

STUDI LITERATUR DAMPAK MIKROPLASTIK TERHADAP LINGKUNGAN

NI MADE NIA BUNGA SURYA DEWI

Teknik Sipil K. Mataram UNMAS Denpasar

myname.niabunga@gmail.com

ABSTRAK

Plastik membutuhkan waktu ratusan hingga ribuan tahun untuk dapat terurai. Selama itu pula plastik mendatangkan masalah serius bagi lingkungan. Begitu sampah plastik dibiarkan di lingkungan, maka akan terpapar unsur-unsur alam, seperti radiasi matahari, angin, atau hujan. Pada gilirannya, plastik akan terpecah menjadi potongan-potongan yang lebih kecil, terurai seiring waktu hingga tak kasat mata. Pada umumnya bahwa proses dekomposisi plastik berlangsung sangat lambat hingga membutuhkan waktu ratusan tahun agar plastik terdegradasi menjadi mikroplastik (MP) dan nanoplastik (NP) melalui berbagai proses fisik, kimiawi maupun biologis. MP didefinisikan sebagai partikel kecil plastik berukuran < 5 mm dan memiliki dampak negatif yang sangat besar terhadap lingkungan. MP dapat ditemukan di mana pun, bahkan di laut terdalam Bumi. Namun kenyataannya MP ada di sekitar kita dan begitu berbahaya. Permasalahan tentang kerusakan alam akibat sampah selalu menarik untuk diperbincangkan dan juga menjadi isu global dan besarnya dampak yang ditimbulkan dari plastik telah menjadi persoalan serius yang tak bisa diabaikan. Plastik yang awalnya menjadi benda bermanfaat dan serbaguna, kini beralih menjadi ancaman bagi keberlangsungan hidup umat manusia.

Kata kunci: *sampah, plastik, mikroplastik, nanoplastik*

ABSTRACT

Plastic take hundreds to thousands of years to decompose. During this time, plastic has created serious problems for the environment. Once plastic waste is left in the environment, it will be exposed to natural elements, such as solar radiation, wind, or rain. In turn, the plastic will break down over time until the are invisible. In general, the plastic decomposition process takes place very slowly and takes hundreds of year for the plastic to be degraded into microplastics (MP) and nanoplastics (NP) through various physical, chemical and biological processes. MP is defined as small pastic particles measuring < 5 mm and having a very large negative impact on the environment. MP can be found anywhere, even in the deepest seas of the Earth. But in reality MP is all around us and so dangerous. The problem of environmental damage due to waste is always interesting to discuss and has also become a global issue and the magnitude of the impact caused by plastic has become a serious problem that can't be ignored. Plastic which was originally a useful and versatile object has now turned into a threat to the survival mandkind.

Keywords: *waste, plastic, microplastic, nanoplastic*

PENDAHULUAN

Mikroplastik (MP) adalah fragmen dari semua jenis plastic yang panjangnya < 5 mm (0,20 inci) menurut Administrasi Kelautan dan Atmosfer Nasional AS (NOAA) dan Badan Kimia Eropa. Mikroplastik menyebabkan polusi dengan memasuki ekosistem alami dari berbagai sumber, kosmetik, pakaian, kemasan makanan dan proses industri.

Istilah Mikroplastik digunakan untuk membedakan mikroplastik dari sampah plastik yang lebih besar, seperti botol plastik. Dua klasifikasi mikroplastik saat ini yang diakui adalah mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder (Boucher, 2017). Mikroplastik primer mencakup setiap fragmen atau partikel plastik yang berukuran 5,0 mm atau kurang sebelum memasuki lingkungan dan ini termasuk jenis *microfibers* dari pakaian, *microbeads* dan pelet plastik (*nurdles*). Mikroplastik sekunder timbul dari degradasi (penguraian)

produk plastik yang lebih besar melalui proses pelapukan alami setelah memasuki lingkungan. Sumber mikroplastik sekunder antara lain botol air dan soda, jaring ikan, kantong plastik, wadah *microwave*, kantong teh dan ban bekas. Kedua jenis tersebut diakui bertahan di lingkungan pada tingkat tinggi, terutama di ekosistem perairan dan laut, dimana menyebabkan pencemaran air (Kovochich, 2021). 35% dari semua mikroplastik laut berasal selama proses pencucian tekstil/ pakaian, terutama karena erosi pakaian berbahan dasar polyester, akrilik atau nilon. Namun, mikroplastik juga terakumulasi di ekosistem udara dan darat (*European Investment Bank, 2020*).

Karena plastik terdegradasi secara perlahan yang seringkali selama ratusan hingga ribuan tahun (Klein, 2018). Mikroplastik memiliki kemungkinan besar untuk tertelan, menyatu dan terakumulasi dalam tubuh dan banyak jaringan organisme. Bahan kimia beracun yang berasal dari laut dan limpasan juga dapat memperbesar rantai makanan (Grossman, 2015). Dalam ekosistem terrestrial, mikroplastik telah terbukti mengurangi kelangsungan hidup ekosistem tanah dan mengurangi berat cacing tanah (BBC, 2021). Siklus dan pergerakan mikroplastik di lingkungan tidak sepenuhnya diketahui, tetapi penelitian saat ini sedang dilakukan untuk menyelidiki fenomena tersebut. Survei sedimen laut lapisan dalam di Cina pada tahun 2020 menunjukkan keberadaan plastik di lapisan pengendapan yang jauh lebih tua daripada penemuan plastik yang mengarah pada dugaan meremehkan mikroplastik dalam survei sampel permukaan laut (Xue, 2020). Mikroplastik juga telah ditemukan di pegunungan tinggi pada jarak yang sangat jauh dari sumbernya hingga mikroplastik ditemukan juga dalam darah manusia meskipun efeknya sebagian besar belum diketahui (The Guardian, 2021)

Istilah “Mikroplastik (MP)” yang sudah umum kita dengar saat ini diperkenalkan pada tahun 2004 oleh Profesor Richard Thompson yang merupakan seorang ahli Biologi Kelautan di Universitas Plymouth di Inggris (Thompson, 2020). Pada tahun 2014 diperkirakan terdapat antara 15 hingga 51 triliun keping mikroplastik di lautan dunia yang diperkirakan memiliki berat antara 93.000 hingga 236.000 metrik ton (Ioakeimidis, 2020).

Mikroplastik Primer

Mikroplastik primer adalah potongan-potongan kecil plastik yang sengaja dibuat. (Karbalaie, 2018) yang biasanya digunakan dalam pembersih wajah dan kosmetik atau dalam teknologi peledakan udara. Dalam beberapa kasus, penggunaannya dalam pengobatan sebagai vektor obat telah dilaporkan. “*Scrubber*” mikroplastik yang digunakan dalam pembersih tangan dan *scrub* wajah telah menggantikan bahan-bahan alami yang digunakan secara tradisional termasuk kulit almond, *oatmeal* dan batu apung (Patel, 2019). Mikroplastik primer juga telah diproduksi untuk digunakan dalam teknologi peledakan udara. Proses ini melibatkan peledakan “*scrubber*” mikroplastik akrilik, melamin atau polyester pada mesin dan lambung kapal untuk menghilangkan karat dan cat. Karena *scrubber* ini sering terkontaminasi dengan logam berat seperti cadmium, kromium dan timbal. Meskipun banyak perusahaan telah berkomitmen untuk mengurangi produksi *microbeads*, masih banyak *microbeads* bioplastik yang juga memiliki siklus hidup degradasi yang panjang mirip dengan plastik biasa (Cole, 2011).

Mikroplastik Sekunder

Mikroplastik sekunder adalah potongan-potongan kecil plastik yang berasal dari pemecahan puing-puing plastik yang lebih besar, baik di laut maupun di darat. Seiring waktu, kulminasi fisik, biologi dan chemphotodegradasi, termasuk foto-oksidasi yang disebabkan oleh paparan sinar matahari, dapat mengurangi integritas struktural puing-puing plastik ke ukuran yang akhirnya tidak terdeteksi dengan mata telanjang. Proses pemecahan bahan plastik besar menjadi potongan-potongan yang jauh lebih kecil dikenal sebagai fragmentasi (Masura, 2015). Dianggap bahwa mikroplastik mungkin terdegradasi lebih jauh menjadi lebih kecil ukurannya, meskipun mikroplastik terkecil yang dilaporkan terdeteksi di lautan saat ini berdiameter 1,6 mikrometer ($6,3 \times 10^{-5}$ inci) (Cole, 2011). Prevalensi mikroplastik dengan bentuk yang tidak rata menunjukkan bahwa fragmentasi adalah sumber utama (Grossman, 2015).

Nanoplastik

Tergantung pada definisi yang digunakan, nanoplastik berukuran kurang dari 1 mm (yaitu 1000 nm) atau kurang dari 100 nm. Spekulasi tentang nanoplastik di lingkungan berkisar dari itu menjadi produk sampingan sementara selama fragmentasi mikroplastik menjadi ancaman lingkungan yang tidak terlihat pada konsentrasi yang berpotensi tinggi dan terus meningkat (João, 2018).

Nanoplastik dianggap berisiko bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Karena ukurannya yang kecil, nanoplastik dapat melintasi membran sel dan mempengaruhi fungsi sel. Nanoplastik bersifat lipofilik dan model menunjukkan bahwa nanoplastik polietilen dapat dimasukkan ke dalam inti hidrofobik lipid bilayers. Nanoplastik juga terbukti melintasi membran epitel ikan yang terakumulasi di berbagai organ termasuk kantong empedu, pankreas, dan otak (Hollóczki, 2020). Sedikit yang diketahui tentang efek kesehatan yang merugikan dari nanoplastik pada organisme termasuk manusia. Pada ikan zebra, nanoplastik polistirena dapat menginduksi jalur respons stres yang mengubah kadar glukosa dan kortisol, yang berpotensi terkait dengan perubahan perilaku dalam fase stres (Pitt, 2018).

Rumusan Masalah

Berdasarkan paparan kajian teori di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian kajian ini yaitu “ bagaimana dampak mikroplastik terhadap lingkungan ?”.

Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari kajian ini yaitu untuk mengetahui dampak mikroplastik terhadap lingkungan dan diharapkan dapat bermanfaat sebagai informasi mengenai dampak mikroplastik terhadap lingkungan, sehingga bisa sama-sama menjaga lingkungan.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini merupakan penelitian kajian pustaka. Penelitian kajian pustaka dengan menelaah dan mengkaji beberapa teori terkait mengenai suatu pokok atau topik. Topik yang diangkat dalam penelitian ini yaitu dampak mikroplastik terhadap lingkungan. Topik tersebut dijelaskan dan dipaparkan berdasarkan teori-teori atau pendapat ahli atau peneliti sebelumnya. Kemudian padanan teori tersebut disimpulkan oleh penulis berdasarkan kajian yang sudah dibahas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Mikroplastik

Sebagian besar polusi mikroplastik berasal dari tekstil, ban dan debu perkotaan yang menyumbang lebih dari 80% dari semua mikroplastik di lingkungan (Boucher, 2017). Keberadaan mikroplastik di lingkungan sering ditetapkan melalui studi akuatik. Ini termasuk mengambil sampel plankton, menganalisis sedimen berpasir dan berlumpur, mengamati konsumsi vertebrata dan invertebrata, dan mengevaluasi interaksi polutan kimia. Melalui metode tersebut, telah ditunjukkan bahwa ada mikroplastik dari berbagai sumber di lingkungan (Ivar do Sul, 2014). Mikroplastik dapat berkontribusi hingga 30% dari Great Pacific Garbage Patch yang mencemari lautan dunia dan, di banyak negara maju, merupakan sumber polusi plastik laut yang lebih besar daripada potongan sampah laut yang terlihat lebih besar, menurut laporan IUCN 2017.

a. Ban Mobil dan Truk

Keausan ban secara signifikan berkontribusi pada aliran plastik (mikro) ke lingkungan. Perkiraan emisi mikroplastik ke lingkungan di Denmark adalah antara 5.500 dan 14.000 ton (6.100 dan 15.400 ton) per tahun. Mikroplastik sekunder (misalnya dari ban mobil dan truk atau alas kaki) lebih penting daripada mikroplastik primer dalam dua kali lipat. Pembentukan mikroplastik dari degradasi plastik yang lebih besar di lingkungan tidak diperhitungkan dalam penelitian ini (Copenhagen: Ministry of Environment and Food in Denmark, 2015)

Estimasi emisi per kapita berkisar antara 0,23 hingga 4,7 kg/ tahun, dengan rata-rata global 0,81 kg/tahun. Emisi dari ban mobil (keausan mencapai 100%) jauh lebih tinggi daripada sumber mikroplastik lainnya, misalnya ban pesawat (2%), rumput sintetis (keausan 12–50%), rem (keausan 8%), dan jalan raya. tanda (pakai 5%). Dalam hal marka jalan, studi lapangan baru-baru ini menunjukkan bahwa mereka dilindungi oleh lapisan manik-manik kaca dan kontribusinya hanya 0,1 dan 4,3 g/orang/tahun. Emisi dan jalur bergantung pada faktor lokal seperti jenis jalan atau sistem pembuangan limbah (Burghardt, 2022). Kontribusi relatif dari keausan ban terhadap jumlah total plastik global yang berakhir di lautan kita diperkirakan 5-10%. Di udara, 3-7% partikulat (PM2.5) diperkirakan terdiri dari keausan ban, menunjukkan bahwa hal itu dapat berkontribusi pada beban kesehatan global dari polusi udara yang telah diproyeksikan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) pada 3 juta kematian pada tahun 2012. Polusi dari keausan ban juga memasuki rantai makanan, tetapi penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menilai risiko kesehatan manusia (Kole, 2017).

b. Pakaian

Penelitian telah menunjukkan bahwa banyak serat sintetis, seperti poliester, nilon, akrilik, dan spandeks, dapat terlepas dari pakaian dan bertahan di lingkungan (Periyasamy, 2022). Setiap pakaian dalam satu beban cucian dapat melepaskan lebih dari 1.900 serat mikroplastik, dengan bulu domba melepaskan persentase serat tertinggi, lebih dari 170% lebih banyak daripada pakaian lainnya. Untuk beban pencucian rata-rata 6 kilogram (13 lb), lebih dari 700.000 serat dapat dilepaskan per pencucian (Napper, 2016). Produsen mesin cuci juga telah meninjau penelitian apakah filter mesin cuci dapat mengurangi jumlah serat mikro yang perlu diolah oleh fasilitas pengolahan limbah (Patagonia, 2017).

Serat mikro ini telah ditemukan bertahan di seluruh rantai makanan dari zooplankton hingga hewan yang lebih besar seperti paus. Serat utama yang bertahan di seluruh industri tekstil adalah poliester yang merupakan alternatif kapas murah yang dapat dengan mudah diproduksi (Boucher, 2017). Namun, jenis serat ini berkontribusi besar terhadap persistensi mikroplastik di ekosistem darat, udara, dan laut. Proses mencuci pakaian menyebabkan pakaian kehilangan rata-rata lebih dari 100 serat per liter air. Ini telah dikaitkan dengan efek kesehatan yang mungkin disebabkan oleh pelepasan monomer, pewarna dispersif, mordant, dan *plasticizer* dari manufaktur. Terjadinya jenis serat ini di rumah tangga telah terbukti mewakili 33% dari semua serat di lingkungan dalam ruangan (Browne, 2011)

Serat tekstil telah dipelajari di lingkungan dalam dan luar ruangan untuk menentukan rata-rata paparan manusia. Konsentrasi dalam ruangan ditemukan 1,0-60,0 serat/m³, sedangkan konsentrasi luar ruangan jauh lebih rendah pada 0,3-1,5 serat/m³. Laju pengendapan di dalam ruangan adalah 1586-11,130 serat per hari/m³ yang terakumulasi menjadi sekitar 190-670 serat/mg debu (Dris, 2017). Kekhawatiran terbesar dengan konsentrasi ini adalah bahwa hal itu meningkatkan paparan pada anak-anak dan orang tua, yang dapat menyebabkan efek kesehatan yang merugikan

c. Industri Kosmetik

Beberapa perusahaan telah mengganti bahan pengelupasan alami dengan mikroplastik, biasanya dalam bentuk "*microbeads*" atau "mikro-eksfoliasi". Produk ini biasanya terdiri dari polietilen, komponen umum plastik, tetapi juga dapat dibuat dari polipropilena, polietilen tereftalat (PET), dan nilon. Mereka sering ditemukan di pencuci muka, sabun tangan, dan produk perawatan pribadi lainnya; manik-manik biasanya dicuci ke dalam sistem pembuangan limbah segera setelah digunakan (Plastic Soup Foundation, 2015). Ukurannya yang kecil mencegah mereka dari sepenuhnya ditahan oleh saringan pengolahan awal di pabrik air limbah, sehingga memungkinkan beberapa untuk memasuki sungai dan lautan. Faktanya, instalasi pengolahan air limbah hanya menghilangkan rata-rata 95–99,9% *microbeads* karena desainnya yang kecil (Fendall, 2019).

Ini meninggalkan rata-rata 0-7 *microbeads* per liter yang dibuang. Mempertimbangkan bahwa satu instalasi pengolahan membuang 160 triliun liter air per hari, sekitar 8 triliun *microbeads* dilepaskan ke saluran air setiap hari. Jumlah ini tidak termasuk lumpur limbah yang digunakan kembali sebagai pupuk setelah pengolahan air limbah yang diketahui masih mengandung *microbeads* tersebut (Rochman, 2015).

Meskipun banyak perusahaan telah berkomitmen untuk menghentikan penggunaan *microbeads* dalam produk mereka secara bertahap, menurut penelitian, setidaknya terdapat 80 produk *scrub* wajah yang masih dijual dengan *microbeads* sebagai komponen utama. (Anderson, 2016). Ini berkontribusi pada 80 metrik ton pelepasan *microbeads* per tahun oleh yang tidak hanya berdampak negatif pada satwa liar dan rantai makanan, tetapi juga pada tingkat toksisitas, karena *microbeads* telah terbukti menyerap bahan kimia berbahaya seperti pestisida dan hidrokarbon aromatik polisiklik. Bahkan ketika *microbeads* dihilangkan dari produk kosmetik, masih ada produk berbahaya yang dijual dengan plastik di dalamnya. Misalnya, kopolimer akrilat menyebabkan efek toksik bagi saluran air dan hewan jika tercemar. Kopolimer akrilat juga dapat memancarkan monomer stirena bila digunakan dalam produk tubuh yang meningkatkan kemungkinan seseorang terkena kanker (Tikhomirov, 1991)

d. Industri Perikanan

Perikanan rekreasi dan komersial, kapal laut, dan industri kelautan adalah semua sumber plastik yang dapat langsung masuk ke lingkungan laut, menimbulkan risiko bagi biota baik sebagai makroplastik, maupun sebagai mikroplastik sekunder setelah degradasi jangka panjang. Sampah laut yang diamati di pantai juga muncul dari material yang terbawa arus pantai dan laut. Alat tangkap berupa sampah plastik yang bersumber dari laut. Alat tangkap yang dibuang atau hilang, termasuk tali monofilamen plastik dan jaring nilon (kadang-kadang disebut jaring hantu), biasanya mengapung secara netral dan oleh karena itu dapat hanyut pada kedalaman yang bervariasi di dalam lautan. Di Indonesia, 55% dari semua spesies ikan memiliki bukti puing-puing yang diproduksi mirip dengan Amerika yang dilaporkan 67% (Rochman, 2015). Namun, mayoritas sampah di Indonesia adalah plastik, sedangkan di Amerika Utara mayoritas adalah serat sintesis yang terdapat pada pakaian dan beberapa jenis jaring. Implikasi dari fakta bahwa ikan terkontaminasi mikroplastik adalah plastik dan bahan kimianya akan terakumulasi dalam rantai makanan. Oleh karena itu, bukan hanya plastik yang ditransfer melalui rantai makanan, tetapi juga bahan kimia dari plastik (Tanaka, 2013).

e. Pengemasan dan Pengiriman

Pelayaran telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pencemaran laut. Beberapa statistik menunjukkan bahwa pada tahun 1970, armada pelayaran komersial di seluruh dunia membuang lebih dari 23.000 ton sampah plastik ke lingkungan laut. Pada tahun 1988, sebuah perjanjian internasional

(MARPOL 73/78, Annex V) melarang pembuangan limbah dari kapal ke lingkungan laut. Di Amerika Serikat, Marine Plastic Pollution Research and Control Act of 1987 melarang pembuangan plastik di laut, termasuk dari kapal angkatan laut. Namun, pengiriman tetap menjadi sumber utama polusi plastik, dengan menyumbang sekitar 6,5 juta ton plastik pada awal 1990-an (Derraik, 2002).

f. Alat Pelindung Diri

Masker Wajah. Sejak munculnya pandemi COVID-19, penggunaan masker medis meningkat tajam hingga mencapai masing-masing sekitar 89 juta masker. Masker wajah sekali pakai terbuat dari bahan polimer, seperti polipropilen, poliuretan, poliakrilonitril, polistirena, polikarbonat, polietilen, atau poliester. Meningkatnya produksi, konsumsi, dan membuang sampah sembarangan masker menambah daftar tantangan lingkungan, karena penambahan sampah partikel plastik di lingkungan. Setelah rusak, masker wajah sekali pakai dapat terurai menjadi partikel berukuran lebih kecil (di bawah 5 mm) yang memunculkan sumber mikroplastik baru (Fadare, 2020).

Botol Air Minum Kemasan. Dalam sebuah penelitian, 93% air minum kemasan dari 11 merek berbeda menunjukkan kontaminasi mikroplastik. Per liter, peneliti menemukan rata-rata 325 partikel mikroplastik. Dari merek yang diuji, botol Nestlé Pure Life dan Gerolsteiner mengandung mikroplastik paling banyak dengan 930 dan 807 partikel mikroplastik per liter (MPP/L), masing-masing. Dibandingkan dengan air dari keran, air dari botol plastik mengandung mikroplastik dua kali lebih banyak. Beberapa kontaminasi kemungkinan berasal dari proses pembotolan dan pengemasan air (Mason, 2018).

Botol Bayi. Pada tahun 2020 peneliti melaporkan bahwa botol susu bayi polypropylene dengan prosedur persiapan kontemporer ditemukan menyebabkan paparan mikroplastik pada bayi mulai dari 14.600 hingga 4.550.000 partikel per kapita per hari di 48 wilayah. Pelepasan mikroplastik lebih tinggi dengan cairan yang lebih hangat dan serupa dengan produk polipropilen lainnya seperti kotak makan siang (Li, 2020). Tanpa diduga, puting susu botol bayi dari karet silikon menurun seiring waktu dari sterilisasi uap berulang kali, melepaskan partikel karet silikon berukuran mikro dan nano, para peneliti menemukan pada tahun 2021. Mereka memperkirakan bahwa, menggunakan puting susu yang terdegradasi panas selama setahun, bayi akan menelannya. lebih dari 660.000 partikel (Su, 2021).

Produk Plastik Sekali Pakai. Produk plastik sekali pakai yang umum – seperti cangkir kopi kertas yang dilapisi dengan film plastik tipis di dalamnya – melepaskan triliunan mikroplastik-nanopartikel per liter ke dalam air selama penggunaan normal (Zangmeister, 2022). Produk plastik sekali pakai memasuki lingkungan perairan dan "Kebijakan lokal dan seluruh negara bagian yang mengurangi plastik sekali pakai diidentifikasi sebagai tindakan legislatif yang efektif yang dapat dilakukan masyarakat untuk mengatasi polusi plastik" (Okeke, 2022).

Pabrik Pengolahan Limbah. Instalasi pengolahan limbah, juga dikenal sebagai instalasi pengolahan air limbah (IPAL), menghilangkan kontaminan dari air limbah, terutama dari limbah rumah tangga, menggunakan berbagai proses fisik, kimia, dan biologis. Sebagian besar tanaman di negara maju memiliki tahap perawatan primer dan sekunder. Pada tahap utama perawatan, proses fisik digunakan untuk menghilangkan minyak, pasir, dan padatan besar lainnya menggunakan filter konvensional, clarifier, dan tangki pengendapan (Car, 2016). Perlakuan sekunder menggunakan proses biologis yang melibatkan bakteri dan protozoa untuk memecah bahan organik. Teknologi sekunder yang umum adalah sistem lumpur aktif, filter menetes, dan lahan basah buatan. Tahap pengobatan tersier opsional dapat mencakup proses penghilangan nutrisi (nitrogen dan fosfor) dan desinfeksi (Wexford: Environmental Protection Agency, Ireland. 1997). Ketika fasilitas pengolahan ini berfungsi dengan baik, kontribusi mikroplastik ke lautan dan lingkungan air permukaan dari IPAL tidak terlalu besar. Lumpur limbah digunakan untuk pupuk tanah di beberapa negara, yang memaparkan plastik dalam lumpur terhadap cuaca, sinar matahari, dan faktor biologis lainnya, yang menyebabkan fragmentasi (Estahbanati, 2016). Akibatnya, mikroplastik dari biosolid ini sering berakhir di saluran air dan akhirnya masuk ke badan air. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik memang melewati proses filtrasi di beberapa IPAL (Weithmann, 2018).

Dimana Mikroplastik Dapat Ditemukan?

Steve Allen dari Universitas Dalhousie di Kanada, penulis utama studi yang menemukan mikroplastik di pegunungan tinggi, mengatakan, "Plastik meninggalkan lautan ke udara setinggi itu - ini menunjukkan tidak ada tempat tenggelam untuk plastik. Hanya bergerak dan berputar di dalam siklus yang tidak terbatas" (The Guardian, 2021).

a. Udara

Mikroplastik di udara telah terdeteksi di atmosfer, serta di dalam dan di luar ruangan. Pada tahun 2019, sebuah penelitian menemukan mikroplastik diangkut secara atmosfer ke daerah-daerah terpencil dengan bantuan angin. Sebuah studi tahun 2017 menemukan konsentrasi serat mikro di udara dalam ruangan

antara 1,0 dan 60,0 serat mikro per meter kubik (33% di antaranya ditemukan sebagai mikroplastik) (Allen, 2019). Studi lain mengamati mikroplastik di debu jalanan Teheran dan menemukan 2.649 partikel mikroplastik dalam 10 sampel debu jalanan, dengan konsentrasi sampel berkisar dari 83 partikel – 605 partikel (± 10) per 30,0 g debu jalanan (Gasperi, 2018). Mikroplastik dan serat mikro juga ditemukan dalam sampel salju dan tinggi di udara "bersih" di pegunungan tinggi pada jarak yang sangat jauh dari sumbernya (Dehghani, 2017). Namun, seperti halnya ekosistem air tawar dan tanah, diperlukan lebih banyak penelitian untuk memahami dampak penuh dan signifikansi mikroplastik di udara (Allen. S., 2021).

b. Air

Lautan. Kekhawatiran yang berkembang mengenai polusi plastik di ekosistem laut adalah penggunaan mikroplastik. Mikroplastik adalah butiran plastik dengan lebar kurang dari 5 milimeter dan biasanya ditemukan di sabun tangan, pembersih wajah, dan eksfoliator lainnya. Ketika produk ini digunakan, mikroplastik melewati sistem penyaringan air dan masuk ke laut, tetapi karena ukurannya yang kecil, mereka cenderung lolos dari penyaringan pengolahan awal pada instalasi air limbah (Wiggin, 2019). Karena plastik sangat banyak digunakan di seluruh planet ini, mikroplastik telah menyebar luas di lingkungan laut. Setelah mencapai lingkungan laut, nasib mikroplastik tunduk pada penggerak yang terjadi secara alami, seperti angin dan arus permukaan laut. Model numerik mampu melacak puing-puing plastik kecil (mikro dan mesoplastik) yang hanyut di lautan, sehingga dapat memprediksi peredaran mikroplastik (Iwasaki, 2017)

Inti Es. Kelly dkk. menemukan 96 partikel mikroplastik dari 14 jenis polimer yang berbeda dalam inti es yang diambil sampelnya pada tahun 2009 dari Antartika Timur. Polusi plastik sebelumnya telah tercatat di perairan dan sedimen permukaan Antartika serta di es laut Kutub Utara, tetapi ini dianggap sebagai pertama kalinya plastik ditemukan di es laut Antartika. Ukuran partikel yang relatif besar menunjukkan sumber polusi lokal (Kelly, 2020)

Air Tawar. Mikroplastik telah banyak dideteksi di lingkungan perairan dunia. Studi pertama tentang mikroplastik di ekosistem air tawar diterbitkan pada 2011 yang menemukan rata-rata 37,8 fragmen per meter persegi sampel sedimen Danau Huron (Anderson, 2016). Selain itu, penelitian telah menemukan MP (mikroplastik) hadir di semua Great Lakes dengan konsentrasi rata-rata 43.000 MP partikel km^2 . Tak satu pun dari mikroplastik yang terdeteksi adalah *microbeads* atau manik-manik mikro dan sebagian besar adalah serat yang dihasilkan dari pemecahan partikel yang lebih besar, tekstil sintetis, atau kejatuhan atmosfer. Konsentrasi mikroplastik tertinggi yang pernah ditemukan dalam ekosistem air tawar yang diteliti tercatat di sungai Rhine pada 4000 MP partikel kg^{-1} (Redondo-Hasselerharm, 2018).

c. Tanah

Sebagian besar mikroplastik diperkirakan akan berakhir di tanah dunia, namun sangat sedikit penelitian yang dilakukan pada mikroplastik di tanah di luar lingkungan perairan. Di lingkungan lahan basah, konsentrasi mikroplastik telah ditemukan menunjukkan korelasi negatif dengan tutupan vegetasi dan kerapatan batang. Terdapat beberapa spekulasi bahwa mikroplastik sekunder berserat dari mesin cuci dapat berakhir di tanah karena kegagalan instalasi pengolahan air untuk menyaring semua serat mikroplastik sepenuhnya. Selain itu, fauna tanah geophagous, seperti cacing tanah, tungau, dan collembola dapat berkontribusi pada jumlah mikroplastik sekunder yang ada di tanah dengan mengubah sampah plastik yang dikonsumsi menjadi mikroplastik melalui proses pencernaan (Rillig, 2017).

d. Tubuh Manusia

Mikroplastik masuk ke dalam makanan yang kita makan, air yang kita minum, dan bahkan udara yang kita hirup. Menurut beberapa perkiraan, orang mengkonsumsi lebih dari 50.000 partikel plastik per tahun dan lebih banyak lagi jika mempertimbangkan inhalasi. Mikroplastik ditemukan di setiap jaringan manusia yang dipelajari oleh mahasiswa pascasarjana di Arizona State University. Sebuah penelitian yang diterbitkan pada bulan Maret 2022, mengungkapkan bahwa Mikroplastik juga telah ditemukan di 80% dari 22 sampel darah anonim, yang berarti mereka dapat diangkut ke seluruh tubuh manusia dan menimbulkan pertanyaan apakah mereka dapat diangkut ke otak (American Chemical Society, 2021). Pada bulan Desember 2020, partikel mikroplastik ditemukan di plasenta bayi yang belum lahir untuk pertama kalinya (The Guardian, 2022). Polusi plastik memiliki dampak terbesar pada populasi termiskin dan paling rentan di dunia. Segmen populasi ini sebagian besar bekerja di sektor sampah informal dan/atau tinggal di sekitar tempat pembuangan sampah terbuka. Polusi plastik secara langsung dan tidak langsung mengancam hak asasi mereka, termasuk hak untuk hidup, kesehatan, air dan sanitasi, makanan, perumahan, budaya dan pembangunan (UNEP – UN Environment Programme, 2022).

Dampak Pada Lingkungan

Meskipun belum ada bukti risiko ekologi yang meluas dari polusi mikroplastik, risiko kemungkinan akan meluas dalam satu abad jika polusi terus berlanjut pada tingkat saat ini. Masalah yang diakui secara luas yang dihadapi kehidupan laut adalah belitan, tertelan, mati lemas dan kelemahan umum yang sering menyebabkan kematian dan/ atau terdampar. Hal ini menyebabkan keprihatinan publik yang serius. Partikel dengan ukuran ini tersedia untuk spesies yang jauh lebih luas, memasuki rantai makanan di bagian bawah, menjadi tertanam dalam jaringan hewan, dan kemudian tidak terdeteksi oleh inspeksi visual tanpa bantuan. Selanjutnya, konsekuensi dari degradasi plastik dan pelepasan polusi dalam jangka panjang sebagian besar telah diabaikan. Sejumlah besar plastik saat ini di lingkungan, terkena degradasi, tetapi yang memiliki lebih banyak tahun pembusukan dan pelepasan senyawa beracun untuk mengikuti disebut sebagai utang toksisitas. Mikroplastik telah terdeteksi tidak hanya di laut tetapi juga di sistem air tawar termasuk rawa-rawa, sungai, kolam, danau, dan sungai.

a. Integrasi Biologis ke Dalam Organisme Mikroplastik

Integrasi Biologis ke dalam organisme mikroplastik dapat tertanam dalam jaringan hewan melalui konsumsi atau respirasi. Berbagai spesies annelida, seperti lugworms pemakan deposit (*Arenicola marina*), telah terbukti memiliki mikroplastik yang tertanam di saluran pencernaan mereka. Banyak krustasea, seperti kepiting pantai *Carcinus maenas*, terlihat mengintegrasikan mikroplastik ke dalam saluran pernapasan dan pencernaannya (Watts, 2014). Partikel plastik sering disalahartikan oleh ikan sebagai makanan yang dapat menghalangi saluran pencernaan mereka mengirimkan sinyal makan yang salah ke otak hewan. Namun, penelitian baru mengungkapkan bahwa ikan menelan mikroplastik secara tidak sengaja dan bukan sengaja (Li, 2021)

Beberapa karang seperti *Pocillopora verrucosa* juga ditemukan menelan mikroplastik. Diperlukan waktu hingga 14 hari bagi mikroplastik untuk melewati hewan (dibandingkan dengan periode pencernaan normal 2 hari), tetapi terperangkapnya partikel dalam insang hewan dapat mencegah eliminasi seluruhnya (Reichert, 2018). Ketika hewan sarat mikroplastik dikonsumsi oleh predator, mikroplastik kemudian dimasukkan ke dalam tubuh pengumpan tingkat trofik yang lebih tinggi.

Zooplankton juga menelan butiran mikroplastik (1,7–30,6 μm) dan mengeluarkan kotoran yang terkontaminasi mikroplastik. Seiring dengan konsumsi, mikroplastik menempel pada pelengkap dan kerangka luar zooplankton. Zooplankton, di antara organisme laut lainnya, mengkonsumsi mikroplastik karena memancarkan infokimia serupa, terutama dimetil sulfida, seperti yang dilakukan fitoplankton (Cole, 2013).

Tidak hanya hewan dan tumbuhan yang menelan mikroplastik, beberapa mikroba juga hidup di permukaan mikroplastik. Komunitas mikroba ini membentuk biofilm berlendir yang menurut studi tahun 2019, memiliki struktur yang unik dan memiliki risiko khusus, karena biofilm mikroplastik telah terbukti menyediakan habitat baru untuk kolonisasi yang meningkatkan tumpang tindih antara spesies yang berbeda, sehingga penyebaran patogen dan gen resisten antibiotik melalui transfer gen horizontal. Kemudian, karena pergerakan cepat melalui saluran air, patogen ini dapat dipindahkan dengan sangat cepat dari asalnya ke lokasi lain di mana patogen tertentu mungkin tidak ada secara alami, menyebarkan potensi penyakit (Wu, 2019).

b. Manusia

Rata-rata asupan mikroplastik pada manusia berada pada tingkat yang dianggap aman bagi manusia; namun, beberapa individu terkadang melebihi batas ini; efeknya, jika ada, tidak diketahui. Tidak diketahui apakah dan sejauh mana mikroplastik terakumulasi pada manusia (Weis, 2015). Penelitian yang dilaporkan pada tahun 2022 mengidentifikasi, untuk pertama kalinya, keberadaan polimer dalam darah manusia pada 17 dari 22 sukarelawan sehat. Rata-rata jumlah konsentrasi partikel plastik yang dapat diukur adalah 1,6 g/ml. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan metode pengambilan sampel dan analitik yang dapat digunakan untuk mendeteksi plastik dalam darah manusia.

Ada tiga area utama yang menjadi perhatian potensial dengan mikroplastik: plastik itu sendiri mungkin memiliki beberapa efek pada fisiologi manusia, mikroplastik mungkin kompleks dengan logam berat atau senyawa kimia lainnya di lingkungan dan bertindak sebagai vektor untuk membawa mereka ke dalam tubuh, dan itu adalah kemungkinan mikroplastik dapat berfungsi sebagai vektor patogen. Masih belum diketahui apakah paparan mikroplastik pada tingkat yang ditemukan di lingkungan merupakan risiko "nyata" bagi manusia; penelitian tentang subjek sedang berlangsung (Weis, 2015).

c. Polutan Persisten Organik

Partikel plastik dapat sangat berkonsentrasi dan mengangkut senyawa organik sintetis (misalnya polutan organik persisten, POPs), yang umumnya ada di lingkungan dan air laut ambien, di permukaannya

melalui adsorpsi. Mikroplastik dapat bertindak sebagai pembawa transfer POPs dari lingkungan ke organisme (Mato, 2001).

Aditif yang ditambahkan ke plastik selama pembuatan dapat larut saat tertelan, berpotensi menyebabkan kerusakan serius pada organisme. Gangguan endokrin oleh aditif plastik dapat mempengaruhi kesehatan reproduksi manusia dan satwa liar. Plastik, polimer yang berasal dari minyak mineral, hampir tidak dapat terurai secara hayati. Namun, polimer alam terbarukan sekarang dalam pengembangan yang dapat digunakan untuk produksi bahan biodegradable mirip dengan yang berasal dari polimer berbasis minyak (Teuten, E. L., 2009).

Pencegahan

a. Treatment

Beberapa peneliti telah mengusulkan pembakaran plastik untuk digunakan sebagai energi, yang dikenal sebagai pemulihan energi. Berbeda dengan kehilangan energi dari plastik ke atmosfer di tempat pembuangan sampah, proses ini mengubah beberapa plastik kembali menjadi energi yang dapat digunakan. Namun, berbeda dengan daur ulang, metode ini tidak mengurangi jumlah bahan plastik yang dihasilkan. Oleh karena itu, mendaur ulang plastik dianggap sebagai solusi yang lebih efisien. Biodegradasi adalah solusi lain yang mungkin untuk sejumlah besar limbah mikroplastik. Dalam proses ini, mikroorganisme mengkonsumsi dan menguraikan polimer sintetik melalui enzim. Plastik ini kemudian dapat digunakan dalam bentuk energi dan sebagai sumber karbon setelah dipecah. Mikroba tersebut berpotensi digunakan untuk mengolah air limbah, yang akan mengurangi jumlah mikroplastik yang masuk ke lingkungan sekitar (Auta, H.S., 2017).

b. Penyaringan

Sistem pengumpulan air hujan atau air limbah dapat menangkap banyak mikroplastik yang diangkut ke pabrik pengolahan, mikroplastik yang ditangkap menjadi bagian dari lumpur yang dihasilkan oleh pabrik. Lumpur ini sering digunakan sebagai pupuk pertanian yang berarti plastik masuk ke saluran air melalui limpasan. Fionn Ferreira, pemenang Google Science Fair 2019, sedang mengembangkan perangkat untuk menghilangkan partikel mikroplastik dari air menggunakan ferrofluid (Forbes, 2019).

c. Pemodelan Komputer

Pemodelan komputer yang dilakukan oleh The Ocean Cleanup, sebuah yayasan Belanda, menyarankan bahwa perangkat pengumpul yang ditempatkan lebih dekat ke pantai dapat menghilangkan sekitar 31% mikroplastik di daerah tersebut. Pada 9 September 2018, The Ocean Cleanup meluncurkan sistem pembersihan laut pertama di dunia, 001 alias "Wilson", yang dikerahkan ke Great Pacific Garbage Patch. System 001 memiliki panjang 600 meter yang berfungsi sebagai perahu berbentuk U yang menggunakan arus laut alami untuk memusatkan plastik dan puing-puing lainnya di permukaan laut ke dalam area terbatas untuk diekstraksi dengan kapal (The Ocean Cleanup, 2018). Selain itu, beberapa bakteri telah beradaptasi untuk memakan plastik, dan beberapa spesies bakteri telah dimodifikasi secara genetik untuk memakan (jenis tertentu) plastik. Selain mendegradasi mikroplastik, mikroba telah direkayasa dengan cara baru untuk menangkap mikroplastik dalam matriks biofilm mereka dari sampel yang tercemar untuk menghilangkan polutan tersebut dengan lebih mudah. Mikroplastik dalam biofilm kemudian dapat dilepaskan dengan mekanisme 'pelepasan' yang direkayasa melalui penyebaran biofilm untuk memfasilitasi pemulihan mikroplastik (Yang Liu, 2020).

d. Edukasi dan Penyuluhan Pengolahan Sampah

Meningkatkan pendidikan melalui kampanye daur ulang adalah solusi lain yang diusulkan untuk kontaminasi mikroplastik. Meskipun ini akan menjadi solusi skala kecil, pendidikan telah terbukti mengurangi membuang sampah sembarangan, terutama di lingkungan perkotaan di mana seringkali terdapat konsentrasi sampah plastik yang besar. Jika upaya daur ulang ditingkatkan, siklus penggunaan dan penggunaan kembali plastik akan tercipta untuk mengurangi keluaran limbah dan produksi bahan baku baru.

e. Tindakan Untuk Meningkatkan Kesadaran Masyarakat

Pemasangan spanduk dan kampanye juga dapat mendorong masyarakat untuk mengumpulkan limbah sampah untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Mengurangi penggunaan plastik sekali pakai seperti gelas sekali pakai, sendok dan sedotan juga merupakan upaya untuk menganjurkan tindakan untuk melawan mikroplastik dan itu menyebarkan kesadaran mikroplastik.

f. Pendanaan

The Clean Oceans Initiative adalah proyek yang diluncurkan pada tahun 2018 oleh lembaga publik Bank Investasi Eropa, Agence Française de Développement dan KfW Entwicklungsbank. Tujuan dari organisasi tersebut adalah untuk memberikan pinjaman, hibah, dan bantuan teknis hingga €2 miliar hingga tahun 2023 untuk mengembangkan proyek yang menghilangkan polusi dari saluran air (dengan fokus pada makroplastik dan mikroplastik) sebelum mencapai lautan. Upaya ini berfokus pada inisiatif yang menunjukkan metode yang efisien untuk meminimalkan limbah plastik dan keluaran mikroplastik, dengan menekankan pada daerah sungai dan pesisir. Pada awal tahun 2022, lebih dari 80% dari target ini telah tercapai, dengan €1,6 miliar digunakan dalam pembiayaan jangka panjang untuk inisiatif sektor publik dan swasta yang meminimalkan pembuangan plastik, mikroplastik, dan polutan lainnya melalui peningkatan limbah padat, air limbah dan pengelolaan air hujan (European Investment Bank, 2022).

Kebijakan

Dengan meningkatnya kesadaran akan dampak buruk mikroplastik terhadap lingkungan, beberapa kelompok-kelompok menganjurkan penghapusan dan pelarangan mikroplastik dari berbagai produk. Salah satu kampanye tersebut adalah "Beat the Microbead", yang berfokus pada penghapusan plastik dari produk perawatan pribadi (Schnurr, 2018). Para Petualang dan Ilmuwan untuk Konservasi menjalankan Inisiatif Mikroplastik Global, sebuah proyek untuk mengumpulkan sampel air guna memberikan data yang lebih baik kepada para ilmuwan tentang penyebaran mikroplastik di lingkungan. UNESCO telah mensponsori penelitian dan program penilaian global karena masalah lintas batas yang ditimbulkan oleh polusi mikroplastik. Kelompok lingkungan ini akan terus menekan perusahaan untuk menghilangkan plastik dari produk mereka untuk menjaga ekosistem yang sehat (Adventure Scientists, 2018).

PENUTUP

Simpulan

Plastik membutuhkan waktu ratusan hingga ribuan tahun untuk dapat terurai. Selama itu pula plastik mendatangkan masalah serius bagi lingkungan. Begitu sampah plastik dibiarkan di lingkungan, maka akan terpapar unsur-unsur alam, seperti radiasi matahari, angin, atau hujan. Pada gilirannya, plastik akan terpecah menjadi potongan-potongan yang lebih kecil, terurai seiring waktu hingga tak kasat mata. Pada umumnya bahwa proses dekomposisi plastik berlangsung sangat lambat hingga membutuhkan waktu ratusan tahun agar plastik terdegradasi menjadi mikroplastik (MP) dan nanoplastik (NP) melalui berbagai proses fisik, kimiawi maupun biologis. MP didefinisikan sebagai partikel kecil plastik berukuran < 5 mm dan memiliki dampak negatif yang sangat besar terhadap lingkungan. MP dapat ditemukan di mana pun, bahkan di laut terdalam Bumi. Namun kenyataannya MP ada di sekitar kita dan begitu berbahaya. Permasalahan tentang kerusakan alam akibat sampah selalu menarik untuk diperbincangkan dan juga menjadi isu global dan besarnya dampak yang ditimbulkan dari plastik telah menjadi persoalan serius yang tak bisa diabaikan. Plastik yang awalnya menjadi benda bermanfaat dan serbaguna, kini beralih menjadi ancaman bagi keberlangsungan hidup umat manusia

Saran

Perlu adanya kesadaran setiap pribadi mengenai dampak mikroplastik terhadap lingkungan dan khususnya mengenai kesehatan itu sendiri. Selain perlunya kesadaran individual dan kelompok, sangat perlu adanya aturan tertulis atau resmi dari pemerintah mengenai limbah mikroplastik sebagai bentuk kepedulian terhadap lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, S.; Allen, D.; Baladima; Phoenix, Vernon R.; Le Roux, Gaël; Durántez Jiménez, Pilar; Simonneau, Anaëlle; Binet, Stéphane; Galop, Didier. (2019). *Atmospheric Transport and Deposition of Microplastics in a Remote Mountain Catchment*. Nature Geoscience.
- Allen, S.; Allen, D.; Baladima, F.; Phoenix, V. R.; Thomas, J. L.; Le Roux, G.; Sonke, J. E. (2021). *Evidence of Free Tropospheric and Long-range Transport of Microplastic at Pic du Midi Observatory*. Nature Communications.
- American Chemical Society. (2021). *Methods for Microplastics, Nanoplastics and Plastic Monomer Detection and Reporting in Human Tissues*.
- Anderson, Julie C.; Park, Bradley J.; Palace, Vince P. (2016). *Microplastics in Aquatic Environments: Implications for Canadian Ecosystems*. Environmental Pollution.

- 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*.
- BBC.com. (2021). *Why food's plastic problem is bigger than we realize*.
- Boucher, Julien; Friot, Damien. (2017). *Primary Microplastics in the Oceans: A global Evaluation of Sources*. doi:10.2305/IUCN.CH.2017.01.en. ISBN 978-2831718279.
- Browne, Mark Anthony; Crump, Phillip; Niven, Stewart J.; Teuten, Emma; Tonkin, Andrew; Galloway, Tamara; Thompson, Richard. (2011). *Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks*. *Environmental Science & Technology*.
- Burghardt, Tomasz E.; Pashkevich, Anton; Babić, Darko; Mosböck, Harald; Babić, Dario; Żakowska, Lidia. (2022). *Microplastics and Road Markings: The Role of Glass Beads and Loss Estimation*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.
- Cole, Matthew; Lindeque, Pennie; Halsband, Claudia; Galloway, Tamara S. (2011). *Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A review*. *Marine Pollution Bulletin*.
- Cole, Matthew; Lindeque, Pennie; Fileman, Elaine; Halsband, Claudia; Goodhead, Rhys; Moger, Julian; Galloway, Tamara S. (2013). *Microplastic Ingestion by Zooplankton*. *Environmental Science & Technology*.
- Copenhagen: Ministry of Environment and Food in Denmark. (2015). *Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the environment*. Danish Environmental Protection Agency.
- Dehghani, Sharareh; Moore, Farid; Akhbarizadeh, Razegheh. (2017). *Microplastic Pollution in Deposited Urban Dust, Tehran metropolis, Iran*. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Derraik, José G.B. (2002). *The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review*. *Marine Plastics Pollution Research and Control Act*.
- Dris, Rachid; Gasperi, Johnny; Mirande, Cécile; Mandin, Corinne; Guerrouache, Mohamed; Langlois, Valérie; Tassin, Bruno. (2017). *A First Overview of Textile Fibers, Including Microplastics, In Indoor and Outdoor Environment*. *Environmental Pollution*.
- Environment, U. N. (2021). *Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics*. UNEP – UN Environment Programme.
- European Investment Bank. (2022). *The Clean Oceans Initiative*.
- Estahbanati, Shirin; Fahrenfeld, N.L. (2016). *Influence of Wastewater Treatment Plant Discharges on Microplastic Concentrations in Surface Water*. *Chemosphere*.
- Fadare, Oluniyi O.; Okoffo, Elvis D. (2020). *Covid-19 Face Masks: A Potential Source of Microplastic Fibers in the Environment*. *Science of the Total Environment*.
- Fendall, Lisa S.; Sewell, Mary A. (2009). *Contributing to Marine Pollution by Washing Your Face: Microplastics in Facial Cleansers*. *Marine Pollution Bulletin*.
- Forbes,. (2019). *Irish Teen Wins 2019 Google Science Fair for Removing Microplastics from Water*.
- Gasperi, Johnny; Wright, Stephanie L.; Dris, Rachid; Collard, France; Mandin, Corinne; Guerrouache, Mohamed; Langlois, Valérie; Kelly, Frank J.; Tassin, Bruno. 2018. *Microplastics in Air: Are We Breathing It In?*. *Current Opinion in Environmental Science & Health*.
- Grossman, Elizabeth. (2015). *How Plastics from Your Clothes Can End up in Your Fish*. *Time*.
- Hollóczki, Oldamur; Gehrke, Sascha. (2020). *Can Nanoplastics Alter Cell Membranes?*. *ChemPhysChem*.
- Ioakeimidis, C.; Fotopoulou, K. N.; Karapanagioti, H. K.; Geraga, M.; Zeri, C.; Papatthanassiou, E.; Galgani, F.; Papatheodorou, G. 2016. *The Degradation Potential of PET Bottles in The Marine Environment: An ATR-FTIR Based Approach*. *Scientific Reports*.
- Ivar do Sul, Juliana A.; Costa, Monica F. (2014). *The Present and Future of Microplastic Pollution in the Marine Environment*. *Environmental Pollution*.
- Iwasaki, Shinsuke; Isobe, Atsuhiko; Kako, Shin'ichiro; Uchida, Keiichi; Tokai, Tadashi. (2017). *Fate of Microplastics and Mesoplastics Carried by Surface Currents and Wind Waves: A Numerical Model Approach in the Sea of Japan*. *Marine Pollution Bulletin*.
- Karbalaei, Samaneh; Hanachi, Parichehr; Walker, Tony R.; Cole, Matthew. (2018). *Occurrence, Sources, Human Health Impacts and Mitigation of Microplastic Pollution*. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Kelly, A.; Lannuzel, D.; Rodemann, T.; Meiners, K.M.; Auman, H.J. (2020). *Microplastic Contamination in East Antarctic Sea Ice*. *Marine Pollution Bulletin*.
- Klein S, Dimzon IK, Eubeler J, Knepper TP. (2018). *Analysis, Occurrence, and Degradation of Microplastics in the Aqueous Environment*. *The Handbook of Environmental Chemistry*. Vol. 58. Cham.: Springer. pp. 51–67. doi:10.1007/978-3-319-61615-5_3. ISBN 978.

- Kole, Pieter Jan; Löhr, Ansje J.; Van Belleghem, Frank; Ragas, Ad; Kole, Pieter Jan; Löhr, Ansje J.; Van Belleghem, Frank G. A. J.; Ragas, Ad M. J. (2017). *Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment*. International Journal of Environmental Research and Public Health.
- Li, Dunzhu; Shi, Yunhong; Yang, Luming; Xiao, Liwen; Kehoe, Daniel K.; Gun'ko, Yurii K.; Boland, John J.; Wang, Jing Jing. (2020). *Microplastic Release From the Degradation of Polypropylene Feeding Bottles During Infant Formula Preparation*. Nature Food.
- Li, Bowen; Liang, Weiwenhui; Liu, Quan-Xing; Fu, Shijian; Ma, Cuizhu; Chen, Qiqing; Su, Lei; Craig, Nicholas J.; Shi, Huahong. (2021). *Fish Ingest Microplastics Unintentionally*. Environmental Science & Technology.
- Mato, Yukie; Isobe, Tomohiko; Takada, Hideshige; Kanehiro, Haruyuki; Ohtake, Chiyoko; Kaminuma, Tsuguchika. (2001). *Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment*. Environmental Science & Technology.
- Mason, Sherri A.; Welch, Victoria G.; Neratko, Joseph. (2018). *Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water*. Frontiers in Chemistry.
- Masura, Julie; Baker, Joel; Foster, Gregory; Arthur, Courtney. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments (Report)*. NOAA Marine Debris Program.
- Napper, Imogen E.; Thompson, Richard C. (2016). *Release of Synthetic Microplastic Plastic Fibres From Domestic Washing Machines: Effects of Fabric Type and Washing Conditions*. Marine Pollution Bulletin.
- Okeke, Emmanuel Sunday; Okoye, Charles Obinwanne; Atakpa, Edidiong Okokon; Ita, Richard Ekeng; Nyaruaba, Raphael; Mgbechidinma, Chiamaka Linda; Akan, Otobong Donald. (2022). *Microplastics in Agroecosystems-Impacts on Ecosystem Functions and Food Chain*. Resources, Conservation and Recycling.
- Patagonia. (2017). *An Update on Microfiber Pollution*.
- Patel, Mayur M.; Goyal, Bhoomika R.; Bhadada, Shraddha V.; Bhatt, Jay S.; Amin, Avani F. (2009). *Getting Into the Brain: Approaches to Enhance Brain Drug Delivery*. CNS Drugs.
- Periyasamy, Aravin Prince; Tehrani-Bagha, Ali. (2022). *A Review of Microplastic Emission From Textile Materials and Its Reduction Techniques*. Polymer Degradation and Stability.
- Pitt, Jordan A.; Kozal, Jordan S.; Jayasundara, Nishad; Massarsky, Andrey; Trevisan, Rafael; Geitner, Nick; Wiesner, Mark; Levin, Edward D.; Di Giulio, Richard T. (2018). *Uptake, Tissue Distribution, and Toxicity of Polystyrene Nanoparticles in Developing Zebrafish (Danio rerio)*. Aquatic Toxicology.
- Plastic Soup Foundation. (2015). *International Campaign against Microbeads in Cosmetics*. Beat the Microbead.
- Redondo-Hasselerharm, Paula E.; Falahudin, Dede; Peeters, Edwin T. H. M.; Koelmans, Albert A. (2018). *Microplastic Effect Thresholds for Freshwater Benthic Macroinvertebrates*. Environmental Science & Technology.
- Reichert, Jessica; Schellenberg, Johannes; Schubert, Patrick; Wilke, Thomas. (2018). *Responses of Reef Building Corals to Microplastic Exposure*. Environmental Pollution.
- Rillig, Matthias C.; Ingraffia, Rosolino; De Souza Machado, Anderson A. (2017). *Microplastic Incorporation into Soil in Agroecosystems*. Frontiers in Plant Science.
- Rochman, Chelsea M.; Kross, Sara M.; Armstrong, Jonathan B.; Bogan, Michael T.; Darling, Emily S.; Green, Stephanie J.; Smyth, Ashley R.; Veríssimo, Diogo. (2015). *Scientific Evidence Supports a Ban on Microbeads*. Environmental Science & Technology.
- Schnurr, Riley E.J.; Alboiu, Vanessa; Chaudhary, Meenakshi; Corbett, Roan A.; Quanz, Meaghan E.; Sankar, Karthikeshwar; Srain, Harveer S.; Thavarajah, Venukasan; Xanthos, Dirk; Walker, Tony R. (2018). *Reducing Marine Pollution From Single-use Plastics (SUPs): A Review*. Marine Pollution Bulletin.
- Su, Yu; Hu, Xi; Tang, Hongjie; Lu, Kun; Li, Huimin; Liu, Sijin; Xing, Baoshan; Ji, Rong. (2021). *Steam Disinfection Releases Micro(nano)Plastics From Silicone-rubber Baby Teats as Examined by Optical Photothermal Infrared Microspectroscopy*. Nature Nanotechnology.
- Tanaka, Kosuke; Takada, Hideshige; Yamashita, Rei; Mizukawa, Kaoruko; Fukuwaka, Masa-aki; Watanuki, Yutaka. (2013). *Accumulation of Plastic-derived Chemicals in Tissues of Seabirds Ingesting Marine Plastics*. Marine Pollution Bulletin.
- Teuten, E. L.; Saquing, J. M.; Knappe, D. R. U.; Barlaz, M. A.; Jonsson, S.; Bjorn, A.; Rowland, S. J.; Thompson, R. C.; Galloway, T. S.; Yamashita, R.; Ochi, D.; Watanuki, Y.; Moore, C.; Viet, P. H.; Tana, T. S.; Prudente, M.; Boonyatumanond, R.; Zakaria, M. P.; Akkhavong, K.; Ogata, Y.; Hirai, H.; Iwasa, S.; Mizukawa, K.; Hagino, Y.; Imamura, A.; Saha, M.; Takada, H. (2009). *Transport and*

- Release of Chemicals From Plastics to the Environment and to Wildlife*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.
- The Guardian. (2021). *No Mountain High Enough: Study Finds Plastic in 'Clean' Air*.
- The Guardian. (2022). *Microplastics Found in Human Blood for First Time*.
- The Ocean Cleanup. (2018). *System 001 Has Launched into the Pacific*.
- Thompson, Andrea. (2020). *Earth Has a Hidden Plastic Problem – Scientists Are Hunting It Down*. Scientific American.
- Tikhomirov, Iu P. (1991). *Anthropogenic Debris in Seafood: Plastic Debris and Fibers from Textiles in Fish and Bivalves Sold for Human Consumption*. Scientific Reports.
- Watts, Andrew J. R.; Lewis, Ceri; Goodhead, Rhys M.; Beckett, Stephen J.; Moger, Julian; Tyler, Charles R.; Galloway, Tamara S. (2014). *Uptake and Retention of Microplastics by the Shore Crab *Carcinus Maenas**. Environmental Science & Technology.
- Weis, Judith; Andrews, Clinton J; Dyksen, John; Ferrara, Raymond; Gannon, John; Laumbach, Robert J; Lederman, Peter; Lippencott, Robert; Rothman, Nancy. (2015). *Human Health Impacts of Microplastics and Nanoplastics*. NJDEP SAB Public Health Standing Committee: 23.
- Weithmann, Nicolas; Möller, Julia N.; Löder, Martin G. J.; Piehl, Sarah; Laforsch, Christian; Freitag, Ruth. (2018). *Organic Fertilizer as a Vehicle for the Entry of Microplastic Into the Environment*. Science Advances.
- Wexford: Environmental Protection Agency . (1997). *Primary, Secondary, and Tertiary Treatment*. Treatment Manuals., Ireland.
- Wiggin, K. J.; Holland, E. B. (2019). *Validation and Application of Cost and Time Effective Methods for the Detection of 3–500 μm Sized Microplastics in the Urban Marine and Estuarine Environments Surrounding Long Beach, California*. Marine Pollution Bulletin.
- Wu, Xiaojian; Pan, Jie; Li, Meng; Li, Yao; Bartlam, Mark; Wang, Yingying. (2019). *Selective Enrichment of Bacterial Pathogens by Microplastic Biofilm*. Water Research
- Yang Liu, Sylvia; Ming-Lok Leung, Matthew; Kar-Hei Fang, James; Lin Chua, Song. (2020). *Engineering a Microbial 'Trap and Release' Mechanism for Microplastics Removal*. Chemical Engineering Journal.
- Xue B, Zhang L, Li R, Wang Y, Guo J, Yu K, Wang S. (2020). *Underestimated Microplastic Pollution Derived from Fishery Activities and "Hidden" in Deep Sediment*. Environmental Science & Technology. 54 (4): 2210–2217.
- Zangmeister, Christopher D.; Radney, James G.; Benkstein, Kurt D.; Kalanyan, Berc. (2022). *Common Single-Use Consumer Plastic Products Release Trillions of Sub-100 nm Nanoparticles per Liter into Water during Normal Use*. Environmental Science & Technology.