

Kajian Distribusi Mikroplastik dan Analisis Polimer Pada Sedimen dan Air Laut (*Literature Review*)

Wike Aulia Firnanda¹, Engki A Kisnarti², Ima Nurmalia Permatasari³

^{1,2,3}Prodi Oseanografi, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah

Korespondensi: engkiandri@hangtuah.ac.id

Abstrak

Limbah plastik, khususnya mikroplastik, telah menjadi masalah lingkungan yang serius dan mengancam keseimbangan ekosistem laut secara global. Sekitar 80% sampah laut berasal dari aktivitas daratan, terutama di kawasan pesisir yang padat aktivitas manusia dan pariwisata. Studi ini menyoroti pencemaran mikroplastik di zona intertidal Pantai Kebagu dan Pantai ODEC, Sabah, Malaysia, serta pesisir selatan Laut Kaspia, Iran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pantai Kebagu memiliki kelimpahan plastik lebih tinggi (28,7 g) dibanding Pantai ODEC (13,4 g), didominasi oleh *polypropylene* (PP) dan *polyethylene* (PE). Di Laut Kaspia, mikroplastik terdeteksi dalam sedimen dengan konsentrasi 25-330 partikel per kilogram, yang didominasi serat plastik *polistirena* (PS) dan *polietilena* (PE). Mikroplastik ini berpotensi mengganggu kesehatan biota laut dan merusak rantai makanan karena sifatnya yang sulit terurai dan kemampuannya mengakumulasi *Polutan Organik Persisten* (POPs). Dengan meningkatnya aktivitas manusia dan polusi plastik, perlu adanya upaya deteksi yang lebih baik, seperti menggunakan teknik FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dan spektroskopi mikro-Raman, untuk memahami komposisi dan dampak mikroplastik terhadap ekosistem. Penelitian ini menekankan perlunya pengelolaan sampah yang lebih efektif untuk menjaga keberlanjutan lingkungan laut.

Kata kunci: Mikroplastik, Pencemaran Laut, Zona Intertidal, Polimer Plastik, FTIR, Ekosistem Pesisir

Abstract

Plastic waste, particularly microplastics, has become a significant environmental issue threatening the balance of marine ecosystems worldwide. Approximately 80% of marine debris originates from land-based activities, especially in coastal areas with high human activity and tourism. This study highlights microplastic pollution in the intertidal zones of Kebagu Beach and ODEC Beach, Sabah, Malaysia, as well as the southern coast of the Caspian Sea in Iran. The findings indicate that Kebagu Beach exhibits a higher abundance of plastic waste (28.7 g) compared to ODEC Beach (13.4 g), predominantly composed of polypropylene (PP) and polyethylene (PE). In the Caspian Sea, microplastics were detected in sediments with concentrations ranging from 25 to 330 particles per kilogram, primarily consisting of polystyrene (PS) and polyethylene (PE) fibers. These microplastics pose a potential threat to marine organisms' health and the food chain due to their persistent nature and ability to accumulate Persistent Organic Pollutants (POPs). With increasing human activity and plastic pollution, enhanced detection methods such as FTIR and micro-Raman spectroscopy are essential for understanding the composition and impact of microplastics on ecosystems. This research emphasizes the need for more effective waste management to protect marine ecosystems.

Key words: Microplastics, Marine Pollution, Intertidal Zone, Plastic Polymers, FTIR, Coastal Ecosystems.

PENDAHULUAN

Plastik mendominasi sampah laut di seluruh dunia, tidak terbatas pada wilayah tertentu melainkan telah tersebar luas di berbagai perairan global (Coe dan Rogers., 1997; Andrady dkk., 2010; Coe dan Rogers., 2012; Kisanarti dkk., 2024). Sekitar 80% dari sampah laut diyakini berasal dari aktivitas di daratan. Limbah padat, baik yang dibuang dari daratan maupun yang berasal dari kapal, terus-menerus mengganggu keseimbangan ekosistem laut (Krelling dkk., 2017; Kisanarti dkk., 2024). Lokasi dengan aktivitas manusia dan pariwisata yang tinggi berpotensi menjadi sumber utama kelimpahan sampah plastik, karena peningkatan limbah plastik dari kegiatan wisata, perdagangan, dan infrastruktur pantai yang sering kali tidak dikelola dengan baik, sehingga sampah plastik dapat terakumulasi dan mengancam ekosistem laut di wilayah yang padat aktivitas manusia seperti pada penelitian di dua pantai Sabah, Malaysia (Thompson dkk., 2004; Zahari dkk., 2022; Mehdinia dkk., 2020). Akumulasi plastik yang mencemari lautan dapat bertahan selama puluhan tahun karena sifat kimianya yang menjadikannya sulit untuk terurai, sehingga sampah plastik ini dapat diklasifikasikan berdasarkan ukurannya (Auka dkk., 2017; Zahari dkk., 2022).

Berbagai ukuran polimer plastik secara umum diantaranya yaitu makroplastik (> 20 mm), mesoplastik (5–10 mm), dan mikroplastik (< 5 mm) (Zahari dkk., 2022). Sampah laut yang ringan seperti styrofoam, kantong plastik, dan bungkus makanan plastik mudah terbawa arus laut, memungkinkan limbah tersebut berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain dan melintasi batas wilayah (Moore dkk., 2001; Kisanarti dkk., 2024). Dalam hal ini, arus laut memiliki peran penting dalam penyebaran sampah plastik, karena plastik yang masuk ke laut sering kali mengapung di permukaan dan terbawa arus ke berbagai daerah, memperluas jangkauan pencemarannya (Stevenson., 2011; Li dkk., 2016; Sherman dan Seville., 2016; Rizal dkk., 2021; Faizal dkk., 2022; Kisanarti dkk., 2024).

Plastik yang dibuang ke laut akan terurai secara perlahan melalui proses fisik, kimia, dan biologis, membentuk partikel-partikel kecil yang dikenal sebagai mikroplastik (Ernst dkk., 2000; Zahari dkk., 2022). Mikroplastik yang terbawa arus laut dapat menyebar ke berbagai perairan dan terjebak dalam tubuh organisme laut seperti ikan, plankton, dan kerang, serta mengendap di sedimen dasar laut. Ketika mikroplastik masuk ke dalam tubuh organisme ini, mereka dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan dan merusak keseimbangan ekosistem (Ernst dkk., 2000; Andrady., 2010; Andrady., 2011; Zahari dkk., 2022). Di kawasan Laut Kaspia, khususnya di pesisir utara Iran, perkembangan pariwisata yang pesat didorong oleh iklim yang lembap dan daya tarik pesisir selatan. Namun, hingga kini, kajian terkait kontaminasi mikroplastik di

lingkungan laut dan darat di wilayah ini masih sangat terbatas. Peningkatan aktivitas manusia dan pariwisata yang intensif dapat berkontribusi signifikan terhadap akumulasi mikroplastik di perairan Kaspia, yang berpotensi menimbulkan dampak jangka panjang terhadap ekosistem lokal.

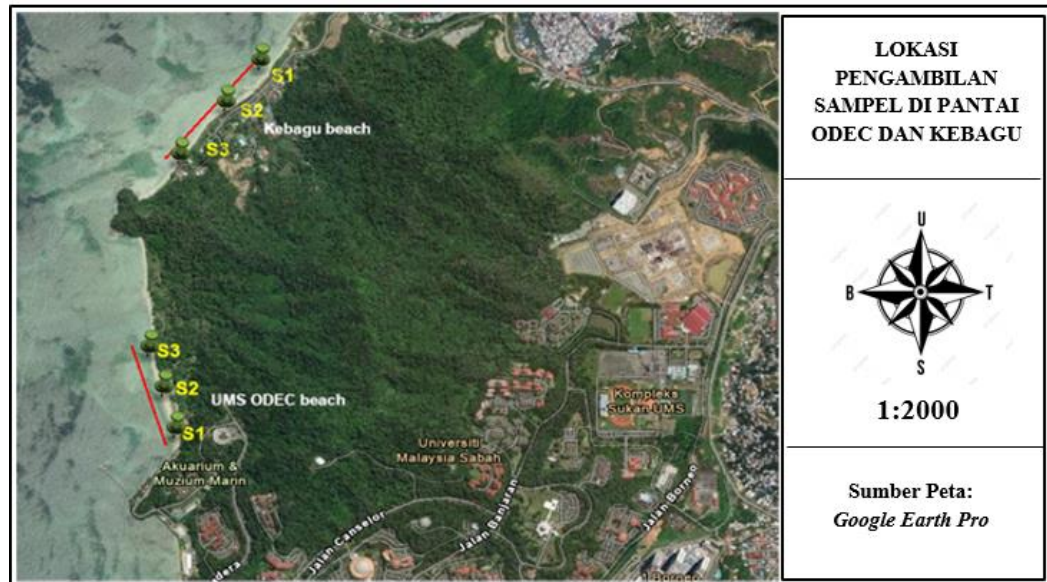
Seiring waktu, mikroplastik ini dapat masuk ke rantai makanan, sehingga berdampak negatif pada kesehatan makhluk hidup dan keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Lim dkk., 2023). Seperti pada di dua pantai terpilih di Sabah Malaysia, yang menjelaskan kelimpahan mikroplastik dan potensi kerusakan pada ekosistem laut di perairan tersebut (Zahari dkk., 2022). Akumulasi mikroplastik dalam biota laut ini dapat mengganggu keseimbangan ekosistem, karena berdampak buruk pada kesehatan satwa laut dan merusak rantai makanan. Selain itu, mikroplastik yang terendap di sedimen juga dapat menurunkan kualitas lingkungan perairan dalam jangka panjang. Dampak negatifnya terhadap ekosistem laut sangat signifikan, mengancam kehidupan bawah laut serta keberlanjutan sumber daya air (John dkk., 2022; Sarvajayakesavalu dkk., 2023). Literatur review ini bertujuan untuk memahami sejauh mana mikroplastik memengaruhi lingkungan perairan, serta implikasinya terhadap kesehatan biota laut dan keseimbangan ekosistem secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai pencemaran lingkungan oleh mikroplastik telah menjadi topik penting dalam upaya melindungi ekosistem laut. Mikroplastik, partikel kecil yang berasal dari pecahan plastik berukuran kurang dari 5 mm, telah terdeteksi di berbagai bagian dunia, termasuk di perairan laut dan sedimen dasar laut. Deteksi dan analisis mikroplastik memerlukan metodologi yang teliti untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Studi di perairan Sabah, Malaysia, dan pesisir selatan Laut Kaspia di Iran menjadi contoh upaya penting dalam mengidentifikasi kelimpahan mikroplastik dan dampak potensialnya terhadap ekosistem lokal yang terpapar aktivitas pariwisata yang intensif.

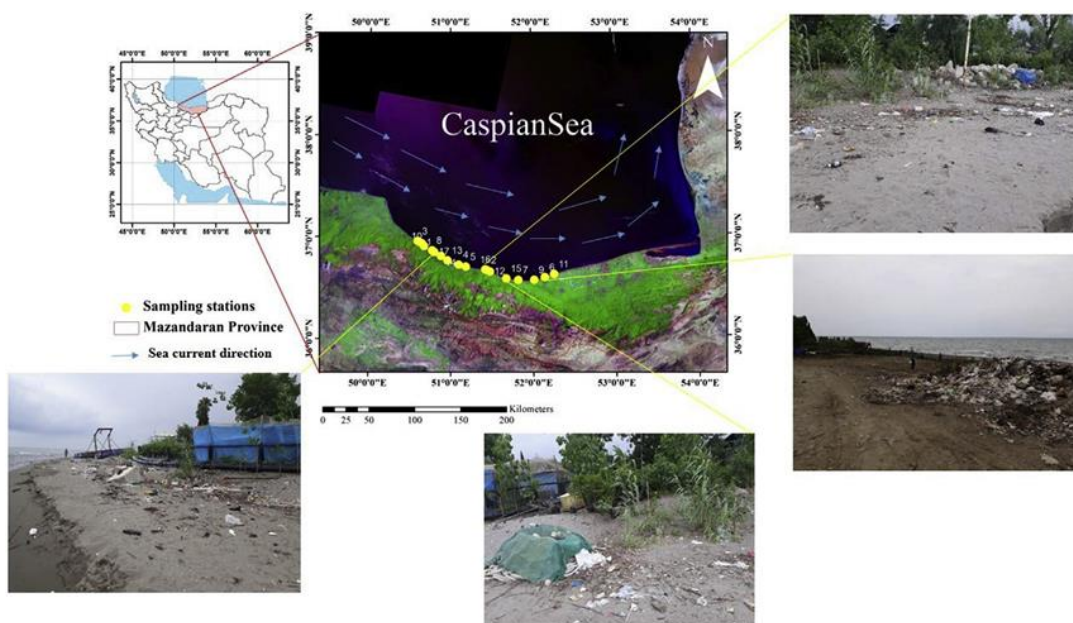
Penelitian tentang mikroplastik di perairan Sabah, Malaysia, difokuskan pada dua lokasi utama: zona pasang surut di Pantai ODEC dan Pantai Kebagu. Zona pasang surut ODEC merupakan area dengan variasi pasang surut yang intens, sedangkan Pantai Kebagu adalah kawasan pantai yang juga mengalami tekanan dari aktivitas manusia. Kedua lokasi ini dipilih untuk mengidentifikasi perbedaan kelimpahan dan distribusi mikroplastik di area yang terpengaruh pasang surut dan aktivitas pesisir, guna memahami bagaimana karakteristik lingkungan masing-masing memengaruhi

konsentrasi mikroplastik. Pengambilan sampel mikroplastik dilakukan pada bulan Maret 2018, saat kondisi lingkungan cukup stabil, sehingga memungkinkan analisis yang akurat mengenai distribusi mikroplastik di kedua lokasi tersebut (Zahari dkk., 2022).



(Sumber: Zahari dkk., 2022)

Gambar 1. Lokasi pengambilan pengambilan sampel di Pantai ODEC dan Pantai Kebagu, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia.



(Sumber: Mehdinia dkk., 2020)

Gambar 2. Lokasi pengambilan 17 sampel dan di Pantai Kaspia Selatan di Provinsi Mazandaran.

Tabel 1. Beberapa sumber dan metode dari studi literatur

Sumber	Metode
Zahari dkk., 2022	Pengambilan sampel sedimen dilakukan di dua lokasi, yaitu Pantai Kebagu dan Pantai ODEC Malaysia, di zona pasang surut. Terdapat tiga lokasi pengambilan sampel yang dipilih secara acak (S1, S2, dan S3) di setiap stasiun sebelum pantai rekreasi dan non-rekreasi, dengan jarak 100 m antar titik di sepanjang zona pasang surut. Sampel sedimen diambil pada kedalaman 0–5 cm dengan menggunakan alat sedimen grab berukuran 20 cm. Sedimen yang diambil dimasukkan ke dalam kantong plastik berlabel dan dibawa ke laboratorium. sampel dikeringkan pada suhu kamar, kemudian diayak menggunakan saringan baja tahan karat dengan ukuran 1 mm. Partikel plastik yang lolos dari saringan dipisahkan menggunakan metode flotasi dengan larutan NaCl (kepadatan 1,2 g/cm ³) dalam air suling. Partikel plastik disaring menggunakan kertas saring Whatman dan pompa vakum. Setelah itu, residu NaCl dibersihkan dengan air suling, dan plastik kering yang tertinggal dikeringkan dalam oven hingga beratnya stabil. Identifikasi jenis polimer plastik dilakukan pada sampel dari ODEC dan sampel dari Kebagu, yang dipotong-potong. Potongan sampel dianalisis dengan spektrometer FTIR (Perkin-Elmer Spectrum 100) pada rentang gelombang 4000–450 cm ⁻¹ , menghasilkan spektrum %T.
Mehdinia dkk., 2020	Pengambilan sampel dilakukan di pantai barat laut Provinsi Mazandaran, selatan Laut Kaspia, yang populer dan ramai dikunjungi wisatawan terutama saat musim semi dan panas. Sebanyak 17 sampel diambil menggunakan Van Veen sediment grab pada Juli 2018. Tiga sub-sampel (total 4 kg) dikumpulkan secara acak dari sedimen 10 cm teratas dalam area 1 m ² di setiap lokasi. Semua sampel dicampur dan disimpan pada suhu -4°C di laboratorium hingga analisis. Di laboratorium, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 48 jam. Kemudian, 200 g sedimen kering dipilih dan dicampur dengan 200 mL H ₂ O ₂ 30% selama 8 hari untuk menghilangkan bahan organik. Setelah itu, sampel disaring dengan vakum, dibilas dengan air Milli-Q, dan dikeringkan

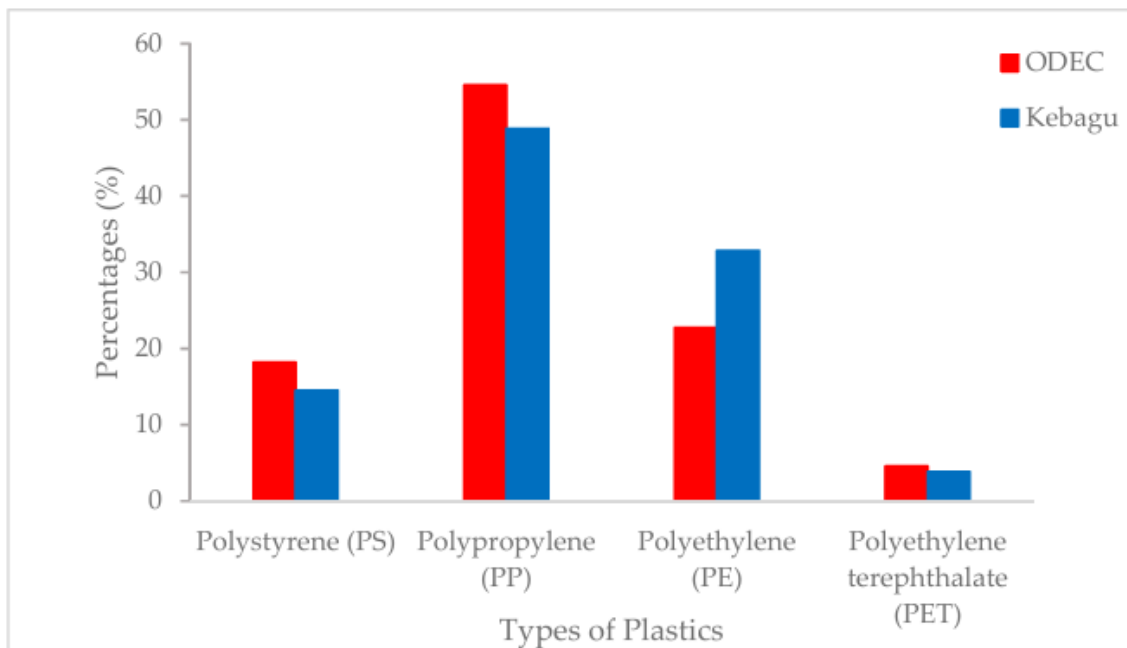
	kembali pada suhu 60°C. Pengamatan visual kurang akurat untuk identifikasi mikroplastik. Karena itu, struktur spesifik, morfologi, dan komposisi kimia mikroplastik dianalisis menggunakan mikroskop elektron pemindaian emisi medan (FE-SEM; TESCAN MIRA3) dengan penganalisis EDS, yang memungkinkan identifikasi morfologi dan komposisi unsur mikroplastik. Partikel yang dipilih ditempelkan pada pita perekat, lalu dilapisi emas sebelum analisis FE-SEM. Jenis polimer mikroplastik kemudian diidentifikasi dengan spektroskop mikro-Raman (uRaman-532-Ci) menggunakan laser 532 nm, yang merupakan metode non-invasif yang efektif untuk analisis komposisi polimer mikroplastik.
Andrady., 2011	Untuk mengidentifikasi mikroplastik, sampel air laut pertama-tama disaring menggunakan filter kasar untuk menghilangkan sampah yang lebih besar. Untuk sampel sedimen, material dicampur dengan air garam agar mikroplastik bisa mengapung ke permukaan. Setelah itu, sampel air permukaan yang mengandung mikroplastik diambil untuk analisis. Proses pemekatan melalui penguapan juga digunakan untuk mengonsentrasikan mikroplastik. Mikroplastik kemudian dapat dilihat di bawah mikroskop setelah diberi pewarna khusus yang hanya menempel pada plastik. Untuk menghilangkan kontaminan lain, sampel dicerna dengan asam mineral encer. Akhirnya, mikroplastik yang terpisah diidentifikasi dengan menggunakan berbagai alat analisis seperti mikroskop optik, mikroskop elektron, spektroskopi Raman, dan spektroskopi FTIR.

Lokasi pengambilan sampel pada riset di pesisir selatan Laut Kaspia di Iran, difokuskan pada kawasan pantai yang dipengaruhi oleh aktivitas pariwisata dan permukiman di sepanjang garis pantai. Lokasi ini dipilih untuk mengevaluasi tingkat pencemaran mikroplastik di area yang mengalami tekanan lingkungan akibat interaksi manusia yang intens, terutama dari wisatawan dan penduduk lokal. Pengambilan sampel dilakukan pada beberapa titik di sepanjang pantai utara Iran pada bulan Juli 2018, memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi variasi distribusi dan konsentrasi mikroplastik di kawasan pesisir ini (Mehdinia dkk., 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis polimer mikroplastik yang ditemukan di perairan Sabah, Malaysia

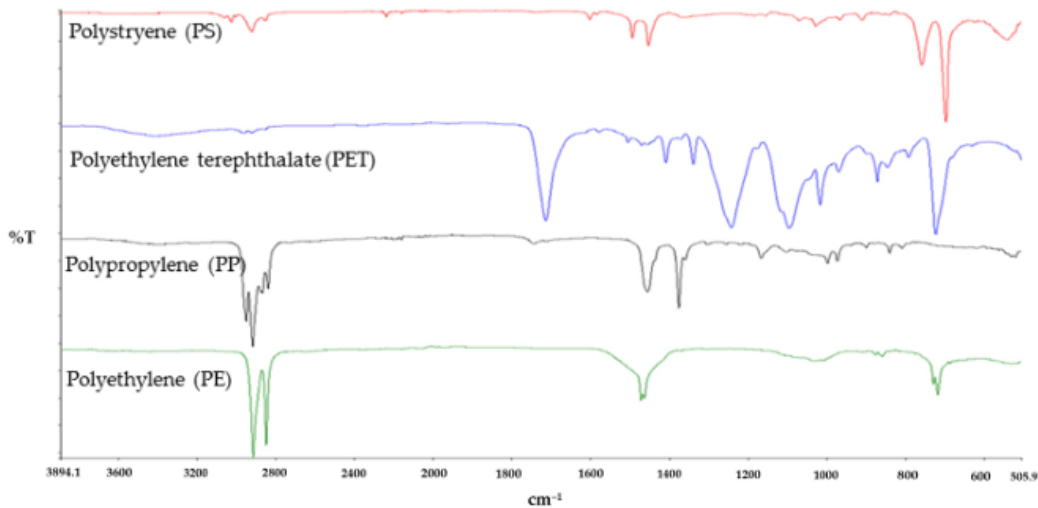
Penelitian mengenai polusi plastik di lingkungan pesisir semakin penting seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap dampak limbah plastik terhadap ekosistem laut. Salah satu studi yang meneliti hal ini adalah identifikasi, kelimpahan, dan karakterisasi kimia makroplastik, mesoplastik, dan mikroplastik di zona intertidal pada dua pantai terpilih di Sabah, Malaysia, yaitu Pantai Kebagu dan Pantai ODEC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pantai Kebagu memiliki kelimpahan sampah plastik lebih tinggi 28,7 g dibandingkan dengan Pantai ODEC 13,4 g (Zahari dkk., 2022).



(Sumber: Zahari dkk., 2022)

Gambar 3. Persentase serpihan plastik yang dikumpulkan dari pantai ODEC dan Kebagu.

Perbedaan ini dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang lebih intens di sekitar Pantai Kebagu, seperti kegiatan rumah tangga dan penangkapan ikan. Sebagian besar plastik yang ditemukan berasal dari barang sehari-hari seperti kemasan makanan, mainan anak-anak, botol plastik, kantong plastik, dan sedotan. Berdasarkan analisis FTIR, plastik yang paling dominan adalah *polypropylene* (PP) dan *polyethylene* (PE), yang sering digunakan dalam kemasan dan produk sehari-hari, diikuti oleh *polystyrene* (PS) dan *polyethylene terephthalate* (PET) (Zahari dkk., 2022).

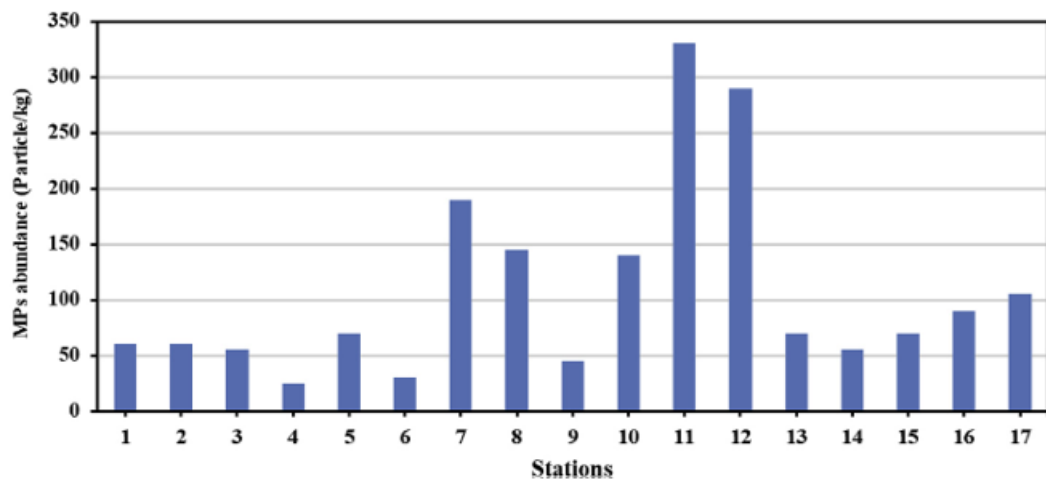


(Sumber: Zahari dkk., 2022)

Gambar 4. Spektrum FTIR plastik yang ditemukan di kedua pantai.

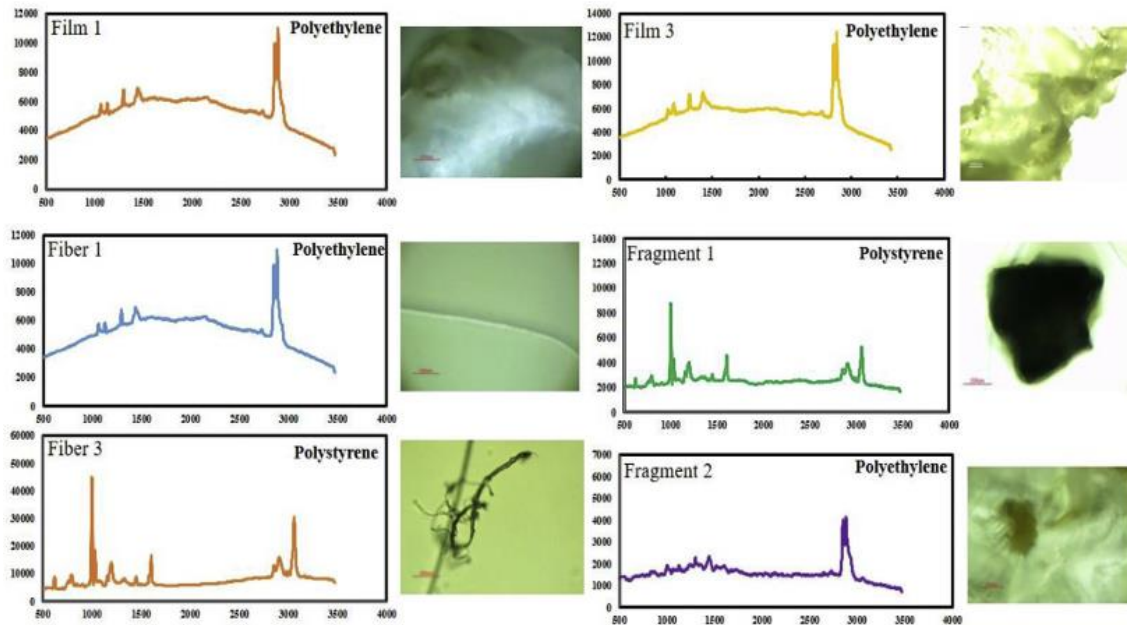
Jenis polimer mikroplastik yang ditemukan di Pantai Selatan Laut Kaspia, Iran

Penelitian polusi mikroplastik di sedimen pantai selatan Laut Kaspia, yang terletak di utara Iran ini merupakan studi pertama yang melaporkan keberadaan mikroplastik pada sedimen pantai wilayah tersebut, mengungkapkan bahwa mikroplastik ditemukan di semua lokasi pengambilan sampel, dengan jumlah bervariasi antara 25 hingga 330 partikel per kilogram sedimen.



(Sumber: Mehdinia dkk., 2020)

Gambar 5. Perbandingan kelimpahan dan distribusi ukuran mikroplastik di berbagai stasiun yang diteliti.



(Sumber: Mehdinia dkk., 2020)

Gambar 6. Spektrum Raman dari mikroplastik yang dipilih beserta gambar permukaan plastik yang sesuai.

Sebagian besar mikroplastik yang ditemukan berbentuk serat, dan polimer yang dominan adalah *polistirena* (PS) serta *polietilena* (PE). Distribusi mikroplastik menunjukkan pola yang tidak merata, dengan konsentrasi lebih tinggi ditemukan di dekat muara sungai dan wilayah yang memiliki aktivitas pariwisata serta perikanan yang lebih intens. Mikroplastik berukuran kecil didominasi oleh partikel berukuran 250–500 μm , dan fragmentasi plastik besar menjadi partikel lebih kecil disebabkan oleh abrasi fisik dan proses kimia. Serat menjadi bentuk mikroplastik yang paling umum, yang kemungkinan besar berasal dari kegiatan perikanan dan limbah domestik yang mengalir melalui sungai lokal (Mehdinia dkk., 2020).

Mikroplastik juga ditemukan di tempat-tempat terpencil seperti Antartika. Mikroplastik merupakan fragmen plastik kecil yang berasal dari berbagai sumber, seperti bahan kemasan plastik dan limbah industri. Plastik ini menumpuk di lingkungan laut karena sifatnya yang sulit terurai. Penelitian mengidentifikasi bahwa *Polutan Organik Persisten* (POPs), yang terlarut dalam air laut, menempel pada mikroplastik dan dapat diakumulasi oleh organisme laut melalui rantai makanan. Partikel mikroplastik dapat memindahkan racun ini ke biota laut, yang kemudian dapat berdampak pada ekosistem dan kesehatan manusia. Peningkatan jumlah plastik mikro di laut disebabkan oleh penggunaan plastik yang terus meningkat di berbagai industri, terutama untuk kemasan.

Plastik-plastik ini terbawa ke laut melalui berbagai jalur, termasuk limbah darat dan hilangnya jaring ikan plastik dari kapal nelayan. Penguraian plastik di lingkungan laut berlangsung sangat lambat, sehingga plastik mikro ini terus menumpuk dan menimbulkan risiko bagi ekosistem laut (Andrady, 2011).

Analisis hasil jenis polimer mikroplastik di perairan global

Penelitian mengenai polusi plastik, khususnya mikroplastik, semakin relevan karena dampaknya yang signifikan terhadap ekosistem laut dan kehidupan manusia. Penelitian di Pantai Kebagu dan Pantai ODEC, Sabah, Malaysia, menunjukkan bahwa aktivitas manusia memengaruhi kelimpahan mikroplastik, dengan Pantai Kebagu yang memiliki aktivitas rumah tangga dan perikanan lebih tinggi mencatat jumlah sampah plastik 28,7 g dibandingkan Pantai ODEC 13,4 g. Barang-barang plastik sehari-hari seperti kemasan makanan, botol plastik, dan sedotan menjadi sumber utama pencemaran, dengan polimer dominan berupa *polypropylene* (PP) dan *polyethylene* (PE), diikuti oleh *polystyrene* (PS) dan *polyethylene terephthalate* (PET). Di sisi lain, penelitian di pantai selatan Laut Kaspia, Iran, menemukan mikroplastik dengan konsentrasi bervariasi antara 25 hingga 330 partikel per kilogram sedimen, didominasi bentuk serat yang berasal dari limbah domestik dan perikanan. Konsentrasi tertinggi ditemukan di dekat muara sungai dan wilayah dengan aktivitas pariwisata yang intens, menunjukkan distribusi yang tidak merata. Polimer utama yang ditemukan adalah *polystyrene* (PS) dan *polyethylene* (PE), serupa dengan hasil di Sabah, mengindikasikan penggunaan plastik secara global sebagai masalah utama. Mikroplastik juga ditemukan di lokasi terpencil seperti Antartika, yang sebagian besar berasal dari bahan kemasan dan limbah industri yang terbawa arus laut. Penelitian ini menunjukkan kemampuan mikroplastik untuk mengadsorpsi Polutan Organik Persisten (POPs), yang dapat terakumulasi dalam organisme laut melalui rantai makanan, sehingga meningkatkan risiko terhadap ekosistem laut dan kesehatan manusia. Ketiga studi ini menyoroti faktor utama pencemaran mikroplastik, seperti intensitas aktivitas manusia, fragmentasi plastik besar menjadi mikroplastik, serta dominasi jenis polimer tertentu seperti PE dan PP. Temuan ini menegaskan pentingnya mitigasi pencemaran melalui pengelolaan limbah plastik yang lebih baik, pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, dan peningkatan kesadaran masyarakat akan dampak polusi plastik terhadap lingkungan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa plastik, terutama mikroplastik, merupakan ancaman serius bagi ekosistem laut di berbagai wilayah dunia. Mayoritas sampah plastik berasal dari aktivitas manusia di daratan, terutama di kawasan pesisir dengan tekanan tinggi akibat pariwisata dan aktivitas ekonomi. Mikroplastik ditemukan dalam jumlah signifikan di perairan Sabah, Malaysia, dengan kepadatan rata-rata 45,6 partikel/m², serta di Laut Kaspia, Iran, dengan kepadatan berkisar antara 12,4 hingga 67,3 partikel/m³. Jenis polimer yang dominan adalah *polyethylene* (PE) (43,2%) dan *polypropylene* (PP) (27,8%), yang umum digunakan dalam kemasan dan produk sehari-hari. Distribusi mikroplastik menunjukkan pola yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia, arus laut, serta proses fisik dan kimia yang menyebabkan fragmentasi plastik menjadi partikel lebih kecil. Serat mikroplastik merupakan kategori yang paling banyak ditemukan, mencapai 56,7% dari total sampel, yang kemungkinan besar berasal dari limbah domestik serta industri perikanan. Polutan yang menempel pada mikroplastik dapat masuk ke dalam rantai makanan, berpotensi membahayakan organisme laut dan manusia. Upaya mitigasi yang efektif, termasuk regulasi limbah plastik, teknologi pengolahan limbah, serta peningkatan kesadaran masyarakat, diperlukan untuk menjaga keseimbangan ekosistem laut dan kesehatan lingkungan secara global.

REFERENSI

- Andrady, A. L. (2010). Measurement and Occurrence of Microplastics in the Environment. In Presentation at the 2nd research workshop on microplastic debris. Tacoma, WA.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment international*, 102, 165-176.
- Coe, J. M., & Rogers, D. (Eds.). (2012). *Marine debris: sources, impacts, and solutions*. Springer Science & Business Media.
- Ernst, T., Popp, R., & van Eldik, R. (2000). Quantification of heavy metals for the recycling of waste plastics from electrotechnical applications. *Talanta*, 53(2), 347-357.
- John, J., Nandhini, A. R., Velayudhaperumal Chellam, P., & Sillanpää, M. (2022). Microplastics in mangroves and coral reef ecosystems: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(1), 397-416.
- Krelling, A. P., Souza, M. M., Williams, A. T., & Turra, A. (2017). Transboundary movement of marine litter in an estuarine gradient: evaluating sources and sinks using hydrodynamic modelling and ground truthing estimates. *Marine pollution bulletin*, 119(1), 48-63.

- Kisnarti, E. A., Ningsih, N. S., Putri, M. R., Hendiarti, N., & Mayer, B. (2024). Dispersion of surface floating plastic marine debris from Indonesian waters using hydrodynamic and trajectory models. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115779.
- Kisnarti, E. A., & Mevia, S. K. A. (2024). Abundance of Marine Debris on Satonda Island, West Nusa Tenggara, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1350, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
- Lim, E. V., Nilamani, N., Razalli, N. M., Zhang, S., Li, H., Haron, M. L., & Tan Shau Hwai, A. (2023). Abundance and Distribution of Macro-and Mesoplastic Debris on Selected Beaches in the Northern Strait of Malacca. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5), 1057.
- Mehdinia, A., Dehbandi, R., Hamzehpour, A., & Rahnama, R. (2020). Identification of microplastics in the sediments of southern coasts of the Caspian Sea, north of Iran. *Environmental Pollution*, 258, 113738.
- Sarvajayakesavalu, S., Chareonsudjai, P., Mongkonthum, W., & Mathaiah, R. (2023). A perspective study on occurrence, impacts and sources of microplastics in the marine environment of south China Sea and Gulf of Thailand. *Research Journal of Chemistry and Environment*. Vol, 27, 6.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.
- Zahari, N. Z., Tuah, P. M., Junaidi, M. R., & Mohd Ali, S. A. (2022). Identification, abundance, and chemical characterization of macro-, meso-, and microplastics in the intertidal zone sediments of two selected beaches in Sabah, Malaysia. *Water*, 14(10), 1600.