

Analisis Keberadaan Mikroplastik Pada Air dan Sedimen di Danau Limboto

Muhamad Tri Rezki Basalama^{1*}, Wiwin Rewini Kunusa¹ dan Nita Suleman¹

¹Program Studi Kimia, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan kelimpahan mikroplastik pada air dan sedimen di Danau Limboto. Pengambilan sampel dilakukan di empat titik menggunakan metode purposive sampling. Analisis jenis dan kelimpahan mikroplastik dilakukan dengan mikroskop binokuler (perbesaran 4×10) dan spektroskopi FTIR. Hasil penelitian menunjukkan adanya tiga jenis mikroplastik berdasarkan bentuk, yaitu fiber, film, dan fragment, serta dua jenis polimer, yaitu polivinil klorida dan poliamida. Kelimpahan total mikroplastik pada sampel air adalah 940 partikel/m³, dengan kelimpahan tertinggi pada titik 2 (290 partikel/m³) dan terendah pada titik 1 (170 partikel/m³). Pada sampel sedimen, kelimpahan total mikroplastik adalah 2400 partikel/kg, dengan kelimpahan tertinggi pada titik 2 (660 partikel/kg) dan terendah pada titik 1 (540 partikel/kg). Hasil ini menunjukkan distribusi dan variasi kelimpahan mikroplastik yang signifikan di Danau Limboto.

Kata kunci; Mikroplastik, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Danau Limboto

ABSTRACT

This study aims to identify the type and abundance of microplastics in water and sediment in Lake Limboto. Sampling was conducted at four points using a purposive sampling method. Analysis of the type and abundance of microplastics was carried out with a binocular microscope (4×10 magnification) and FT-IR spectroscopy. The results showed the presence of three types of microplastics based on shape, namely fiber, film, and fragment, as well as two types of polymers, namely polyvinyl chloride and polyamide. The total abundance of microplastics in water samples was 940 particles/m³, with the highest abundance at point 2 (290 particles/m³) and the lowest at point 1 (170 particles/m³). In sediment samples, the total abundance of microplastics was 2400 particles/kg, with the highest abundance at point 2 (660 particles/kg) and the lowest at point 1 (540 particles/kg). These results show significant distribution and variation of microplastic abundance in Lake Limboto.

Keywords: Microplastics, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Limboto lake

Received: 09-12-2024, **Accepted:** 10-01-2025, **Online:** 11-04-2025

PENDAHULUAN

Danau merupakan daerah perairan yang terbentuk secara alami, membentuk cekungan air yang luas karena peristiwa alam atau pembuatan manusia yang disengaja untuk menampung air dari hujan, mata air, atau sungai. Danau Limboto, yang terletak di Provinsi Gorontalo, merupakan danau terbesar di wilayah tersebut. Uniknya, danau ini berada dekat dengan pusat kota dan kabupaten Gorontalo, melingkupi lima kecamatan, yaitu Batudaa, Limboto, Tibawa, Telaga, dan Kota Barat (Kimijima et al., 2020).

Danau Limboto memainkan peran penting sebagai sumber pendapatan nelayan, pencegah banjir, sumber air pengairan, dan objek wisata bagi masyarakat di sekitarnya (Noor & Ngabito, 2018). Sampah plastik yang masuk ke sungai dapat terbawa arus menuju danau. Hampir semua sampah plastik di perairan sungai melayang di permukaan air dan mengalir dari sungai, bermuara ke danau. Sampah plastik jenis kantong plastik, tampon, kain, dan pampers bayi cepat terurai (Helfira et al., 2022).

Ketika plastik dibuang ke danau, sangat sulit bagi mikroorganisme untuk menguraikannya. Akibatnya, sampah plastik akan tetap berada di dalam air untuk waktu yang lama atau tenggelam ke dasar danau. Karena plastik membutuhkan waktu beberapa ratus

▪

***Corresponding author:**

rezkibasalama.28@gmail.com

tahun untuk terurai, sampah plastik mendominasi perairan danau dibandingkan dengan jenis sampah lainnya (Hasibuan et al., 2021). Limbah plastik di lingkungan akan mengalami fragmentasi menjadi partikel-partikel plastik yang berukuran kecil melalui proses fisik, kimia, dan proses lainnya, berpotensi menjadi mikroplastik (Fitriyah et al., 2022).

Mikroplastik, yang memiliki ukuran < 5mm, dapat bervariasi dalam ukuran, bentuk, komposisi kimia, dan densitas, berasal dari berbagai sumber. Mikroplastik dibagi menjadi dua jenis, yaitu mikroplastik primer yang diproduksi dalam ukuran mikroskopis dan berasal dari industri, limbah domestik, produk pembersih wajah, dan kosmetik. Mikroplastik sekunder berasal dari fragmentasi plastik berukuran besar menjadi plastik berukuran kecil (Fitriyah et al., 2022).

Mikroplastik adalah bentuk sampah laut yang berpotensi berbahaya karena ukurannya yang sangat kecil, sehingga mudah dicerna oleh organisme air. Ukurannya mirip dengan organisme seperti bentos dan plankton dan dikonsumsi oleh kehidupan akuatik, menyebar lebih jauh di sepanjang rantai makanan zooplankton. Di dalam tubuh manusia, akumulasi dan perpindahan mikroplastik bersama dengan polutan kimiawi dapat menimbulkan konsekuensi kesehatan, termasuk iritasi kulit, gangguan pernapasan, masalah kardiovaskular, gangguan pencernaan, masalah reproduksi, dan peningkatan risiko kanker (Fitriyah et al., 2022).

METODE PENELITIAN

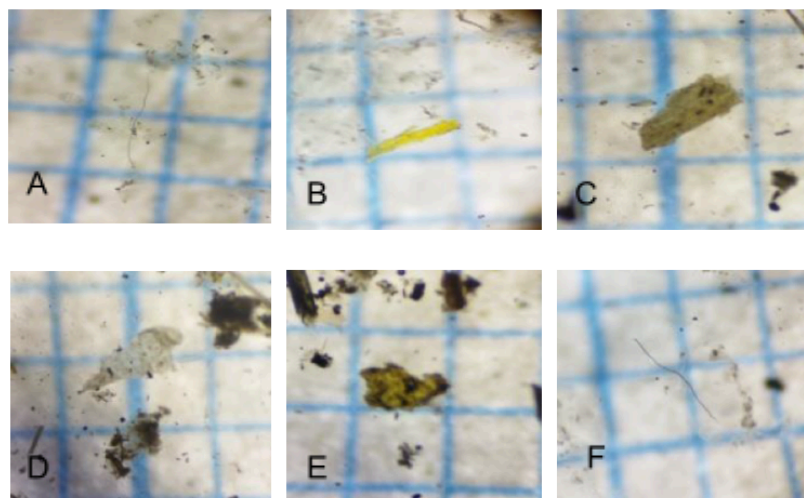
Metode Penelitian ini terdiri dari 4 tahapan yaitu; tahap pertama titik pengambilan sampel dengan menggunakan metode *purposive sampling* yang dilakukan pada 4 titik di danau limboto, tahap kedua teknik pengambilan sampel dimana pada penelitian ini masing-masing sampel diambil 4 kali ulangan, tahap ketiga yaitu pengujian sampel yang meliputi pengujian sampel air dan pengujian sampel sedimen, tahapan keempat dengan menggunakan metodologi NOAA..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis Mikroplastik pada Air dan Sedimen

Jenis Mikroplastik berdasarkan Bentuknya

Sari Dewi et al., (2015) menyatakan bahwa beberapa jenis mikroplastik yang umum dikenal antara lain adalah fragmen, serat, film, dan pelet. Hasil identifikasi mikroplastik pada titik pengambilan sampel air dan sedimen pada perairan danau Limboto menunjukkan adanya mikroplastik berbentuk fragment, film dan fiber. Jenis mikroplastik berdasarkan bentuk dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Mikroplastik yang Ditemukan pada Sampel Air dan Sedimen (A dan D) Fiber, (B dan E) Film, dan (C dan F) Fragment Menggunakan Mikroskop dengan Perbesaran 4×10

Mikroplastik jenis fiber memiliki struktur seperti benang atau serat, yang sejalan dengan pernyataan Riska et al., (2022) yang mengindikasikan bahwa mikroplastik jenis ini dapat berbentuk serat atau jaring ikan. Mikroplastik jenis fiber pada dasarnya berasal dari daerah pemukiman di dekat sungai atau danau, di mana banyak penduduknya yang bekerja sebagai nelayan. Menurut Alam et al., (2019) daerah padat penduduk di mana sungai terus digunakan untuk kegiatan sanitasi seperti mandi, mencuci, atau penggunaan jamban sungai dapat melepaskan mikroplastik jenis fiber dalam jumlah yang signifikan.

Dari hasil analisis mikroplastik jenis fiber merupakan jenis yang banyak ditemukan pada semua titik sampling, baik sampel air ataupun sampel sedimen. Mikroplastik jenis fiber yang berada pada air dan sedimen diduga berasal dari pecahan tali atau alat tangkap ikan seperti kantong plastik yang digunakan nelayan saat menangkap ikan. Namun, mikroplastik jenis fiber tersebut juga dapat berasal dari limbah pembuatan pakaian, tali, alat tangkap, dan jaring. Hal ini sesuai dengan pendapat Leslie, (2015) bahwa fiber sering kali berasal dari bahan-bahan seperti alat tangkap dan pakaian.

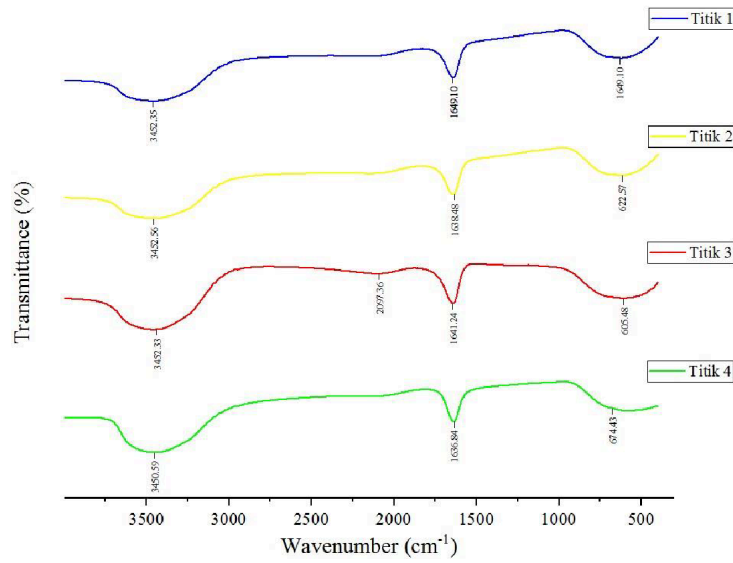
Mikroplastik film diidentifikasi sebagai jenis mikroplastik kedua di Danau Limboto. Jenis ini biasanya berupa lembaran plastik tipis dan transparan yang dihasilkan dari fragmentasi kantong plastik atau kemasan plastik dengan kepadatan rendah lainnya. Kapo et al., (2020) menjelaskan bahwa kantong plastik dan kemasan plastik tipis serupa merupakan bentuk asli dari mikroplastik film sebelum terdegradasi oleh proses alami. Jenis mikroplastik ini telah terdeteksi dalam sampel air dan sedimen, yang mengindikasikan adanya akumulasi sampah plastik yang tinggi seperti kantong plastik, yang merupakan sumber utama mikroplastik film. Akumulasi ini sering kali merupakan hasil dari pembuangan sampah yang tidak tepat, dengan sampah yang berakhir di sungai. Karena densitasnya yang rendah, mikroplastik jenis ini mudah terdispersi dalam air yang mengalir dari sungai ke danau. Sari Dewi et al., (2015) mendeskripsikan mikroplastik film sebagai lapisan tipis plastik dengan densitas yang sangat rendah. Sementara Hastuti et al., (2014) menambahkan bahwa densitasnya bahkan lebih rendah daripada fragmen atau pelet, sehingga lebih mudah menyebar di air.

Jenis mikroplastik ketiga yang teridentifikasi di lokasi pengambilan sampel di Danau Limboto adalah mikroplastik jenis fragment. Mikroplastik jenis fragment dihasilkan dari penguraian produk plastik yang terbuat dari polimer sintesis yang kuat dan biasanya masuk ke dalam air melalui sampah plastik dari daerah tangkapan air. Selain itu, mikroplastik jenis fragment juga berasal dari limbah rumah tangga dan berbagai aktivitas manusia. Menurut Dalimunthe et al., (2021) mengemukakan bahwa mikroplastik jenis fragmen bersumber dari penguraian potongan-potongan plastik yang lebih besar seperti botol minuman, gelas bekas, film mika, potongan wadah galon, kemasan nasi, kemasan makanan cepat saji, dan sampah perkantoran.

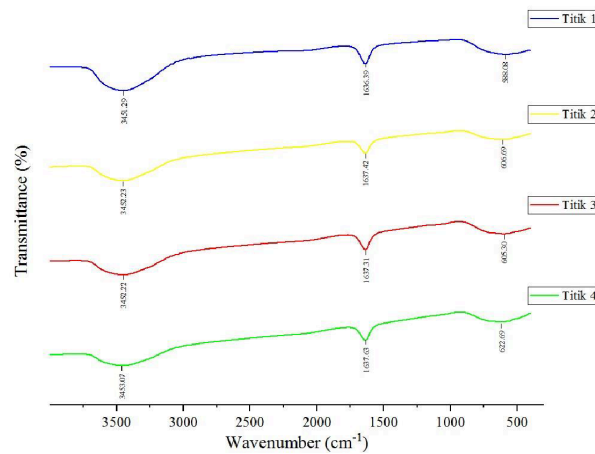
Mikroplastik jenis pellet tidak ditemukan di Danau Limboto. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Dalimunthe et al., (2021) yang mengatakan bahwa mikroplastik jenis pellet tidak ditemukan diduga karena mikroplastik jenis pelet bersumber langsung dari sisa pengolahan industri pabrik plastik. Pendapat ini didukung oleh Sari et al., (2021) mikroplastik jenis pellet merupakan mikroplastik primer yang langsung diproduksi oleh pabrik sebagai bahan baku pembuatan produk plastik. Maulina, (2016) menambahkan bentuk mikroplastik pellets termasuk kedalam mikroplastik primer yang berasal dari bahan baku pembuatan plastik yang dibuat oleh pabrik yang biasanya ditemukan pada kawasan industri. Sehingga kegiatan industri pembuatan plastik memiliki dampak signifikan terhadap jumlah mikroplastik jenis pellet di perairan. Karena kondisi daerah aliran sungai yang mengalir ke Danau Limboto tidak memiliki industri pembuatan plastik, maka mikroplastik jenis pellet tidak ditemukan pada semua titik sampling.

Jenis Mikroplastik berdasarkan Polimer Penyusun

Identifikasi polimer penyusun pada sampel air dan sedimen dilakukan dengan menggunakan spektroskopi FTIR yang dapat dilihat pada tabel 1 dan 2. Kemudian pada gambar 2 dan 3 merupakan hasil dari analisis spektroskopi FT - IR dikonfirmasi gugus fungsi yang menunjukkan bahwa terdapat beberapa jenis polimer penyusun mikroplastik diantaranya yaitu, poliamida (*Nylon*), dan polivinil chloride (*PVC*).



Gambar 2. Spektrum Fourier Transform Infrared pada Sampel Air



Gambar 3. Spektrum Fourier Transform Infrared pada Sampel Sedimen

Tabel 1. Analisis Uji FTIR pada Sampel Air

Nama Sampel	Bilangan gelombang hasil analisis FT-IR (cm ⁻¹)	Ikatan Senyawa	Referensi
Titik 1	3452.35	OH <i>Stretch</i>	(Haris et al., 2022)
	1640.10	NH <i>Bend</i> , C=C <i>Strech</i>	(Susmanto et al., 2021)
	622.37	C-Cl	(Yuniari, 2014)
Titik 2	3452.56	OH <i>Stretch</i>	(Syakir et al., 2015)
	1638.48	NH <i>Bend</i> , C=C <i>Strech</i>	(Rahmawati et al., 2009)
	622.57	C-Cl	(Widiastuti et al., 2023)

Titik 3	3452.33	OH <i>Stretch</i>	(Ulyarti et al., 2020)
	1641.24	NH <i>Bend</i> , C=C <i>Stretch</i>	(Dompeipen, 2019)
	605.48	C-Cl	(Yuniari, 2014)
Titik 4	3450.59	OH <i>Stretch</i>	(Handayani, 2017)
	1636.84	NH <i>Bend</i> , C=C <i>Stretch</i>	(Mahmiah et al., 2023)
	574.43	C-Cl	(Widiastuti et al., 2023)

Table 2. Analisa Uji FTIR pada Sampel Sedimen

Nama Sampel	Bilangan gelombang hasil analisis FT-IR (cm ⁻¹)	Ikatan Senyawa	Referensi
Titik 1	3452.35	OH <i>Stretch</i>	(Haris et al., 2022)
	1640.10	NH <i>Bend</i> , C=C <i>Stretch</i>	(Susmanto et al., 2021)
	622.37	C-Cl	(Yuniari, 2014)
Titik 2	3452.56	OH <i>Stretch</i>	(Syakir et al., 2015)
	1638.48	NH <i>Bend</i> , C=C <i>Stretch</i>	(Rahmawati et al., 2009)
	622.57	C-Cl	(Widiastuti et al., 2023)
Titik 3	3452.33	OH <i>Stretch</i>	(Ulyarti et al., 2020)
	1641.24	NH <i>Bend</i> , C=C <i>Stretch</i>	(Dompeipen, 2019)
	605.48	C-Cl	(Yuniari, 2014)
Titik 4	3450.59	OH <i>Stretch</i>	(Handayani, 2017)
	1636.84	NH <i>Bend</i> , C=C <i>Stretch</i>	(Mahmiah et al., 2023)
	574.43	C-Cl	(Widiastuti et al., 2023)

Pendugaan adanya polimer jenis poliamida (*Nylon*) ditandai dengan panjang gelombang pada rentang 1650 - 1620 cm⁻¹ terdapatnya ikatan NH *Bend*. Ikatan NH merupakan penyusun utama dari polyamida atau diketahui juga sebagai nylon (Maulina, 2016). Yogi et al., (2024) menjelaskan bahwa Poliamida diproduksi melalui kondensasi diamina dan asam dibasa, di mana ikatan antara asam dan amida menjadi dasar dari beragamnya sifat fisik dan kimia dari bahan tersebut. Apipah & Juansah, (2014) menekankan bahwa polimer ini sangat kuat karena sulit dipatahkan, ringan, fleksibel, elastis, dan bebas dari monomer sisa. Polimer nilon, yang terdiri dari poliamida, digunakan dalam pembuatan pakaian, produk tali-temali, bulu sikat gigi, dan barang-barang lain yang bahan baku utamanya adalah nilon.

Polimer polivinil klorida (PVC) diduga terdapat pada sampel dengan rentang panjang gelombang 700 - 550 cm⁻¹. Menurut hasil penelitian Wang et al., (2018) puncak gelombang pada rentang 700-550 cm⁻¹ mengindikasikan adanya vibrasi regangan gugus kimia C-Cl. Polivinil klorida (PVC) merupakan bahan termoplastik yang digunakan sebagai bahan baku penting dalam produksi plastik (Dalimunthe et al., 2021). Sinaga et al., (2023) menambahkan bahwa PVC memiliki stabilitas termal dan kemampuan proses yang lebih rendah dibandingkan dengan polimer umum seperti polietilena (PE), polipropilena (PP), dan poliamida (PA). Polimer ini digunakan dalam pembuatan berbagai produk, termasuk pipa, mainan anak-anak, kemasan plastik, botol deterjen, kantong darah, dan aksesoris medis

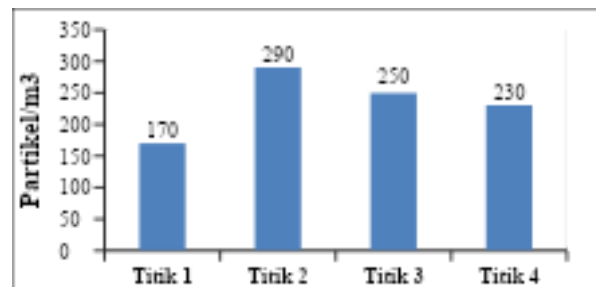
Kelimpahan Mikroplastik pada Air

Kelimpahan Total Mikroplastik

Mikroplastik merupakan partikel plastik dengan rentang ukuran <5 mm (Nur Faujiah et al., 2022). Karena ukurannya yang sangat kecil dan penyebarannya yang luas, mikroplastik dapat memiliki dampak yang besar terhadap lingkungan perairan. Hasil kelimpahan total mikroplastik pada air dalam penelitian ini berasal dari 3 jenis mikroplastik, yaitu jenis fiber, film dan fragment. Total kelimpahan mikroplastik pada air dari 4 titik pengambilan sampel per 100 L sampel air yang ditemukan adalah sebanyak 940 partikel/m³, dengan rata-rata kelimpahan per titik sebanyak 235 partikel/m³. Dengan menggunakan persamaan 1 perhitungan kelimpahan mikroplastik.

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik} = \frac{\text{Jumlah Mikroplastik (partikel)}}{\text{Volume Air Tersaring (M}^3\text{)}} \quad (1)$$

Hasil kelimpahan mikroplastik pada air yang di tinjau dari setiap pengambilan sampel ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Kelimpahan Mikroplastik pada Setiap Titik Pengambilan Sampel

Mikroplastik yang ditemukan pada setiap titik pengambilan sampel antara lain yaitu, pada titik 1 menunjukkan kelimpahan mikroplastik yang paling rendah sebanyak 17 partikel dengan kelimpahan 170 partikel/m³. Titik 1 terletak tidak jauh dari saluran air dan berdekatan dengan kawasan wisata Pentadio Resort, yang dikenal sebagai tempat rekreasi yang banyak dikunjungi. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Xiong et al., (2018) menjelaskan bahwa Kepadatan wisatawan yang tinggi di bagian selatan danau sesuai dengan kelimpahan mikroplastik yang tinggi yang diamati di air danau di dekat daerah tersebut. Oleh karena itu, pariwisata merupakan sumber penting mikroplastik di Danau Qinghai. Penelitian sebelumnya tentang danau-danau terpencil di Mongolia dan Italia juga menganggap pariwisata sebagai sumber penting mikroplastik (Free et al., 2014). Rendahnya jumlah mikroplastik di titik ini disebabkan oleh jaraknya yang jauh dari sumber polusi, seperti saluran air yang membawa limbah domestik. Meskipun berada di area wisata, lokasi yang jauh dari aliran air menyebabkan akumulasi mikroplastik di sini lebih sedikit dibandingkan dengan titik-titik lain.

Titik 2 terdapat mikroplastik sebanyak 29 partikel dengan kelimpahan 290 partikel/m³. pada titik 2 merupakan kelimpahan tertinggi di antara keempat titik. Titik ini terletak dekat dengan pemukiman dan tempat wisata lain, yang menyebabkan tingginya jumlah mikroplastik akibat kebiasaan membuang sampah ke selokan yang bermuara ke danau. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Gosal et al., (2020) menyatakan bahwa pembuangan limbah melalui sistem pembuangan limbah lebih sering terjadi di daerah pedalaman daripada di daerah pesisir. Pernyataan didukung oleh DN, (2021) rumah tangga biasanya membuang sampah mereka di tempat yang mudah dijangkau seperti jalan terdekat, selokan, kolam, danau, atau saluran air permukaan. Hal ini disebabkan karena masyarakat pesisir sering membuang limbah mereka langsung ke laut, sementara daerah pedalaman memiliki lebih banyak selokan dan lebih mudah diakses. Hal ini juga dipengaruhi adanya sebaran sampah plastik pada titik tersebut.

Kemudian pada titik 3 terdapat mikroplastik sebanyak 25 partikel dengan kelimpahan 250 partikel/m³, lebih rendah dari pada titik 2 tetapi lebih tinggi dari titik 1. Hal ini bisa dipengaruhi oleh aliran sungai yang membawa mikroplastik dari daerah lain menuju danau, karena adanya aktivitas masyarakat di sepanjang aliran sungai. Masyarakat yang tinggal di daerah aliran sungai yang membuang sampah sembarangan turut andil dalam meningkatkan

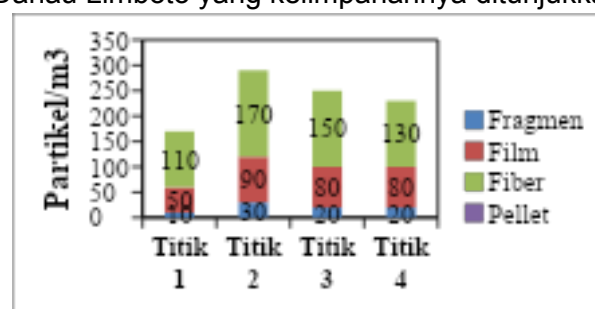
pencemaran mikroplastik di danau (Xiong et al., 2018). Pernyataan ini diperkuat oleh Nugroho et al., (2018) Keberadaan sampah plastik tersebut diduga berasal dari sampah rumah tangga yang sengaja atau tidak sengaja dibuang ke sungai. Zhao et al., (2015) menambahkan berbagai faktor mempengaruhi distribusi dan kuantitas mikroplastik, seperti kepadatan penduduk, arus air, volume limbah, atau kedekatan pabrik industri dengan sungai yang dianalisis. Pada titik 4 terdapat mikroplastik sebanyak 23 partikel dengan kelimpahan sebesar 230 partikel/m³. Meskipun tidak setinggi titik 2 dan 3, angka ini tetap menunjukkan adanya tingkat pencemaran yang signifikan. Dengan jumlah partikel yang lebih besar, ini menunjukkan adanya kontribusi besar dari sampah plastik yang mengalir dari titik-titik sebelumnya atau adanya aktivitas manusia yang lebih intensif di dekat titik ini.

Titik-titik yang lebih dekat dengan pemukiman atau aliran sungai menunjukkan kelimpahan mikroplastik yang lebih tinggi, yang menekankan pentingnya pengelolaan sampah yang lebih baik dan kesadaran masyarakat untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

Pada penelitian lain, hasil kelimpahan yang ditemukan antara lain : di Di Danau Kenanga, konsentrasi mikroplastik tertinggi diukur di area inlet, dengan rata-rata 2.623,3 partikel/L, diikuti oleh area outlet dengan 1.783,3 partikel/L. Polusi terendah ditemukan di area tengah danau, dengan 893,3 partikel/L. Di Danau Agathis, konsentrasi mikroplastik tertinggi ditemukan di perairan keluar, dengan rata-rata 2.470 partikel/L, diikuti oleh area tengah danau dengan 1.740 partikel/L. Konsentrasi terendah ditemukan di daerah aliran masuk, dengan nilai 1.446,6 partikel/L (Hasibuan et al., 2021). Di Danau Poso memiliki kelimpahan mikroplastik sebesar 0,54 partikel/100 L (safitri, 2023). Pada Danau Lubuk Siam berkisar 10-210 partikel/m³ (Helfira et al., 2022). Kemudian, di Danau Siombak Medan memiliki kelimpahan berkisar 93 - 519 partikel/m³ (Ramananda et al., 2023). Nilai yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan yang dilakukan dengan (Hu et al., 2020) di Danau Dongting, Cina, dengan nilai kelimpahan 0,62 - 4,30 partikel/m³ (Alimi et al., 2021). Di Danau Naivasha, Kenya, dengan nilai kelimpahan 0,407 - 0,135 partikel/m³. Hal yang berbeda ditunjukkan dalam penelitian (Su et al., 2016) di Danau Taihu, Cina, dengan nilai kelimpahan lebih besar berkisar antara 3400 - 25800 partikel/m³. Yuan et al., (2019) di Danau Poyang, Cina, dengan nilai kelimpahan 500 - 3400 partikel/m³. Dan Ningrum et al., (2022) di Teluk Jakarta dengan nilai kelimpahan 2881 - 7472 partikel/m³.

Kelimpahan Jenis Mikroplastik

Faktor aktivitas manusia dan sebaran plastik di Danau Limboto terjadinya sebaran jenis mikroplastik pada perairan Danau Limboto yang kelimpahannya ditunjukkan pada Gambar 5

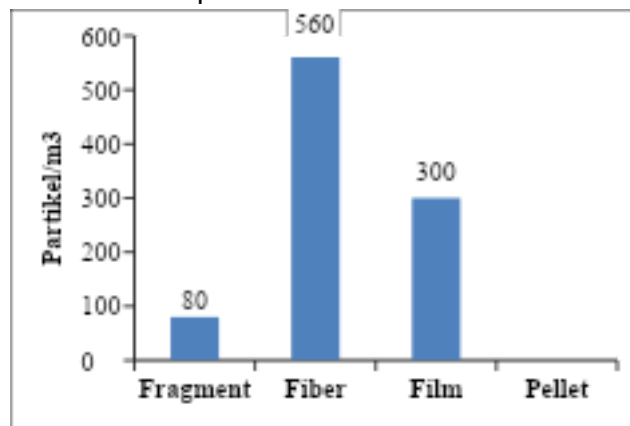


Gambar 5. Grafik Kelimpahan Jenis Mikroplastik di Titik Pengambilan Sampel

Berdasarkan Gambar 5 di analisis bahwa kelimpahan jenis mikroplastik pada setiap titik pengambilan sampel menunjukkan jenis fiber lebih melimpah di semua titik pengambilan sampel. Pada titik 1 ditemukan mikroplastik jenis fiber dengan kelimpahan 110 partikel/m³, jenis film dengan kelimpahan 50 partikel/m³, dan jenis fragment dengan kelimpahan 10 partikel/m³. Titik 2 ditemukan mikroplastik jenis fiber dengan kelimpahan 170 partikel/m³, jenis film dengan kelimpahan 90 partikel/m³, dan jenis fragment dengan kelimpahan 30 partikel/m³. Titik 3 ditemukan mikroplastik jenis fiber dengan kelimpahan 150 partikel/m³, jenis fiber dengan kelimpahan 80 partikel/m³, dan jenis fragment dengan kelimpahan 20 partikel/m³. Kemudian titik 4 ditemukan mikroplastik jenis fiber dengan kelimpahan 130 partikel/m³, jenis film dengan kelimpahan 80 partikel/m³, dan jenis fragment dengan kelimpahan 20 partikel/m³.

Hasil uji *one-way* ANOVA yang diperoleh menggunakan perangkat lunak spss versi 26 mengungkapkan bahwa kelimpahan jenis mikroplastik dalam sampel air sangat berbeda antar lokasi, dengan nilai p (0.001) $<$ ($0,05$). Hasil uji normalitas Shapiro-Wilk secara umum berdistribusi, dengan nilai signifikansi ($0,455$) $>$ ($0,05$). Data kelimpahan jenis juga memiliki nilai homogenitas ($0,127$) $>$ ($0,05$) maka data tersebut dianggap homogen. Hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan bahwa kelimpahan mikroplastik bervariasi antar lokasi. Perbedaan jenis kelimpahan mikroplastik antar titik pengambilan sampel disebabkan oleh sebaran sampah plastik pada Danau Limboto dan tingkat aktivitas manusia pada daerah masuknya aliran Sungai.

Berbagai jenis mikroplastik diidentifikasi dalam sampel air dari semua titik pengambilan sampel yang diperiksa adalah jenis mikroplastik fiber $>$ film $>$ fragment $>$ Pellet seperti yang terdapat pada 4.6. Kelimpahan mikroplastik jenis fiber yang ditemukan selama penelitian sebesar 560 partikel/ m^3 , jenis film sebesar 300 partikel/ m^3 , jenis fragment sebesar 80 partikel/ m^3 , dan jenis pellet sebesar 0 partikel/ m^3 .



Gambar 6. Grafik Kelimpahan Jenis Mikroplastik

Tingginya kelimpahan mikroplastik jenis fiber ini dipengaruhi oleh aktivitas penangkapan ikan. Limbah dari penangkapan ikan, seperti residu dari kegiatan penangkapan ikan atau jaring ikan yang rusak, dapat terurai menjadi mikroplastik fiber. Jaring ikan yang umumnya terbuat dari tali nylon membutuhkan waktu sekitar 30-40 tahun untuk bisa terdegradasi (Desy et al., 2018). Menurut Sari Dewi et al., (2015) mikroplastik jenis fiber dapat berasal dari aktivitas penangkapan ikan yang berada di sekitar perairan tersebut. Mohamed Nor & Obbard, (2014) menambahkan bahwa mikroplastik jenis fiber juga dapat bersumber dari degradasi berbagai alat tangkap nelayan seperti alat pancing maupun dari tali kapal yang mengalami gesekan lalu terurai menjadi partikel plastik dengan ukuran yang sangat kecil sehingga masuk ke perairan. Selain itu, penelitian dari Faqih et al., (2022) mengatakan bahwa limbah rumah tangga, terutama dari kegiatan seperti mencuci pakaian atau membuang tekstil bekas, merupakan sumber penting mikroplastik jenis fiber.

Jenis mikroplastik kedua yang terdeteksi dalam sampel air adalah mikroplastik jenis film. Mikroplastik jenis film terbuat dari sampah plastik yang dicirikan dengan struktur tipis seperti lembaran dan kepadatan rendah. Film memiliki densitas lebih rendah dibandingkan tipe mikroplastik lainnya sehingga lebih mudah ditransportasikan (Hastuti et al., 2014). Nugroho et al., (2018) menjelaskan bahwa tingkat fragmentasi plastik tergantung pada densitas dan struktur kimianya. Menurut Yogi et al., (2024), mikroplastik jenis film banyak ditemukan di perairan tertutup karena tingginya aktivitas manusia yang menggunakan produk plastik sekali pakai di wilayah tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas domestik menjadi salah satu penyebab utama pencemaran mikroplastik film di perairan, terutama karena kantong plastik dan pembungkus makanan yang seringkali tidak dikelola dengan baik.

Mikroplastik jenis fragment menjadi jenis ketiga yang ditemukan terbanyak. Mikroplastik jenis ini terbentuk dari serpihan-serpihan plastik yang mengalami proses degradasi fisik, seperti akibat paparan sinar UV, abrasi, atau proses mekanis lainnya. Sampah plastik yang terpapar lingkungan selama periode tertentu akan pecah menjadi potongan-potongan kecil, yang pada

akhirnya berubah menjadi mikroplastik fragment (Wojnowska-Baryła et al., 2022). Dalam penelitian ini, mikroplastik jenis fragment terdeteksi dalam jumlah yang relatif lebih kecil daripada fiber dan film. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa proses penguraian plastik membutuhkan waktu yang lebih lama untuk berubah menjadi fragmen.

Kemudian mikroplastik jenis pellet tidak ditemukan pada penelitian ini. Mikroplastik jenis pellet biasanya berbentuk bulat atau silindris dan sering kali merupakan bahan baku dalam industri plastik. Hal ini sesuai dengan riset Faqih et al., (2022) yang menyatakan bahwa mikroplastik pellet berasal dari aktivitas produksi di pabrik-pabrik pembuatan produk plastik (Arifin et al., 2023) menambahkan mikroplastik jenis pellet merupakan mikroplastik primer yang diproduksi oleh pabrik industri untuk produk kecantikan dalam bentuk microbeads. Hal ini sesuai dengan pernyataan Permatasari & Radityaningrum, (2020), mikroplastik pellet dihasilkan dari sisa bahan baku kegiatan industri, bahan toiletries, sabun, kecantikan dan pembersih muka. Sehingga, tidak ditemukan di Danau Limboto yang sekitar daerah aliran sungainya tidak terdapat industri pembuatan plastik.

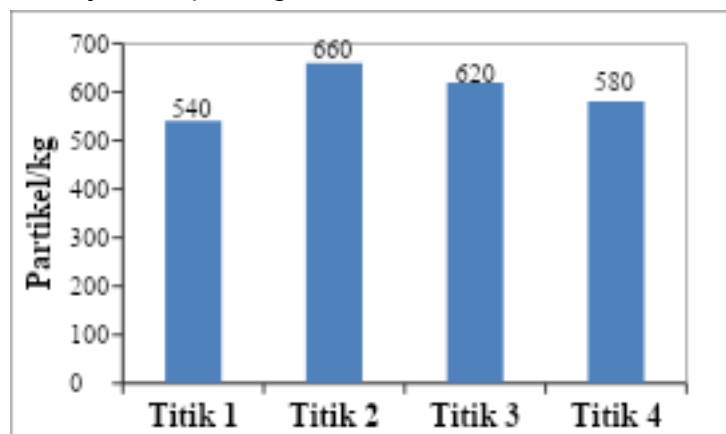
Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen

Kelimpahan Total Mikroplastik

Hasil kelimpahan total mikroplastik pada sedimen dalam penelitian ini berasal dari 3 jenis mikroplastik, yaitu jenis fiber, film dan fragment. Total kelimpahan mikroplastik pada sedimen dari 4 titik pengambilan sampel per 50 g sampel sedimen yang ditemukan adalah sebanyak 2400 partikel/Kg, dengan rata-rata kelimpahan per titik sebanyak 600 partikel/Kg. Dengan menggunakan persamaan 2.

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik} = \frac{\text{Jumlah Mikroplastik (partikel)}}{\text{Volume Kering Sedimen (kg)}} \quad (2)$$

Hasil kelimpahan mikroplastik pada sedimen yang di tinjau dari setiap pengambilan sampel ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Kelimpahan Mikroplastik pada Setiap Titik Pengambilan Sampel

Mikroplastik yang ditemukan pada setiap titik pengambilan sampel antara lain yaitu, pada titik 1 terdapat mikroplastik sebanyak 27 partikel dengan kelimpahan 540 partikel/Kg. Titik 1 merupakan kelimpahan terendah di antara keempat titik sampling. Titik 1 merupakan lokasi dengan kelimpahan mikroplastik terendah di antara empat titik pengambilan sampel. Lokasi ini berada cukup jauh dari saluran air dan berdekatan dengan kawasan wisata Pentadio Resort, yang dikenal sebagai tempat rekreasi yang ramai dikunjungi. Rendahnya kelimpahan mikroplastik di titik ini dipengaruhi oleh jaraknya dari sumber-sumber polusi seperti saluran air yang membawa sampah. Meski berada di area wisata, karena posisinya jauh dari sumber aliran air, mikroplastik yang terkumpul di sini lebih sedikit dibandingkan dengan titik lainnya.

Titik 2 terdapat mikroplastik sebanyak 33 partikel dengan kelimpahan 660 partikel/Kg. Titik 2 adalah lokasi dengan kelimpahan mikroplastik tertinggi di antara keempat titik

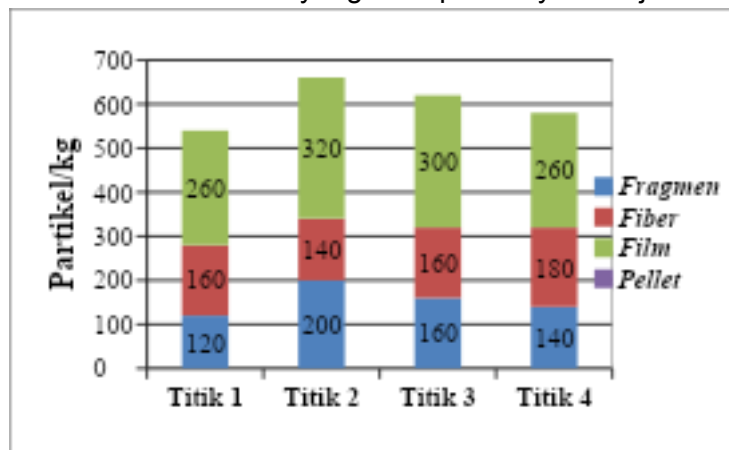
pengambilan sampel. Lokasinya terletak dekat dengan pemukiman warga serta tempat wisata disekitar danau. Aktivitas manusia, terutama dari pemukiman dan kawasan wisata disekitar titik ini, sangat berkontribusi terhadap tingginya jumlah mikroplastik. Hasil penelitian (Pan et al., 2023) menunjukkan bahwa Jumlah penduduk dan jarak dari daerah pemukiman merupakan parameter penting untuk mengkarakterisasi dampak aktivitas antropogenik terhadap kelimpahan mikroplastik.

Kemudian Pada Titik 3, terdapat 31 partikel mikroplastik dengan kelimpahan 620 partikel/Kg. Titik 3 terletak di jalur aliran sungai yang dekat dengan pemukiman warga. Sungai di area ini berfungsi sebagai jalur alami yang membawa limbah, termasuk mikroplastik, dari pemukiman menuju ke danau. Mikroplastik yang ditemukan di titik ini sebagian besar berasal dari limbah rumah tangga dan aktivitas masyarakat sekitar yang terbawa aliran sungai. Tingginya kelimpahan mikroplastik ini juga dipengaruhi oleh sungai yang mengalir membawa partikel-partikel plastik dari pemukiman ke danau (Sighicelli et al., 2018).

Pada Titik 4, ditemukan mikroplastik sebanyak 29 partikel dengan kelimpahan 580 partikel/Kg. Meskipun tidak setinggi dengan titik 2 dan 3, angka ini tetap menunjukkan adanya tingkat pencemaran yang signifikan. Titik 4 juga terletak di jalur aliran sungai yang dekat dengan pemukiman. Sama seperti titik lainnya, aliran sungai ini membawa limbah dari pemukiman yang pada akhirnya mengendap di dasar danau. Limbah dari pemukiman disepanjang jalur sungai akhirnya terbawa oleh sungai dan mencemari danau (Rachmawati et al., 2020).

Kelimpahan Jenis Mikroplastik

Faktor aktivitas manusia dan sebaran plastik di Danau Limboto terjadinya sebaran jenis mikroplastik pada sedimen di Danau Limboto yang kelimpahannya ditunjukkan pada gambar 6



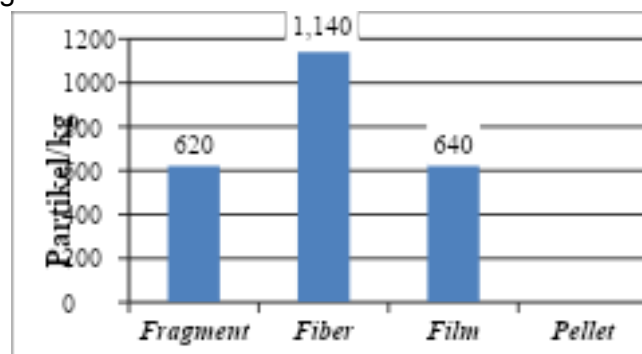
Gambar 8. Grafik Kelimpahan Jenis Mikroplastik di Titik Pengambilan Sampel

Berdasarkan gambar 8 di analisis bahwa kelimpahan jenis mikroplastik pada setiap titik pengambilan sampel menunjukkan jenis fiber lebih melimpah di semua titik pengambilan sampel. Pada titik 1 ditemukan mikroplastik jenis fiber dengan kelimpahan 260 partikel/Kg, jenis film dengan kelimpahan 160 partikel/Kg, dan jenis fragment dengan kelimpahan 120 partikel/Kg. Titik 2 ditemukan mikroplastik jenis fiber dengan kelimpahan 320 partikel/Kg, jenis film dengan kelimpahan 140 partikel/Kg, dan jenis fragment dengan kelimpahan 200 partikel/Kg. Titik 3 ditemukan mikroplastik jenis fiber dengan kelimpahan 300 partikel/Kg, jenis fiber dengan kelimpahan 160 partikel/Kg, dan jenis fragment dengan kelimpahan 160 partikel/Kg. Kemudian titik 4 ditemukan mikroplastik jenis fiber dengan kelimpahan 260 partikel/Kg, jenis film dengan kelimpahan 180 partikel/Kg, dan jenis fragment dengan kelimpahan 140 partikel/Kg.

Hasil uji *one-way* ANOVA yang diperoleh menggunakan perangkat lunak spss versi 26 mengungkapkan bahwa kelimpahan jenis mikroplastik dalam sampel sedimen sangat berbeda antar lokasi, dengan nilai $p(0.001) < (0,05)$. Hasil uji normalitas Shapiro-Wilk secara umum berdistribusi, dengan nilai signifikansi $(0,098) > (0,05)$. Data kelimpahan jenis juga memiliki nilai homogenitas $(0,239) > (0,05)$ maka data tersebut dianggap homogen. Hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan bahwa kelimpahan mikroplastik bervariasi antar lokasi. Perbedaan jenis

kelimpahan mikroplastik antar titik pengambilan sampel disebabkan oleh sebaran sampah plastik pada Danau Limboto dan tingkat aktivitas manusia pada daerah masuknya aliran Sungai.

Berbagai jenis mikroplastik diidentifikasi dalam sampel sedimen dari semua lokasi pengambilan sampel, dengan frekuensi yang bervariasi dari yang paling banyak hingga yang paling sedikit adalah jenis mikroplastik fiber > film > fragment > Pellet seperti yang terdapat pada 4.9. Kelimpahan mikroplastik jenis fiber yang ditemukan selama penelitian sebesar 1.140 partikel/Kg, jenis film sebesar 640 partikel/Kg, jenis fragment sebesar 620 partikel/Kg, dan jenis pellet sebesar 0 partikel/Kg.



Gambar 9. Grafik Kelimpahan Jenis Mikroplastik

Tingginya mikroplastik jenis fiber ini dipengaruhi oleh limbah domestik dan aktivitas penangkapan ikan. Kehadiran mikroplastik jenis fiber dalam jumlah yang signifikan di lapisan sedimen menunjukkan bahwa serat-serat tersebut terbawa aliran air dan kemudian mengendap di dasar danau. Ini menunjukkan adanya akumulasi serat mikroplastik dari sumber-sumber seperti limbah domestik, terutama dari aktivitas mencuci pakaian yang melepaskan serat sintetis ke lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Braun et al., (2021), Jumlah jenis Fiber yang tinggi juga bisa dicurigai dari sisa kain dari sarung jok dari bean bag yang secara langsung diletakkan di pantai atau dari pakaian serat dari limbah rumah tangga.

Jenis mikroplastik kedua yang terdeteksi dalam sampel sedimen adalah mikroplastik jenis film. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Azizah et al., (2020) mikroplastik jenis film sering kali berasal dari plastik tipis seperti kantong atau bungkus makanan. Azizah et al., (2020) menambahkan jumlah mikroplastik jenis film dipengaruhi oleh kebiasaan masyarakat sekitar dalam penggunaan kantong plastik dan kemasan plastik lainnya. Menurut (Ulufi et al., 2023) Mikroplastik jenis film yang mengapung di perairan akhirnya mengendap dan masuk ke dalam lapisan sedimen setelah mengalami proses fragmentasi

Kemudian jenis mikroplastik ketiga yang ditemukan adalah jenis fragment. Fragment ini terbentuk dari degradasi sampah plastik berukuran besar yang mengapung di perairan danau. Menurut Maulana, (2023) Sumber fragment berasal dari sampah padat seperti tenda dan bendera serta dari air limbah domestik. Selain itu, Ding et al., (2019) melaporkan bahwa fragmen-fragmen tersebut juga dapat berasal dari sampah plastik yang membusuk, alat-alat pertanian, kemasan plastik, tali plastik, dan kantong plastik transparan.

Mikroplastik jenis pellet tidak ditemukan dalam sampel sedimen. Ini menunjukkan bahwa tidak ada kontribusi besar dari aktivitas industri di daerah ini. Sedimen danau tidak mencerminkan adanya butiran plastik murni (pellet) yang biasanya berasal dari industri manufaktur plastik. Menurut Layn et al., (2020) pellet merupakan mikroplastik primer yang langsung diproduksi oleh pabrik sebagai bahan baku pembuatan produk plastic. Hal ini menunjukkan bahwa sumber utama pencemaran mikroplastik di Danau Limboto berasal dari aktivitas domestik dan konsumen, bukan dari limbah industri.

SIMPULAN

Pada Danau Limboto terdapat 3 mikroplastik yang terdapat pada air dan sedimen yaitu jenis fiber, film dan fragment. Total kelimpahan mikroplastik di air dan sedimen Danau Limboto dari

empat titik pengambilan sampel menunjukkan variasi pencemaran mikroplastik disetiap lokasi. Salah satu titik terdeteksi dengan tingkat pencemaran tertinggi, hal ini disebabkan oleh kedekatannya dengan sumber limbah atau aktivitas manusia. Sebaliknya, titik yang lebih jauh dari sumber pencemaran menunjukkan konsentrasi mikroplastik yang lebih rendah.

DAFTAR RUJUKAN

- Alam, F. C., Sembiring, E., Muntalif, B. S., & Suendo, V. (2019). Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area (case study: Ciwalengke River, Majalaya district, Indonesia). *Chemosphere*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.188>
- Alimi, O. S., Fadare, O. O., & Okoffo, E. D. (2021). Microplastics in African ecosystems: Current knowledge, abundance, associated contaminants, techniques, and research needs. In *Science of the Total Environment* (Vol. 755). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142422>
- Apipah, E. R., & Juansah, J. (2014). SINTESIS DAN KARAKTERISTIK MEMBRAN NILON YANG BERASAL DARI LIMBAH BENANG. In *Jurnal Biofisika* (Vol. 10, Issue 1).
- Arifin, M. S., Suprijanto, J., & Ridlo, A. (2023). Keberadaan mikroplastik pada kerang darah (*Anadara granosa*) dari TPI Tambak Lorok, Semarang. *Journal of Marine Research*, 12(3). <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i3.36448>
- Azizah, P., Ridlo, A., & Suryono, C. A. (2020). Mikroplastik pada Sedimen di Pantai Kartini Kabupaten Jepara Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 9(3). <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.28197>
- Braun, U., Stein, U., Heller, C., Berlin Natalia P Ivleva, H. P., München, T., Martin Jekel Jutta Kerpen, D.-I., RheinMain Franziska Klaeger, H., Warnemünde Oliver Knoop, I., München Matthias Labrenz, T., Warnemünde Christian Laforsch, I., Obermaier, N., Berlin Sebastian Primpke, U., Helgoland Jens Reiber, A., Richter, S., CSP Mathias Ricking, F., Berlin Barbara Scholz-Böttcher, U., Stock, F., Koblenz Stephan Wagner, B., Leipzig Katrin Wendt-Potthoff, U. P., ... Karlsruhe, T. (2021). *BMBF Research Focus "Plastics in the Environment" May 2021 Status Report Analysis of Microplastics Status Report Analysis of Microplastics*.
- Dalimunthe, A. M., Amin, B., & Nasution, S. (2021). Microplastic in the Digestive Tract of Kurau (*Polydactylus octonemus*) in the Coastal Waters of Karimun Besar Island, Riau Islands Province. *Journal of Coastal and Ocean Sciences*, 2(2). <https://doi.org/10.31258/jocos.2.2.80-86>
- Ding, L., Mao, R. fan, Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., & Yang, C. (2019). Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China. *Science of the Total Environment*, 667. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.332>
- DN, O. (2021). An Appraisal of the Waste Crisis, Urban Floods and Municipal Solid Waste Management in Port Harcourt City, Nigeria. *Open Access Journal of Waste Management & Xenobiotics*, 4(1). <https://doi.org/10.23880/oajwx-16000156>
- Dompeipen, E. J. (2019). ISOLASI DAN IDENTIFIKASI KITIN DAN KITOSAN DARI KULIT UDANG WINDU (*Penaeus monodon*) DENGAN SPEKTROSKOPI INFRAMERAH ISOLATION AND IDENTIFICATION OF CHITIN AND CHITOSAN FROM WINDU SHRIMP (*Penaeus monodon*) WITH INFRARED SPECTROSCOPY. *Ejournal of Industrial System Portal*, 31–41.
- Faqih, I., Achmad, C. R., & Pratiwi, T. A. A. (2022). Identifikasi Kelimpahan Mikroplastik Air Kawasan Kanal Mangetan, Anak Sungai Brantas Kabupaten Sidoarjo. *Environmental Pollution Journal*, 1(3). <https://doi.org/10.58954/epj.v1i3.70>
- Fitriyah, A., Syafrudin, S., & Sudarno, S. (2022). Identifikasi Karakteristik Fisik Mikroplastik di Sungai Kalimas, Surabaya, Jawa Timur. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3). <https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.350-357>
- Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., & Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>

- Gosal, M. T., Kawuwung, W., & Telew, A. (2020). Perbedaan Pola Pengolahan Sampah Padat Antara Masyarakat Pesisir Dan Non-Pesisir Di Desa Touliang Oki Kecamatan Eris Kabupaten Minahasa. *Epidemia : Jurnal Kesehatan Masyarakat Unima*, 1(1).
- Handayani, T. endah saraswati;fitri nela sari;nestri. (2017). -1 , 650-1000. 13(2), 289–299.
- Haris, A., Hadiyanto, & Muhammad, F. (2022). Pertumbuhan mikroalga spirulina (*Arthrospira platensis*) dalam tekanan stirofoam pada lingkungan air tawar. *Proceeding Seminar Nasional IPA XII*, 315–326.
- Hasibuan, A. J., Patria, P. M., & NUrdin, E. (2021). *analisis kelimpahan mikroplastik pada air, insang, dan saluran pencernaan ikan mujair oreocromis mussambicus di danau*.
- Hastuti, A. R., Yulianda, F., & Wardiatno, Y. (2014). Distribusi spasial sampah laut di ekosistem mangrove Pantai Indah Kapuk, Jakarta. *Bonorowo Wetlands*, 4(2), 94–107. <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w040203>
- Helfira, V., Fauzi, M., & Yuliati, Y. (2022). Abundance of microplastic in Water Column of Lubuk Siam Lake (Oxbow) Lubuk Siam Village Siak Hulu District Kampar Regency Riau Province. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 27(3). <https://doi.org/10.31258/jpk.27.3.366-370>
- Hu, D., Zhang, Y., & Shen, M. (2020). Investigation on microplastic pollution of Dongting Lake and its affiliated rivers. *Marine Pollution Bulletin*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111555>
- Kapo, F. A., Toruan, L. N. L., & Paulus, C. A. (2020). Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik Pada Kolom Permukaan Air di Perairan Teluk Kupang. *Jurnal Bahari Papadak*, 1(1).
- Kimijima, S., Sakakibara, M., Amin, A. K. M. A., Nagai, M., & Arifin, Y. I. (2020). Mechanism of the rapid shrinkage of limboto lake in Gorontalo, Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su12229598>
- Layn, A. A., Emiyarti, ., & Ira, . (2020). DISTRIBUSI MIKROPLASTIK PADA SEDIMEN DI PERAIRAN TELUK KENDARI. *Jurnal Sapa Laut (Jurnal Ilmu Kelautan)*, 5(2). <https://doi.org/10.33772/jsl.v5i2.12165>
- Leslie, H. A. (2015). Plastic in cosmetic - Are we polluting the environment through our personal care? - Plastic ingredients that contribute to marine microPlastic litter. In *UNEP*.
- Mahmiah, M., Sa'adah, N., Sunur, H. N., & Wijayanti, N. (2023). Profil Metabolit Ekstrak Etanol Enhalus acoroides (L.F.) Royle,1839 dari Nusa Tenggara Timur. *Journal of Marine Research*, 12(1), 151–160. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.35076>
- Maulana, J. I. (2023). Identifikasi Karakteristik dan Kelimpahan Mikroplastik pada Sampel Sedimen Kali Pelayaran Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. *Environmental Pollution Journal*, 3(1). <https://doi.org/10.58954/epj.v3i1.119>
- Maulina, W. (2016). KAJIAN MEMBRAN KOMPOSIT NILON-ARANG MELALUI KARAKTERISASI FTIR DAN SEM. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Keilmuan (JPFK)*, 2(1). <https://doi.org/10.25273/jpfk.v2i1.25>
- Mohamed Nor, N. H., & Obbard, J. P. (2014). Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1–2). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.025>
- Ningrum, I. P., Sa'adah, N., & Mahmiah, M. (2022). Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik Pada Sedimen di Gili Ketapang, Probolinggo. *Journal of Marine Research*, 11(4). <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i4.35467>
- Noor, S. Y., & Ngabito, M. (2018). TINGKAT PENCEMARAN PERAIRAN DANAU LIMBOTO GORONTALO. *Gorontalo Fisheries Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.32662/gfj.v1i2.437>
- Nugroho, D. H., Restu, I. W., & Ernawati, N. M. (2018). Kajian Kelimpahan Mikroplastik di Perairan Teluk Benoa Provinsi Bali. *Current Trends in Aquatic Science*, 1(1). <https://doi.org/10.24843/ctas.2018.v01.i01.p11>
- Nur Faujiah, I., Ira Ryski Wahyuni, D., Kunci, K., Minum Kemasan, A., & Minum Isi Ulang, A. (2022). Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik pada Air Minum serta Potensi Dampaknya terhadap Kesehatan Manusia. *Gunung Djati Conference Series*, 7.
- Pan, T., Liao, H., Yang, F., Sun, F., Guo, Y., Yang, H., Feng, D., Zhou, X., & Wang, Q. (2023). Review of microplastics in lakes: sources, distribution characteristics, and environmental effects. In *Carbon Research* (Vol. 2, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s44246-023-00057-1>

- Permatasari, D. R., & Radityaningrum, A. D. (2020). Kajian Keberadaan Mikroplastik Di Wilayah Perairan : Review. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VIII*.
- Rachmawati, I. pramudita, Riani, E., & Riyadi, A. (2020). STATUS MUTU AIR DAN BEBAN PENCEMAR SUNGAI KRUKUT, DKI JAKARTA. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(2). <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.220-233>
- Rahmawati, N. I., Suhartana, S., & Gunawan, G. (2009). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Seng Bekas Sebagai Elektroda. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 12(2), 40–46. <https://doi.org/10.14710/jksa.12.2.40-46>
- Ramananda, J., Barus, T. A., & Nuryawan, A. (2023). Analysis of Microplastic Abundance in Lake Siombak, Medan Marelan, Medan. *Tunas Geografi*, 12(1). <https://doi.org/10.24114/tgeo.v12i1.39753>
- Riska, R., Tasabaramo, I. A., Lalang, L., Muchtar, M., & Asni, A. (2022). Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Ekosistem Terumbu Karang di Pulau Bokori Sulawesi Tenggara. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 6(4), 331–342. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2022.vol.6.no.4.252>
- safitri, T. A. N. (2023). Identifikasi Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik pada Perairan di Sulawesi Tengah. *Environmental Pollution Journal*, 3. <https://ecotonjournal.id/index.php/epj>
- Sari Dewi, I., Aditya Budiarsa, A., & Ramadhan Ritonga, I. (2015). Distribusi mikroplastik pada sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara. *Depik*, 4(3). <https://doi.org/10.13170/depik.4.3.2888>
- Sari, N., Amin, B., & Yoswaty, D. (2021). ANALYSIS OF MICROPLASTIC CONTENT IN LOKAN (Geloina erosa) IN NORTH BEACH WATERS OF BENGKALIS ISLAND, RIAU PROVINCE. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 4(1). <https://doi.org/10.31258/ajoas.4.1.13-20>
- Sighicelli, M., Pietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., Di Vito, S., Nuglio, S., & Zampetti, G. (2018). Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes. *Environmental Pollution*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.008>
- Sinaga, Y. K., Priharyoto Bayuseno, A., & Ismail, R. (2023). Pembuatan Komposit Polivinil Klorida (PVC) Menggunakan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Limbah Padat Hasil Ekstraksi Aspal Buton Dengan Konsentrasi HNO₃. In *Jurnal Teknik Mesin S-1* (Vol. 11, Issue 3).
- Su, L., Xue, Y., Li, L., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., & Shi, H. (2016). Microplastics in Taihu Lake, China. *Environmental Pollution*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.036>
- Susmanto, P., Sari, T. I., Dahlan, M. H., Statiska, I., & Ayu, A. (2021). Grafting Monomer Stirena Pada Karet Alam Lateks. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 32.
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., & -, F. (2015). Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar (Halaman 26 s.d. 29). *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(56), 26–29. <https://doi.org/10.22146/jfi.24354>
- Ulufi, L. A., Alfarisi, A. M., Surya, D. B. R., Putra, Sari, J. H. S., & Hertika, S. M. A. (2023). *Analysis Of Microplastic Pollution In Water And Sediment In The Paron River, Sidomulyo Village, Batu City, East Java* (Vol. 1, Issue 2). <https://poluseajournal.ub.ac.id>
- Ulyarti, U., Nursela, S., & Rahmayani, I. (2020). Peningkatan Kualitas Edible Film Menggunakan Pati Uwi (*Dioscorea Alata* L.) Hasil Modifikasi Edible Film Quality Improvement Using Modified Yam Starch (*Dioscorea alata* L.). *Jurnal Teknologi Pangan*, 7(1), 12–19.
- Wang, Z., Wei, R., Wang, X., He, J., & Wang, J. (2018). Pyrolysis and combustion of polyvinyl chloride (PVC) sheath for new and aged cables via thermogravimetric analysis-fourier transform infrared (TG-FTIR) and calorimeter. *Materials*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/ma11101997>
- Widiastuti, A. A., Ruswanto, R., Tri, A., & Pratita, K. (2023). Pembuatan Nanopartikel dan Karakterisasi Senyawa Kompleks 2,8-Bis(2-Chlorobenzoyl)-N4,N10-Dimethyl-1,7-Dioxa-5,11-Dithia-3,9-Diaza-6-Platinaspiro [5.5] Undecane - 4,10 - Diamine - Platinum (II) Sebagai Antikanker Payudara. *Prosiding Seminar Nasional Diseminasi Penelitian*, 3(6), 13–24.
- Wojnowska-Baryła, I., Bernat, K., & Zaborowska, M. (2022). Plastic Waste Degradation in

- Landfill Conditions: The Problem with Microplastics, and Their Direct and Indirect Environmental Effects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph192013223>
- Xiong, X., Zhang, K., Chen, X., Shi, H., Luo, Z., & Wu, C. (2018). Sources and distribution of microplastics in China's largest inland lake – Qinghai Lake. *Environmental Pollution*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.081>
- Yogi, Y. N., Putra, A. N., & Aryani, D. (2024). Identification of microplastic content in milkfish ponds in Lontar Village, Serang Regency. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 11(2), 166. <https://doi.org/10.29103/aa.v11i2.15369>
- Yuan, W., Liu, X., Wang, W., Di, M., & Wang, J. (2019). Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.126>
- Yuniari, A. (2014). Sifat elektrik dan termal nanokomposit poly(vinyl chloride) (PVC)/low density polyethylene (LDPE). *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 30(2), 53. <https://doi.org/10.20543/mkpk.v30i2.126>
- Zhao, S., Zhu, L., & Li, D. (2015). Microplastic in three urban estuaries, China. *Environmental Pollution*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.027>