
**Analisis Kelimpahan Mikroplastik pada Outlet limbah Cair Industri
Kertas Aliran Sungai Brantas Mojokerto, Jombang dan Pasuruan**

Aprilian Trida Larasati [✉]
Universita Brawijaya

ABSTRAK

Jawa Timur merupakan salah satu daerah industri utama di Indonesia yang menampung berbagai jenis industri, salah satunya adalah industri kertas. Limbah cair industri kertas yang tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang menjadi faktor kelimpahan mikroplastik dan dapat mencemari perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jenis serta kelimpahan mikroplastik pada outlet limbah cair industri kertas di sekitar Sungai Brantas. Lokasi pengambilan sampel ditentukan menggunakan metode purposive sampling. Pengambilan sampel pada outlet pembuangan limbah pabrik kertas menggunakan planktonet sebanyak 100 L, kemudian dipreparasi menggunakan H₂O₂ 20ml dan Fe₂SO₄ 5ml. Kelimpahan mikroplastik yang ditemukan pada industri kertas sekitar Sungai Brantas dari yang tertinggi sampai terendah adalah PT Indoesia Royal Paper, PT Sun Paper Source dan PT Buana Megah Paper Mills. Jenis mikroplastik yang teridentifikasi pada outlet pembuangan limbah cair industri kertas adalah fragment, filament dan fiber. Penerapan hukum yang lebih ketat terhadap industri, termasuk sanksi yang lebih berat, perlu dilakukan untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan lingkungan.

Kata kunci: Mikroplastik, Pabrik kertas, Limbah cair, Sungai Brantas

**Analysis of Microplastic Abundance in Liquid Waste Outlets of the Paper
Industry in the Brantas River, Mojokerto, Jombang and Pasuruan**

ABSTRACT

East Java is one of the main industrial areas in Indonesia that houses various types of industries, one of which is the paper industry. Liquid waste from the paper industry that is not treated before disposal is a factor in the abundance of microplastics and can pollute waters. This study aims to analyze the type and abundance of microplastics in paper industry wastewater outlets around the Brantas River. The sampling location was determined using purposive sampling method. Sampling at the outlet of the paper pakrik waste disposal using planktonet as much as 100 L, then pretreated using 20ml H₂O₂ and 5ml Fe₂SO₄. The abundance of microplastics found in the paper industry around the Brantas River from highest to lowest is PT Indoesia Royal Paper, PT Sun Paper Source and PT Buana Megah Paper Mills. The types of microplastics identified in the paper industry's wastewater discharge outlets are fragments, filaments and fibers. Stricter enforcement of laws against the industry, including more severe sanctions, is necessary to ensure compliance with environmental regulations.

Keywords: Microplastics, Paper Mills, Wastewater, Brantas River

PENDAHULUAN

Jawa Timur merupakan salah satu provinsi industri utama di Indonesia. Faktor yang mendukung Jawa Timur sebagai provinsi industri adalah lokasinya yang strategis serta infrastruktur yang cukup baik untuk mendukung distribusi

barang dan bahan baku. Letak Jawa Timur tergolong sebagai letak yang strategis sehingga mempermudah transportasi dan logistik, seperti pelabuhan utama Tanjung Perak di Surabaya yang memudahkan distribusi baik ke pasar domestik maupun

[✉] Corresponding author
Address : Bojonegoro, Jawa Timur
Email : apwiltri@gmail.com

internasional. Provinsi ini juga memiliki beberapa kawasan industri besar, seperti Kawasan Industri SIER (Surabaya Industrial Estate Rungkut), Pasuruan Industrial Estate Rembang (PIER), dan Ngoro Industrial Park yang menjadi rumah bagi berbagai perusahaan manufaktur dan industri. Industri Jawa Timur sendiri telah memberikan kontribusi sebesar 14,85% terhadap Produk Domestik Bruto atau disingkat dengan PDB (Putri et al., 2016). Di antara berbagai sektor industri yang ada di Jawa Timur, industri kertas memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan domestik. Industri kertas bahkan memiliki kapasitas produksi mencapai 12,5 juta ton per tahun dengan konsumsi domestik mencapai 60%-65% per tahun. Kertas daur ulang seperti *Old Corrugated Containers* (OCC), *Old Newspaper* (ONP), campuran kertas bekas, dan *Sorted White Ledger* (SWL) digunakan sebagai bahan baku produksi. Di Indonesia, umumnya industri atau pabrik kertas memperoleh bahan baku sekitar 50% dengan mengimpor (Romas dan Martini, 2021). Dalam proses pengolahan bahan hingga menjadi kertas baru merupakan salah satu sumber mikroplastik berasal sehingga menghasilkan fragmentasi dari plastik berukuran besar atau makro.

Plastik dianggap sebagai komponen utama sampah perairan karena 60%-80% sampah tersebut menyelimuti perairan baik perairan sungai maupun laut dan Indonesia juga berkontribusi sebagai produsen sampah plastik terbesar kedua di dunia. Kenaikan sampah sebagian besar disebabkan oleh penyelundupan sampah plastik yang diselipkan bersama kedalam impor kertas bekas ke Indonesia, sehingga digolongkan dalam kode jalur hijau (Septianingrum et al., 2024). Celah dalam regulasi dan lemahnya pengawasan telah dimanfaatkan oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab, sehingga menyebabkan krisis sampah plastik yang semakin parah. Faktanya, plastik di darat maupun di perairan tidak akan pernah hilang. Paparan sinar matahari (UV) dan

faktor lainnya yang dapat memecah plastik menjadi butiran yang lebih kecil, yang disebut sebagai mikroplastik.

Mikroplastik merupakan polistiren, selulosa asetat, dan akrilik, partikel-partikel pecahan plastik dengan diameter berkisar antara 1mm-5mm (Ijaz et al., 2024). Umumnya, proses dekomposisi mikroplastik berlangsung sangat lama, butuh waktu hingga ratusan bahkan ribuan tahun untuk terurai sepenuhnya di lingkungan sungai. Mikroplastik berukuran sangat kecil, namun mereka tetap mempertahankan atau mengandung bahan kimia dari elemen pembentuk plastik. Walaupun mikroplastik telah melewati proses degradasi dan perubahan ukuran, komposisi kimia atau susunan atomnya tidak berubah. Mikroplastik di badan air juga telah meningkat dalam satu dekade terakhir dan muncul dalam berbagai bentuk, ukuran, warna, dan jenis polimer. Telah ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2022 mengenai pengolahan air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pertambangan dengan menggunakan metode lahan basah, namun industri kertas justru berkontribusi terhadap tingginya jumlah biomassa yang sebagian besar dibuang menimbulkan beban lingkungan. Limbah cair dari pabrik kertas berpotensi mengandung mikroplastik sehingga mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Kelimpahan mikroplastik yang dikombinasikan dengan ukurannya yang kecil dan hubungannya dengan plankton di kolom air, memungkinkan tertelannya langsung oleh biota akuatik pada tingkat trofik berbeda. Partikel plastik dapat menyebabkan masalah fisik atau nutrisi secara langsung ketika tertelan, dan masalah ini dapat diperburuk dengan adanya bahan pemlastis di dalam partikel atau adanya polutan beracun lainnya yang menempel di permukaan air. Ikan merupakan salah satu organisme yang paling rentan terhadap kontaminasi mikroplastik. Ukuran mikroplastik yang



Sumber: Data Primer Diolah, (2024)

Gambar 1
Infografis Rantai Mikroplastik

sangat kecil dan ketahanannya yang lama menyebabkan mikroplastik berbahaya apabila terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup (Salsabila et al., 2022). Mikroplastik berisiko karena seratnya dapat menyumbat sistem pencernaan organisme atau makhluk hidup seperti ikan yang hidup di sekitar perairan industri kertas. Terkumpulnya sampah di saluran pencernaan dapat menimbulkan rasa kenyang yang palsu, hal inilah yang mengakibatkan ikan dapat mengalami penurunan nafsu makan (Laila et al., 2020).

Mikroplastik dinilai tidak hanya mempengaruhi populasi ikan, hal ini juga mengganggu keseimbangan ekosistem perairan secara keseluruhan. Semakin tinggi posisi organisme dalam rantai makanan, seperti predator puncak, semakin tinggi pula konsentrasi senyawa racun mikroplastik di tubuh mereka, sehingga hewan-hewan tersebut sering dikatakan sebagai biomagnifikasi (Tampubolon et al., 2016). Dengan adanya mikroplastik yang ditemukan dalam tubuh ikan, muncul ancaman baru karena racun mikroplastik bisa berpindah dari ikan ke manusia yang mengonsumsinya. Jika mikroplastik menumpuk dalam tubuh manusia, dapat mengakibatkan dampak negatif seperti peradangan organ, luka internal atau eksternal, konversi plastik menjadi bahan kimia dalam tubuh, serta gangguan mikroba

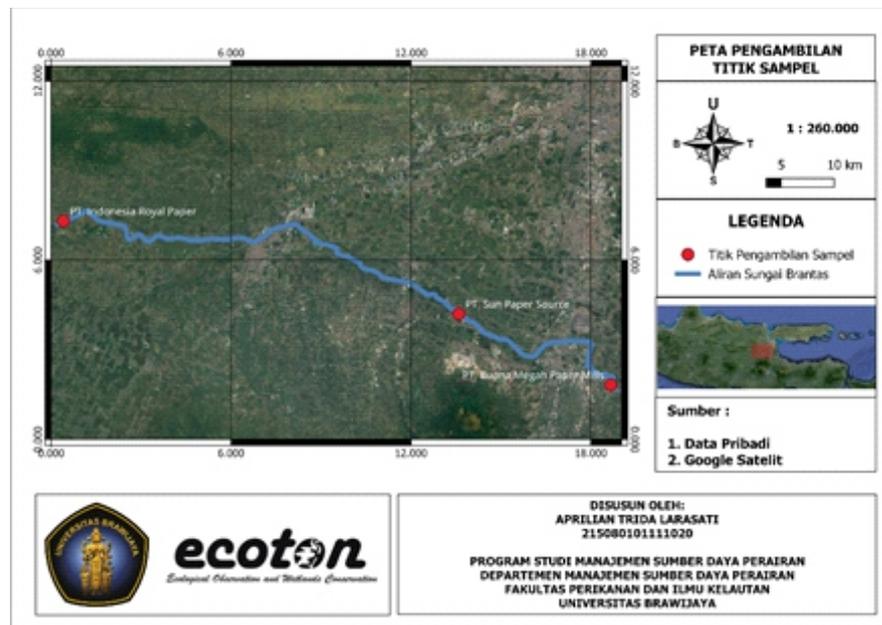
usus yang menyebabkan penyumbatan saluran pencernaan. Hal ini dapat berujung pada stres fisiologis, perubahan pola makan, penekanan pertumbuhan, dan penurunan kesuburan (Arifah et al., 2024). Kehadiran mikroplastik juga dapat menurunkan IQ dan respon imun pada anak, serta menyebabkan penumpukan dan iritasi pada organ tubuh.

Luas Sungai Brantas pada Daerah Aliran Sungai (DAS) sebesar $\pm 12.000\text{km}$ yang mengalir ke beberapa daerah di Jawa Timur, yaitu Malang, Blitar, Trenggalek, Tulungagung, Kediri, Nganjuk, Jombang, Mojokerto, Sidoarjo, Gresik, Surabaya dan Pasuruan. Sungai Brantas dimanfaatkan masyarakat Jawa Timur untuk memenuhi kebutuhan air baku mereka, seperti untuk konsumsi rumah tangga, irigasi, industri, dan sebagainya. Keberadaan Sungai Brantas yang sehat dan terjaga kelestariannya menjadi kunci penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem serta memenuhi kebutuhan air yang mendukung kehidupan manusia dan perekonomian di wilayah tersebut. Mengingat bahwa air Sungai Brantas menjadi sumber utama bagi Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dan digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat termasuk untuk dikonsumsi. Berdasarkan dampak permasalahan yang telah disebutkan, penelitian mengenai keberadaan mikroplastik di outlet limbah

Tabel 1
Lokasi Pengambilan dan Titik Koordinat

Lokasi	Koordinat
PT. Sun Paper Source	7°31'18.7"S 112°36'27.1"E
PT. Indonesia Royal Paper	7°26'31.8"S 112°16'10.0"E
PT. Buana Megah Paper Mills	7°34'58.0"S 112°44'15.3"E

Sumber: Data Primer Diolah, (2024)



Sumber: Data Primer Diolah, (2024)

Gambar 2
Lokasi Pengambilan Sampel

industri kertas sepanjang aliran Sungai Brantas sangat diperlukan. Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis jenis dan jumlah mikroplastik yang ada di outlet limbah industri kertas tersebut.

METODE PENELITIAN

Sampling mikroplastik dilaksanakan pada bulan Juli 2024. Penentuan lokasi tersebut berdasarkan pada outlet limbah industri kertas yang berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas. Industri kertas tersebut adalah PT Indonesia Royal Papper, PT Sun Papper Source dan PT Buana Megah Papper Mills. Total sampel yang diambil adalah 9 sampel, dimana setiap lokasi industri akan diambil 3 titik yaitu sebelum outlet, outlet, dan setelah outlet.

Metode pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Metode ini adalah suatu metode penelitian yang dilakukan

dengan tujuan utama untuk menyajikan gambaran atau deskripsi objektif tentang keadaan yang berkaitan dengan masalah yang sedang diteliti (Prasko et al., 2016) Pengambilan data pada penelitian ini meliputi data primer didapatkan secara langsung yang berdasar pada survey, observasi, wawancara Tabel 1 dan dokumentasi (Siregar et al., 2022). Data sekunder pada penelitian ini diperoleh dengan mencari informasi secara ilmiah berdasar pada informasi dari instansi terkait, jurnal, majalah, situs web, serta literatur dan peta, yang akan mendukung data primer serta memperkuat penelitian (Nazili, 2023).

Alat - alat yang digunakan dalam proses pengambilan sampel penelitian ialah *planktonet*, timba (ukuran 10 L) untuk mengambil air, botol sampel kaca, GPS *Map Camera*, *aluminium foil* dan *coolbox*. Pada proses preparasi dan identifikasi sampel, alat-alat yang dibutuhkan adalah

filter stainless ukuran 300 mesh, cawan petri, pipet tetes, gelas ukur, corong, *beaker glass*, *washing bottle*, botol kaca, pengaduk kaca, *hot plate*, mikroskop stereo dan jarum.

Bahan - bahan yang diperlukan dalam melakukan penelitian adalah air sampel, *aluminium foil*, kertas label, larutan asam H_2O_2 30 % sebanyak 20ml, larutan Fe_2SO_4 30 % sebanyak 5ml, larutan NaCl 30 %, *aquades*, kertas *millimeter block* dan tisu.

Penentuan lokasi sampling outlet limbah industri kertas di sepanjang Sungai Brantas menggunakan metode *purposive sampling* atau teknik menentukan sampel dengan suatu pertimbangan. Titik pengambilan sampel ditandai dengan menggunakan GPS *Map Camera* dan diinput menggunakan *software Quantum GIS (QGIS)* agar lebih terstruktur.

Pengambilan sampel air dari outlet limbah cair industri kertas pengacu pada penelitian Cahya dan Risjani, (2023), titik sampling yang diambil terdiri dari 3 titik, titik 1 terletak sebelum outlet industri, titik 2 terletak pada outlet industri, dan titik 3 terletak setelah outlet industri. Hal ini dilakukan untuk mewakili kondisi yang ada pada wilayah pengambilan sampel secara menyeluruh. Sampel diambil dengan cara mengambil 100 L air menggunakan timba (10 L) untuk disaring menggunakan *planktonet*. Sampel yang telah tersaring kemudian dipindahkan ke botol sampel kaca dan diberi label, kemudian diletakkan pada *coolbox* dan dilakukan preparasi di laboratorium Ecoton (*Ecological Observation and Wetland Conservations*).

Preparasi sampel pada permukaan atas air sungai permukaan menggunakan metode yang direkomendasikan oleh NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) dengan penambahan cairan asam H_2O_2 30 % sebanyak 20ml dan Fe_2SO_4 30 % sebanyak 5ml untuk mengendapkan bahan organik dalam sampel air dan diinkubasi dalam lemari asam selama 24 jam. Air sampel yang telah terpisah dari endapan padatan bahan organik diambil, kemudian sampel air

dipanaskan di suhu 70°C menggunakan *hotplate* selama 30 menit. Setelah dingin, dilakukan penyaringan menggunakan kertas *whatman* kemudian dipindahkan ke dalam cawan petri dan sampel dapat diidentifikasi.

Proses analisa data kontaminasi mikroplastik dilakukan dengan bantuan mikroskop stereo perbesaran 70-100 kali yang mana kertas *millimeter blok* digunakan sebagai alas untuk mengetahui ukuran mikroplastik lebih mudah, selanjutnya melakukan pengamatan jenis dan kelimpahan mikroplastik. Pengolahan data mikroplastik yang telah diperoleh dengan menggunakan Microsoft Excel. Kelimpahan mikroplastik dapat dihitung dengan rumus (Laila et al., 2020):

$$K = \frac{n}{v} \quad (1)$$

Dimana K adalah Kelimpahan Mikroplastik (partikel/ m^3), n merupakan Jumlah partikel mikroplastik yang ditemukan (partikel) dan v adalah Volume sampel (m^3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel dilaksanakan di tiga outlet pembuangan limbah cair industri kertas sekitas Sungai Brantas, yaitu PT Sun Paper Source (Kabupaten Mojokerto), PT. Indonesia Royal Paper (Kabupaten Jombang) dan PT Buana Megah Paper Mills (Kabupaten Pasuruan). Letak PT Sun Paper Source cukup dekat dengan pemukiman dan letak outlet pembuangan limbahnya langsung ke Sungai Brantas, untuk PT Indonesia Royal Paper berada di sekitar pemukiman warga dan letak outlet pembuangan limbah cairnya melalui pipa yang tersembunyi dalam tanah dan langsung mengarah ke Sungai Brantas, sedangkan letak PT Buana Megah Paper Mills berada di sekitar berdekatan dengan industri-industri lainnya dan letak outlet pembuangan limbahnya berada di aliran air irigasi yang mengarah langsung ke Sungai Brantas.

PT Sun Paper Source berada di Kabupaten Mojokerto, telah berdiri sejak tahun 2012. Perusahaan ini berperan

sebagai produsen kertas tisu, seperti tisu wajah, tisu toilet, tisu makan dan tisu handuk. Produksi PT Sun Paper Source telah mencapai lebih dari 150.000 ton setiap tahunnya. Saat ini, PT Sun Paper Source mengeksport sebagian besar kapasitas produksinya di lebih dari 80 negara di 5 benua, seperti Amerika Serikat, Jerman, Jepang, China hingga Australia. Perusahaan ini menggunakan bahan baku, seperti serat kayu dan kertas daur ulang yang dicampur dengan air dan bahan kimia untuk membentuk pulp yang melibatkan pencucian dan pemutihan. Karena bahan-bahan yang diproduksi adalah tisu, sehingga limbah cair yang dikeluarkan juga bewarna putih keruh.

PT Indonesia Royal Paper adalah industri kertas yang berkembang di Kabupaten Jombang dan fokus pada industri daur ulang kertas. PT Indonesia Royal Paper merupakan anak dari Indoprime Group yang didirikan pada tahun 2018. Produk utama dari perusahaan ini adalah *core board paper* atau bahan setengah jadi yang dihasilkan dari pengolahan kertas bekas impor berkualitas tinggi. Produk turunan dari *core board paper* sendiri adalah tabung inti pada kertas tisu, tabung kemasan, pallet dari kertas serta berbagai produk lainnya. Produksi PT Indonesia Royal Paper telah mencapai lebih dari 105.000 ton setiap tahunnya. Meskipun daur ulang kertas merupakan langkah penting untuk mengurangi penebangan pohon, namun proses tersebut justru sumber adanya kontaminasi mikroplastik. Ketika kertas daur ulang dikumpulkan atau tertimbun sampah, bahan baku kertas ini justru terkontaminasi oleh partikel-partikel seperti serat pakaian berbahan sintetis, remahan botol minuman ataupun kemasan makanan serta kresek.

PT. Buana Megah Paper Mills merupakan industri daur ulang kertas yang berdiri di tahun 2007 di Kabupaten Pasuruan. Industri ini mengolah kertas daur ulang, yang kemudian menghasilkan kertas kemasan, kertas koran, putih dan berwarna. Bahan baku yang digunakan PT Buana Megah Paper Mills bersumber dari

daur ulang seperti kardus, *Old Corrugated Containers* (OCC) dan kertas-kertas bekas kantor. Bahan-bahan tadi nantinya akan di proses dengan cara disaring dan dicuci untuk memisahkan komponen-komponen yang tidak diinginkan, seperti tinta, perekat serta kotoran lainnya. Selanjutnya dilakukan proses pemurnian untuk membentuk serat kertas yang berkualitas. Selanjutnya serat kertas masuk ke dalam mesin untuk dibentuk menjadi lembaran kertas dengan beberapa tahapan seperti pencampuran serat, pembentukan lembaran pengeringan serta pemotongan. Kelimpahan Mikroplastik

Pengukuran dari kelimpahan mikroplastik yang terkandung dalam air limbah cair industri kertas dilakukan di Laboratorium industri kertas dilakukan di Laboratorium Ecoton (*Ecological Observation and Wetland Conservations*). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada sampel air permukaan outlet limbah cair industri kertas sekitar Sungai Brantas menggunakan mikroskop, telah ditemukan kandungan mikroplastik pada seluruh sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total mikroplastik yang ditemukan pada seluruh stasiun pengambilan sampel sekitar Sungai Brantas adalah 9,18 partikel/L. PT Indonesia Royal Paper menduduki posisi tertinggi dengan kelimpahan sebesar 3,53 partikel/L, dimana kelimpahan sebelum outlet sebesar 0,89 partikel/L, outlet pembuangan limbah industri kertas sebesar 1,62 partikel / L dan setelah outlet 1,02 partikel/L. Dengan menggunakan kertas bekas impor sebagai bahan bakunya, menjadikan penyebab kelimpahan mikroplastik meningkat. Kertas bekas impor yang dikirim ke Indonesia seringkali diselundupi sampah-sampah plastik. Hal ini bisa lolos karena kertas bekas memang dibutuhkan untuk memenuhi bahan baku produksi di Indonesia sehingga langsung masuk ke jalur hijau.

Posisi tertinggi kedua ada PT Sun Paper Source dengan kelimpahan mikroplastik sebesar 2,92 partikel/L. Pada sebelum outlet pembuangan limbah,

kelimpahan mikroplastik yang ditemukan sebesar 0,97 partikel/L, pada outlet sebesar 1,04 partikel/L dan setelah outlet sebesar 0,91 partikel/L. Kelimpahan mikroplastik terendah diduduki oleh PT Buana Megah Paper Mills, yaitu sebesar 2,73 partikel/L. Pada sebelum outlet pembuangan limbah ditemukan kelimpahan mikroplastik sebesar 0,83 partikel/L, pada outlet sebesar 0,89 partikel/L dan setelah outlet sebesar 1,01 partikel/L. Adanya perbedaan kelimpahan mikroplastik dari ketiga outlet limbah cair industri kertas di Sungai Brantas adalah karakteristik pada masing-masing lokasi. Faktor-faktor ini meliputi proses produksi, jenis dan kualitas bahan baku yang digunakan dalam produksi kertas serta cara pengolahan air limbah yang diterapkan pada setiap industri. Setiap industri termasuk industri kertas memiliki metode pengelolaan limbah yang berbeda, mulai dari teknik filtrasi, sedimentasi dan bahan kimia yang digunakan untuk menetralkan kontaminan.

Penelitian ini searah dengan hasil penelitian dari Maulidah et al., (2023) yang menyatakan bahwa seluruh sampel telah terkontaminasi mikroplastik, sedangkan jenis mikroplastik yang paling unggul adalah filamen yang digunakan dalam proses produksi industri kertas. Zheng, (2024) juga menyatakan bahwa sebagian besar mikroplastik berasal dari instalasi pengolahan air limbah dan limbah industri dan masuk ke dalam tanah dan lingkungan melalui limbah dan lumpur. Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) diidentifikasi sebagai sumber utama mikroplastik yang masuk ke lingkungan perairan dan darat, terutama serat sintesis dari pakaian dan plastik yang digunakan dalam produk (Haque et al., 2024). Berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Saputra et al., (2024), yang mana kelimpahan tertinggi adalah jenis fiber yang juga berasal dari limbah industri tekstil dan limbah domestik yang tidak dikelola dengan baik sebelum dibuang ke sungai. Hal ini menunjukkan bahwa air limbah industri memiliki

banyak sampah plastik, sehingga memungkinkan mikroplastik masuk ke perairan dan menjadi racun bagi organisme di dalamnya. Kelimpahan mikroplastik dikombinasikan dengan ukurannya yang kecil dan hubungannya dengan plankton yang ada di kolom air, memungkinkan tertelannya langsung oleh biota akuatik pada tingkat trofik berbeda. Mikroplastik yang ukurannya sangat kecil dan melayang-layang atau mudah terbawa oleh arus, seringkali ikan dan lainnya mengira bahwa itu adalah plankton. Akhirnya organisme akuatik yang lebih besar ini memakan mikroplastik, sehingga terjadi kenyang semu atau palsu.

Mikroplastik terhimpun di permukaan air sungai berasal dari kontaminasi limbah yang dibuang di sekitar bantaran Sungai Brantas. Menurut (Labib, 2023), tingginya kelimpahan mikroplastik akibat pembuangan limbah industri disebabkan oleh penggunaan volume air yang tinggi dalam proses pencucian. Limbah cair industri kertas yang tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang juga menjadi faktor kelimpahan mikroplastik dan dapat mencemari perairan, tanah bahkan ekosistem di sekitarnya. Aliran limbah cair dari bubur kertas mengandung mikroplastik dan bahan kimia yang dihasilkan umumnya memiliki sifat mengganggu endokrin pada ikan.

Mikroplastik tidak bisa hilang, ukuran dan bentuknya saja yang berubah. Begitupula mikroplastik yang terkandung pada air, ikan, udang atau biota lain yang biasa kita konsumsi, meskipun sudah dimasak dengan suhu tinggi yang hilang atau mati hanya bahan organiknya saja. Proses pemanasan dalam memasak tidak cukup menghancurkan mikroplastik, mereka hanya berubah bentuk dan terfragmentasi menjadi pecahan yang lebih kecil lagi atau disebut dengan nanoplastik. Nanoplastik dapat dengan mudah melewati membran sel karena ukurannya yang sangat kecil, sehingga mengganggu fungsi biologis sel. Nanoplastik yang memiliki sifat lipofilik



Sumber: Data Primer Diolah, (2024)

Gambar 3
Kelimpahan Mikroplastik pada Setiap Pabrik Kertas

(dapat berkembang dalam lemak) alami dapat dengan mudah menempel pada inti lapisan ganda lipid di organ-organ seperti kandung empedu, pankreas, dan otak ikan serta makhluk air lainnya, yang tentunya akan sangat berbahaya bagi organisme itu sendiri.

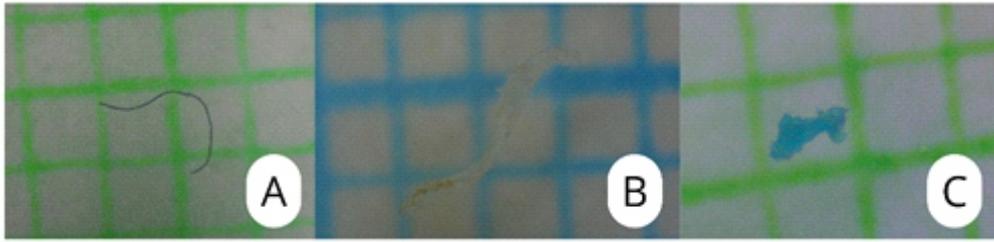
Jenis Mikroplastik

Jenis mikroplastik yang teridentifikasi pada semua outlet limbah cair industri kertas adalah fiber, fragmen dan filamen. Fiber merupakan jenis mikroplastik yang terbuat dari polimer sintetik dan digunakan dalam beberapa produk mulai dari furnitur hingga tekstil (Surana et al., 2024). Bentuk fiber memanjang seperti serabut dan merupakan jenis mikroplastik yang paling lumrah ditemui pada air, sedimen dan organisme. Telah dilaporkan juga bahwa jenis mikroplastik ini telah menyumbang hampir 90% mikroplastik yang ditemukan di ekosistem perairan dunia. Mikroplastik jenis fiber sering kali terlepas dari industri selama proses pencucian, masuk ke sistem aliran air bahkan banyak industri-industri nakal yang langsung membuangnya ke arah sungai.

Fragmen merupakan mikroplastik yang bersifat keras dan bentuknya tidak beraturan karena berasal dari pecahan plastik dengan padatan tinggi, seperti tutup botol, botol dan jerigen. Umumnya fragmen terbentuk karena proses

degradasi mekanis atau fotodegradasi. Degradasi mekanis ini terjadi akibat gesekan dan benturan, sedangkan fotodegradasi disebabkan oleh paparan sinar matahari (UV) yang dapat merusak struktur plastik. Menurut (Basri et al., 2024), terdapat 5,25 triliun fragmen plastik di samudra global, dengan berat sekitar 269.000 ton. Angka tersebut menunjukkan bahwa tingkat pencemaran fragmen di perairan sangatlah tinggi.

Berbeda dengan jenis fragmen, mikroplastik jenis filamen justru memiliki kepadatan yang sangat rendah. Filamen berasal dari kantong plastik atau plastik pembungkus makanan dan minuman. Konsumsi tekstil yang meningkat menjadi penyebab jumlah mikroplastik jenis filamen yang dilepaskan khususnya dalam air juga meningkat dengan cepat (Mossotti et al., 2023). Mikroplastik jenis ini sangat ringan dan sering kali terapung di permukaan air, membuatnya mudah terbawa oleh arus. Semakin banyak mikroplastik yang terdeteksi di laut, ekosistem lahan basah, dan ekosistem darat meningkatkan kekhawatiran mengenai bahaya mikroplastik terhadap organisme, termasuk manusia. Mikroplastik filamen dapat masuk ke rantai makanan melalui ikan dan hewan akuatik lainnya, berpotensi menyebabkan efek toksik dan mengganggu kesehatan ekosistem serta manusia yang meng-



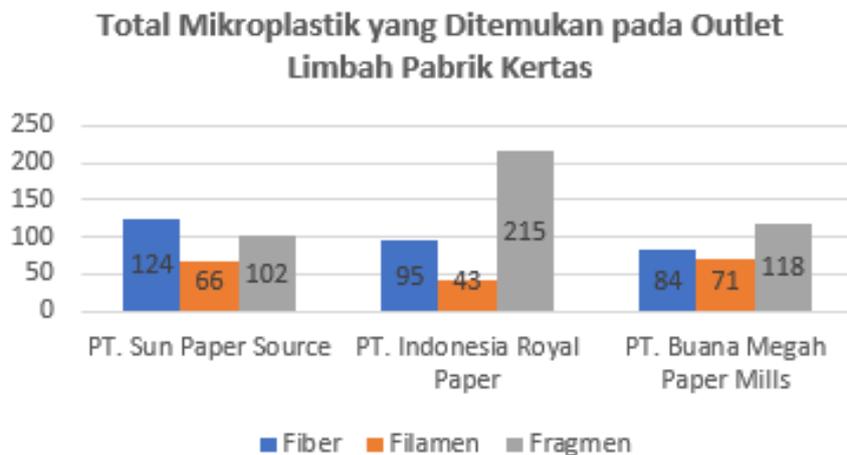
Sumber : Data Primer Diolah, (2024)

Gambar 4
Jenis Mikroplastik, a. Filamen, b. Fiber, c. Fragmen

onsumsimnya. Sesuai dengan gambar 5 total mikroplastik yang ditemukan di PT Sun Paper Source Kabupaten Mojokerto adalah 292 partikel/ L. Fiber merupakan jenis mikroplastik yang paling dominan disini, kemudian fragmen dan yang terakhir ada filamen. Maulidah et al., (2023) menyebutkan bahwa fiber yang mendominasi air permukaan disebabkan oleh densitas rendah dan ringan. Hal ini berhubungan dengan lokasi outlet pembuangan limbah pabrik cair milik PT Sun Paper Source yang tidak jauh dengan lokasi pemukiman penduduk. Jenis mikroplastik yang paling dominan di PT Indonesia Royal Paper adalah fragmen, kemudian fiber dan terakhir filamen dengan total mikroplastik yang di temukan di pabrik kertas Kabupaten Jombang ini adalah 353 partikel/L. PT Buana Megah Paper Mills yang berada di Kabupaten Pasuruan memiliki total mikroplastik sebesar 273 partikel/L,

dengan jenis mikroplastik yang paling mendominasi sampai terendah adalah fragmen, fiber dan filamen. Perbedaan jenis mikroplastik yang unggul di setiap outlet pabrik kertas sekitar Sungai Brantas adalah jenis bahan baku yang digunakan dalam proses industri, sistem pengolahan limbah yang dilakukan serta jenis produk yang dihasilkan. Secara global, sistem pengelolaan sampah tidak cukup untuk membuang atau mendaur ulang sampah plastik dengan cara yang aman, sehingga mengakibatkan peningkatan polusi plastik yang masuk ke lingkungan (Maes dan Whyte, 2023). Mikroplastik juga mengganggu karakteristik fisika - kimia tanah sehingga berdampak pada organisme yang ada dalam tanah dan memudahkan kesuburan tanah.

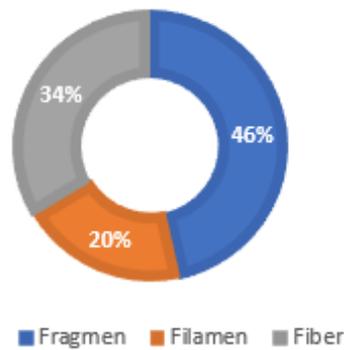
Secara keseluruhan, persentase jenis mikroplastik yang ditemukan pada outlet limbah pabrik kertas di sekitar Sungai Brantas dari yang tertinggi hingga



Sumber: Data Primer Diolah, (2024)

Gambar 5
Total Mikroplastik yang Ditemukan pada Outlet Limbah Pabrik Kertas

JENIS MIKROPLASTIK YANG DITEMUKAN PADA OUTLET LIMBAH PABRIK KERTAS



Sumber: Data Primer Diolah, (2024)

Gambar 6

Persentase Jenis Mikroplastik pada seluruh outlet Limbah Pabrik Kertas

ke yang rendah adalah fragmen, filamen dan fiber. Fragmen memiliki persentase sebesar 46 % atau 419 partikel/L, Fiber 34 % atau 303 partikel/L dan filamen 20 % atau 180 partikel/L. Selain karena bahan baku yang digunakan, proses pengolahan juga menjadi faktor mikroplastik masuk dan terbentuknya fragmen. Mesin yang digunakan dalam proses produksi kertas seringkali terdapat bahan plastik. Komponen plastik pada mesin produksi ini mengalami gesekan secara terus menerus. Gesekan yang terjadi selama proses produksi dapat menyebabkan keausan dan pelepasan partikel mikroplastik yang ikut terbuang langsung ke perairan melalui pembuangan limbah yang tidak diolah sebelumnya.

Sekitar 80% mikroplastik yang ditemukan di lingkungan perairan berasal dari darat, diangkut melalui sungai, aliran sungai, muara, dan sarana lain seperti limpasan, limbah domestik dan limbah industri serta limbah pabrik pengolahan air limbah (Ramasamy dan Harit, 2023). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2022 mengenai pengolahan air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pertambangan dengan menggunakan metode lahan basah, pasal 2 ayat 1 menyatakan bahwa "Penanggung jawab Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan wajib melakukan Pengolahan Air Limbah sebelum dibuang ke media air". Hal ini

menunjukkan bahwa masih banyak industri yang tidak patuh terhadap aturan dan langsung membuang limbahnya ke perairan tanpa mengolahnya terlebih dahulu.

SIMPULAN

Kelimpahan mikroplastik yang ditemukan pada pabrik kertas sekitar Sungai Brantas dari yang tertinggi sampai terendah adalah PT Indoesia Royal Paper, PT Sun Paper Source dan PT Buana Megah Paper Mills. Jenis mikroplastik yang ditemukan pada outlet pembuangan limbah cair industri kertas adalah *fragment*, *filament* dan *fibre*. Jenis mikroplastik yang paling mendominasi sampai terendah pada PT Sun Paper Source adalah *fibre*, *fragment* dan *filament*. PT Sun Paper Source merupakan pabrik kertas dengan kelimpahan tertinggi di banding pabrik lainnya, hal ini disebabkan oleh bahan baku yang digunakan dalam proses produksi. Jenis mikroplastik yang paling mendominasi sampai terendah pada PT Indoesia Royal Paper adalah *fragment*, *fibre* dan *filament*. Sedangkan jenis mikroplastik yang paling mendominasi sampai terendah pada PT Buana Megah Paper Mills adalah *fragment*, *fibre* dan *filament*. Dari penelitian yang dilakukan pada tiga pabrik kertas sekitar Sungai Brantas, *fragment* yang paling banyak ditemukan. Selain karena bahan baku yang digunakan, proses pengolahan juga menjadi faktor mikroplastik masuk dan

terbentuknya fragmen, seperti gesekan yang terjadi pada mesin dalam proses produksi. Penerapan hukum yang lebih ketat terhadap industri, termasuk sanksi yang lebih berat, perlu dilakukan untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan lingkungan. Sejalan dengan itu, upaya edukasi masyarakat mengenai bahaya mikroplastik harus terus ditingkatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimaka kasih kepada *Ecological Observation and Wetland Conservations (ECOTON Foundation)* yang telah memberikan dukungan penuh dalam bentuk fasilitas dan bimbingan. Dukungan ini sangat penting bagi kami dalam melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifah, Z., Nurdin, P., Nisak, C., Fatia, D., & Nusuary, M. (2024). Pencemaran Mikroplastik di Sungai: Perilaku Menyimpang dalam Pengelolaan Sampah di Masyarakat Microplastic Pollution in Rivers: Deviant Behavior in Waste Management within Society. *DYNAMICS OF RURAL SOCIETY JOURNAL*, 02, 41-50. <https://drsj.fis.ung.ac.id/index.php/DRSJ>
- Basri, S. ., Ahmad, B. ., Rismawati, N. ., Pakaya, R. ., Susilowati, Mahayana, I. M. B. ., Mulasari, S. A. ., Putera, D. A. ., Sudiadnyana, I. W. ., Lalu, N. A. S. ., Aranski, A. W. ., & Astuti, R. D. P. (2024). *Mikroplastik di lingkungan* (H. Akbar (ed.)). CV. Media Sains Indonesia. www.medsan.co.id
- Cahya E. W., & Risjani Y. (2023). Identifikasi Mikroplastik pada Sedimen di Outlet Pabrik Daur Ulang Plastik Kabupaten Gresik dan Sidoarjo. *Environmental Pollution Journal*, 03(2), 693-707. <https://ecotonjournal.id/index.php/epj>
- Haque, A., Holsen, T. M., & Baki, A. B. M. (2024). Distribution and risk assessment of microplastic pollution in a rural river system near a wastewater treatment plant, hydrodam, and river confluence. *Scientific Reports*, 14(1), 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56730-x>
- Ijaz, U., Baki, A. B. M., Wu, W., & Zhang, W. (2024). Settling velocity of microplastics in turbulent open-channel flow. *Science of the Total Environment*, 946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174179>
- Labib, A. (2023). Identifikasi Mikroplastik pada Air Sungai Akibat Limbah Pabrik Daur Ulang Plastik di Sidoarjo dan Mojokerto. *Environmental Pollution Journal*, 03(2), 708-718. <https://ecotonjournal.id/index.php/epj>
- Laila, Q. N. ., Purnomo, P. W. ., & Jati, O. E. (2020). Kelimpahan Mikroplastik Pada Sedimen Di Desa Mangunharjo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Journal of Coastal and Marine Resource Management*, 4(1), 28-35.
- Maes, T., & Preston-Whyte Editors, F. (2023). *The African Marine Litter Outlook*. Springer.
- Maulidah, L. ., Aprilianti, R. ., & Farid, A. (2023). Identifikasi Kelimpahan Mikroplastik pada Air Permukaan Outlet Limbah Pabrik Kertas di Hilir Sungai Brantas. *Environmental Pollution Journal*, 03(2), 683-692. <https://ecotonjournal.id/index.php/epj>
- Mossotti, R., Dalla Fontana, G., Anceschi, A., Gasparin, E., & Battistini, T. (2023). *Preparation and Analysis of Standard Microplastics*. IntechOpen. www.intechopen.com
- Nazili, C. (2023). Peningkatan Sistem Irigasi di Kabupaten Padang Pariaman: Studi Kasus Saluran Irigasi Sekunder di Korong Kampung Lintang. *Journal of Sciencetech Research and Development*, 5(1), 110-122. <http://idm.or.id/JSCR>
- Prasko, P. ., Santoso, B. ., & Sutomo, B. (2016). Penyuluhan metode audio visual dan demonstrasi terhadap pengetahuan menyikat gigi pada anak sekolah dasar. *Jurnal kesehatan gigi*. *Jurnal Kesehatan Gigi*, 03(2), 53-57.

- Putri, E. P., Chetchotsak, D., Ruangchoenghum, P., Jani, M. A., & Hastijanti, R. (2016). Performance evaluation of large and medium scale manufacturing industry clusters in east java province, indonesia. *International Journal of Technology*, 7(7), 1269–1279. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i7.5229>
- Ramasamy, E. V., & Kumar Harit, A. (2023). *Microplastics in Human Consumption*. CRC Press.
- Romas, M. S., & Martini, S. (2021). Recycling paper industry: Analysis of raw material consumption in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012148>
- Salsabila, S. ., Indrayanti, E. ., & Widiaratih, R. (2022). Karakteristik Mikroplastik di Perairan Pulau Tengah, Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography*. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4), 99–108.
- Saputra, H. Y., Kamal, E., & Razak, A. (2024). *Kelimpahan Mikroplastik pada Perairan Sumatera Barat : Literature Review*. 3 (6) , 6 0 9 – 6 1 7 . <https://doi.org/10.55123/insologi.v3i6.4517>
- Septianingrum, D., Sagala, D., Khairunisa, & Saleh, R. L. (2024). Peran masyarakat dalam pengelolaan sampah impor. *Journal of Character and Environment*, 1 (2) . <https://doi.org/10.61511/jocae.v1i1.2024.475>
- Siregar, Y. S., Darwis, M., Baroroh, R., & Andriyani, W. (2022). Peningkatan Minat Belajar Peserta Didik dengan Menggunakan Media Pembelajaran yang Menarik pada Masa Pandemi Covid 19 di SD Swasta HKBP 1 Padang Sidempuan. *Jurnal Ilmiah Kampus Mengajar*, 6 9 – 7 5 . <https://doi.org/10.56972/jikm.v2i1.33>
- Surana, D., Vinay, Patel, P., Ghosh, P., Sharma, S., Kumar, V., & Kumar, S. (2024). Microplastic Fibers in Different Environmental Matrices from Synthetic Textiles: Ecotoxicological Risk, Mitigation Strategies, and Policy Perspective. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 12, Issue 2). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112333>
- Tampubolon, J., Trihastuti, N., & Samketo, A. (2016). Penanganan pencemaran Samudera Pasifik Sebagai Akibat Dari the Great Pacific Garbage Patch Ditinjau Dari Hukum Lingkungan Internasional. *Diponegoro Law Review*, 5(2), 1–20.
- Zheng, Y. (2024). A review of the harm of environmental pollutants to human health : take microplastic, insecticide, and PFAS as examples. *E3S Web of Conferences*, 5 5 3 , 0 3 0 0 4 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455303004>