway and Lewis, 2016; Borrelle *et al.*, 2020; Dong *et al.*, 2022; Athulya *et al.*, 2023). Kajian ini bertujuan untuk merangkum temuan-temuan terbaru mengenai pencemaran mikroplastik di sektor akuakultur, mengidentifikasi gap penelitian, dan memberikan rekomendasi strategi pengelolaan yang mendukung keberlanjutan sektor budidaya perikanan.

METODE PENELITIAN

Pembahasan mengenai potensi pencemaran mikroplastik pada kegiatan budidaya perikanan, dilakukan penelusuran literatur melalui database paper akademik, seperti; Google Scholar dan Science Direct. Penelusuran literatur menggunakan beberapa kata kunci, yaitu: mikroplastik (*microplastic*), akuakultur (*aquaculture*) mitigasi (*mitigation*), toksisitas (*toxicity*), serta kata kunci terkait. Selanjutnya dilakukan pengelompokan literatur dalam beberapa kategori, yaitu: mikroplastik pada akuakultur, dampak mikroplastik, dan mitigasi mikroplastik pada akuakultur. Kemudian dianalisis secara naratif dan deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mikroplastik: Sumber dan Dampak Ekologis

Definisi dan Karakteristik Mikroplastik

Mikroplastik didefinisikan sebagai partikel plastik dengan ukuran kurang dari 5 mm yang berasal dari berbagai sumber antropogenik. Mikroplastik dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, termasuk fragmen, serat, butiran, dan film, yang masing-masing memiliki karakteristik kimia dan fisik unik (Thompson *et al.*, 2004; Cole *et al.*, 2011; Rezania *et al.*, 2018). Secara kimia, mikroplastik terdiri dari polimer seperti polietilen (PE), polipropilen (PP), dan polivinil klorida (PVC), yang sering kali mengandung aditif seperti pewarna, stabilisator, atau bahan pengisi (Matsui *et al.*, 2020).

Mikroplastik diklasifikasikan menjadi dua kategori utama: primer dan sekunder. Mikroplastik primer adalah partikel plastik yang sengaja diproduksi dalam ukuran kecil, seperti mikrogranul pada kosmetik atau pelet industri. Sementara itu, mikroplastik sekunder terbentuk akibat fragmentasi plastik besar melalui proses fisik, kimia, atau biologis di lingkungan (Cole *et al.*, 2011; Yusuf *dkk.*, 2022).

Sumber Mikroplastik di Lingkungan Akuakultur

Lingkungan akuakultur tidak terlepas dari kontribusi pencemaran mikroplastik, baik yang berasal dari sumber eksternal maupun internal. Limbah industri dan domestik yang mengalir ke perairan sering menjadi penyebab utama, membawa mikroplastik melalui aliran limbah yang tidak dikelola dengan baik (Dris *et al.*, 2015; Yusuf and Tahir, 2021).

Sumber internal mencakup degradasi peralatan berbasis plastik yang digunakan dalam sistem budidaya, seperti jaring, wadah penyimpanan, dan pelampung. Aktivitas seperti penggantian jaring atau penanganan alat secara berulang dapat mempercepat pelepasan mikroplastik ke lingkungan tambak atau akuakultur berbasis laut. Mikroplastik yang dilepaskan dari sumber ini dapat terakumulasi di sedimen atau melayang di kolom air, menciptakan risiko kontaminasi pada organisme budidaya dan lingkungan sekitar (Wicaksono, 2022).

Dampak Mikroplastik pada Ekosistem Akuatik

Mikroplastik dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui mekanisme bioakumulasi dan transfer trofik. Organisme akuatik, terutama filter feeder seperti kerang, secara tidak

sengaja mengonsumsi mikroplastik yang terdapat di air atau sedimen. Partikel ini kemudian dapat berpindah ke predator di tingkat trofik yang lebih tinggi, termasuk manusia yang mengonsumsi produk akuakultur (Wang *et al.*, 2018; Qiao *et al.*, 2019; Naidoo and Glassom, 2019).

Dari sudut pandang toksikologis, mikroplastik dapat menyebabkan efek berbahaya pada organisme akuatik. Partikel mikroplastik tidak hanya bertindak sebagai bahan asing yang dapat mengiritasi jaringan, tetapi juga berfungsi sebagai pembawa (*vector*) untuk polutan lain, seperti logam berat atau senyawa organik berbahaya. Akumulasi ini dapat mengganggu sistem fisiologis, termasuk pertumbuhan, reproduksi, dan respons imun organisme budidaya (Dong *et al.*, 2022; Munaeni *et al.*, 2023; Athulya *et al.*, 2023). Dampak mikroplastik pada hewan akuatik berdasarkan beberapa penelitian, terdapat pada table 1 berikut:

Tabel 1. Dampak mikroplastik pada ikan

No.	Kerusakan / Gangguan	Spesies	Sumber
1.	Strees oksidatif	<i>Oreochromis niloticus</i>	Athulya <i>et al.</i> , 2023
2.	Kerusakan hati	<i>Oreochromis niloticus</i>	Dong <i>et al.</i> , 2022
3.	Pertumbuhan melambat dan lebih rendah, kelangsungan hidup rendah	Glassfish (<i>Ambassis dussumieri</i>)	Naidoo <i>et al.</i> , 2019
4.	Kerusakan pada mukosa, meningkatkan permeabilitas, peradangan, gangguan metabolisme	Zebrafish	Qiao <i>et al.</i> , 2019
5.	Penurunan berat badan, gangguan rahang, gangguan sistem pencernaan	<i>Carassius auratus</i>	Jabeen <i>et al.</i> , 2018
6.	Nafsu makan berkurang, dan pengaruh kualitas gizi pada ikan	Jacopever (<i>Sebastes schlegelii</i>)	Yin <i>et al.</i> , 2018
7.	Distensi usus, perubahan tingkah laku, respon stress	<i>Cyprinodon variegatus</i>	Choi <i>et al.</i> , 2018
8.	Hepatic stress	<i>Oryzias latipes</i>	Rochman <i>et al.</i> , 2013

Kajian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi tingkat paparan mikroplastik dalam berbagai sistem budidaya dan dampaknya terhadap kesehatan ekosistem. Pendekatan yang integratif dapat membantu mengidentifikasi sumber utama pencemaran dan mengembangkan strategi mitigasi yang efektif.

Pencemaran Mikroplastik dalam Sistem Budidaya Perikanan

Distribusi Mikroplastik pada Media Budidaya

Mikroplastik telah terdeteksi di berbagai media budidaya perikanan, termasuk air dan sedimen tambak. Konsentrasi mikroplastik bervariasi tergantung pada lokasi dan intensitas aktivitas manusia di sekitar sistem budidaya. Studi terbaru menunjukkan bahwa air tambak intensif cenderung memiliki konsentrasi mikroplastik yang lebih tinggi dibandingkan sistem semi-intensif atau bioflok, karena penggunaan peralatan berbasis plastik yang lebih intensif serta limbah dari pakan tambahan (Hossain *et al.*, 2023; Wicaksono, 2022).

Sedimen di tambak juga menjadi tempat utama akumulasi mikroplastik, karena sifat partikelnya yang mudah mengendap. Komposisi dan distribusi mikroplastik pada sedimen dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti aliran air, ukuran tambak, dan jenis substrat (Andrady, 2011). Dalam sistem bioflok, mikroplastik mungkin terperangkap dalam agregat bioflok, tetapi dampak lebih lanjut dari dinamika ini terhadap organisme budidaya masih membutuhkan penelitian mendalam.

Dampak pada Organisme Budidaya

Organisme budidaya seperti ikan, udang, dan rumput laut memiliki potensi tinggi untuk menyerap mikroplastik melalui pakan dan air. Ikan budidaya, misalnya, sering terpapar mikroplastik melalui jalur makanan, baik secara langsung maupun melalui transfer trofik dari organisme lain yang telah terkontaminasi. Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik dapat terakumulasi dalam jaringan ikan, khususnya pada organ pencernaan, dan berpotensi memengaruhi fungsi fisiologisnya (Rashid *et al.*, 2024).

Udang, sebagai organisme bentik, juga rentan terhadap mikroplastik yang terdapat di sedimen. Penyerapan mikroplastik oleh udang dapat memengaruhi proses molting dan pertumbuhan, karena partikel-partikel ini dapat menyebabkan gangguan pada sistem pencernaan dan mengurangi efisiensi metabolisme (Wang *et al.*, 2020). Sementara itu, rumput laut yang digunakan sebagai bahan pakan atau konsumsi manusia dapat menyerap mikroplastik dari air di sekitarnya, menimbulkan risiko tambahan dalam rantai makanan (Wright and Kelly, 2017).

Risiko Kesehatan Manusia Akibat Konsumsi Produk Budidaya yang Tercemar

Konsumsi produk akuakultur yang tercemar mikroplastik menjadi salah satu isu kesehatan yang krusial. Mikroplastik yang terkandung dalam produk perikanan dapat bertindak sebagai pembawa (*vector*) bagi polutan lain, seperti logam berat atau senyawa organik yang bersifat toksik, yang dapat membahayakan kesehatan manusia (Rist *et al.*, 2018; Wicaksono, 2022).

Meski bukti dampak langsung pada manusia masih terbatas, risiko jangka panjang akibat paparan mikroplastik dari makanan memerlukan perhatian lebih. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami seberapa besar risiko ini pada konsumen akhir serta bagaimana sistem budidaya dapat memitigasi pencemaran mikroplastik secara lebih efektif.

Strategi Pengelolaan Berkelanjutan untuk Mengatasi Mikroplastik

Teknologi untuk Mitigasi Mikroplastik

Inovasi teknologi menjadi salah satu pendekatan utama dalam mengurangi mikroplastik di sistem budidaya perikanan. Sistem filtrasi air tambak, seperti teknologi membran, telah menunjukkan potensi untuk menyaring partikel mikroplastik secara efektif. Teknologi ini dapat menghilangkan partikel-partikel dengan ukuran mikron hingga nano, meskipun tantangan seperti biaya instalasi dan operasional masih menjadi kendala utama untuk adopsi luas (Wicaksono, 2022).

Selain itu, penggunaan material biodegradabel dalam peralatan budidaya, seperti jaring dan wadah penyimpanan, mulai dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan untuk menggantikan plastik konvensional. Material ini dirancang agar dapat terdegradasi secara alami tanpa meninggalkan residu berbahaya, sehingga dapat mengurangi akumulasi mikroplastik di lingkungan tambak. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi durabilitas dan efektivitas material ini dalam kondisi akuakultur yang beragam. Beberapa penelitian menemukan setidaknya peluang dalam menghadapi ancaman dan bahaya mikroplastik terhadap ikan, terdapat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Mitigasi dampak mikroplastik pada ikan

No.	Perlakuan	Manfaat	Sumber
1.	Penambahan probiotik AquaStar Growout mengandung: <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Enterococcus faecium</i> , <i>Lactobacillus reuteri</i> , dan <i>Pediococcus acidilactici</i> (Biomim Holding GmbH, Austria).	Memperbaiki kerusakan hati yang disebabkan oleh mikroplastik polietilen dengan menghambat stres oksidatif pada ikan nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Dong <i>et al.</i> , 2022
2.	Peran potensial <i>quorum sensing</i> (QS)	Potensi dalam mengatur proses pembentukan plastisfer pada partikel mikroplastik	Zhai <i>et al.</i> , 2023
3.	Memanfaatkan potensi mikroba untuk mengurangi polusi mikroplastik	Mendegradasi partikel mikroplastik	Jain <i>et al.</i> , 2023

Pendekatan Biologis

Pendekatan biologis menawarkan solusi inovatif untuk degradasi mikroplastik. Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur telah ditemukan memiliki kemampuan mendegradasi polimer plastik tertentu melalui produksi enzim spesifik. Pemanfaatan mikroorganisme ini dalam sistem akuakultur dapat menjadi strategi mitigasi yang alami dan berkelanjutan (Zhai *et al.*, 2023; Jain *et al.*, 2023).

Selain itu, penelitian mengenai calon agen pendegradasi mikroplastik, seperti enzimatik, sedang berkembang pesat. Dalam konteks akuakultur, identifikasi mikroorganisme lokal yang dapat bertahan dalam lingkungan tambak dan memiliki kemampuan degradasi tinggi

menjadi fokus utama. Hal ini berpotensi untuk mengintegrasikan solusi biologis ke dalam sistem budidaya, baik melalui inokulasi langsung maupun bioaugmentation (Li *et al.*, 2018; Lusher *et al.*, 2017; Zhai *et al.*, 2023; Jain *et al.*, 2023).

Kebijakan dan Regulasi

Implementasi kebijakan yang mendukung pengelolaan limbah plastik di sekitar wilayah tambak sangat diperlukan untuk mencegah pencemaran mikroplastik. Contohnya adalah pengaturan penggunaan plastik sekali pakai di wilayah pesisir atau insentif bagi pelaku akuakultur yang mengadopsi teknologi ramah lingkungan. Kebijakan ini dapat diperkuat dengan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat (Talvitie *et al.*, 2017).

Standar internasional juga diperlukan untuk mengurangi polusi plastik dalam akuakultur, seperti sertifikasi praktik budidaya yang berkelanjutan. Sertifikasi ini dapat mencakup aspek mitigasi mikroplastik, sehingga mendorong adopsi teknologi dan praktik yang lebih bertanggung jawab secara lingkungan (Jain *et al.*, 2023).

Praktik Pengelolaan Berbasis Komunitas

Peran masyarakat lokal dalam mitigasi pencemaran mikroplastik sangat penting, terutama di wilayah pesisir yang menjadi pusat kegiatan budidaya. Edukasi mengenai dampak mikroplastik dan cara-cara sederhana untuk mengurangi limbah plastik, seperti program pengelolaan sampah terpadu, dapat meningkatkan kesadaran dan partisipasi komunitas (Jain *et al.*, 2023).

Selain itu, kampanye untuk mengurangi penggunaan plastik sekali pakai di sekitar tambak, seperti mengganti kantong plastik dengan bahan ramah lingkungan, dapat dilakukan secara kolaboratif. Pendekatan berbasis komunitas ini tidak hanya mengurangi pencemaran, tetapi juga memperkuat keberlanjutan sosial-ekonomi dalam sektor akuakultur.

KESIMPULAN DAN ARAH PENELITIAN MASA DEPAN

Pencemaran mikroplastik telah menjadi ancaman nyata terhadap keberlanjutan sistem budidaya perikanan. Mikroplastik, yang berasal dari berbagai sumber, tidak hanya mencemari media budidaya seperti air dan sedimen, tetapi juga terakumulasi dalam tubuh organisme budidaya, termasuk ikan, udang, dan rumput laut. Dampak ini tidak hanya memengaruhi kesehatan organisme akuatik, tetapi juga menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia yang mengonsumsi produk akuakultur yang tercemar.

Untuk menjaga keberlanjutan sektor ini, diperlukan pengelolaan terpadu yang mencakup teknologi mitigasi, pendekatan biologis, regulasi yang ketat, dan praktik berbasis komunitas. Pendekatan ini tidak hanya bertujuan untuk mengurangi pencemaran mikroplastik, tetapi juga memastikan bahwa budidaya perikanan tetap dapat memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan yang berkelanjutan.

Penelitian di bidang mitigasi mikroplastik kedepannya, perlu diarahkan pada pengembangan teknologi baru yang lebih efektif dan efisien. Teknologi untuk deteksi dini mikroplastik dalam media budidaya, seperti sensor berbasis nanoteknologi, dapat menjadi alat penting untuk memonitor tingkat kontaminasi secara real-time. Selain itu, inovasi dalam sistem

filtrasi dan material biodegradabel perlu terus dikembangkan untuk memastikan penerapannya dapat diintegrasikan dalam praktik budidaya secara luas.

Penelitian jangka panjang mengenai bioakumulasi mikroplastik dalam rantai makanan juga sangat penting. Studi ini akan memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai bagaimana mikroplastik berpindah antar tingkat trofik dan dampak kumulatifnya terhadap ekosistem akuatik dan manusia. Data semacam ini sangat diperlukan untuk menyusun kebijakan berbasis bukti yang mendukung keberlanjutan akuakultur.

Selain itu, analisis ekonomi tentang biaya dan manfaat mitigasi mikroplastik dalam akuakultur menjadi topik yang belum banyak dieksplorasi. Kajian ini penting untuk menentukan kelayakan adopsi teknologi baru serta mengidentifikasi insentif ekonomi bagi pelaku usaha budidaya yang mengadopsi praktik ramah lingkungan. Dengan memahami dimensi ekonomi ini, pendekatan mitigasi mikroplastik dapat lebih mudah diintegrasikan ke dalam sistem akuakultur skala kecil hingga besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrady AL. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62(8): 1596-1605.
- Athulya PA, Chandrasekaran N, Thomas J. 2023. Polystyrene microplastics interaction and influence on the growth kinetics and metabolism of tilapia gut probiotic *Bacillus tropicus* ACS1. *Environ. Sci.: Processes Impacts* 26: 221-232.
- Borrelle SB, Ringma J, Law KL, Monnahan CC, Lebreton L, McGivern A, Jambeck JR. 2020. Predicted growth in plastic waste exceeds mitigation efforts and emissions in the coming decades. *Science* 369 (6510): 1515–1521.
- Choi JS, Jung Y, Hong N, Hee S, Park J. 2018. Toxicological effects of irregularly shaped and spherical microplastics in a marine teleost, the sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*). *Mar. Pollut. Bull* 129: 231–240.
- Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull* 62(12): 2588–2597.
- Dong R, Zhou C, Wang S, Yan YQ, Jiang Q. 2022. Probiotics ameliorate polyethylene microplastics-induced liver injury by inhibition of oxidative stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology* 130: 261–272.
- Dris R, Imhof H, Sanchez W, Gasperi J, Galgani F, Tassin B, Laforsch C. 2015. Beyond the ocean: contamination of freshwater ecosystems with microplastic particles. *Environ. Chem* 12: 539.
- Gallo F, Fossi C, Weber R. 2018. Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: The need for urgent preventive measures. *Environmental Science Europe* 30 (1): 1-14.
- Galloway TS, Lewis CN. 2016. Marine microplastics spell big problems for future generations. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 113(12): 3127–3135.
- Hossain MB, Rakib, M. R. J., Zaman, M. N., Khan, S. A., Islam, M. S. 2023. Microplastics in fish culture ponds: Abundance, characterization, and contamination risk assessment. *Frontiers in Environmental Science* 11: 1251158.

- Jabeen K, Li B, Chen Q, Su L, Wu C, Hollert H, Shi H. 2018. Effects of virgin microplastics on goldfish (*Carassius auratus*). *Chemosphere* 213:323-332
- Jain R, Gaur A, Suravajhala R, Utra C, Pant M, Tripathi V, Pant G. 2023. Microplastic pollution: Understanding microbial degradation and strategies for pollutant reduction. *Science of the Total Environment* 905: 167098
- Li J, Liu H, Chen JP. 2018. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research* 137: 362-374.
- Lusher AL, Welden NA, Sobral P, Cole M. 2017. Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods* 9(9): 1346-1360.
- Matsui, K., Ishimura, T., Mattonai, M., Iwai, I., Watanabe, A., Teramae, N., Ohtani, H., Watanabe, C. 2020. Identification algorithm for polymer mixtures based on Py-GC/MS and its application for microplastic analysis in environmental samples. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 149: 104834.
- Mujtahidah T, Sari DN, Putri DU, Mainassy MC, Ode I, Yusuf MA, Laheng S, Retno R, Mulyani LF, Abidin Z, Sari YP. 2023. *Budidaya Perikanan*. Gowa : CV Tohar Media.
- Munaeni W, Samadan GM, Findra MN, Rumondang A, Abdullah N, Nur M, Farastuti ER, Yusuf, MA, Disnawati, Ode I, Haser TF, Ulkhaq MF, Sari DN, Tomaso AM. 2023. *Fisiologi Hewan Akuatik*. Purbalingga : Eureka Media Aksara.
- Naidoo T, Glassom D. 2019. Decreased growth and survival in small juvenile fish, after chronic exposure to environmentally relevant concentrations of microplastic. *Marine Pollution Bulletin* 145: 254-259.
- Qiao R, Deng Y, Zhang S, Wolosker MB, Zhu Q, Ren H, Zhang Y. 2019. Accumulation of different shapes of microplastics initiates intestinal injury and gut microbiota dysbiosis in the gut of zebrafish. *Chemosphere* 236: 124334.
- Rashid E, Hussain SM, Sarker PK, Ali S, Paray BA. 2024. Assessment of polystyrene microplastics as dietary additives in aquaculture species, *Catla catla*: Alters growth, feed utilization, nutritional composition, hematology and gut histopathology. *Aquaculture Reports* 36: 102100
- Rezania S, Park J, Md Din MF, Mat Taib S, Talaiekhosani A., Kumar YK, Kamyab H. 2018. Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: a review of recent studies. *Mar. Pollut. Bull* 133: 191–208.
- Rist S, Carney AB., Hartmann NB, Karlsson TM. 2018. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of the Total Environment* 626: 720–726.
- Rochman CM, Hoh E, Kurobe T, Teh SJ. 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci. Rep* 3: 1–7.
- Talvitie J, Mikola A, Setälä O, Heinonen M, Koistinen A. 2017. How well is microlitter purified from wastewater? A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Research* 109: 164-172.
- Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, McGonigle D, Russell AE. 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304 (5672): 838
- Wang W, Ge J, Yu X. 2020. Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 189: 109913.

- Wang F, Wong CS, Chen D, Lu X, Wang F, Zeng EY. 2018. Interaction of toxic chemicals with microplastics: A critical review. *Water Research* 139: 208-219.
- Wicaksono EA. 2022. Ancaman Pencemaran Mikroplastik dalam Kegiatan Akuakultur di Indonesia. *Torani: JFMArSci* 5(2): 77-91.
- Wright SL, Kelly FJ. 2017. Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science & Technology* 51(12): 6634–6647.
- Yin L, Chen B, Xia B, Shi X, Qu K. 2018. Polystyrene microplastics alter the behavior, energy reserve and nutritional composition of marine jacopecover (*Sebastes schlegelii*). *Journal of Hazardous Materials* 360: 97-105
- Yusuf MA, Fitrawati R, Annisa, Sahar RA, Ayu RG. 2024. Efisiensi pakan larva ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) hasil maskulinisasi madu hutan. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 3(1): 10–18.
- Yusuf MA, Tahir A. 2021. Study of the abundance and characteristics of microplastic contamination in the fish of capture results of fishermen in the Lake Towuti Waters, East Luwu, South Sulawesi. *International Journal of Scientific and Research Publications* 5: 11-7.
- Yusuf MA, Yaqin K, Wicaksono EA, Tahir A. 2022. Abundance and characteristics of microplastics in Lake Towuti, East Luwu, South Sulawesi. *AACL Bioflux* 15(2): 621-631.
- Zhai X, Zhang XH, Yu M. 2023. Microbial colonization and degradation of marine microplastics in the plastisphere: A review. *Front. Microbiol* 14: 1127308.