

KARAKTERISTIK DAN KEPADATAN MIKROPLASTIK PADA SEDIMEN PANTAI LIANG PULAU BUNAKEN

*(Microplastic Characteristics and Density in Liang Beach Sediment
of Bunaken Island)*

**Gabriel Suripatty¹, Natalie D.C. Rumampuk¹, Inneke F.M. Rumengan²,
Remy E.P. Mangindaan³, Nickson J. Kawung¹, Kurniati Kemer¹**

1. Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi Manado - Sulawesi Utara, Indonesia
2. Program Studi Magister Ilmu Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi Manado
3. Program Studi S3 Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi Manado

* Penulis Korespondensi : detv.natalie@unsrat.ac.id

ABSTRACT

Microplastics are plastic particles with size <5 mm in terms of their shape, microplastics exhibit six characteristic categories, including fibers, fragments, films, foam, granules, and pellets. The occurrence of micro-plastics in an environment has negative impacts on ecosystem. Bunaken Island, situated in North Sulawesi as a part of the Bunaken National Marine Park, which is known for its high biodiversity and significant marine tourism activities. The anthropogenic activities at the island are suspected to contribute to plastic waste accumulation in the sediments. Determination of characteristics and density of microplastics were initiated with sediment sampling by using line transect method in intertidal area along 30 meter. The observation of shapes and color of microplastics, and quantification of particles were conducted under a microscope. Based on the observations, Liang Beach on Bunaken Island has been contaminated by microplastics which are dominated by particles in the form of fibers and fragments, with blue, red, white and green colors. The density for all categories of microplastics was obtained on average 30 particles/kg of dry sediment.

Keywords: Microplastics, Characteristic, Density, Liang Beach, Bunaken Island

ABSTRAK

Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran <5 mm. Berdasarkan bentuknya, mikroplastik dibagi menjadi 6 kategori yang meliputi fiber, fragmen, film, busa, granula dan pellet. Keberadaan mikroplastik di suatu lingkungan memiliki dampak yang negatif bagi ekosistem dimana mikroplastik itu berada. Pulau Bunaken merupakan salah satu pulau yang berada di Sulawesi Utara dan termasuk ke dalam salah satu gugus pulau Taman Nasional Bunaken dan dikenal dengan tingkat keanekaragaman hayati serta aktivitas wisata bahari yang tinggi. Tingginya tingkat aktivitas manusia yang terjadi di Pulau Bunaken diduga memberikan kontribusi terhadap akumulasi sampah plastik di sedimen. Penentuan karakteristik dan kepadatan mikroplastik diawali dengan pengambilan sampel menggunakan metode garis transek sepanjang 30 meter. Pengamatan bentuk dan warna, serta penghitungan jumlah mikroplastik dilakukan di bawah mikroskop. Berdasarkan hasil pengamatan, Pantai Liang Pulau Bunaken telah terkontaminasi oleh mikroplastik yang didominasi dengan partikel berbentuk fiber dan fragmen, dengan warna biru, merah, putih dan hijau. Di lokasi tersebut kepadatan untuk semua kategori mikroplastik diperoleh rata-rata 30 partikel/kg sedimen kering.

Kata Kunci: Mikroplastik, Karakteristik, Kepadatan, Pantai Liang, Pulau Bunaken

PENDAHULUAN

Sampah laut merupakan permasalahan yang tengah dihadapi oleh banyak negara. Menurut NOAA (2013) Sampah laut atau *marine debris* didefinisikan sebagai material berbentuk padatan, dan persisten, yang diciptakan oleh manusia baik langsung maupun tidak langsung, dengan sengaja atau tidak sengaja yang dibuang atau ditinggalkan di dalam lingkungan laut. Sampah laut dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk pembuangan sampah langsung ke laut, pembuangan melalui sungai dan saluran pembuangan, aktivitas perkapalan dan perikanan, serta kegiatan pariwisata dan pesisir (Browne *et al.* 2015). Jenis-jenis sampah laut yang sering dijumpai yaitu, plastik, karet, kertas, logam, keramik, kaca, styrofoam (gabus), busa, kain dan kayu dimana plastik merupakan jenis sampah laut yang paling sering ditemui (CBD-STAP, 2012). Menurut Galgani *et al.* (2015), sekitar 85% dari total sampah laut yang terakumulasi di sepanjang garis pantai, permukaan dan dasar laut adalah jenis sampah plastik. Menurut Jambeck *et al.* (2015), terdapat sekitar 1,29 juta ton sampah plastik yang dibuang dan masuk ke dalam perairan Indonesia setiap tahunnya.

Sampah plastik dapat menimbulkan banyak masalah karena proses degradasinya membutuhkan waktu yang lama. Sifat plastik yang lama terurai membuat jumlahnya bertambah sehingga terjadi penumpukkan di perairan. Plastik dapat terurai dalam jangka waktu yang lama secara fisika, kimia dan biologi di lingkungan perairan menjadi ukuran yang lebih kecil atau yang lebih sering dikenal dengan istilah

mikroplastik. Menurut Cordova (2021), Mikroplastik didefinisikan sebagai plastik yang memiliki ukuran berkisar antara 0,3 mm – 5 mm. Menurut UNEP (2011), mikroplastik termasuk ke dalam salah satu bagian dari sampah laut yang berpotensi mengancam lebih serius dibandingkan dengan material plastik yang berukuran besar.

Beberapa penelitian tentang mikroplastik pada lingkungan perairan telah dilakukan di berbagai wilayah dan menunjukkan bahwa mikroplastik yang terakumulasi di lingkungan perairan memiliki dampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem beserta organisme di dalamnya. Penelitian model laboratorium yang dilakukan oleh Hall *et al.* (2015) dan Allen *et al.* (2017) menemukan bahwa beberapa jenis karang yang diambil dari alam mengkonsumsi mikroplastik dan mempengaruhi laju pertumbuhannya. Akumulasi mikroplastik dalam sedimen habitat terumbu karang patut ditelusuri, terutama di lokasi yang tinggi aktivitas perikanan dan pariwisata. Pantai Liang yang terletak di wilayah pesisir Pulau Bunaken merupakan salah satu tempat wisata yang sering dikunjungi oleh wisatawan, hal ini dikarenakan pantai tersebut masih memiliki ekosistem terumbu karang yang terjaga dengan tingkat keanekaragaman hayatinya yang tinggi (Luasunaung *et al.*, 2015; Palendeng *et al.*, 2022; Gumolili *et al.*, 2023).

Tingginya aktivitas masyarakat di Pantai Liang diduga memberikan kontribusi terhadap buangan limbah ke perairan. Beberapa publikasi telah melaporkan bahwa wilayah pesisir Pulau Bunaken dan sekitarnya telah terkontaminasi oleh sampah

laut dengan jenis sampah plastik paling tinggi di antara jenis sampah laut lainnya (Sundah, 2021; Djaguna, 2019; Andakke, 2022). Namun hingga saat ini, belum ada penelitian lebih lanjut tentang mikroplastik, padahal resiko sampah plastik terdegradasi menjadi mikroplastik tentunya sangat tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi karakteristik dan mengkuantifikasi kepadatan mikroplastik dalam sampel sedimen yang diambil dari daerah intertidal Pantai Liang Pulau Bunaken.

METODE PENELITIAN

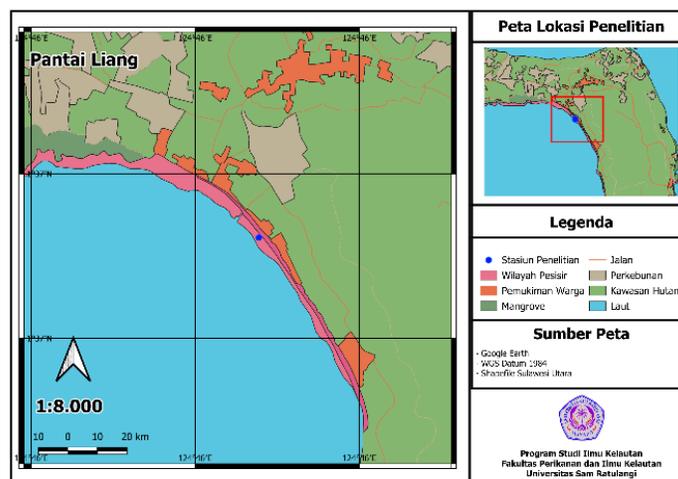
Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga Juni 2023. Lokasi pengambilan sampel dilakukan di Pantai Liang Pulau Bunaken pada tanggal 11 – 12 April 2023 dengan mempertimbangkan kondisi dan keterwakilan area penelitian (*purposive*

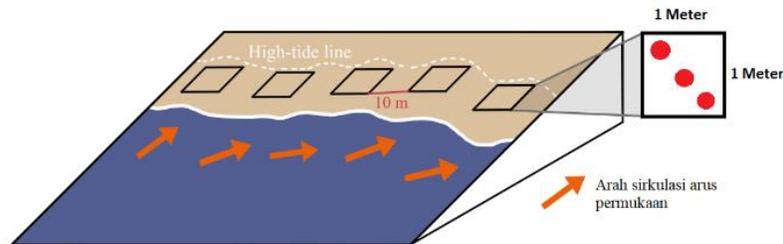
sampling). Titik koordinat pada stasiun penelitian yaitu 1°37'05.6"LU 124°46'01.4" BT. Peta lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Preparasi, identifikasi dan analisis sampel telah dilakukan di Laboratorium Biologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Sam Ratulangi Manado.

Pengambilan Sampel Sedimen

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada saat kondisi perairan sedang mengalami surut terendah. Di mana sampel sedimen diambil pada area *high strandline* (Cordova, 2021). Metode pengambilan sampel dilakukan dengan menarik transek sepanjang 30 meter, lalu kuadran diletakan pada interval 10 meter. Sedimen kemudian diambil menggunakan sekop *stainless steel* sebanyak 1 kg setiap kuadrannya. Ilustrasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



Gambar 2. Ilustrasi pengambilan sampel

Preparasi Sampel Sedimen

Preparasi sampel sedimen bertujuan untuk memisahkan partikel mikroplastik dengan sedimen. Preparasi dilakukan melalui beberapa tahapan (Hidalgo-Ruz, 2012), yaitu (a) pengeringan dan penyaringan, (b) pemisahan partikel mikroplastik dengan memanfaatkan perbedaan densitas dan pemisahan dari bahan organik, (c) penyaringan serta (d) identifikasi secara visual.

Identifikasi Mikroplastik

Identifikasi mikroplastik dilakukan menggunakan mikroskop SZ-51 (perbesaran 40x) dengan melihat sampel mikroplastik yang telah disaring melalui kertas saring. Kriteria yang digunakan dalam mengidentifikasi mikroplastik mengacu pada Cordova (2021) adalah memiliki ukuran partikel berkisar antara 0,3 – 5,0 mm, warna yang homogen, tidak memiliki struktur organik dan tidak terdapat ciri jaringan selular makhluk hidup. Sampel mikroplastik pada sedimen kemudian dikuantifikasi dan dihitung kepadatannya. Menurut Cordova (2021),

Kepadatan Mikroplastik (KM) pada

sedimen dapat dihitung dengan rumus:

$$KM = \frac{\text{Jumlah Mikroplastik (Partikel)}}{\text{Berat Sedimen (Gram)}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mikroplastik

Hasil pengamatan bentuk partikel mikroplastik yang ditemukan di Pantai Liang dapat dilihat pada Gambar 3. Mikroplastik yang ada di lokasi ini dicirikan oleh partikel-partikel berbentuk busa, fiber, fragmen, dan film. Bentuk mikroplastik yang terbanyak adalah busa (Gambar 3a), ditemukan relatif seragam pada tiga kuadran di stasiun pengamatan, dengan ciri umum berbentuk tidak beraturan dan elastis serta berwarna putih ke kuning-kuningan. Menurut UNEP (2016) mikroplastik jenis busa banyak berasal dari hasil degradasi sampah plastik jenis *styrofoam*, bahan bantalan karet, alat makan sekali pakai, dan kotak pembungkus lainnya. Mikroplastik jenis fiber (gambar 3b) juga ditemukan relatif seragam yaitu berbentuk tipis, panjang dan seperti serat sintetis. Jenis mikroplastik ini berasal dari degradasi limbah alat tangkap nelayan seperti jaring dan alat pancing (Dewi,

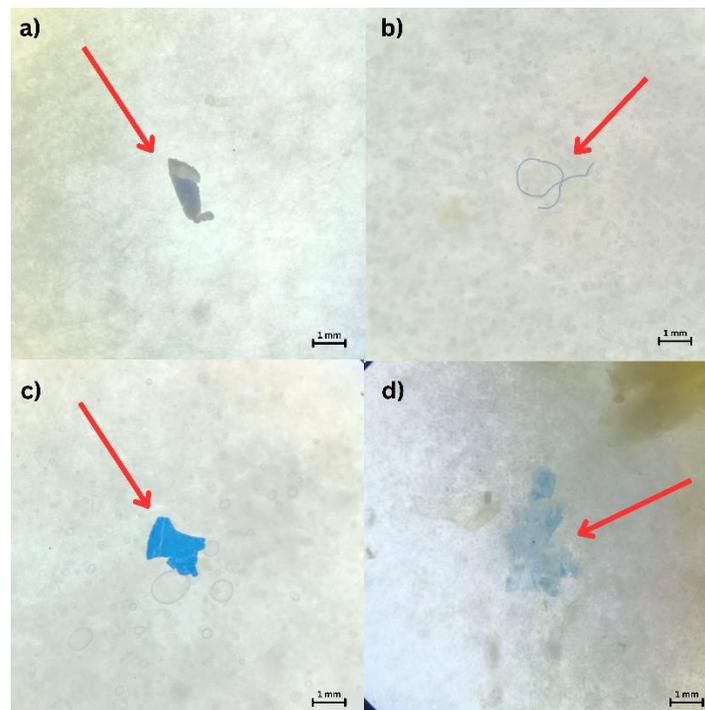
2015). Mikroplastik jenis fragmen (gambar 3c) ternyata juga relatif seragam pada tiga kuadran, yaitu berbentuk tidak beraturan seperti pecahan/serpihan dan bertekstur keras. Mikroplastik jenis ini banyak berasal dari patahan produk plastik keras, pipa maupun botol (Laila, 2019). Sama seperti ketiga jenis mikroplastik sebelumnya, mikroplastik jenis film juga dijumpai relatif sama antar satu dengan yang lainnya, dengan ciri-ciri umum yaitu berbentuk seperti lembaran tipis, fleksibel dan terkadang hampir tembus pandang. Mikroplastik jenis ini banyak berasal dari hasil degradasi limbah kantong plastik, bungkus makanan, dan kemasan produk-produk konsumen lainnya (Laksono, 2021).

Menurut John (2022), laju perpindahan mikroplastik di suatu lingkungan sangat dipengaruhi oleh sifat fisiko-kimia yang meliputi bentuk, ukuran, warna dan polimer penyusun dari partikel tersebut. Bentuk mikroplastik yang beragam dapat mempengaruhi daya apung partikel tersebut sehingga mikroplastik menjadi bioavailabilitas di tingkat trofik yang berbeda mulai dari permukaan, kolom hingga dasar perairan. Penelitian yang dilakukan oleh Botterell (2020), menemukan bahwa bentuk mikroplastik dapat mempengaruhi laju tingkat konsumsinya pada beberapa jenis warna mikroplastik juga dapat mempengaruhi laju perpindahannya di lingkungan. Warna mikroplastik yang cenderung gelap seperti biru, hitam dan hijau lebih sering

dikonsumsi oleh ikan-ikan ketimbang yang berwarna terang. Hal ini diduga terjadi karena karakteristik mikroplastik hampir sama dengan mangsa aslinya di alam.

Menurut Enyoh *et al.* (2020), kontaminasi mikroplastik tersebut dapat ditransfer ke dalam organisme melalui dimakan, dihirup atau diserap oleh kulit. Menurut John (2022), sifat fisik mikroplastik yang sama dengan organisme planktonik dan partikel organik tersuspensi menyebabkan mikroplastik dikonsumsi oleh biota. Beberapa organisme yang ditemukan telah mengonsumsi mikroplastik adalah plankton, organisme bentik, ikan, burung laut, penyu dan mamalia laut (Lusher, 2015).

Prata (2019) melalui studi literturnya mengemukakan bahwa mikroplastik dapat menyebabkan kerusakan pada sistem imun tubuh, inflamasi, meningkatkan potensi terjadinya kerusakan saraf (*neurodegenerative diseases*), merusak sel tubuh, dan mengganggu sistem metabolisme tubuh. Mikroplastik juga dapat bekerja sebagai vektor pembawa mikroorganisme, patogen, atau bahan kimia lain yang berbahaya bagi organisme. Pada akhirnya mikroplastik dapat masuk ke dalam rantai makanan dan ke manusia. Pada manusia, mikroplastik telah ditemukan di dalam tinja, paru-paru, plasenta, hingga jantung (Yang, 2023).



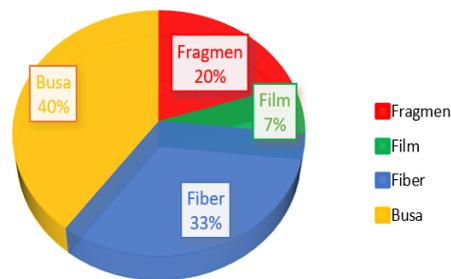
Gambar 3. Karakteristik mikroplastik berdasarkan bentuknya: a) busa; b) fiber; c) fragmen; d) film

Kepadatan Mikroplastik

Data jumlah partikel mikroplastik yang disajikan dalam bentuk persentase, dapat dilihat pada Gambar 4. Jumlah total partikel pada tiga kuadran masing-masing berisi 1 kg sedimen kering, dengan rata-rata kepadatan 30 partikel/kg. Ke-empat jenis mikroplastik yang ditemukan ternyata berada dalam jumlah yang berbeda-beda, yaitu busa dengan total keseluruhan adalah 36 partikel, jumlah rata-rata pada setiap kuadran 12 partikel/kg. Demikian juga, fiber 30 partikel dengan rata-rata 10 partikel/kg, fragmen 18 partikel dengan rata-rata 6 partikel/kg, dan film 6 partikel dengan rata-rata 2 partikel/kg. Pada tiga kuadran total partikel dari semua jenis yang ditemukan adalah masing-masing 28 partikel, 32

partikel dan 30 partikel.

Mikroplastik yang paling mendominasi di Pantai Liang adalah dari jenis busa dengan persentase sebesar 40%, diikuti oleh fiber 33%, fragmen 20% dan film 7%. Mikroplastik jenis ini banyak berasal dari hasil degradasi sampah plastik pembungkus makanan sekali pakai, alat makan, bantalan karet, kotak serba guna dan lain sebagainya. Temuan mikroplastik jenis busa juga dilaporkan di beberapa wilayah pantai berpasir seperti di Korea Selatan (Eo *et al.*, 2018) dan Russia (Esiukova *et al.*, 2017). Meskipun beberapa penelitian lainnya melaporkan bahwa mikroplastik berbentuk fiber dan fragmen merupakan yang paling sering dijumpai (Claessens *et al.*, 2011;



Gambar 4. Persentase partikel mikroplastik

Hengstmann *et al.*, 2018; Hidalgo-Ruz and Thiel, 2013).

Keberadaan mikroplastik jenis tertentu di lingkungan perairan sangat dipengaruhi oleh aktivitas yang terjadi di sekitarnya. Pantai Liang merupakan salah satu pantai yang terkenal sebagai salah satu pusat perekonomian di Pulau Bunaken dengan kegiatan yang banyak terjadi di sana adalah kuliner dan hiburan. Kegiatan wisata kuliner dan hiburan di sana yang masih menggunakan alat makan sekali pakai, serta pengelolaan limbah yang kurang baik diduga memberikan kontribusi terhadap terakumulasinya mikroplastik di perairan (Manik, 2016).

Hasil temuan ini juga didukung dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Torre (2020), yang menemukan beberapa pantai di Kota Lima, Peru dengan aktivitas yang serupa seperti di Pantai Liang, telah terkontaminasi oleh mikroplastik dengan persentase mikroplastik jenis busa mencapai 78% dan merupakan yang terbesar dari jenis mikroplastik yang ditemukan lainnya. Bentuk mikroplastik lain yang ditemukan adalah fiber dengan persentase sebesar 33%. Mikroplastik jenis ini dapat berasal dari hasil

degradasi pakaian, tali, jaring dan alat tangkap nelayan (Claessens *et al.*, 2011). tingginya persentase jenis fiber ini diduga disebabkan oleh aktivitas yang terjadi di sekitar stasiun di mana selain kegiatan pariwisata, terdapat juga kegiatan wisata selam dan perikanan.

Kepadatan mikroplastik yang ada di Pantai Liang masih relatif lebih rendah dibandingkan dengan yang ada di Teluk Manado seperti yang dilaporkan oleh Immanuel *et al.* (2022) di mana kepadatan mikroplastik di daerah tersebut berada pada kisaran 63-182 partikel/kg sedimen kering dengan bentuk yang paling mendominasi adalah fiber dan fragmen. Demikian juga yang ada di Taman Nasional Laut Karimunjawa, Jawa Tengah yang dikaji oleh Muchlissin *et al.* (2021) yang menemukan kelimpahan mikroplastik pada sedimen ekosistem terumbu karang berada pada kisaran 11-96 partikel/kg. Hal ini diduga terjadi karena banyaknya sumber buangan sampah plastik di kedua lokasi tersebut. Menurut Mauludy (2019), tingginya mikroplastik di suatu wilayah dapat disebabkan oleh adanya kegiatan anthropogenik yang terjadi di sekitar daerah

tersebut. Lebih lanjut oleh Seprandita *et al.* (2022) menyatakan bahwa adanya pengaruh arus juga dapat membawa jenis-jenis mikroplastik dengan densitas yang rendah untuk terakumulasi di suatu lokasi.

KESIMPULAN

Karakteristik mikroplastik di Pantai Liang, Pulau Bunaken berdasarkan bentuknya ternyata ada jenis, yaitu busa, fiber, fragmen dan film. Masing-masing jenis dicirikan dengan bentuk partikel yang relatif seragam, hasil degradasi dari sumber yang relatif sama. Jumlah yang terbanyak dijumpai adalah busa, rata-rata 12 partikel/kg berat kering, diikuti fiber 10 partikel/kg, fragmen 6 partikel/kg dan film 2 partikel/kg. Jenis mikroplastik yang dominan yaitu busa yang diperkirakan berasal dari hasil degradasi plastik rumah tangga dan kuliner. Degradasi plastik alat tangkap nelayan berupa fiber juga cukup banyak dijumpai. Jadi memang kegiatan perikanan dan pariwisata di wilayah ini cukup menonjol.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, A. S., Seymour, A. C., Rittschof, D. 2017. Chemoreception Drives Plastic Consumption in A Hard Coral. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 198–205.
- Andakke, N. J., Tarya, A. 2022. Variasi Sampah Laut di Teluk Manado dan Sekitarnya. *Jurnal Ilmiah Platax*, 10(2), 224–238.
- Browne, M.A. 2015. Sources and Pathways of Microplastics to Habitats. *In*: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. pp 229-244.
- Botterell, Z. L. R., Beaumont, N., Cole, M., Hopkins, F. E., Steinke, M., Thompson, R. C., Lindeque, P. K. 2020. Bioavailability of Microplastics to Marine Zooplankton: Effect of Shape and Infochemicals. *Environmental Science and Technology*, 54(19), 12024-12033.
- Claessens, M., Meester, S.D., Landuyt, L.V., Clerck, K.D., Janssen, C.R., 2011. Occurrence and Distribution of Microplastics in Marine Sediments Along The Belgian Coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2199–2204.
- Convention on Biological Diversity Scientific and Technical Advisory Panel (CBD). 2012. Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions. *CBD Technical Series No. 67*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal. p 61.
- Cordova, M. R. 2021. Panduan Metode Sampling, Analisis, dan Identifikasi Mikroplastik di Ekosistem Pesisir dan Laut. IPB Press. 98 hal.
- Cordova, M. R. 2017. Pencemaran Plastik di Laut. *OSEANA*, 42(3), 21-30.
- Dewi, I. S., Budiarsa, A. A., Ritonga, I. R. 2015. Distribusi Mikroplastik pada Sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara. *Fishery and Marine Sciences Journal*, 4(3), 121-131.
- Djaguna, A., Pelle, E. W., Schadu, N. W., Manengkey, K. W., Rumampuk, C. D., Ngangi, A. L. 2019. Identifikasi Sampah Laut di Pantai Tongkaina dan Talawaan Bajo. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 7(3), 174-182.
- Eo, S., Hong, S.H., Song, Y.K., Lee, J., Lee, J., Shim, W.J., 2018. Abundance, Composition, and Distribution of Microplastics Larger Than 20 Mm in Sand Beaches of South Korea. *Environmental Pollution*, 238, 894–902.
- Enyoh, E. C., Shafea, L., Verla, W. A., Verla, N. E., Qingyue, W. Chowdhury, T., Paredes, M. 2020. Microplastics Exposure Routes and Toxicity

- Studies to Ecosystems: An Overview. *Environmental Analysis Health and Toxicology Journal*, 35(1), 1-10.
- Esiukova, E., 2017. Plastic Pollution on The Baltic Beaches of Kaliningrad region, Russia. *Marine Pollution Bulletin*, 114(2), 1072–1080.
- Galgani, F., Hanke, G., Maes, T. 2015. Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter. *In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds), Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. pp 29-56.
- Gumolili, Y., Karauwan, M., Rondonuwu, D., Tangian, D. 2023. Kondisi Terumbu Karang Diving Point Lekuan Dua Pulau Bunaken Sulawesi Utara. *Hospitality and Tourism*, 6(1), 299-306.
- Hall, N. M., Berry, K. L. E., Rintoul, L., Hoogenboom, M. O. 2015. Microplastic ingestion by scleractinian corals. *Marine Biology*, 162(3), 725–732.
- Hengstmann, E., Tamminga, M., vom Bruch, C., Fischer, E.K., 2018. Microplastic in Beach Sediments of the Isle of Rügen (Baltic Sea) - Implementing a Novel Glass Elutriation Column. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 263–274.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., Thiel, M. 2012. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science and Technology Journal*, 46(6), 3060-3075.
- Hidalgo-Ruz, V., Thiel, M., 2013. Distribution and Abundance of Small Plastic Debris on Beaches in The SE Pacific (Chile): A Study Supported by A Citizen Science Project. *Marine Environmental Research Journal*, 87,12–18.
- Immanuel, T., Pelle, W. E., Schadu, J. N. W., Paulus, J. J. H., Rumampuk, N. D. C., Sangari, J. R. R. 2022. Bentuk dan Sebaran Mikroplastik di Sedimen dan Kolom Perairan di Teluk Manado Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 10(2), 336–343.
- 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.
- John, J., Nandhini, A. R., Velayudhaperumal Chellam, P., Sillanpää, M. 2022. Microplastics in Mangroves and Coral Reef Ecosystems: A Review. *In Environmental Chemistry Letters*. (20), 397-416 .
- Laila, Q. N., Purnomo, P. W., Jati, O. E. 2020. Kepadatan Mikroplastik pada Sedimen di Desa Mangunharjo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 4(1), 28-35.
- Laksono, O. B., Suprijanto, J., Ridlo, A. 2021. Kandungan Mikroplastik pada Sedimen di Perairan Bandengan Kabupaten Kendal. *Journal of Marine Research*, 10(2), 158-164.
- Luasunaung, A., Manoppo, V., Schadu, J. N. 2015. Monitoring dan Evaluasi Lokasi Penyelaman Pulau Bunaken Taman Nasional Bunaken Kota Manado Provinsi Sulawesi Utara. *Spatial: Wahana Komunikasi dan Informasi Geografi*, 14(2), 1-7.
- Lusher, A. 2015. Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. *In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds), Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. pp 245-307.
- Manik, R. T. H. K., Makainas, I., Sembel, A. 2016. Sistem Pengelolaan Sampah Di Pulau Bunaken. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 3(1), 15-24.
- Mauludy, M., Yunanto, A., Yona, D. 2019. Microplastic Abundances in the Sediment of Coastal Beaches in Badung, Bali. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 21(2), 73-

- 78.
- Muchlissin, S. I., Widyananto, P. A., Sabdono, A., Radjasa, O. K. 2020. Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Ekosistem Terumbu di Taman Nasional Laut Karimunjawa. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(1), 1-6.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. 2013. Programmatic Environmental Assessment (PEA) for the NOAA Marine Debris Program (MDP). Maryland (US). NOAA. p 179.
- Palendeng, F., Kusen, J. D., Manembu, I. S. 2021. Struktur Komunitas Ikan Family Chaetodontidae sebagai Indikator Kondisi Kesehatan Lingkungan Ekosistem Terumbu Karang di Zona Tradisional Pulau Bunaken Taman Nasional Bunaken. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 9(3), 148–154.
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. 2019. Environmental Exposure to Microplastics: An Overview on Possible Human Health Effects. *The Science of the Total Environment*, 702, 1-31.
- Torre, D.G.E., Dioses-Salinas, D. C., Castro, J. M., Antay, R., Fernández, N. Y., Espinoza-Morriberón, D., Saldaña-Serrano, M. 2020. Abundance and Distribution of Microplastics on Sandy Beaches of Lima, Peru. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 1-6.
- Seprandita, C. W., Suprijanto, J., Ridlo, A. 2022. Kelimpahan Mikroplastik di Perairan Zona Pemukiman, Zona Pariwisata dan Zona Perlindungan Kepulauan Karimunjawa, Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 111-122.
- Sundah, G. T., Schadu, J. N. W., Warouw, V., Kumampung, D. R., Paransa, D. S. J., Mokolensang, J. 2021. Inventarisasi Sampah Anorganik pada Ekosistem Mangrove Pulau Bunaken Bagian Timur. *Jurnal Ilmiah Platax*, 9(2), 262–270.
- United Nations Environment Programme. 2011. Emerging Issues in Our Global Environment. Nairobi (KE) UNEP. p 79.
- United Nations Environment Programme. 2016. Marine Plastic Debris and Microplastics – Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change. United Nations Environment Programme, Nairobi. p 252.
- Yang, Y., Xie, E., Du, Z., Peng, Z., Han, Z., Li, Zhao., Qin, Y., Xue, M., Li, F., Hua, K., Yang, X. 2023. Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Environmental Science and Technology*, 57(30), 10911-10918.