

Polusi Tak Terlihat: Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita

Noer Komari | Muhammad Abrar Firdausy
Riza Miftahul Khair | Yuni Yulida

Editor

Prof. Dr. Eko Suhartono, Drs., M.Si

Micro plastics are tiny pieces of plastic accumulating in our oceans.



The plastic degrades and transforms into microplastic.



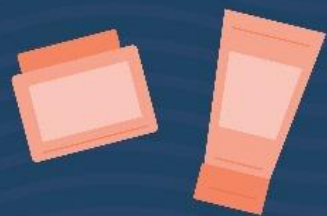
Micro plastics are now on the food chain.



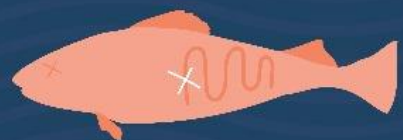
280 million tons of plastic every year enter our oceans.



They come from large manufacturing or beauty products.



Marine animals eat the plastic and it cause a blockage of the digestive system.



Polusi Tak Terlihat: Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita

Noer Komari

Muhammad Abrar Firdausy

Riza Miftahul Khair

Yuni Yulida

Editor

Prof. Dr. Eko Suhartono, M.Si

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

BANJARBARU

2024



Polusi Tak Terlihat: Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita

DI SUSUN OLEH:

Noer Komari

Muhammad Abrar Firdausy

Riza Miftahul Khair

Yuni Yulida

Editor

Prof. Dr. Eko Suhartono, M.Si



Polusi Tak Terlihat: Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita

Penulis:

Noer Komari, Muhammad Abrar Firdausy, Riza
Miftahul Khair, Yuni Yulida

Desain Cover:

Muhammad Ricky Perdana

Tata Letak:

Hapsari Lintang Sekartaji

Editor:

Prof. Dr. Eko Suhartono, M.Si

PENERBIT:

ULM Press, 2024

d/a Pusat Pengelolaan Jurnal dan Penerbitan ULM

Lantai 2 Gedung Perpustakaan Pusat ULM

Jl. Hasan Basri, Kayutangi, Banjarmasin 70123

Telp/Fax. 0511 - 3305195

ANGGOTA APPTI (004.035.1.03.2018)

Hak cipta dilindungi oleh Undang Undang

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin
tertulis dari Penerbit, kecuali

untuk kutipan singkat demi penelitian ilmiah dan resensi

I - XIII + 92 hal, 15,5 × 23 cm

Cetakan Pertama. ... 2024

ISBN : ...

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulisan buku referensi yang berjudul **“Polusi Tak Terlihat: Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita”** ini dapat diselesaikan.

Selanjutnya, terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam proses penyelesaian referensi ini. Berangkat dari kesadaran bahwa isu mikroplastik bukanlah masalah yang hanya mempengaruhi segelintir orang atau wilayah tertentu, tetapi telah menjadi masalah global.

Dalam setiap bab, pembaca akan dibawa pada perjalanan untuk memahami perjalanan mikroplastik memasuki rantai makanan, mencemari air dan tanah, serta merusak keseimbangan ekosistem. Buku ini diharapkan menjadi sumber pengetahuan dan panggilan untuk bertindak dalam upaya bersama menjaga kelestarian bumi.

Juli, 2024

Penulis

PRAKATA

Rasa terimakasih yang tinggi kami haturkan Kehadapan Allah, Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat anugrah-Nya sehingga buku **Polusi Tak Terlihat: Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita** dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini berisi 4 hal pokok yang terbagi dalam 4 bab yang terkait dengan mikroplastik, mulai dari pengenalan hingga dampaknya terhadap kesehatan manusia.

Mikroplastik merupakan partikel kecil yang hampir tak terlihat oleh mata telanjang, telah menjadi ancaman besar bagi lingkungan. Ketika plastik yang digunakan sehari-hari terurai menjadi potongan-potongan kecil, kemudian menyusup ke setiap sudut bumi. Mikroplastik tidak hanya merusak keindahan alam, tetapi juga membawa dampak serius pada kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Buku ini hadir untuk menyelami lebih dalam tentang mikroplastik, mulai dari asal-usulnya hingga dampak yang ditimbulkannya. Dalam setiap bab, akan dikupas perjalanan mikroplastik tersebar di lingkungan, pengaruhnya terhadap ekosistem, dan metode untuk mengurangi dampak negatifnya.

Penelitian tentang mikroplastik telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, mengungkap fakta-fakta mengejutkan yang mengajak

semua untuk lebih peduli terhadap penggunaan plastik. Buku ini tidak hanya menyajikan data dan temuan ilmiah, tetapi juga menyoroti kisah-kisah nyata dari berbagai belahan dunia tentang mikroplastik dalam mempengaruhi kehidupan sehari-hari.

Setelah membaca buku ini, diharapkan pembaca akan mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang krisis mikroplastik yang dihadapi dan termotivasi untuk mengambil langkah-langkah nyata dalam mengurangi penggunaan plastik dan mengelola limbah dengan bijak. Lingkungan adalah warisan yang berharga, dan harus dijaga untuk generasi mendatang.

Buku ini masih banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan, sehingga kritik dan masukan terhadap buku ini sangat diharapkan untuk perbaikan di edisi berikutnya. Semoga buku ini dapat bermanfaat.

Juli, 2024

Penulis

PENGANTAR EDITOR

Dalam era modern ini, kemajuan teknologi dan industrialisasi telah memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Namun, di balik semua kenyamanan dan kemudahan yang ditawarkan, terdapat ancaman yang semakin nyata namun sering kali tak terlihat oleh mata telanjang. Buku "Polusi Tak Terlihat: Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita" hadir untuk membuka mata terhadap salah satu masalah lingkungan yang paling mendesak di abad ini—mikroplastik. Buku ini merupakan upaya menyeluruh untuk mengungkap dampak serta tantangan yang ditimbulkan oleh partikel-partikel plastik mikroskopis yang telah menyusup ke berbagai aspek kehidupan.

Mikroplastik, meskipun berukuran sangat kecil, memiliki dampak yang besar terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Buku ini menyajikan analisis mendalam mengenai sumber, penyebaran, dan konsekuensi dari mikroplastik di lingkungan kita. Melalui berbagai penelitian ilmiah yang dipaparkan dengan bahasa yang mudah dipahami, pembaca diajak untuk memahami betapa seriusnya masalah ini dan bagaimana mikroplastik dapat ditemukan di mana-mana—mulai dari lautan, tanah, udara, hingga rantai makanan kita. Penulis buku ini dengan teliti menguraikan berbagai temuan terbaru yang

menunjukkan betapa luas dan mengkhawatirkannya dampak mikroplastik.

Sebagai editor, saya berharap buku ini dapat memberikan wawasan baru dan kesadaran yang lebih dalam mengenai isu mikroplastik. Dengan pemahaman yang lebih baik, kita dapat lebih siap untuk mengambil langkah-langkah yang diperlukan guna mengurangi dampak negatifnya. Semoga "Polusi Tak Terlihat: Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita" tidak hanya menjadi sumber informasi yang berharga, tetapi juga menjadi panggilan bagi kita semua untuk bertindak demi menjaga kelestarian lingkungan dan kesehatan generasi mendatang.

Juli, 2024

Editor

SINOPSIS

Mikroplastik merupakan partikel-partikel kecil yang sulit dilihat dengan mata telanjang, telah menjadi ancaman serius bagi lingkungan. Potongan-potongan kecil plastik ini, hasil dari degradasi sampah plastik yang tidak terkendali, telah menyebar ke seluruh penjuru bumi, mulai dari puncak gunung hingga kedalaman laut. Mikroplastik tidak hanya merusak keindahan alam, tetapi juga membawa dampak serius pada kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Buku ini akan membawa pembaca menyelami lebih dalam tentang mikroplastik, mulai dari asal-usulnya hingga dampak yang ditimbulkannya. Pembaca akan diajak memahami terbentuknya mikroplastik terbentuk, penyebaran dan pengaruhnya di lingkungan. Selain itu, buku ini juga akan membahas upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak negatif mikroplastik.

Penelitian tentang mikroplastik telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, mengungkap fakta-fakta mengejutkan yang mengajak kita untuk lebih peduli terhadap penggunaan plastik. Buku ini akan menyajikan data dan temuan ilmiah terbaru tentang mikroplastik, memberikan gambaran komprehensif tentang krisis lingkungan yang sedang kita hadapi.

Selain menyajikan informasi ilmiah, buku ini juga akan menyoroti kisah-kisah nyata dari berbagai belahan dunia tentang bagaimana mikroplastik mempengaruhi kehidupan sehari-hari. Dengan memadukan pengetahuan ilmiah dan kisah-kisah inspiratif, buku ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya mengurangi penggunaan plastik dan menjaga lingkungan dari ancaman mikroplastik.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
PRAKATA	v
PENGANTAR EDITOR.....	vii
SINOPSIS	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I MIKROPLASTIK	1
1.1 Pengertian Mikroplastik.....	1
1.2 Jenis-Jenis Mikroplastik.....	4
1.3. Sumber Mikroplastik	6
1.4 Mikroplastik pada Produk Kosmetik.....	7
1.5 Mikroplastik pada Produk Tekstil	9
1.6. Mikroplastik pada Produk Industri dan Transportasi	9
1.7 Degradasi Plastik Besar	10
1.8 Sejarah Penemuan Mikroplastik	11
BAB II PENYEBARAN MIKROPLASTIK DI LINGKUNGAN.....	19
2.1 Degradasi Plastik Menjadi Mikroplastik	19
2.2 Transportasi Mikroplastik di Dalam Lingkungan	27
2.3 Akumulasi Mikroplastik di Lingkungan Terrestrial dan Akuatik	35

2.4 Penyebaran Mikroplastik di Seluruh Dunia.....	44
BAB III MIKROPLASTIK: DAMPAK	
LINGKUNGAN.....	65
3.1 Dampak pada Organisme Laut dan Terrestrial ..	65
3.2 Dampak pada Plankton, Ikan, dan Mamalia	
Laut.....	67
3.3 Dampak Fisik dan Biologis Organisme.....	68
3.4 Dampak pada Organisme Tanah	70
3.5 Potensi Bahaya Toksik dari Mikroplastik	72
3.6 Penyerapan Zat Kimia Beracun oleh	
Mikroplastik.....	73
3.7 Mikroplastik dalam Rantai Makanan.....	75
3.8 Penyerapan Mikroplastik oleh Organisme	
Tingkat Rendah	76
3.9 Akumulasi dan Biomagnifikasi.....	77
3.10 Pencemaran Mikroplastik pada Air Minum	78
3.11 Pencemaran Mikroplastik pada Pangan	79
BAB IV MIKROPLASTIK: METABOLISME DAN	
TOKSISITAS	85
4.1 Metabolisme Mikroplastik	85
4.2 Toksisitas Mikroplastik	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Ilustrasi Mikroplastik dalam air	2
Gambar 1. 2. Ilustrasi mikroplastik di tanah	3
Gambar 2. 1. Proses Terbentuknya Mikroplastik di Tanah	23
Gambar 2. 2. Interaksi antara Mikroplastik dan Organisme Tanah.....	26
Gambar 2. 3. Partikel Mikroplastik di Udara	30
Gambar 2. 4. Mikroplastik di Sedimen Tanah.....	42
Gambar 3. 1. Efek Negatif Mikroplastik.....	67
Gambar 3. 2. Siklus Mikroplastik di Lingkungan dan Rantai Makanan	75
Gambar 4. 1. Rute Mikropastik Hingga Masuk ke Dalam Tubuh Manusia.....	86
Gambar 4. 2. Stres Oksidatif Akibat Mikroplastik.....	89

BAB I MIKROPLASTIK

1.1 Pengertian Mikroplastik

Mikroplastik adalah partikel plastik kecil berukuran kurang dari 5 mm yang dihasilkan dari degradasi benda plastik yang lebih besar, hadir dalam berbagai matriks lingkungan seperti air, tanah, dan udara (Sarkar et al., 2023; Cheng et al., 2016; Aranda & Rivas, 2023). Istilah ini mencakup berbagai bentuk dan komposisi plastik, termasuk fragmen, filamen, pelet, dan butiran yang dihasilkan dari degradasi plastik besar atau diproduksi secara langsung untuk penggunaan tertentu.

Fragmen adalah potongan atau pecahan kecil dari plastik yang lebih besar yang telah terurai. Proses degradasi fisik, kimia, dan biologi dapat menyebabkan plastik besar seperti botol, kantong, atau kemasan menjadi fragmen yang lebih kecil. Fragmen ini bisa berbentuk tidak beraturan dan sering ditemukan di berbagai lingkungan seperti pantai, lautan, dan tanah. Filamen adalah serat panjang dan tipis dari plastik yang biasanya berasal dari tekstil sintetis atau produk berbasis serat lainnya. Pakaian yang terbuat dari bahan seperti polyester, nylon, dan akrilik sering melepaskan filamen mikroplastik selama pencucian. Filamen ini kemudian bisa masuk ke dalam sistem air limbah dan akhirnya mencapai lingkungan alami, termasuk air laut

dan air tawar. Kemudian pelet adalah butiran kecil plastik yang sering kali berbentuk bulat atau silindris. Mereka biasanya diproduksi dalam ukuran kecil sebagai bahan baku untuk pembuatan berbagai produk plastik. Pelet plastik dapat tumpah selama transportasi dan distribusi, menyebabkan kontaminasi lingkungan. Pelet ini juga dikenal sebagai "nurdles" dan sering ditemukan di pantai dan perairan. Kemudian, butiran plastik adalah partikel kecil yang berbentuk bulat atau hampir bulat yang biasanya digunakan dalam produk perawatan pribadi seperti scrub wajah dan pasta gigi sebagai agen eksfoliasi. Butiran ini juga bisa berasal dari proses industri yang menghasilkan partikel plastik kecil. Setelah digunakan, butiran ini dapat masuk ke sistem air limbah dan akhirnya mencapai lingkungan alami. Berikut diberikan Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 sebagai ilustrasi mikroplastik dalam air dan dalam tanah.



Gambar 1. 1. Ilustrasi Mikroplastik dalam air

Masing-masing jenis mikroplastik ini memiliki dampak yang berbeda pada lingkungan dan organisme hidup. Misalnya, filamen mikroplastik dapat disalahartikan sebagai makanan oleh organisme laut kecil, sementara pelet dapat mengadsorpsi polutan kimia dari air, yang kemudian masuk ke rantai makanan melalui ikan dan makhluk laut lainnya. Fragmen plastik kecil bertindak sebagai pembawa senyawa berbahaya seperti logam berat, hidrokarbon aromatik polisiklik, dan pestisida, menimbulkan ancaman bagi satwa liar dan manusia (Sarkar et al., 2023; Cheng et al., 2016).



Gambar 1. 2. Ilustrasi mikroplastik di tanah

Mikroplastik dapat dengan mudah dicerna oleh organisme akuatik, menyebabkan penyumbatan pada sistem pencernaan mereka dan selanjutnya masuk ke dalam rantai makanan, yang pada akhirnya mempengaruhi kesehatan manusia (Ziani et al., 2023).

Permukaan mikroplastik dapat menampung organisme penyebab penyakit, berfungsi sebagai vektor penyakit dan selanjutnya menyoroti dampak merugikan partikel-partikel ini terhadap lingkungan dan organisme hidup (Aranda & Rivas, 2023).

1.2 Jenis-Jenis Mikroplastik

Jenis- jenis mikroplastik dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama: mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder.

Mikroplastik primer adalah partikel plastik yang diproduksi dalam ukuran kecil sejak awal untuk digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan konsumen. Berikut adalah beberapa contoh utama mikroplastik primer:

- a) Pelet Plastik: Pelet ini juga dikenal sebagai "nurdles". Pelet plastik adalah butiran kecil yang digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan produk plastik. Pelet ini sering berbentuk bulat atau silindris dan bisa tumpah ke lingkungan selama proses produksi, transportasi, atau penggunaan.
- b) Mikrobeads dalam Produk Kosmetik: Mikrobeads adalah partikel plastik kecil yang ditambahkan ke produk kosmetik dan perawatan pribadi, seperti scrub wajah, pasta gigi, dan sabun. Mereka berfungsi sebagai agen eksfoliasi untuk mengangkat sel kulit mati. Setelah digunakan,

mikrobeads ini sering kali masuk ke sistem air limbah dan tidak terfilter oleh instalasi pengolahan air limbah, sehingga akhirnya mencapai lingkungan alami.

- c) Serpihan dalam Deterjen: Beberapa produk deterjen mengandung partikel plastik kecil yang membantu meningkatkan efektivitas pembersihan. Seperti halnya mikrobeads, serpihan ini bisa masuk ke saluran air dan mencemari lingkungan.

Mikroplastik sekunder adalah partikel plastik kecil yang dihasilkan dari degradasi plastik besar. Proses degradasi ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor lingkungan seperti sinar matahari, gelombang laut, angin, dan proses mekanis lainnya. Berikut adalah beberapa contoh utama mikroplastik sekunder:

- a) Pecahan Botol Plastik: Botol plastik yang dibuang ke lingkungan akan terurai seiring waktu menjadi fragmen-fragmen kecil karena paparan sinar UV dari matahari dan aksi mekanis seperti gelombang laut. Fragmen ini kemudian dapat menjadi bagian dari mikroplastik di lingkungan.
- b) Tas Plastik: Tas plastik yang tertinggal di alam bebas akan mengalami fotodegradasi dan terurai menjadi potongan-potongan kecil. Proses ini bisa memakan waktu bertahun-tahun, tetapi akhirnya menghasilkan mikroplastik yang tersebar luas.

- c) **Tekstil Sintetis:** Pakaian yang terbuat dari serat sintetis seperti polyester, nylon, dan akrilik melepaskan serat mikroplastik selama pencucian. Serat-serat ini kemudian masuk ke sistem air limbah dan akhirnya mencapai lingkungan perairan. Proses ini berkontribusi signifikan terhadap jumlah mikroplastik di lautan dan sungai.
- d) **Produk Plastik Lainnya:** Produk plastik besar lainnya, seperti mainan, peralatan rumah tangga, dan kemasan makanan, juga dapat terurai menjadi mikroplastik sekunder melalui proses degradasi alami. Mikroplastik sekunder sering kali lebih sulit untuk dikelola karena berasal dari berbagai sumber plastik besar yang terdegradasi di lingkungan. Kedua jenis mikroplastik ini, baik primer maupun sekunder, memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Mikroplastik dapat menyerap polutan kimia dari air, yang kemudian dapat masuk ke rantai makanan melalui organisme laut dan akhirnya mencapai manusia.

1.3. Sumber Mikroplastik

Sumber mikroplastik adalah asal atau tempat di mana partikel plastik berukuran mikroskopis, yang dikenal sebagai mikroplastik, dilepaskan ke lingkungan. Mikroplastik ini dapat berasal dari

berbagai kegiatan manusia dan produk yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Mikroplastik berasal dari berbagai sumber, termasuk kegiatan berbasis darat dan laut. Sumber berbasis darat, yang bertanggung jawab atas 80-90% polusi, termasuk komponen dari produk perawatan pribadi, abrasif industri, abrasi ban mobil, degradasi cat, pencucian tekstil, dan proses industri (Osman et al., 2023). Selain itu, disintegrasi limbah plastik berkontribusi secara signifikan terhadap polusi mikroplastik di badan air (Litynska, 2023). Di sisi lain, sumber-sumber berbasis laut, yang menyumbang 10-20% dari polusi mikroplastik, melibatkan kerugian di laut dan aktivitas laut lainnya (Osman et al., 2023). Kehadiran mikroplastik di atmosfer juga menjadi perhatian yang berkembang, dengan debu pinggir jalan menjadi sumber utama mikroplastik udara yang dapat mencemari tanah, pasir, dan air.

Mikroplastik berasal dari berbagai sumber, yang dapat diklasifikasikan menjadi empat kategori utama: produk kosmetik dan perawatan pribadi, tekstil sintetis, produk industri dan transportasi, serta degradasi plastik besar.

1.4 Mikroplastik pada Produk Kosmetik

Produk kosmetik dan perawatan pribadi sering mengandung mikrobeads plastik yang digunakan

sebagai agen eksfoliasi. Mikrobeads ini adalah partikel plastik kecil yang ditambahkan ke produk untuk memberikan tekstur kasar yang membantu mengangkat sel kulit mati. Setelah digunakan, mikrobeads ini sering kali tidak terfilter oleh instalasi pengolahan air limbah dan akhirnya masuk ke saluran air, mencemari sungai, laut, dan lingkungan air lainnya. Contoh produk:

- a. Scrub Wajah dan Tubuh: Produk ini menggunakan mikrobeads untuk membersihkan pori-pori dan menghaluskan kulit.
- b. Pasta Gigi: Beberapa pasta gigi mengandung mikrobeads untuk memberikan sensasi pembersihan ekstra.
- c. Sabun dan Gel Mandi: Produk ini juga menggunakan mikrobeads untuk memberikan efek eksfoliasi.

Mikrobeads adalah partikel plastik kecil yang biasanya berukuran kurang dari 1 milimeter. Mereka sering kali berbentuk bulat atau hampir bulat dan diproduksi untuk digunakan dalam berbagai produk konsumen, terutama produk kosmetik dan perawatan pribadi. Mikrobeads umumnya terbuat dari berbagai jenis plastik, seperti polietilena (PE), polipropilena (PP), polietilen tereftalat (PET), dan polimetil metakrilat (PMMA). Mikrobeads pertama kali menarik perhatian sebagai sumber pencemaran mikroplastik setelah ditemukan dalam jumlah besar di berbagai perairan di seluruh dunia, termasuk danau, sungai, dan lautan.

1.5 Mikroplastik pada Produk Tekstil

Pakaian yang terbuat dari serat sintetis seperti polyester, nylon, dan akrilik adalah sumber utama mikroplastik. Selama proses pencucian, serat mikroplastik kecil terlepas dari pakaian dan masuk ke sistem air limbah. Proses ini disebut sebagai pelepasan serat atau "fiber shedding". Serat mikroplastik ini dapat mencapai lingkungan air melalui saluran air limbah, di mana mereka dapat bertahan dalam jangka waktu lama dan mencemari ekosistem air.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pelepasan serat mikroplastik:

- a. Jenis Bahan: Pakaian yang terbuat dari serat sintetis cenderung melepaskan lebih banyak serat mikroplastik dibandingkan dengan serat alami.
- b. Frekuensi Pencucian: Semakin sering pakaian dicuci, semakin banyak serat mikroplastik yang terlepas.
- c. Metode Pencucian: Penggunaan mesin cuci dengan putaran tinggi cenderung menyebabkan lebih banyak pelepasan serat.

1.6 Mikroplastik pada Produk Industri dan Transportasi

Industri manufaktur plastik dan sektor transportasi juga berkontribusi terhadap pencemaran mikroplastik melalui beberapa cara:

- a. Pelet Plastik: Pelet plastik atau nurdles digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan berbagai produk plastik. Pelet ini dapat tumpah selama proses produksi, transportasi, atau penyimpanan, yang kemudian mencemari lingkungan. Penelitian menunjukkan bahwa pelet plastik adalah salah satu bentuk polusi plastik yang paling umum ditemukan di pantai dan perairan .
- b. Debu Plastik dari Ban Kendaraan: Ban kendaraan yang terbuat dari campuran karet dan plastik menghasilkan debu mikroplastik saat ban tersebut aus selama penggunaan. Debu ini tersebar di jalanan dan dapat terbawa angin atau air hujan ke saluran air dan lingkungan lainnya.

1.7 Degradasi Plastik Besar

Plastik besar yang terbuang di lingkungan secara bertahap terurai menjadi partikel mikroplastik melalui beberapa proses degradasi:

- a. Fotodegradasi: Sinar UV dari matahari menyebabkan rantai polimer plastik menjadi rapuh dan pecah menjadi fragmen yang lebih kecil.
- b. Degradasi Mekanis: Proses fisik seperti gesekan, abrasi, dan aksi gelombang laut memecah plastik besar menjadi partikel yang lebih kecil.
- c. Degradasi Biologis: Mikroorganisme seperti bakteri dan fungi dapat memecah plastik menjadi mikroplastik melalui proses biologis.

Contoh plastik besar yang sering terurai menjadi mikroplastik meliputi botol plastik, tas plastik, dan peralatan rumah tangga. Proses degradasi ini dapat memakan waktu bertahun-tahun hingga puluhan tahun, tetapi pada akhirnya menghasilkan mikroplastik yang tersebar luas di lingkungan dan berdampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia.

1.8 Sejarah Penemuan Mikroplastik

Konsep mikroplastik pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan kelautan pada awal 1970-an. Pada periode ini, penelitian mengenai keberadaan plastik di laut mulai meningkat. Para peneliti menemukan bahwa partikel-partikel plastik kecil mengapung di permukaan laut dan terkumpul dalam sampel air laut. Meskipun demikian, pada saat itu perhatian luas terhadap dampak mikroplastik belum sepenuhnya berkembang. Pada tahun 1972, Carpenter dan Smith melakukan penelitian yang signifikan mengenai keberadaan plastik di laut. Mereka melaporkan adanya fragmen plastik dalam sampel plankton yang dikumpulkan dari perairan pesisir New England, Amerika Serikat. Penemuan ini menunjukkan bahwa partikel plastik telah masuk ke ekosistem laut dan mengungkapkan potensi dampak negatif terhadap organisme laut. Carpenter dan Smith mencatat bahwa plastik dapat menjadi ancaman bagi kehidupan laut karena sifatnya

yang tidak mudah terurai secara alami dan kemampuannya untuk menyerap polutan kimia dari lingkungan sekitar.

Penelitian mereka juga menemukan bahwa fragmen plastik yang ditemukan dalam sampel plankton berukuran kecil, menunjukkan bahwa plastik besar yang terbuang di laut dapat terdegradasi menjadi partikel yang lebih kecil melalui proses mekanis dan fotodegradasi. Hal ini menandai awal dari pemahaman tentang bagaimana plastik dapat berubah menjadi mikroplastik di lingkungan laut.

Penemuan Carpenter dan Smith menjadi dasar bagi penelitian lanjutan tentang polusi plastik di lautan. Pada tahun-tahun berikutnya, penelitian mengenai mikroplastik terus berkembang, dengan fokus pada sumber, distribusi, dan dampaknya terhadap ekosistem laut. Para ilmuwan mulai menyadari bahwa mikroplastik bukan hanya berasal dari degradasi plastik besar, tetapi juga dari produk konsumen seperti mikrobeads dalam kosmetik dan serat tekstil sintetis yang terlepas selama pencucian.

Penelitian awal ini sangat penting dalam membuka mata dunia terhadap masalah polusi plastik di lautan dan memicu perhatian lebih lanjut terhadap dampak jangka panjang mikroplastik terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Meskipun penemuan awal ini belum mendapatkan perhatian luas

pada masanya, mereka meletakkan dasar penting bagi pemahaman kita tentang mikroplastik dan polusi plastik secara umum.

Banyak penemuan penting yang mengungkapkan lebih banyak tentang keberadaan, distribusi, dan dampak mikroplastik di berbagai lingkungan. Berikut adalah beberapa perkembangan utama penelitian mikroplastik pada dekade ini:

Penelitian mulai mengungkap bahwa mikroplastik tidak hanya ditemukan di lingkungan laut tetapi juga dalam air minum dan makanan yang dikonsumsi manusia. Sebuah studi yang dilakukan oleh Mason et al. (2018) mengungkapkan bahwa botol air minum dari berbagai merek mengandung mikroplastik. Temuan ini menimbulkan kekhawatiran global tentang potensi dampak kesehatan manusia akibat konsumsi mikroplastik.

Selain air dan makanan, mikroplastik juga ditemukan dalam jumlah signifikan di tanah dan udara. Penelitian yang dilakukan oleh Brahney et al. (2020) menunjukkan bahwa mikroplastik dapat terbawa angin dan mencemari wilayah pegunungan yang terpencil, jauh dari sumber polusi utama. Penelitian ini menunjukkan bahwa mikroplastik memiliki kemampuan untuk menyebar secara global melalui atmosfer.

Peixoto et al. (2019) menunjukkan bahwa mikroplastik dapat menyebabkan reaksi inflamasi dan stres oksidatif pada sel manusia. Studi ini meningkatkan kekhawatiran tentang potensi risiko kesehatan yang mungkin timbul akibat paparan mikroplastik dalam jangka panjang.

Penelitian selanjutnya memperluas ruang lingkup untuk mencakup lingkungan darat, seperti tanah pertanian, di mana mikroplastik telah ditemukan, berfungsi sebagai pembawa polutan berbahaya seperti logam berat dan pestisida (Aranda & Rivas, 2023). Penyelidikan lainnya menemukan keberadaan mikroplastik dalam sedimen laut, biota, dan bahkan di antarmuka atmosfer-laut, menekankan sifat meresap mereka di berbagai matriks dan organisme (Astorga et al., 2022).

DAFTAR PUSTAKA

1. Aranda, F. L., & Rivas, B. L. (2023). Microplastics: Formation, Disposition, and Associated Dangers. an Overview. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 68(1), 5755–5761. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072023000105755>
2. Astorga, A., Montero-Cordero, A., Golfín-Duarte, G., García-Rojas, A., Vega-Bolaños, H., Arias-Zumbado, F., Solís-Adolio, D., & Ulate, K. (2022). Microplastics found in the World Heritage Site

- Cocos Island National Park, Costa Rica. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 35(3), 403–420. <https://doi.org/10.47193/mafis.3532022010907>
3. Cheng, Y.-L., Lee, C.-Y., Huang, Y.-L., Buckner, C. A., Lafrenie, R. M., Dénomée, J. A., Caswell, J. M., Want, D. A., Gan, G. G., Leong, Y. C., Bee, P. C., Chin, E., Teh, A. K. H., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., ... Mathijssen, R. H. J. (2016). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %. *Intech*, 11(tourism), 13. <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
 4. Litynska, M. (2023). Microplastics in Natural Water: Sources and Determination. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 34(3), 3–9. <https://doi.org/10.20535/2218-930032022277748>
 5. Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P. S., Wu, Y. S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S. C. B., John, O. D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M. H. M., & Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. In *Environmental Chemistry Letters (Vol. 21, Issue 4)*. Springer International

- Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>
6. Sarkar, S., Diab, H., & Thompson, J. (2023). Microplastic Pollution: Chemical Characterization and Impact on Wildlife. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20031745>
 7. Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C. B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O. T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/nu15030617>
 8. Aranda, F. L., & Rivas, B. L. (2023). Microplastics: Formation, Disposition, and Associated Dangers. an Overview. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 68(1), 5755–5761. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072023000105755>
 9. Astorga, A., Montero-Cordero, A., Golfín-Duarte, G., García-Rojas, A., Vega-Bolaños, H., Arias-Zumbado, F., Solís-Adolio, D., & Ulate, K. (2022). Microplastics found in the World Heritage Site Cocos Island National Park, Costa Rica. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 35(3), 403–420. <https://doi.org/10.47193/mafis.3532022010907>
 10. Cheng, Y.-L., Lee, C.-Y., Huang, Y.-L., Buckner, C. A., Lafrenie, R. M., Dénomée, J. A., Caswell, J. M.,

- Want, D. A., Gan, G. G., Leong, Y. C., Bee, P. C., Chin, E., Teh, A. K. H., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., ... Mathijssen, R. H. J. (2016). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %. Intech, 11(tourism), 13. <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
11. Litynska, M. (2023). Microplastics in Natural Water: Sources and Determination. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 34(3), 3–9. <https://doi.org/10.20535/2218-930032022277748>
 12. Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P. S., Wu, Y. S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S. C. B., John, O. D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M. H. M., & Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 21, Issue 4). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>
 13. Sarkar, S., Diab, H., & Thompson, J. (2023). Microplastic Pollution: Chemical Characterization and Impact on Wildlife. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health, 20(3).
<https://doi.org/10.3390/ijerph20031745>

14. Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C. B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O. T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*, 15(3).
<https://doi.org/10.3390/nu15030617>

BAB II PENYEBARAN MIKROPLASTIK DI LINGKUNGAN

2.1 Degradasi Plastik Menjadi Mikroplastik

Plastik dapat hancur oleh berbagai proses fisik, kimia, dan biologis. Paparan sinar ultraviolet (UV) matahari menyebabkan pemecahan fisik plastik. Plastik menjadi rapuh dan mudah pecah menjadi potongan yang lebih kecil sebagai hasil dari proses ini (Andrady, 2011). Selain itu, abrasi mekanis yang disebabkan oleh arus air dan gelombang juga mempercepat pemecahan plastik. Setelah itu, bagian plastik yang lebih kecil ini menjadi lebih rentan terhadap kerusakan kimia dan biologis. Reaksi oksidasi dan hidrolisis yang terjadi selama degradasi kimia memecah ikatan polimer yang ada dalam plastik (Barnes et al., 2009). Fragmen plastik dengan berat molekul yang lebih rendah kemudian dapat dipecahkan oleh mikroorganisme.

Proses degradasi biologis plastik dibantu oleh mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Mereka membuat enzim yang memiliki kemampuan untuk memecah rantai polimer plastik menjadi senyawa yang lebih sederhana (Geyer et al., 2017). Proses yang disebut biodegradasi memainkan peran penting dalam siklus hidup plastik di lingkungan. Namun, beberapa jenis plastik tidak terdegradasi secara biologis dengan

mudah. Misalnya, polietilena (PE) dan polipropilena (PP) sangat lambat terdegradasi (Thompson et al., 2009). Kecepatan degradasi biologis juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan jumlah oksigen yang tersedia. Suhu tinggi dan kondisi aerobik yang baik menyebabkan degradasi yang lebih cepat.

Salah satu cara penting untuk mengurangi limbah plastik di lingkungan adalah melalui degradasi biologis plastik oleh mikroorganisme. Bakteri dan jamur tertentu telah terbukti memiliki kemampuan untuk menghancurkan berbagai jenis plastik, seperti polistirena (PS) dan polietilena tereftalat (PET) (Yoshida et al., 2016). Mikroorganisme ini menghasilkan enzim tertentu yang memecah ikatan kimia dalam polimer plastik. Hal ini mengubah polimer plastik menjadi senyawa yang lebih sederhana yang dapat digunakan sebagai sumber energi dan karbon. Proses yang disebut biodegradasi bergantung pada kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pH. Namun, tingkat efisiensi degradasi biologis bervariasi tergantung pada jenis plastik dan jenis mikroorganisme yang ada (Shah et al., 2008). Dengan menggunakan mikroorganisme dalam pengelolaan limbah plastik, ada peluang besar untuk mengurangi masalah plastik di masa depan.

Kondisi yang kurang memuaskan di laut seringkali mencegah degradasi plastik. Kurangnya

oksigen dan suhu laut yang rendah memperlambat degradasi kimia dan biologis (Law et al., 2010). Namun, gelombang dan pasir pantai dapat memecah plastik dengan lebih cepat. Organisme laut seperti plankton dan ikan dapat menyerap plastik yang terfragmentasi menjadi mikroplastik. Ini menyebabkan rantai makanan laut mengandung mikroplastik (Wright et al., 2013). Selain itu, mikroplastik memiliki kemampuan untuk menyerap polutan organik persisten (POPs) dari air laut, yang membuatnya lebih berbahaya. Mikroplastik yang mengandung polutan kemudian dapat membahayakan hewan yang mengkonsumsinya.

Karena paparan sinar ultraviolet dan suhu yang lebih tinggi di lingkungan darat, plastik dapat lebih cepat rusak. Plastik terdegradasi lebih cepat saat dibuang di tempat pembuangan sampah terbuka atau di permukaan tanah (Li et al., 2018). Plastik yang terkubur dalam tanah, di sisi lain, sering kali terlindung dari paparan sinar matahari ultraviolet, yang membuat proses degradasinya lebih lambat. Degradasi biologis plastik di darat juga dibantu oleh mikroorganisme tanah. Mereka membuat enzim yang dapat memecahkan ikatan kimia dalam polimer plastik (Mason et al., 2018). Plastik dapat didegradasi di tanah, menghasilkan mikroplastik yang dapat mencemari air tanah. Mikroplastik ini kemudian dapat diserap oleh tanaman dan masuk ke rantai makanan.

Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia dan ekosistem. Baik organisme laut maupun darat dapat menelan mikroplastik, yang dapat menyebabkan masalah pencernaan serta keracunan kimia (Galloway & Lewis, 2016). Selain itu, mikroplastik dapat membawa polutan kimia yang teradsorpsi, yang menempatkan organisme yang mengkonsumsinya dalam bahaya kesehatan. Makanan laut dan air yang tercemar juga dapat membawa mikroplastik ke dalam tubuh manusia. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan tentang efek mikroplastik pada kesehatan manusia dalam jangka panjang (Jambeck et al., 2015). Untuk mengurangi pembentukan mikroplastik, diperlukan pengurangan penggunaan plastik dan peningkatan daur ulang. Untuk mengurangi efek buruk mikroplastik terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, kebijakan yang efektif untuk mengelola sampah plastik diperlukan.

Plastik dapat hancur oleh berbagai proses fisik, kimia, dan biologis. Paparan sinar ultraviolet (UV) matahari menyebabkan pemecahan fisik plastik. Plastik menjadi rapuh dan mudah pecah menjadi potongan yang lebih kecil sebagai hasil dari proses ini (Andrady, 2011). Selain itu, gelombang laut dan arus air merusak plastik secara mekanis, yang mempercepat pemecahannya. Setelah itu, partikel plastik yang lebih

kecil ini menjadi lebih rentan terhadap kerusakan kimia dan biologis. Di dalam proses degradasi kimia, reaksi oksidasi dan hidrolisis terjadi, yang memecah ikatan polimer yang terdapat dalam plastik (Barnes et al., 2009). Frekwensi plastik dengan berat molekul yang lebih rendah dihasilkan oleh reaksi kimia ini. Mikroorganisme dapat menguraikan fragmen plastik ini lebih lanjut. Interaksi mikropalstik dengan orbanisme tanah dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Proses Terbentuknya Microplastik di Tanah

Mikroplastik sangat membahayakan kesehatan manusia dan ekosistem. Baik organisme laut maupun darat dapat menelan mikroplastik, yang dapat menyebabkan masalah pencernaan dan keracunan kimia (Galloway & Lewis, 2016). Selain itu, mikroplastik dapat membawa polutan kimia yang teradsorpsi, yang

membuat organisme yang mengkonsumsinya lebih rentan terhadap bahaya kesehatan. Makanan laut dan air yang tercemar juga dapat membawa mikroplastik ke dalam tubuh manusia. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan tentang efek mikroplastik pada kesehatan manusia dalam jangka panjang (Jambeck et al., 2015). Untuk mengurangi pembentukan mikroplastik, diperlukan pengurangan penggunaan plastik dan peningkatan daur ulang. Untuk mengurangi efek buruk mikroplastik terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, kebijakan yang efektif untuk mengelola sampah plastik diperlukan.

Mikroplastik terbentuk dari plastik yang terbangun di lingkungan melalui berbagai proses degradasi. Termooksidasi adalah salah satu proses penting di mana plastik dirusak oleh paparan panas dan oksigen. Proses ini menghasilkan radikal bebas yang memecahkan ikatan polimer, yang mengurangi berat molekul plastik dan menghasilkan fragmen yang lebih kecil (Gewert et al., 2015). Degradasi mekanis sangat penting, terutama di laut, di mana arus dan gelombang mempercepat pemecah plastik menjadi partikel mikroplastik. Karena daya apungnya yang kecil dan ukurannya yang kecil, mikroplastik yang terbentuk dapat menyebar luas (Cózar et al., 2014). Fragmentasi plastik menjadi mikroplastik memungkinkan permukaan yang terpapar lingkungan untuk

berinteraksi dengan polutan tambahan. Laju degradasi plastik juga dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pH dan kadar garam.

Plastik yang terurai di lingkungan menghasilkan mikroplastik dan bahan kimia berbahaya. Aditif yang digunakan untuk membuat plastik, seperti plasticizers dan stabilisator ultraviolet, dapat dilepaskan ke lingkungan selama proses degradasi. Seringkali, bahan kimia ini berbahaya dan berpotensi mencemari tanah dan air (Lithner et al., 2011). Ketika mikroplastik ditelan oleh organisme, ia dapat berfungsi sebagai penggerak bagi polutan organik persisten (POPs), yang teradsorpsi pada permukaannya dan kemudian masuk ke rantai makanan. Studi telah menunjukkan bahwa mikroplastik memiliki kemampuan untuk mengumpulkan polutan seperti pestisida dan logam berat, yang membuat hewan yang mengkonsumsinya lebih berbahaya (Rochman et al., 2013). Oleh karena itu, untuk membuat rencana mitigasi yang efektif, sangat penting untuk memahami proses degradasi plastik dan efeknya. Proses degradasi mikroplastik dalam tanah digambarkan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Interaksi antara Mikroplastik dan Organisme Tanah

Plastik tidak hanya dapat didegradasi oleh lingkungan, tetapi juga oleh sifat kimiawinya. Plastik dengan struktur kristalin yang tinggi, seperti polipropilena (PP) dan polietilena berdensitas tinggi (HDPE), lebih tahan terhadap kerusakan daripada plastik dengan struktur amorf, seperti polietilena berdensitas rendah (LDPE) (Andrady, 2015). Bagaimana plastik berinteraksi dengan lingkungan dipengaruhi oleh sifat mekanik dan termalnya. Plastik yang lebih kaku dan tahan panas lebih lambat terdegradasi. Selain itu, karena ikatan kimianya yang kuat, plastik yang terbuat dari polimer yang lebih kompleks, seperti poliuretan (PU), membutuhkan kondisi khusus untuk terdegradasi (Auta et al., 2017). Penelitian tambahan diperlukan untuk mengetahui bagaimana berbagai jenis

plastik berinteraksi dengan lingkungan dan bagaimana memaksimalkan proses degradasi.

Pengembangan bioplastik dan plastik yang lebih mudah terdegradasi adalah bagian dari upaya global untuk mengurangi efek negatif plastik. Sebagai alternatif untuk plastik konvensional, bioplastik yang terbuat dari bahan organik seperti pati dan asam polilaktat (PLA) telah menjadi perhatian. Diharapkan bioplastik ini akan terdegradasi lebih cepat di lingkungan melalui proses biologis dan kimia (Emadian et al., 2017). Tetapi keberhasilan bioplastik dalam mengurangi masalah plastik juga bergantung pada bagaimana limbah diurus. Bioplastik dapat dibuang di tempat pembuangan akhir dan menimbulkan masalah yang sama dengan plastik biasa jika tidak memiliki infrastruktur daur ulang dan kompos yang memadai (Kale et al., 2007). Oleh karena itu, peningkatan kesadaran publik dan perubahan kebijakan pengelolaan sampah harus diiringi dengan pengembangan teknologi baru.

2.2 Transportasi Mikroplastik di Dalam Lingkungan

Mikroplastik dimulai dari tempat asalnya, seperti sampah plastik yang telah terdegradasi di daratan atau di lautan. Mikroplastik memiliki kemampuan untuk menyebar melalui angin, air, dan aktivitas manusia. Di daratan, aliran air permukaan

dapat membawa partikel mikroplastik ke dalam sistem drainase sebelum mencapai sungai dan laut (Andrady, 2011). Arus laut memainkan peran penting dalam menyebarkan mikroplastik ke area yang jauh dari sumbernya. Mikroplastik diangkut oleh angin, terutama di wilayah pantai. Selain itu, ada kemungkinan bahwa aktivitas manusia, seperti pembuangan limbah dan praktik pertanian, dapat meningkatkan penyebaran mikroplastik di lingkungan darat. Melalui presipitasi, mikroplastik yang tersuspensi di udara dapat dibawa angin dan jatuh kembali ke permukaan bumi. Menurut penelitian, mikroplastik ditemukan di tempat yang jauh, seperti Kutub Utara, yang menunjukkan sejauh mana transportasi ini dapat terjadi.

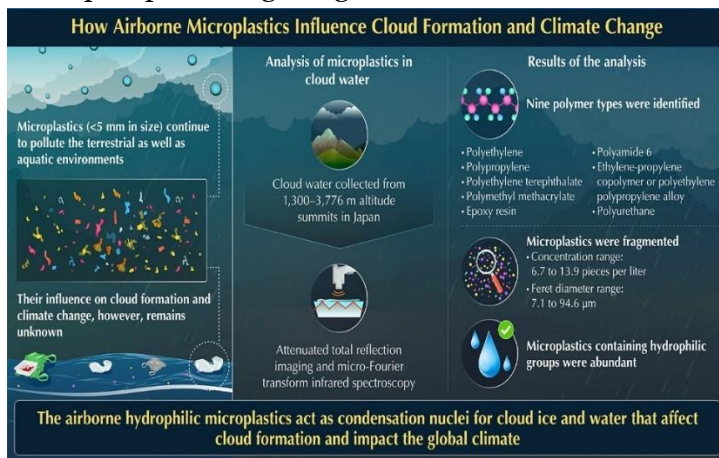
Sungai mengangkut mikroplastik dari daratan ke laut melalui berbagai sumber, seperti runoff pertanian, limbah industri, dan rumah tangga, di lingkungan air tawar. Mikroplastik ini kemudian dibawa oleh aliran sungai menuju muara sungai, di mana mereka akhirnya sampai di laut. Daerah yang lebih tenang dapat menyebabkan pengendapan partikel di dasar sungai, tetapi aliran sungai yang deras dapat mempercepat transportasi mikroplastik. Sedimentasi mikroplastik di dasar sungai dapat menyebabkan akumulasi jangka panjang yang dapat terlepas kembali ke aliran air selama badai atau banjir. Selain itu, organisme akuatik dapat menyerap mikroplastik yang tersuspensi dalam

air sungai, yang kemudian dapat masuk ke rantai makanan. Sungai-sungai besar seperti Sungai Nil dan Amazon membawa jutaan ton plastik ke lautan setiap tahun, menurut penelitian. Pengurangan polusi mikroplastik di sungai dapat berdampak besar pada ekosistem laut.

Mikroplastik menyebar di seluruh dunia sebagian besar melalui arus laut. Arus permukaan, seperti Arus Khatulistiwa dan Arus Teluk, membawa mikroplastik ke seluruh samudera, membentuk area akumulasi besar yang disebut gyre plastik (Eriksen et al., 2014). Gyre ini, seperti Great Pacific Garbage Patch, memiliki konsentrasi tinggi mikroplastik dan sisa plastik. Mikroplastik yang terperangkap dalam gyre dapat terurai menjadi partikel yang lebih kecil dan bertahan di lingkungan laut selama bertahun-tahun. Partikel-partikel ini kemudian dapat mengendap ke dasar laut atau tersuspensi dalam kolom air. Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan di sedimen dasar laut, di kedalaman yang berbeda, dan di permukaan laut (Cózar et al., 2015). Arus dalam juga dapat membawa mikroplastik ke daerah laut dalam yang jauh dari sumber polusi. Fenomena ini menunjukkan betapa sulitnya mengangkut mikroplastik di lingkungan laut.

Mikroplastik juga dapat diangkut melalui udara, terutama dari pantai ke daratan dan sebaliknya. Partikel

mikroplastik dapat diangkat dari permukaan tanah atau air oleh angin, yang membawa mereka jauh sebelum kembali ke bumi melalui presipitasi atau deposisi kering. Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan dalam jumlah besar dalam sampel udara di daerah terpencil dan kota-kota besar, menunjukkan bahwa itu ada di seluruh dunia. Baik manusia maupun hewan dapat menghirup mikroplastik yang tersuspensi di udara. Hal ini menambah jalur paparan selain dari makanan dan air. Mikroplastik juga dapat mengendap di tanah dan perairan, menyebabkan polusi. Proses deposisi atmosferik ini menunjukkan bahwa mikroplastik tidak hanya diangkut melalui jalur air. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui bagaimana mikroplastik yang diangkut melalui udara berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia.



Gambar 2. 3. Partikel mikroplastik di udara

Selain arus permukaan, mikroplastik diangkut oleh organisme laut di lingkungan laut. Banyak organisme laut, termasuk plankton dan ikan besar, dapat menelan mikroplastik dan kemudian menyebarkannya melalui rantai makanan (Setälä et al., 2014). Organisme yang menelan mikroplastik dapat mengangkutnya ke berbagai tempat di lautan melalui migrasi dan pergerakan sehari-hari mereka. Mikroplastik yang terkandung dalam organisme menjadi lebih trofik ketika dimangsa oleh predator. Ini membentuk jalur transportasi biologis yang kompleks untuk mikroplastik di ekosistem laut. Menurut penelitian, mikroplastik juga dapat terakumulasi dalam jaringan organisme laut, yang menimbulkan masalah kesehatan yang serius bagi mereka. Contohnya, ikan yang mengonsumsi mikroplastik dapat mengalami masalah pencernaan dan kerusakan organ (Lusher et al., 2013). Studi ini menunjukkan bahwa untuk mengelola polusi plastik dengan baik, kita perlu memahami bagaimana mikroplastik dan biota laut berinteraksi satu sama lain.

Mikroplastik di permukaan laut dapat terperangkap dalam es laut, terutama di kutub. Es laut berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara mikroplastik; itu menyimpan partikel selama musim dingin dan melepaskannya kembali ke air laut saat es mencair di musim panas (Obbard et al., 2014). Proses ini

memperpanjang siklus tahunan mikroplastik di lingkungan kutub dan mempengaruhi distribusi spasialnya. Penemuan penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik telah ditemukan di lapisan es dan salju di Antarktika dan Arktik, menunjukkan bahwa mereka telah dibawa dari tempat yang jauh (Peeken et al., 2018). Fenomena ini menunjukkan betapa pentingnya memahami peran es laut dalam mengangkut mikroplastik ke seluruh dunia.

Mikroplastik terkumpul di sedimen laut. Mikroplastik dapat mengendap ke dasar laut, terutama di daerah dengan arus lemah (Woodall et al., 2014). Mikroplastik dapat disimpan di sini selama bertahun-tahun sebelum dilepas kembali ke kolom air. Organisme benthik mengaduk sedimen selama proses bioturbasi dapat mempercepat pelepasan mikroplastik dari dasar laut. Selain itu, aktivitas manusia seperti penangkapan ikan dasar dan pengeboran minyak juga dapat mengganggu sedimen laut dengan melepaskan mikroplastik yang terperangkap. Konsentrasi mikroplastik yang tinggi dalam sedimen laut dalam menunjukkan akumulasi jangka panjang, menurut penelitian (Van Cauwenberghe et al., 2013). Pengaruh mikroplastik dalam sedimen laut terhadap organisme benthik masih perlu diteliti. Untuk mengelola polusi plastik dengan baik, kita perlu belajar lebih banyak

tentang cara mikroplastik diangkut dan terkumpul di sedimen laut.

Mikroplastik dapat terperangkap dalam biofilm, lapisan mikroorganisme yang menempel pada permukaan air dan partikel. Biofilm dapat mengubah densitas dan sifat permukaannya, yang berdampak pada transportasi dan distribusi mikroplastik di lingkungan. Biofilm memperkuat daya apung mikroplastik, yang memungkinkan partikel tetap tersuspensi dalam kolom air lebih lama. Selain itu, organisme laut dapat lebih mudah memakan mikroplastik biofilm yang tertutup, meningkatkan kemungkinan paparan (Kettner et al., 2017). Selain itu, biofilm memiliki kemampuan untuk mempengaruhi proses degradasi mikroplastik, baik dengan melindungi partikel dari pengaruh lingkungan atau dengan mempercepat proses biodegradasi melalui aktivitas mikroorganisme. Menurut penelitian, biofilm yang terdapat pada mikroplastik dapat mengandung patogen yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan hewan. Oleh karena itu, memahami bagaimana biofilm mengangkut mikroplastik sangat penting untuk menilai ancaman lingkungan.

Hewan darat seperti burung dan mamalia mungkin mengangkut mikroplastik, menurut penelitian. Hewan-hewan ini dapat secara tidak sengaja menelan mikroplastik saat mencari makanan atau

minum air yang terkontaminasi (Browne et al., 2011). Mikroplastik yang tertelan dapat dibuang melalui feces dan menyebar ke tempat baru. Misalnya, burung yang bermigrasi memiliki kemampuan untuk mengangkut mikroplastik dari jarak jauh dan menyebarkannya ke berbagai ekosistem. Mamalia, seperti tikus dan rubah, juga dapat mengangkut mikroplastik di darat. Selain itu, ada kemungkinan mikroplastik terakumulasi dalam jaringan hewan, yang meningkatkan risiko bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan (Provencher et al., 2018). Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui bagaimana mikroplastik memengaruhi kesehatan hewan darat dan bagaimana mereka menyebarkan. Ini penting untuk membuat strategi mitigasi yang berhasil.

Transportasi di lingkungan darat memerlukan interaksi mikroplastik dengan sedimen dan air tanah. Akumulasi lokal dapat disebabkan oleh mikroplastik yang terperangkap dalam pori-pori tanah dan sedimen. Namun, aktivitas seperti pengolahan tanah dan aliran air permukaan dapat melepaskan mikroplastik kembali ke kolom air. Infiltrasi dan aliran bawah permukaan juga dapat membawa mikroplastik yang tersuspensi dalam air tanah ke sistem perairan. Studi menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan dalam air sumur di dekat lahan pertanian yang menggunakan mulsa plastik (Scheurer & Bigalke, 2018), menunjukkan bahwa praktik

pertanian mungkin berkontribusi pada penyebaran mikroplastik di lingkungan darat. Selain itu, mikroplastik yang terperangkap dalam tanah dapat berdampak pada ekosistem tanah secara keseluruhan dan strukturnya. Penelitian tentang interaksi mikroplastik dengan tanah dan air tanah sangat penting untuk memahami dampak jangka panjang terhadap lingkungan.

2.3 Akumulasi Mikroplastik di Lingkungan Terrestrial dan Akuatik

Dalam beberapa dekade terakhir, masalah akumulasi mikroplastik di lingkungan akuatik telah menjadi perhatian utama. Mulai dari perairan dangkal hingga laut dalam, mikroplastik ditemukan di berbagai ekosistem akuatik. Proses akumulasi plastik sering kali dimulai di daratan, di mana partikel plastik dibawa ke lautan oleh aliran hujan dan sungai (Andrady, 2011). Angin juga dapat membawa mikroplastik dari wilayah perkotaan dan industri ke badan air. Arus laut di lautan memainkan peran penting dalam penyebaran mikroplastik, yang memungkinkannya menyebar ke seluruh dunia. Selain itu, mikroplastik dapat mengendap di dasar laut dan membentuk lapisan sedimen dengan konsentrasi partikel plastik yang tinggi (Cózar et al., 2014). Penelitian menunjukkan bahwa berbagai spesies laut, seperti plankton, ikan, dan

mamalia laut, juga mengandung mikroplastik, yang menunjukkan tingkat kontaminasi yang mengkhawatirkan. Melalui konsumsi makanan laut yang terkontaminasi, mikroplastik dapat memasuki rantai makanan manusia dan mempengaruhi kehidupan laut juga (Browne et al., 2011).

Tingkat akumulasi mikroplastik yang tinggi juga ditemukan di lingkungan darat. Mikroplastik di darat berasal dari aktivitas manusia, seperti penggunaan produk plastik, pengelolaan limbah yang buruk, dan penggunaan lumpur limbah sebagai pupuk pertanian. Irigasi, limpasan air hujan, dan deposisi atmosfer adalah semua cara mikroplastik dapat masuk ke tanah. Sifat fisik dan kimia tanah, termasuk permeabilitas air dan ketersediaan nutrisi, dapat dipengaruhi oleh mikroplastik yang terkandung dalam tanah. Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik yang tinggi dalam tanah pertanian dapat berdampak pada kesehatan tanah dan tanaman. Selain itu, mikroplastik dapat diserap oleh tanaman dan masuk ke rantai makanan manusia melalui konsumsi produk pertanian yang terkontaminasi (Rillig, 2012). Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik dapat masuk ke dalam air tanah, yang mengakibatkan pencemaran sumber air yang digunakan untuk minum dan irigasi (Rezaei et al., 2019). Jumlah mikroplastik yang meningkat di lingkungan darat menunjukkan betapa

pentingnya pengelolaan limbah yang lebih baik dan penelitian lebih lanjut tentang bagaimana hal itu berdampak pada ekosistem darat.

Di lingkungan akuatik, mikroplastik dikumpulkan dari sumbernya, seperti plastik yang terbuang atau terlepas dari produk konsumen. Mikroplastik dapat bergerak di sekitar ekosistem akuatik tergantung pada ukuran, bentuk, dan densitasnya setelah memasuki badan air. Mereka dapat mengapung di atas permukaan, tersangkut di kolom air, atau mengendap di dasar laut (Law et al., 2010). Arus laut dan angin dapat membawa mikroplastik yang lebih ringan yang mengapung di permukaan ke daerah yang lebih luas, tetapi mikroplastik yang lebih berat biasanya mengendap dan berakumulasi di dasar laut, menyebabkan lapisan sedimen yang terkontaminasi (Thompson et al., 2004).

Di daerah kutub, mikroplastik juga dapat terperangkap dalam es laut, berfungsi sebagai reservoir sementara sebelum dilepaskan kembali ke lautan saat es mencair. Studi menunjukkan bahwa mikroplastik dapat ditemukan di semua tingkat ekosistem laut, mulai dari permukaan air hingga sedimen dasar laut dalam (Barnes et al., 2009). Jumlah mikroplastik ini menunjukkan masalah yang ada di seluruh dunia yang menuntut tindakan bersama untuk mengurangi sumber polusi plastik.

Mikroplastik di lingkungan darat juga dapat bergerak dan mengakumulasi di berbagai habitat melalui mekanisme transportasi alami dan antropogenik. Air hujan dan aliran permukaan adalah dua cara utama yang membawa mikroplastik dari permukaan tanah ke badan air. Limbah plastik yang terfragmentasi dari permukaan tanah dapat diangkut oleh air hujan dan akhirnya masuk ke sungai dan danau (Hurley et al., 2018). Selain itu, aktivitas pertanian seperti penggunaan pestisida dan pupuk plastik juga menyebabkan mikroplastik menyebar di lahan pertanian. Mikroplastik dapat menyebar ke sistem irigasi dan mengkontaminasi tanaman dan sumber air tanah. Transportasi mikroplastik di darat, terutama di wilayah yang gersang atau terbuka, dibantu oleh angin. Angin dapat mengangkat partikel mikroplastik kecil dan menemukannya di tempat yang jauh dari sumbernya. Polusi plastik bukan hanya masalah lingkungan akuatik tetapi juga darat, seperti yang ditunjukkan oleh akumulasi mikroplastik di habitat darat (Machado et al., 2018).

Tingkat kontaminasi yang tinggi ditunjukkan oleh akumulasi mikroplastik di ekosistem perairan tawar seperti sungai, danau, dan waduk. Mikroplastik masuk ke sungai dari berbagai sumber, seperti limpasan pertanian, industri, dan limbah domestik (Lebreton et al., 2017). Mikroplastik di dalam sungai dapat

tersuspensi dalam air atau mengendap di dasar sungai, tergantung pada densitas dan ukuran partikelnya. Jika mengendap di sedimen, mikroplastik dapat terakumulasi dan menyebabkan kontaminasi yang berlangsung lama (Eerkes-Medrano et al., 2015). Danau dan waduk, yang memiliki aliran air yang lebih lambat, dapat menjadi tempat mikroplastik terkumpul. Penelitian menunjukkan bahwa berbagai makhluk akuatik, seperti ikan dan invertebrata, dapat menelan mikroplastik di perairan tawar, yang berdampak pada kesehatan dan fungsi ekosistem. Akumulasi mikroplastik di perairan tawar menunjukkan bahwa pengelolaan limbah yang lebih baik diperlukan dan pengurangan sumber polusi plastik di darat.

Mikroplastik juga terkumpul di tanah, termasuk lahan pertanian dan hutan. Penggunaan mulsa plastik, penggunaan lumpur limbah sebagai pupuk, dan deposisi atmosfer adalah beberapa sumber mikroplastik di tanah. Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik yang tinggi di tanah pertanian dapat berdampak negatif pada kesehatan tanaman dan tanah. Mikroplastik memiliki kemampuan untuk mengubah sifat fisik tanah, seperti meningkatkan porositas dan mengurangi retensi air. Selain itu, mikrobiota tanah, yang dapat mengganggu proses dekomposisi dan siklus nutrisi, juga dapat dipengaruhi oleh mikroplastik (de Souza Machado et al., 2019). Mikroplastik dapat masuk

ke hutan melalui limpasan air hujan dan deposisi atmosfer. Kesehatan ekosistem hutan dan proses biogeokimia dapat terpengaruh oleh akumulasi mikroplastik di tanah hutan. Studi tambahan diperlukan untuk mengetahui efek jangka panjang akumulasi mikroplastik di tanah dan hutan.

Mikroplastik tidak hanya terkumpul di tanah dan air, tetapi juga ditemukan di atmosfer, menunjukkan bahwa transportasi udara adalah jalur utama penyebaran mikroplastik. Studi menunjukkan bahwa mikroplastik dapat naik ke atmosfer melalui angin, terutama di lingkungan perkotaan dan industri. Hujan dan deposisi kering dapat mengembalikan mikroplastik ke permukaan tanah dan air, memungkinkannya menyebar ke tempat yang jauh dari sumbernya, seperti di tempat terpencil dan kutub. Selain itu, manusia dan hewan dapat menghirup mikroplastik di atmosfer, menambah jalur paparan baru yang membutuhkan perhatian lebih lanjut. Studi menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik di udara perkotaan dapat mencapai tingkat yang signifikan, yang berpotensi membahayakan kesehatan pernapasan manusia. Oleh karena itu, transportasi mikroplastik melalui udara membutuhkan penelitian lebih lanjut tentang dampak mikroplastik terhadap lingkungan dan kesehatan secara keseluruhan di seluruh dunia (Zhang et al., 2020).

Jumlah mikroplastik yang terkumpul di lingkungan air tawar seperti sungai dan danau menunjukkan betapa kompleksnya masalah polusi plastik. Mikroplastik diangkut dari darat ke lautan melalui sungai. Mikroplastik di sungai dapat berasal dari berbagai sumber, seperti limpasan pertanian, industri, dan limbah domestik (Lebreton et al., 2017). Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik dapat sangat berbeda tergantung pada lokasi dan sumber polusi. Mikroplastik di dalam sungai dapat tersuspensi dalam air atau mengendap di dasar sungai, tergantung pada densitas dan ukuran partikelnya. Jika mengendap di sedimen, mikroplastik dapat terakumulasi dan menyebabkan kontaminasi yang berlangsung lama (Wagner et al., 2014). Danau dan waduk, yang memiliki aliran air yang lebih lambat, dapat menjadi tempat mikroplastik terkumpul. Mikroplastik di perairan tawar dapat tertelan oleh berbagai organisme akuatik, termasuk invertebrata dan ikan. Akibatnya, hal ini dapat memengaruhi kesehatan dan fungsi ekosistem (Eerkes-Medrano et al., 2015).



Gambar 2. 4. Mikroplastik di sedimen tanah

Mikroplastik ditemukan di sedimen tanah (Gambar 2.4). Mikroplastik juga ditemukan dalam sedimen danau dan sungai, menunjukkan bahwa partikel ini dapat terakumulasi di dasar badan air. Mikroplastik yang lebih berat lebih cenderung terperangkap dan mengendap dalam sedimen, yang dapat berfungsi sebagai penyimpan jangka panjang polusi plastic (Imhof et al., 2013). Organisme bentik seperti cacing dan invertebrata lain yang hidup di dasar sungai dan danau dapat terkena dampak mikroplastik yang tercemar. Organisme bentik ini dapat menelan mikroplastik, yang kemudian masuk ke dalam rantai makanan akuatik. Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik lebih tinggi di sedimen sungai

dan danau dekat kota dan wilayah perindustrian dibandingkan dengan daerah pedesaan (Peng et al., 2018). Selain itu, aktivitas manusia atau peristiwa alam seperti banjir dan angin kencang dapat menyebabkan mikroplastik di sedimen terganggu dan tersuspensi kembali ke kolom air. Untuk mengurangi polusi plastik di sumbernya, tindakan mitigasi diperlukan karena akumulasi mikroplastik di sedimen (Schwarz et al., 2019).

Sangat penting untuk memahami bahwa akumulasi mikroplastik di lingkungan darat dan akuatik tidak dapat dihindari. Mikroplastik memengaruhi kesehatan manusia dan ekosistem. Akumulasi mikroplastik mempengaruhi fungsi ekosistem, seperti mengganggu siklus nutrisi dan keseimbangan mikrobiota tanah dan air. Konsumsi makanan dan air yang terkontaminasi mikroplastik juga dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius, termasuk masalah pencernaan dan paparan bahan kimia berbahaya yang teradsorpsi pada mikroplastik (Cox et al., 2019). Oleh karena itu, untuk mengurangi akumulasi mikroplastik di lingkungan, pengelolaan limbah plastik yang efektif dan pengurangan penggunaan plastik sekali pakai sangat penting. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami bagaimana mikroplastik diangkut dan akumulasi di berbagai ekosistem, serta dampaknya terhadap

kesehatan dan lingkungan di seluruh dunia (Galloway et al., 2017). Untuk mengatasi masalah polusi mikroplastik ini, pemerintah, industri, dan masyarakat harus bekerja sama.

2.4 Penyebaran Mikroplastik di Seluruh Dunia

Di seluruh dunia, mikroplastik telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan, dan jumlah dan luasnya terus meningkat. Lebih dari 5 triliun partikel mikroplastik diperkirakan mengapung di lautan, atau berat sekitar 269.000 ton (Eriksen et al., 2014). Mikroplastik ini ditemukan di setiap samudra, dari Arktik hingga Antartika, menunjukkan bahwa semua lautan tercemar plastik. Menurut penelitian, konsentrasi tertinggi mikroplastik ditemukan di gyres subtropis, seperti Great Pacific Garbage Patch, di mana pola arus laut mengumpulkan partikel tersebut (Lebreton et al., 2018). Selain itu, mikroplastik ditemukan di pesisir pantai, estuari, dan ekosistem laut dalam. Mikroplastik telah ditemukan tersebar di tanah dan udara, serta di lingkungan akuatik (Browne et al., 2011). Sekitar 63.320 partikel mikroplastik ditemukan di setiap kilometer persegi lautan dalam satu studi (Cózar et al., 2014). Jumlah mikroplastik ini menunjukkan bahwa tindakan diperlukan di seluruh dunia untuk mengurangi polusi plastik dan melindungi ekosistem.

Mikroplastik tidak hanya tersebar di lautan, tetapi juga di perairan tawar seperti sungai dan danau. Mikroplastik diangkut dari daratan ke lautan melalui banyak sungai. Di antara sungai-sungai di dunia yang berkontribusi terbesar terhadap aliran plastik ke lautan adalah sungai-sungai Asia, seperti Sungai Yangtze di China dan Sungai Ganges di India, yang mengalirkan 1,15 hingga 2,41 juta ton plastik ke lautan setiap tahunnya (Lebreton et al., 2017). Selain itu, konsentrasi mikroplastik juga ditemukan di danau-danau besar di Amerika Utara, seperti Great Lakes. Konsentrasi mikroplastik dapat mengendap di dasar danau atau tersuspensi dalam kolom air, mencemari ekosistem perairan di danau tersebut (Eriksen et al., 2013). Studi menunjukkan bahwa mikroplastik juga ditemukan di air minum, baik yang berasal dari air permukaan maupun air tanah (Kosuth et al., 2018), yang menunjukkan bahwa mikroplastik telah menyebar hingga tingkat yang memprihatinkan, dan bahwa berbagai pihak harus mengambil tindakan yang serius untuk menangani masalah ini.

Mikroplastik tidak hanya tersebar luas di air, tetapi juga di udara, menunjukkan bahwa atmosfer adalah jalur utama penyebaran partikel ini. Studi menunjukkan bahwa mikroplastik yang tersuspensi di udara dapat dibawa ke atmosfer oleh angin, terutama di wilayah perkotaan dan industri (Dris et al., 2016).

Selanjutnya, mikroplastik dapat jatuh kembali ke permukaan bumi melalui deposisi atmosfer melalui hujan atau deposisi kering. Jumlah mikroplastik di udara perkotaan berkisar antara 1 dan 60 partikel per meter kubik, bergantung pada lokasi dan sumber emisinya. Konsentrasi mikroplastik di udara juga ditemukan di daerah pedesaan dan terpencil, menunjukkan bahwa partikel ini dapat menyebar jauh dari sumbernya. Menurut studi yang dilakukan di Pyrenees, Prancis, mikroplastik dapat dibawa angin sejauh 100 km dari sumbernya (Allen et al., 2019). Selain itu, manusia dan hewan dapat menghirup mikroplastik di atmosfer, menambah jalur paparan baru yang membutuhkan perhatian lebih lanjut. Semakin banyak mikroplastik yang didistribusikan di udara menunjukkan bahwa penelitian lebih lanjut diperlukan tentang dampak mikroplastik terhadap kesehatan dan lingkungan di seluruh dunia (Zhang et al., 2020).

Selain itu, penyebaran mikroplastik di tanah menunjukkan tingkat kontaminasi yang sangat tinggi. Tanah pertanian seringkali terkontaminasi oleh mikroplastik dari mulsa plastik, pupuk lumpur limbah, dan irigasi dengan air yang terkontaminasi mikroplastik. Konsentrasi mikroplastik berbeda-beda di hutan, padang rumput, dan tanah pertanian, tergantung pada sumber polusi dan penggunaan lahan (Nizzetto et al., 2016). Menurut penelitian, konsentrasi mikroplastik

di tanah pertanian dapat mencapai 1000 partikel per kilogram tanah. Di hutan, mikroplastik dapat masuk melalui air hujan dan deposisi atmosfer. Mikroplastik di tanah dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah serta kesehatan mikrobiota tanah. Penelitian di Jerman menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik di hutan di dekat kota lebih tinggi daripada di hutan di daerah pedesaan (Scheurer & Bigalke, 2018). Polusi plastik bukan hanya masalah lingkungan akuatik tetapi juga darat, seperti yang ditunjukkan oleh akumulasi mikroplastik di tanah (Machado et al., 2018).

Mikroplastik ditemukan di seluruh ekosistem laut, dari permukaan air hingga dasar laut. Studi menunjukkan bahwa gyres subtropis memiliki konsentrasi mikroplastik tertinggi. Great Pacific Garbage Patch adalah salah satu tempat di mana pola arus laut mengumpulkan mikroplastik (Lebreton et al., 2018). Menurut penelitian, mikroplastik juga ditemukan di sedimen dasar laut; konsentrasinya bervariasi tergantung pada lokasi dan kedalaman, tetapi dapat terperangkap di sedimen di laut dalam dan terakumulasi selama bertahun-tahun. Selain itu, mikroplastik ditemukan di wilayah kutub es laut, di mana ia berfungsi sebagai reservoir selama beberapa saat sebelum dilepaskan kembali ke lautan saat es mencair (Obbard et al., 2014). Penemuan mikroplastik di ekosistem laut menunjukkan bahwa setiap bagian

lautan terkontaminasi oleh plastik. Jumlah besar mikroplastik yang ada di laut menunjukkan bahwa perlu ada tindakan yang dilakukan di seluruh dunia untuk mengurangi polusi plastik dan melindungi ekosistem laut.

Tingkat kontaminasi yang tinggi juga ditunjukkan oleh penyebaran mikroplastik di perairan tawar seperti sungai dan danau. Mikroplastik diangkut dari daratan ke lautan melalui banyak sungai di seluruh dunia. Salah satu sungai terbesar yang mengalirkan plastik ke lautan adalah Sungai Yangtze di China dan Sungai Ganges di India, yang masing-masing mengalirkan 1,15 hingga 2,41 juta ton plastik setiap tahunnya (Lebreton et al., 2017). Selain itu, konsentrasi mikroplastik juga ditemukan di danau-danau besar di Amerika Utara, seperti Great Lakes. Konsentrasi mikroplastik dapat mengendap di dasar danau atau tersuspensi dalam kolom air, mencemari ekosistem perairan di danau tersebut (Eriksen et al., 2013). Studi menunjukkan bahwa mikroplastik juga ditemukan di air minum, baik yang berasal dari air permukaan maupun air tanah (Kosuth et al., 2018), yang menunjukkan bahwa mikroplastik telah menyebar hingga tingkat yang memprihatinkan, dan bahwa berbagai pihak harus mengambil tindakan yang serius untuk menangani masalah ini.

Mikroplastik juga ditemukan di lapisan es dan salju di wilayah kutub, menunjukkan bahwa partikel ini dapat pergi jauh. Ketika es terbentuk, mikroplastik terperangkap di es laut dan kemudian dilepaskan kembali ke lautan saat es mencair. Penelitian di Arktik menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik di es laut dapat mencapai 12.000 partikel per liter es, menunjukkan tingkat kontaminasi yang tinggi. Selain itu, mikroplastik juga ditemukan di salju yang jatuh di Greenland dan Svalbard; penelitian di Pegunungan Alpen dan Pyrenees juga menemukan mikroplastik di salju, menunjukkan bahwa partikel ini dapat diangkut oleh atmosfer dan diendapkan kembali melalui hujan dan salju (Bergmann et al., 2019). Akumulasi mikroplastik di es dan salju menunjukkan bahwa tidak ada bagia Penyebaran luas ini menunjukkan bahwa penelitian lebih lanjut diperlukan tentang efeknya terhadap kutub dan perubahan iklim.

Mikroplastik juga ditemukan dalam sedimen danau dan sungai, menunjukkan bahwa partikel ini dapat terakumulasi di dasar badan air. Mikroplastik yang lebih berat lebih cenderung terperangkap dan mengendap dalam sedimen, yang dapat berfungsi sebagai penyimpan jangka panjang polusi plastic (Imhof et al., 2013). Organisme benthik seperti cacing dan invertebrata lain yang hidup di dasar sungai dan danau dapat terkena dampak mikroplastik yang tercemar.

Organisme bentik ini dapat menelan mikroplastik, yang kemudian masuk ke dalam rantai makanan akuatik. Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik lebih tinggi di sedimen sungai dan danau dekat kota dan wilayah perindustrian dibandingkan dengan daerah pedesaan (Peng et al., 2018). Selain itu, aktivitas manusia atau peristiwa alam seperti banjir dan angin kencang dapat menyebabkan mikroplastik di sedimen terganggu dan tersuspensi kembali ke kolom air. Untuk mengurangi polusi plastik di sumbernya, tindakan mitigasi diperlukan karena akumulasi mikroplastik di sedimen (Schwarz et al., 2019).

Akumulasi mikroplastik di lingkungan darat dan akuatik memengaruhi kesehatan manusia dan ekosistem. Baik organisme laut maupun darat dapat menelan mikroplastik, yang dapat menyebabkan masalah pencernaan dan keracunan kimia (Galloway & Lewis, 2016). Selain itu, mikroplastik dapat membawa polutan kimia yang teradsorpsi, yang membuat organisme yang mengkonsumsinya lebih rentan terhadap bahaya kesehatan. Makanan laut dan air yang tercemar juga dapat membawa mikroplastik ke dalam tubuh manusia. Penelitian lebih lanjut diperlukan mengenai efek mikroplastik pada kesehatan manusia dalam jangka panjang (Jambeck et al., 2015). Untuk mengurangi pembentukan mikroplastik, pengurangan penggunaan plastik dan peningkatan daur ulang sangat

penting. Untuk mengurangi efek buruk mikroplastik terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, kebijakan pengelolaan sampah plastik yang kuat diperlukan. Untuk memahami bagaimana transportasi dan akumulasi mikroplastik terjadi di berbagai ekosistem dan bagaimana hal itu berdampak pada kesehatan dan lingkungan secara global, diperlukan penelitian tambahan (Geyer et al., 2017).

Mikroplastik tersebar secara global, menunjukkan bahwa masalah ini tidak mengenal batas geografis. Mikroplastik ada di mana-mana di Bumi, dari lautan terdalam hingga puncak gunung tertinggi (Allen et al., 2019). Konsentrasi hingga 3.000 partikel per liter mikroplastik di salju di Pegunungan Alpen menunjukkan bahwa partikel dapat menyebar jauh dari sumbernya. Konsentrasi mikroplastik di Laut Sargasso mencapai 1,25 juta partikel per kilometer persegi, yang menunjukkan tingkat kontaminasi yang tinggi di tengah samudra (Cózar et al., 2014). Konsentrasi mikroplastik di Great Lakes di Amerika Utara mencapai 1.7 juta partikel per kilometer persegi (Eriksen et al., 2013). Penyebaran mikroplastik yang luas menunjukkan bahwa tidak ada ekosistem yang bebas dari polusi plastik. Untuk mengurangi sumber polusi plastik dan melindungi kesehatan manusia dan ekosistem, diperlukan upaya global untuk mengurangi penggunaan plastik sekali pakai, meningkatkan daur

ulang, dan mengembangkan bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Jiménez, P. D., Simonneau, A., ... & Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12(5), 339-344.
2. Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605.
3. Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165-176.
4. Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2014). Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 14-21.
5. Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985-1998.

6. Bergmann, M., Lutz, B., Tekman, M. B., & Gutow, L. (2017). Citizen scientists reveal: Marine litter pollutes Arctic beaches and affects wildlife. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1-2), 535-540.
7. Bergmann, M., Wirzberger, V., Krumpen, T., Lorenz, C., Primpke, S., Tekman, M. B., & Gerdt, G. (2019). High quantities of microplastic in Arctic deep-sea sediments from the HAUSGARTEN observatory. *Environmental Science & Technology*, 51(19), 11000-11010.
8. Bläsing, M., & Amelung, W. (2018). Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of the Total Environment*, 612, 422-435.
9. Browne, M. A., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. (2011). Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3404-3409.
10. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597.
11. Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., & Geissen, V. (2019). Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the total environment*, 671, 411-420.

12. Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7068-7074.
13. Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S. & Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(28), 10239-10244.
14. Cózar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., González-Gordillo, J. I., Ubeda, B., Gálvez, J. Á., ... & Duarte, C. M. (2015). Plastic accumulation in the Mediterranean Sea. *PLoS One*, 10(4), e0121762.
15. de Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. C. (2019). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 24(4), 1405-1416.
16. Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2016). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453-458.
17. Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599.

18. Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104(1-2), 290-293.
19. Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63-82.
20. Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59, 526-536.
21. Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., ... & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS ONE*, 9(12), e111913.
22. Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., ... & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS One*, 9(12), e111913.
23. Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., ... & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1-2), 177-182.

24. Fischer, V., Elsner, N. O., Brenke, N., Schwabe, E., & Brandt, A. (2015). Plastic pollution of the Kuril–Kamchatka Trench area (NW Pacific). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 111, 399-405.
25. 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), 156-163.
26. Galloway, T. S., & Lewis, C. N. (2016). Marine microplastics spell big problems for future generations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(9), 2331-2333.
27. Galloway, T. S., Cole, M., & Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature Ecology & Evolution*, 1(5), 0116.
28. Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., ... & Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 1-5.
29. Gewert, B., Plassmann, M. M., & MacLeod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(9), 1513-1521.

30. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
31. Hardesty, B. D., & Wilcox, C. (2017). A risk framework for tackling marine debris. *Analytical Methods*, 7(8), 213-220.
32. Hurley, R. R., Lusher, A. L., Olsen, M., & Nizzetto, L. (2018). Validation of a method for extracting microplastics from complex, organic-rich, environmental matrices. *Environmental Science & Technology*, 52(13), 7409-7417.
33. Imhof, H. K., Ivleva, N. P., Schmid, J., Niessner, R., & Laforsch, C. (2013). Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Current Biology*, 23(19), R867-R868.
34. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
35. Kale, G., Auras, R., Singh, S. P., & Narayan, R. (2007). Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. *Polymer Testing*, 26(8), 1049-1061.
36. Kettner, M. T., Oberbeckmann, S., Labrenz, M., & Grossart, H. P. (2017). The eukaryotic life on microplastics in brackish ecosystems. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2709.

37. Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE*, 13(4), e0194970.
38. Law, K. L., Morét-Ferguson, S. E., Goodwin, D. S., Zettler, E. R., DeForce, E., Kukulka, T., & Proskurowski, G. (2014). Distribution of surface plastic debris in the eastern Pacific Ocean from an 11-year data set. *Environmental Science & Technology*, 48(9), 4732-4738.
39. Law, K. L., Morét-Ferguson, S. E., Maximenko, N. A., Proskurowski, G., Peacock, E. E., Hafner, J., & Reddy, C.
40. Law, K. L., Morét-Ferguson, S., Maximenko, N. A., Proskurowski, G., Peacock, E. E., Hafner, J., & Reddy, C. M. (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science*, 329(5996), 1185-1188.
41. Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., ... & Reisser, J. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8(1), 4666.
42. Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... & Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae

- in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*, 188, 177-181.
43. Li, J., Zhang, K., & Zhang, H. (2018). Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environmental Pollution*, 237, 460-467.
 44. Lithner, D., Larsson, Å., & Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment*, 409(18), 3309-3324.
 45. Lusher, A. L., McHugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67(1-2), 94-99.
 46. M. (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science*, 329(5996), 1185-1188.
 47. Machado, A. A. D., Lau, C. W., Till, J., Kloas, W., Lehmann, A., Becker, R., & Rillig, M. C. (2018). Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. *Environmental Science & Technology*, 52(17), 9656-9665.
 48. Mason, S. A., Welch, V., & Neratko, J. (2018). Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in Chemistry*, 6, 407.
 49. Mincer, T. J., Zettler, E. R., & Amaral-Zettler, L. A. (2016). Biofilms on plastic debris and their influence

- on marine nutrient cycling, productivity, and hazardous chemical mobility. In *Marine anthropogenic litter* (pp. 221-233). Springer, Cham.
50. Nizzetto, L., Bussi, G., Futter, M. N., Butterfield, D., & Whitehead, P. G. (2016). A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18(8), 1050-1059.
 51. Nizzetto, L., Futter, M., & Langaas, S. (2016). Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? *Environmental Science & Technology*, 50(20), 10777-10779.
 52. Obbard, R. W., Sadri, S., Wong, Y. Q., Khitun, A. A., Baker, I., & Thompson, R. C. (2014). Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future*, 2(6), 315-320.
 53. Peeken, I., Primpke, S., Beyer, B., Gütermann, J., Katlein, C., Krumpen, T., ... & Gerdts, G. (2018). Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nature Communications*, 9(1), 1505.
 54. Peng, G., Bellerby, R., Zhang, F., Sun, X., & Li, D. (2018). The ocean's ultimate trashcan: Hadal trenches as major depositories for plastic pollution. *Water Research*, 144, 60-67.

55. Provencher, J. F., Bond, A. L., Hedd, A., Montevecchi, W. A., Muzaffar, S. B., & Courchesne, S. J. (2018). Plastic and metal ingestion by surface-feeding seabirds in the Canadian Arctic: Temporal and spatial trends. *Marine Pollution Bulletin*, 96(1-2), 191-195.
56. Rezaei, M., Riksen, M. J., Sirjani, E., Sameni, A., & Geissen, V. (2019). Wind erosion as a driver for transport of light density microplastics in the environment. *Science of the Total Environment*, 669, 273-281.
57. Rillig, M. C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environmental Science & Technology*, 46(12), 6453-6454.
58. Rillig, M. C., Ziersch, L., & Hempel, S. (2017). Microplastic transport in soil by earthworms. *Scientific Reports*, 7(1), 1362.
59. Rillig, M. C., Ziersch, L., & Hempel, S. (2019). Microplastic transport in soil by earthworms. *Science Advances*, 3(5), e1701792.
60. Rochman, C. M., Hoh, E., Hentschel, B. T., & Kaye, S. (2013). Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: implications for plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*, 47(3), 1646-1654.

61. Scheurer, M., & Bigalke, M. (2018). Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environmental Science & Technology*, 52(6), 3591-3598.
62. Scheurer, M., & Bigalke, M. (2018). Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environmental Science & Technology*, 52(6), 3591-3598.
63. Schwarz, A. E., Ligthart, T. N., Boukris, E., & van Harmelen, T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 92-100.
64. Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution*, 185, 77-83.
65. Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246-265.
66. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., ... & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838.
67. Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J., & vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1973-1976.

68. Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., & Janssen, C. R. (2013). Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution*, 182, 495-499.
69. Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., ... & Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 1-9.
70. Woodall, L. C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G. L., Coppock, R., Sleight, V., ... & Thompson, R. C. (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*, 1(4), 140317.
71. Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: a micro issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634-6647.
72. Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483-492.
73. Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., ... & Oda, K. (2016). A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science*, 351(6278), 1196-1199.

74. Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the “plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*, 47(13), 7137-7146.
75. Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2020). A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: Direct human exposure. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 3740-3751.
76. Zubris, K. A. V., & Richards, B. K. (2005). Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental Pollution*, 138(2), 201-211.

BAB III MIKROPLASTIK: DAMPAK LINGKUNGAN

3.1 Dampak pada Organisme Laut dan Terrestrial

Mikroplastik adalah partikel plastik berukuran kurang dari 5 milimeter yang muncul sebagai salah satu polutan paling umum dan berbahaya di lingkungan. Mikroplastik dapat berasal dari dua sumber utama: mikroplastik primer yang sengaja diproduksi untuk penggunaan dalam produk seperti kosmetik dan pembersih, serta mikroplastik sekunder yang terbentuk dari degradasi plastik yang lebih besar akibat proses fisik, kimia, atau biologis di lingkungan (Auta et al. 2017). Partikel-partikel ini ditemukan di hampir setiap sudut dunia, mulai dari perairan laut hingga sungai dan bahkan tanah di daratan.

Mikroplastik tersebar luas di berbagai kompartemen lingkungan, termasuk laut, perairan tawar, dan tanah. Di lingkungan laut, mikroplastik dapat terbawa oleh angin atau aksi gelombang dari pantai ke udara. Sungai memainkan peran penting sebagai jalur utama transportasi mikroplastik dari daratan ke lautan. Selain itu, sirkulasi atmosfer dapat menjadi jalur penting untuk transportasi mikroplastik antar kompartemen lingkungan (Rodrigues et al. 2018).

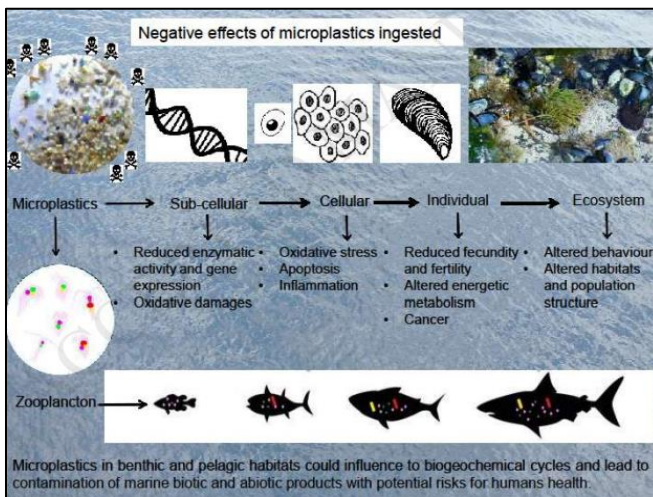
Mikroplastik tidak hanya tersebar luas di lingkungan tetapi juga dapat terakumulasi dalam organisme akuatik dan terestrial. Partikel-partikel ini dapat diserap, didistribusikan, dan dimusnahkan oleh organisme dengan efek biologis yang bervariasi tergantung pada ukuran, bentuk, dan karakteristik fisikokimia permukaan mikroplastik. Mikroplastik juga dapat menyerap dan melepaskan polutan anorganik dan organik ke dalam sistem laut dan udara yang dapat menyebabkan keracunan parah bagi organisme yang terpapar. Mikroplastik merupakan polutan yang tahan lama dan sangat tahan terhadap degradasi lingkungan sehingga menimbulkan ancaman signifikan bagi ekosistem dan organisme di berbagai tingkat trofik (Yu et al. 2020).

Distribusi mikroplastik di lingkungan sangat bergantung pada berbagai faktor, termasuk kondisi hidrodinamik, musim, dan kedekatan dengan sumber polusi urban atau industri. Misalnya, penelitian di Antuã River di Portugal menunjukkan variasi temporal dan spasial dalam distribusi mikroplastik di air dan sedimen dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di dekat area urban dan industri (Rodrigues et al. 2018). Polimer seperti polietilena dan polipropilena merupakan jenis mikroplastik yang paling umum ditemukan di berbagai studi, menunjukkan bahwa aktivitas manusia seperti penggunaan produk rumah

tangga dan kegiatan perikanan adalah sumber utama mikroplastik di lingkungan (Yu et al. 2020).

3.2 Dampak pada Plankton, Ikan, dan Mamalia Laut

Mikroplastik dapat diserap oleh berbagai organisme laut, mulai dari plankton, ikan, hingga mamalia laut. Mikroplastik sering ditemukan dalam jaringan dan organ plankton yang merupakan dasar dari rantai makanan laut. Sebagai contoh, penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik telah ditemukan dalam tubuh zooplankton di perairan Atlantik timur laut (Cole et al. 2013).



Gambar 3. 1. Efek Negatif Mikroplastik

Gambar 3.1 menggambarkan efek negatif mikroplastik yang tertelan pada berbagai tingkat biologis, mulai dari sub-seluler hingga ekosistem, serta

alur akumulasi mikroplastik dalam rantai makanan laut. Mikroplastik menyebabkan kerusakan oksidatif dan gangguan enzimatis pada tingkat sub-seluler, stres oksidatif dan peradangan pada tingkat seluler, serta penurunan kesuburan, perubahan metabolisme energi, dan potensi kanker pada tingkat individu. Pada tingkat ekosistem, mikroplastik mengubah perilaku organisme dan struktur populasi. Mikroplastik terakumulasi dalam rantai makanan mulai dari zooplankton, ikan kecil, hingga predator puncak, termasuk manusia yang mengonsumsi ikan tersebut, sehingga menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan.

Mikroplastik di habitat bentik dan pelagik mempengaruhi siklus biogeokimia dan menyebabkan kontaminasi produk biotik dan abiotik laut, yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia. Ini menunjukkan bahwa mikroplastik dapat berdampak luas mulai dari tingkat molekuler hingga ekosistem, serta dapat terakumulasi melalui rantai makanan laut, akhirnya membahayakan kesehatan manusia yang mengonsumsi makanan laut tersebut.

3.3 Dampak Fisik dan Biologis Organisme

Mikroplastik yang tertelan dapat menyebabkan berbagai efek fisik dan biologis pada organisme laut

- a. Cedera Internal: Mikroplastik dapat menyebabkan penyumbatan usus dan kerusakan jaringan pada

organisme yang menelannya. Partikel-partikel ini dapat mengganggu fungsi pencernaan dan menyebabkan luka internal (Guzzetti et al. 2018).

- b. Gangguan Pencernaan: Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik dapat mengganggu fungsi pencernaan pada ikan dan organisme laut lainnya dengan mengurangi efisiensi makan dan menyebabkan stres oksidatif serta toksisitas imun (Pittura et al. 2018).
- c. Kematian: Mikroplastik dapat menyebabkan kematian pada organisme laut melalui efek langsung seperti penyumbatan usus dan melalui efek tidak langsung seperti penurunan kemampuan bertahan hidup akibat gangguan metabolisme dan bioakumulasi kontaminan berbahaya (Barboza et al. 2018).

Mikroplastik berdampak terhadap berbagai biota perairan, antara lain

- a. Larva Ikan di English Channel: Studi menunjukkan bahwa 2.9% dari larva ikan yang dikumpulkan di English Channel telah menelan mikroplastik, yang sebagian besar adalah serat biru yang serupa dengan mikroplastik yang ditemukan di sampel air (Steer et al. 2017).
- b. Zooplankton di Atlantik Timur Laut: Mikroplastik ditemukan di berbagai jenis zooplankton, mempengaruhi laju makan mereka dan berpotensi

menyebabkan dampak negatif pada fungsi dan kesehatan zooplankton (Cole et al. 2013).

- c. Anjing Laut Abu-abu (Grey Seals): Penelitian pada anjing laut abu-abu menunjukkan bahwa mereka menelan mikroplastik melalui konsumsi ikan mackerel yang telah terkontaminasi, menunjukkan bahwa transfer trofik mikroplastik dari mangsa ke predator adalah jalur penting dalam bioakumulasi mikroplastik (Nelms et al. 2018).

3.4 Dampak pada Organisme Tanah

Mikroplastik dapat menembus tanah dan berdampak signifikan pada organisme yang hidup di dalamnya seperti cacing tanah dan serangga. Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik dapat menyebabkan kerusakan permukaan pada cacing tanah (*Eisenia fetida*) dan meningkatkan aktivitas enzim oksidatif sebagai respons terhadap stres yang diinduksi oleh mikroplastik (Chen et al. 2020). Selain itu, mikroplastik dapat mengubah karakteristik tanah dan mempengaruhi siklus nutrisi yang penting bagi kesehatan tanah (Ji et al. 2021).

Mikroplastik yang masuk ke dalam tanah dapat terserap oleh organisme tanah seperti cacing yang kemudian dapat dimakan oleh hewan darat lainnya, menyebabkan bioakumulasi dan biomagnifikasi kontaminan. Sebagai contoh, penelitian menemukan

bahwa mikroplastik dapat berfungsi sebagai vektor untuk polutan organik hidrofobik yang terakumulasi dalam cacing tanah yang kemudian dapat mempengaruhi predator yang lebih tinggi dalam rantai makanan (Wang et al. 2020). Proses ini dapat menyebabkan peningkatan tingkat kontaminasi dalam rantai makanan, yang berpotensi mengancam kesehatan hewan darat yang lebih besar. Beberapa penelitian dampak mikroplastik pada tanah dan organisme, antara lain:

- a. Cacing Tanah (*Eisenia fetida*): Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik polietilena densitas rendah (LDPE) dapat menyebabkan peningkatan aktivitas enzim oksidatif dan kerusakan permukaan pada cacing tanah setelah 28 hari paparan. Cacing tanah menelan mikroplastik dalam cara yang bergantung pada dosis, menunjukkan potensi risiko signifikan dari mikroplastik terhadap organisme tanah (Chen et al. 2020).
- b. Tanah Pertanian dengan Pestisida: Studi lain menunjukkan bahwa mikroplastik yang berasal dari film mulsa pertanian dapat meningkatkan toksisitas pestisida seperti atrazine terhadap cacing tanah, menyebabkan stres oksidatif yang lebih besar dan perubahan ekspresi gen yang abnormal (Cheng et al. 2020). Hal ini menunjukkan interaksi yang kompleks antara mikroplastik dan kontaminan lain dalam

tanah yang dapat memperburuk dampak terhadap organisme tanah.

- c. Leaching dan Transportasi Mikroplastik: Penelitian juga menunjukkan bahwa aktivitas biogenik seperti burrowing oleh cacing tanah dapat memobilisasi transportasi mikroplastik dari permukaan ke lapisan tanah yang lebih dalam serta ke sistem air tanah, terutama di daerah dengan tabel air yang dangkal (Yu et al. 2019). Ini menyoroti peran penting organisme tanah dalam distribusi dan efek mikroplastik dalam ekosistem terestrial.

Mikroplastik menimbulkan ancaman signifikan terhadap ekosistem terestrial, mempengaruhi kesehatan tanah, organisme penghuni tanah, dan hewan darat melalui rantai makanan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami sepenuhnya dampak jangka panjang dan interaksi kompleks antara mikroplastik dan kontaminan lain dalam ekosistem terestrial.

3.5 Potensi Bahaya Toksik dari Mikroplastik

Mikroplastik terdiri dari berbagai macam polimer dan sering kali mengandung zat tambahan kimia berbahaya yang ditambahkan selama proses produksi untuk meningkatkan sifat dan daya tahan plastik. Zat tambahan ini termasuk plasticizer, stabilisator, penghambat nyala, dan pewarna, yang semuanya memiliki potensi toksisitas tinggi. Misalnya,

zat seperti bisphenol A (BPA), phthalates, dan polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) dikenal karena efek endokrin disruptor mereka yang dapat menyebabkan gangguan hormonal dan kesehatan lainnya pada organisme (Campanale et al. 2020).

Mikroplastik juga dapat menyerap dan mengonsentrasikan polutan organik hidrofobik dari lingkungan sekitarnya seperti poliklorinasi bifenil (PCBs) dan hidrokarbon aromatik polisiklik (PAHs) yang kemudian dapat dilepaskan kembali ke lingkungan atau organisme yang menelan mikroplastik tersebut (Guzzetti et al. 2018). Zat tambahan ini tidak hanya berpotensi menimbulkan toksisitas kimia tetapi juga dapat menyebabkan stres oksidatif, peradangan, dan kerusakan genetik pada organisme yang terpapar. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami sepenuhnya dampak jangka panjang dari zat tambahan kimia dalam mikroplastik pada kesehatan manusia dan ekosistem.

3.6 Penyerapan Zat Kimia Beracun oleh Mikroplastik

Mikroplastik memiliki kemampuan luar biasa untuk menyerap berbagai zat kimia beracun dari lingkungan sekitarnya, termasuk polutan organik dan anorganik. Mekanisme adsorpsi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti ukuran partikel mikroplastik, jenis polimer, dan kondisi lingkungan seperti pH dan

salinitas. Misalnya, mikroplastik jenis polietilen (PE) dan polistirena (PS) telah terbukti efektif dalam menyerap pestisida seperti imidakloprid dan difenokonazol, serta logam berat seperti kadmium dan timbal (Li et al. 2020). Adsorpsi ini terjadi melalui interaksi fisik seperti gaya Van der Waals dan interaksi kimia seperti pembentukan ikatan hidrogen dan ikatan ion.

Selain itu, sifat fisikokimia mikroplastik seperti luas permukaan spesifik dan volume pori juga memainkan peran penting dalam menentukan kapasitas adsorpsi. Partikel mikroplastik yang lebih kecil memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar sehingga mampu menyerap lebih banyak kontaminan. Kondisi lingkungan seperti pH juga dapat mempengaruhi proses adsorpsi, di mana peningkatan pH dapat meningkatkan adsorpsi kadmium pada mikroplastik (Wang et al. 2019).

Adsorpsi zat kimia beracun oleh mikroplastik tidak hanya meningkatkan risiko pencemaran lingkungan tetapi juga menimbulkan potensi risiko kesehatan bagi organisme yang berinteraksi dengan mikroplastik tersebut. Mikroplastik yang telah menyerap polutan organik dapat berfungsi sebagai vektor untuk distribusi luas kontaminan ini di lingkungan perairan, memperburuk dampak toksik mereka terhadap ekosistem (Luo et al. 2021).

Mikroplastik yang telah menyerap kontaminan beracun dapat memasuki rantai makanan dan menyebabkan efek toksik melalui proses bioakumulasi. Bioakumulasi adalah proses di mana konsentrasi zat kimia meningkat di dalam organisme seiring dengan waktu karena asupan yang lebih cepat daripada eliminasi. Proses ini memungkinkan mikroplastik yang terkontaminasi dimakan oleh organisme kecil seperti plankton yang kemudian dimakan oleh ikan dan hewan laut lainnya, hingga akhirnya sampai ke manusia melalui konsumsi makanan laut (Barboza et al. 2018).

3.7 Mikroplastik dalam Rantai Makanan

Salah satu jalur utama mikroplastik memasuki rantai makanan adalah melalui lingkungan air di mana mereka diserap oleh organisme tingkat rendah seperti plankton.



Gambar 3. 2. Siklus Mikroplastik di Lingkungan dan Rantai Makanan

Gambar 3.2 mengilustrasikan siklus mikroplastik dalam lingkungan dan rantai makanan, memperlihatkan plastik dan bioplastik seperti PVC, PS, PLA, dan lainnya diubah menjadi produk yang setelah dipakai berakhir di lingkungan sebagai mikroplastik dan nanoplastik. Partikel-partikel ini kemudian menyebar di air, tanah, dan udara, dan akhirnya masuk ke dalam rantai makanan melalui konsumsi oleh organisme akuatik dan terestrial. Proses akumulasi ini berlanjut hingga ke manusia, baik melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi atau langsung dari produk yang mengandung mikroplastik, dengan potensi dampak negatif pada kesehatan manusia.

3.8 Penyerapan Mikroplastik oleh Organisme Tingkat Rendah

Plankton dan organisme kecil lainnya menyerap mikroplastik dari air di sekitar mereka. Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik di lautan mudah dicerna oleh berbagai organisme laut kecil, termasuk plankton (Cverenkárová et al. 2021). Mikroplastik ini terakumulasi dalam tubuh plankton karena ketidakmampuan organisme tersebut untuk sepenuhnya mencernanya atau mengeluarkannya.

Mikroplastik yang terkumpul dalam tubuh plankton berpindah ke predator mereka saat plankton dimakan. Proses ini berlanjut hingga ke organisme yang

lebih tinggi dalam rantai makanan, dengan mikroplastik yang semakin terakumulasi pada setiap tingkat trofik. Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik dapat ditemukan dalam tubuh berbagai organisme laut, dari ikan kecil hingga paus (Guzzetti et al. 2018).

3.9 Akumulasi dan Biomagnifikasi

Mikroplastik terakumulasi dalam jaringan organisme karena tidak dapat sepenuhnya dicerna atau diekskresikan. Akumulasi ini menyebabkan konsentrasi mikroplastik yang lebih tinggi pada organisme yang berada di tingkat trofik lebih tinggi. Penelitian oleh Huang et al. (2020) menunjukkan bahwa mikroplastik dan kontaminan terkait dapat menyebabkan dampak kesehatan yang signifikan pada hewan darat dan laut, termasuk manusia (Huang et al. 2020).

Efek biomagnifikasi mengacu pada peningkatan konsentrasi kontaminan saat naiknya rantai makanan. Predator puncak, termasuk manusia, dapat mengakumulasi konsentrasi mikroplastik yang lebih tinggi dalam tubuh mereka melalui konsumsi ikan dan hewan lain yang telah terkontaminasi. Penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik telah ditemukan dalam jaringan manusia, terutama dalam sistem pencernaan, dan dapat menyebabkan berbagai masalah

kesehatan termasuk peradangan, gangguan hormon, dan bahkan kanker (Prata & Dias-Pereira 2023).

Mikroplastik memiliki kemampuan untuk masuk dan menyebar dalam rantai makanan, mulai dari organisme tingkat rendah seperti plankton hingga predator puncak, termasuk manusia. Akumulasi dan biomagnifikasi mikroplastik dalam jaringan organisme menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan dan membutuhkan perhatian lebih lanjut untuk mengurangi dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

3.10 Pencemaran Mikroplastik pada Air Minum

Mikroplastik dapat masuk ke dalam air minum melalui beberapa sumber. Air keran dan air kemasan keduanya telah teridentifikasi mengandung mikroplastik. Air keran dapat terkontaminasi dari sumber air yang terpolusi, jaringan pipa yang terbuat dari plastik, serta proses pengolahan air. Sedangkan air kemasan seringkali terkontaminasi oleh mikroplastik dari botol plastik itu sendiri dan proses pengemasan.

Beberapa studi telah meneliti kadar mikroplastik dalam air minum. Sebuah studi oleh Danopoulos et al. (2020) menemukan bahwa mikroplastik sangat umum ditemukan dalam air minum dengan konsentrasi yang bervariasi bergantung pada sumber dan metode pengolahan air (Danopoulos et al. 2020). Studi lain oleh

juga menunjukkan bahwa meskipun kadar mikroplastik dalam air minum relatif rendah, kehadirannya tidak dapat diabaikan (Minteni et al. 2019).

Konsumsi air yang mengandung mikroplastik dapat membawa risiko kesehatan yang signifikan. Mikroplastik yang tertelan dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan dan berpotensi mengandung bahan kimia berbahaya yang terikat pada permukaan plastik. Studi oleh Tong et al. (2020) menyebutkan bahwa mikroplastik dalam air minum dapat menjadi sarana transportasi bagi kontaminan lain yang berbahaya, meningkatkan risiko paparan racun bagi manusia (Tong et al. 2020).

3.11 Pencemaran Mikroplastik pada Pangan

Produk laut dan produk pertanian merupakan sumber utama kontaminasi mikroplastik dalam pangan. Produk laut seperti ikan dan kerang dapat mengandung mikroplastik yang berasal dari lingkungan laut yang tercemar. Sementara itu, produk pertanian dapat terkontaminasi melalui penggunaan air irigasi yang mengandung mikroplastik atau dari tanah yang tercemar.

Penelitian oleh Cox et al. (2019) mengungkapkan bahwa manusia dapat mengonsumsi sekitar 39,000 hingga 52.000 partikel mikroplastik per tahun melalui makanan. Studi lainnya oleh Pivokonský et al. (2018) menemukan mikroplastik terutama dari jenis PET, PP, dan PE dalam berbagai produk pangan, menunjukkan

luasnya spektrum kontaminasi mikroplastik pada makanan.

Konsumsi pangan yang terkontaminasi mikroplastik juga membawa risiko kesehatan. Mikroplastik dapat menyebabkan stres oksidatif, reaksi peradangan, dan gangguan pada sistem kekebalan tubuh. Konsumsi jangka panjang mikroplastik melalui makanan berpotensi meningkatkan risiko gangguan kesehatan serius.

Mikroplastik dalam air minum dan pangan merupakan ancaman yang nyata bagi kesehatan manusia. Peningkatan kesadaran dan tindakan mitigasi diperlukan untuk mengurangi paparan mikroplastik dari sumber-sumber ini, melindungi kesehatan masyarakat dari potensi risiko yang ditimbulkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Auta, H., Emenike, C., & Fauziah, S. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions.. *Environment international*, 102, 165-176 .
2. Barboza, L., Vieira, L., Branco, V., Figueiredo, N., Carvalho, F., Carvalho, C., & Guilhermino, L. (2018). Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758).. *Aquatic toxicology*, 195, 49-57 .

3. Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1212
4. Chen, Y., Liu, X., Leng, Y., & Wang, J. (2020). Defense responses in earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to low-density polyethylene microplastics in soils.. *Ecotoxicology and environmental safety*, 187, 109788 .
5. Cheng, Y., Zhu, L., Song, W., Jiang, C., Li, B., Du, Z., Wang, J., Wang, J., Li, D., & Zhang, K. (2020). Combined effects of mulch film-derived microplastics and atrazine on oxidative stress and gene expression in earthworm (*Eisenia fetida*).. *The Science of the total environment*, 746, 141280 .
6. Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton.. *Environmental science & technology*, 47 12,
7. Cox, K., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*.

8. Cverenkárová, K., Valachovičová, M., Mackuľák, T., Žemlička, L., & Bírošová, L. (2021). Microplastics in the Food Chain. *Life*, 11
9. Danopoulos, E., Twiddy, M., & Rotchell, J. (2020). Microplastic contamination in drinking water is ubiquitous. *PLoS ONE*. doi: 10.1371/journal.pone.0236838
10. Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., & Faggio, C. (2018). Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects.. *Environmental toxicology and pharmacology*, 64, 164-171.
11. Ji, Z., Huang, Y., Feng, Y., Johansen, A., Xue, J., Tremblay, L., & Li, Z. (2021). Effects of pristine microplastics and nanoplastics on soil invertebrates: A systematic review and meta-analysis of available data.. *The Science of the total environment*, 788
12. Mintenig, S., Löder, M., Primpke, S., & Gerdts, G. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water. *The Science of the Total Environment*.
13. Nelms, S., Galloway, T., Godley, B., Jarvis, D., & Lindeque, P. (2018). Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators.. *Environmental pollution*, 238, 999-1007.
14. Pittura, L., Avio, C., Giuliani, M., d'Errico, G., Keiter, S., Cormier, B., Gorbi, S., & Regoli, F. (2018).

- Microplastics as Vehicles of Environmental PAHs to Marine Organisms: Combined Chemical and Physical Hazards to the Mediterranean Mussels, *Mytilus galloprovincialis*. *Frontiers in Marine Science*, 5
15. Pivokonský, M., Čermáková, L., Novotná, K., Peer, P., Cajthaml, T., & Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *The Science of the Total Environment*.
 16. Prata, J. C., & Dias-Pereira, P. (2023). Microplastics in Terrestrial Domestic Animals: A Review of Effects and Implications for Human Health. *Animals*, 13(4), 661
 17. Rodrigues, M., Abrantes, N., Gonçalves, F., Nogueira, H., Marques, J., Gonçalves, A., & Gonçalves, A. (2018). Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal).. *The Science of the total environment*, 633, 1549-1559.
 18. Steer, M., Cole, M., Thompson, R., & Lindeque, P. (2017). Microplastic ingestion in fish larvae in the western English Channel.. *Environmental pollution*, 226, 250-259.
 19. Tong, H., Jiang, Q., Hu, X., & Zhong, X. (2020). Occurrence and identification of microplastics in drinking water sources. *Chemosphere*.

20. Yu, M., Ploeg, M., Lwanga, E., Yang, X., Zhang, S., Ma, X., Ritsema, C., & Geissen, V. (2019). Leaching of microplastics by preferential flow in earthworm (*Lumbricus terrestris*) burrows.
21. Yu, Q., Hu, X., Yang, B., Zhang, G., Wang, J., & Ling, W. (2020). Distribution, abundance and risks of microplastics in the environment.. *Chemosphere*, 249, 126059.

BAB IV MIKROPLASTIK: METABOLISME DAN TOKSISITAS

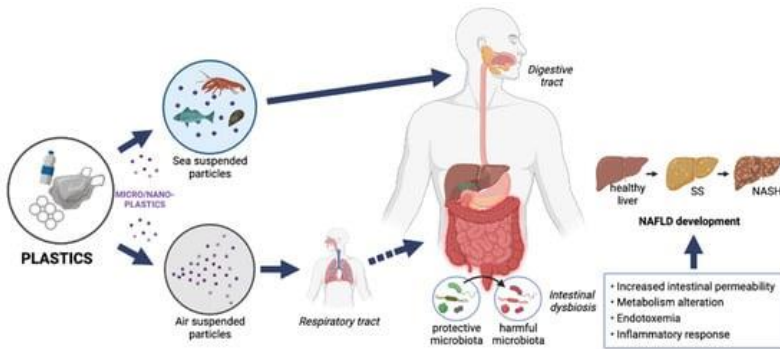
4.1 Metabolisme Mikroplastik

Plastik yang digunakan dalam produk konsumen dan dibuang ke lingkungan mengalami degradasi lambat oleh proses oksidatif dan biodegradasi. Proses ini menghasilkan fragmentasi menjadi potongan-potongan kurang dari 5 mm, yang disebut mikroplastik sekunder. Selain itu, ada juga mikroplastik primer, yakni plastik yang sengaja diproduksi untuk digunakan dalam kosmetik atau di industri yang berbeda. Meski demikian, mikroplastik menjadi kontaminan lingkungan di mana-mana hingga dapat berdampak pada kesehatan manusia.

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa jalur paparan mikroplastik pada manusia ada beberapa, antara lain melalui makanan, udara, air minum, air limbah, kosmetik, tekstil, dan debu. Oleh karena itu, jalur utama masuknya bahan-bahan ini ke dalam tubuh adalah melalui saluran pencernaan dan paru.

Manusia diperkirakan menelan puluhan ribu hingga jutaan partikel mikroplastik setiap tahunnya, atau sekitar beberapa miligram setiap hari. Oleh karena mikroplastik memiliki ukuran yang mirip dengan makanan banyak organisme air, maka mikroplastik

sering tertelan oleh organisme ini secara tidak sengaja. Rute mikropastik hingga masuk ke dalam tubuh manusia, dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Rute Mikropastik Hingga Masuk ke Dalam Tubuh Manusia

Pada manusia, mikroplastik dapat mencapai sistem pencernaan melalui makanan yang terkontaminasi (organisme akuatik yang menelan mikroplastik, air atau susu yang terkontaminasi, dan garam meja, antara lain) atau melalui pembersihan mukosiliar setelah terhirup. Secara umum, polimer plastik berukuran besar bersifat lembam dan tidak diserap oleh sistem usus. Setelah tertelan, sebanyak lebih 90% mikroplastik diekskresikan dalam tinja, terutama partikel besar $>150 \mu\text{m}$. Mikroplastik berukuran $0,1-10 \mu\text{m}$ dapat melintasi sawar darah-otak dan plasenta, partikel berukuran $<150 \mu\text{m}$ dapat melintasi epitel saluran cerna, dan partikel berukuran

<2,5 μm dapat masuk ke dalam sirkulasi sistemik melalui endositosis.

Setelah masuk dalam sistem pencernaan, maka akan terjadi interaksi antara mikroplastik dengan cairan pencernaan, sel usus, penyerapan dan transportasi di usus dan hati, dan ekskresi. Interaksi ini dapat menyebabkan peradangan, perubahan kesetimbangan oksidatif, serta genotoksik.

Jalur paparan kedua setelah pencernaan adalah melalui respirasi, yakni menghirup mikroplastik yang tersuspensi di udara. Mikroplastik yang dilepaskan ke udara oleh berbagai sumber, termasuk tekstil sintetis, abrasi bahan, dan resuspensi mikroplastik yang tersimpan di permukaan. Selanjutnya mikroplastik akan mengendap di sistem pernapasan, dan pembersihan oleh makrofag atau migrasi ke sirkulasi atau sistem limfatik dapat menyebabkan translokasi partikel.

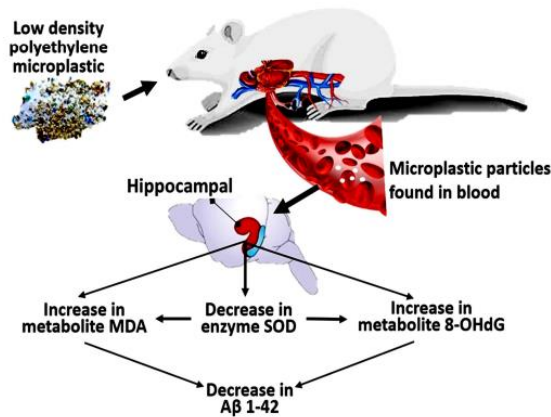
Kontak kulit dengan mikroplastik dianggap sebagai rute paparan minimal yang signifikan. Mikroplastik (<100 nm) diperkirakan dapat melintasi sawar kulit. Banyak bukti ilmiah mengungkapkan bahwa pada hewan pengerat dan mamalia, termasuk manusia, bahwa beberapa mikroplastik mencapai aliran darah dan didistribusikan ke berbagai organ dan jaringan.

4.2 Toksisitas Mikroplastik

Tiga rute utama masuknya mikroplastik dan nanoplastik ke dalam tubuh manusia adalah inhalasi, konsumsi makanan dan minuman yang terkontaminasi, dan kontak kulit. Mikroplastik yang masuk melalui kontak kulit dapat menembus luka, kelenjar keringat, atau folikel rambut karena membran kulit terlalu halus untuk dilewati mikroplastik. Pada penelitian menggunakan hewan coba yang dilakukan ada beberapa polimer mikroplastik yang terbukti dapat menyebabkan permasalahan kesehatan seperti Polyethylen, Polyethylene terephthalate, Polyethylen low density dan lainnya.

Nanoplastik dan mikroplastik sangat berisiko toksisitas kronis, seperti toksisitas kardiovaskular, hepatotoksisitas, dan neurotoksisitas, genotoksisitas. Paparan mikroplastik pada manusia dapat berisiko menyebabkan stress oksidatif, sitotoksisitas, neurotoksisitas, dan gangguan sistem kekebalan tubuh, dan mikroplastik dihasilkan melalui sirkulasi darah ke seluruh tubuh manusia. Jenis mikoplastik polyethylene terephthalate dilakukan uji dengan menggunakan hewan coba, menunjukkan hasil bahwa mikroplastik dapat menyebabkan penurunan berat badan, kista, obstruksi usus, kerusakan, dan kematian orang sebesar 40%; penelitian lain menunjukkan pemberian mikroplastik jenis low-density polyethylene

menyebabkan adanya partikel mikroplastik dalam darah hewan coba, semakin tinggi partikel mikroplastik dalam darah menyebabkan peningkatan ekspresi malondialdehida dan metabolit 8-OHdG di neuron hippocampal, hasilnya menunjukkan terdapat kerusakan membran neuron hippocampal dan asam deoksiribonukleat. Secara umum penelitian tersebut dapat digambarkan pada gambar 4.2



Gambar 4. 2. Stres Oksidatif Akibat Mikroplastik

Mikroplastik yang terdeteksi pada plasenta ibu yang melahirkan, hal tersebut berpotensi menyebabkan permasalahan pada proses metabolisme dan reproduksi. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa mikroplastik dalam aliran darah manusia terdiri dari polietilen, polipropilen, dan stirena terpolimerisasi. Studi lain menunjukkan bahwa mikroplastik masuk melalui inhalasi dengan mendeteksi keberadaan mikroplastik di

paru-paru manusia, dengan komposisi mikroplastik terbanyak di paru-paru bagian bawah. Mikroplastik yang mencemari manusia dapat masuk ke organ manusia melalui aliran darah Polystyrene mikroplastik yang memasuki darah manusia dapat menyebabkan hemolisis, dan jika dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan peradangan. Dengan masuknya mikroplastik ke dalam darah manusia, ada kemungkinan untuk menyebabkan masalah kesehatan bagi manusia namun masih memerlukan penelitian lebih lanjut tentang efek toksik mikroplastik pada kesehatan manusia. Mikroplastik dapat menyebabkan masalah toksisitas, baik secara akut maupun kronis jika terpapar secara rutin dan dalam jumlah yang banyak, namun masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai dampak toksik mikroplastik pada manusia serta potensi risiko kesehatan yang dapat disebabkan oleh paparan mikroplastik secara langsung dan dengan jumlah yang banyak.

DAFTAR PUSTAKA

1. Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 62. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
2. Blackburn, K., & Green, D. (2022). The potential effects of microplastics on human health: What is

- known and what is unknown. *Ambio*, Vol. 51. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9>
3. Eriksen, M., Borgogno, F., Villarrubia-Gómez, P., Anderson, E., Box, C., & Trenholm, N. (2020). Mitigation strategies to reverse the rising trend of plastics in Polar Regions. *Environment International*, Vol. 139. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105704>
 4. Kye, H., Kim, J., Ju, S., Lee, J., Lim, C., & Yoon, Y. (2023). Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards. *Heliyon*, Vol. 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14359>
 5. Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, Vol. 702. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
 6. Pravettoni, R., & Rekacewicz, P. (2019). Global distribution of microplastics. *Global Linkages – a Graphic Look at the Changing Arctic (Rev.1)*.
 7. Pullin, A. S., & Knight, T. M. (2012). Science informing Policy - A health warning for the environment. *Environmental Evidence*, Vol. 1. <https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-15>
 8. Takada, S. (2017). Issue of micro plastics in the coastal and marine environment and 3R solutions

Issue of micro plastics in the coastal and marine environment and 3R solutions. UN Ocean Conference, (June).

9. Vethaak, A. D., & Legler, J. (2021). Microplastics and human health. *Science*, 371(6530). <https://doi.org/10.1126/science.abe5041>

Polusi Tak Terlihat:

Menguak Realitas Mikroplastik di Lingkungan Kita

Mikroplastik merupakan partikel-partikel kecil yang sulit dilihat dengan mata telanjang, telah menjadi ancaman serius bagi lingkungan. Potongan-potongan kecil plastik ini, hasil dari degradasi sampah plastik yang tidak terkendali, telah menyebar ke seluruh penjuru bumi, mulai dari puncak gunung hingga kedalaman laut. Mikroplastik tidak hanya merusak keindahan alam, tetapi juga membawa dampak serius pada kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Buku ini akan membawa pembaca menyelami lebih dalam tentang mikroplastik, mulai dari asal-usulnya hingga dampak yang ditimbulkannya. Pembaca akan diajak memahami terbentuknya mikroplastik terbentuk, penyebaran dan pengaruhnya di lingkungan. Selain itu, buku ini juga akan membahas upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak negatif mikroplastik.

Penelitian tentang mikroplastik telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, mengungkap fakta-fakta mengejutkan yang mengajak kita untuk lebih peduli terhadap penggunaan plastik. Buku ini akan menyajikan data dan temuan ilmiah terbaru tentang mikroplastik, memberikan gambaran komprehensif tentang krisis lingkungan yang sedang kita hadapi.

Selain menyajikan informasi ilmiah, buku ini juga akan menyoroti kisah-kisah nyata dari berbagai belahan dunia tentang bagaimana mikroplastik mempengaruhi kehidupan sehari-hari. Dengan memadukan pengetahuan ilmiah dan kisah-kisah inspiratif, buku ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya mengurangi penggunaan plastik dan menjaga lingkungan dari ancaman mikroplastik.



Jl. Hasan Basri, Kayutangi, Banjarmasin 70123

Telp/Fax. 0511-3305195

ANGGOTA APPTI (004.035.1.03.2018)