

Mikroplastik

ANCAMAN TERSEMBUNYI DALAM LINGKUNGAN



Achmad Syafiuddin
Iswahyudi
Marchel Putra Garfansa



MIKROPLASTIK

ANCAMAN TERSEMBUNYI DALAM LINGKUNGAN

MIKROPLASTIK

ANCAMAN TERSEMBUNYI DALAM LINGKUNGAN

Achmad Syafiuddin, S. Si., M.Phil., Ph.D.

Iswahyudi, S.TP., M.Si.

Marchel Putra Garfansa, SP. MP.



MIKROPLASTIK

ANCAMAN TERSEMBUNYI DALAM LINGKUNGAN

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

Achmad Syafiuddin, S. Si., M.Phil., Ph.D.

Iswahyudi, S.TP., M.Si.

Marchel Putra Garfansa, SP. MP.

Editor: Rusli

Cetakan Pertama: Desember 2024

Cover: Tim Penyusun

Tata Letak: Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2024, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151

Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website: www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail: rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2024 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

All Right Reserved

- Cet. I –: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2024

Dimensi : 14,8 x 21 cm

ISBN 978-634-7091-07-9

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang

Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

“ALHAMDULILLAH” kata pertama yang saya ucapkan teriring selesainya penyusunan buku ini, Puji syukur ke hadiratmu Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, melimpahkan rahmatMU dan hidayahNYA hingga memperlancarkan penulisan buku refrensi sehingga berhasil di terbitkan. Sudah menjadi tanggungjawab dan kewajiban sebagai pendidik mempublikasikan hasil penelitiannya kepada khalayak, dan dapat dijadikan panutan dan pedoman dalam mengembangkan suatu bidang ilmu.

Buku ini memberikan gambaran tentang permasalahan mikroplastik yang menjadi ancaman serius bagi lingkungan. Mikroplastik merupakan partikel kecil yang berasal dari berbagai produk dan limbah plastik, yang keberadaannya telah mencemari air, tanah, bahkan udara. Limbah mikroplastik yang tidak dikelola dengan baik dapat berdampak buruk pada ekosistem dan kesehatan manusia.

Melalui buku ini, dibahas bagaimana mikroplastik terbentuk, dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan, serta solusi untuk mengurangi pencemaran ini. Selain itu, dibahas juga upaya pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan yang melibatkan pendekatan teknologi dan perubahan perilaku masyarakat dalam mengurangi penggunaan plastik. Buku ini diharapkan dapat memberikan wawasan sekaligus inspirasi untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan berkelanjutan.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi sehingga buku dengan judul “Mikroplastik : Ancaman

Tersembunyi dalam Lingkungan” dapat diselesaikan. Semoga buku ini dapat bermanfaat, khususnya bagi para pegiat lingkungan, akademisi, dan pembuat kebijakan, serta pembaca pada umumnya yang peduli terhadap pelestarian lingkungan.

Penulis

Achmad Syafiuddin, S. Si., M.Phil., Ph.D.

Iswahyudi, S.TP., M.Si.

Marchel Putra Garfansa, SP. MP.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
BAB 1 PENGANTAR MIKROPLASTIK.....	1
A. Definisi dan Klasifikasi Mikroplastik.....	1
B. Sejarah Penemuan dan Perkembangan Studi Mikroplastik.....	2
C. Sumber-Sumber Mikroplastik Primer dan Sekunder ...	4
D. Distribusi Mikroplastik di Lingkungan Global.....	5
BAB 2 KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA MIKROPLASTIK.....	8
A. Ukuran dan Bentuk Mikroplastik	8
B. Komposisi Polimer dalam Mikroplastik.....	10
C. Sifat-Sifat Fisik dan Kimiawi Mikroplastik.....	12
D. Degradasi dan Fragmentasi Plastik di Lingkungan	13
BAB 3 MIKROPLASTIK DI UDARA.....	15
A. Rute Masuk Mikroplastik ke Atmosfer	15
B. Penyebaran Mikroplastik Melalui Angin dan Presipitasi.....	16
C. Dampak Mikroplastik di Udara Terhadap Kesehatan Manusia dan Ekosistem.....	17
D. Teknik Pemantauan dan Pengukuran Mikroplastik di Udara	18
BAB 4 MIKROPLASTIK DI PERAIRAN.....	20
A. Mikroplastik di Laut dan Samudra.....	20

B. Mikroplastik di Sungai	22
C. Bioakumulasi Mikroplastik di Ekosistem Perairan	23
D. Pengaruh Mikroplastik pada Biota Laut dan Tawar ..	24
BAB 5 MIKROPLASTIK DI TANAH DAN PERTANIAN.....	26
A. Sumber Mikroplastik di Lahan Pertanian.....	26
B. Dampak Mikroplastik pada Kualitas Tanah.....	29
C. Interaksi Mikroplastik dengan Mikroorganisme Tanah	30
BAB 6 PENGARUH MIKROPLASTIK PADA TANAMAN	31
A. Pengaruh pada Pertumbuhan Bibit Tanaman	31
B. Pengaruh pada Produktivitas Tanaman.....	32
BAB 7 DAMPAK MIKROPLASTIK PADA KERUGIAN PERTANIAN	34
A. Kerugian Pascapanen.....	34
B. Kerugian Ekonomi Pertanian.....	36
BAB 8 MIKROPLASTIK DALAM RANTAI PANGAN	38
A. Rute Masuk Mikroplastik ke dalam Makanan dan Minuman	38
B. Penemuan Mikroplastik di Produk Perikanan, Daging, dan Sayuran	40
C. Pengaruh Mikroplastik pada Kesehatan Manusia.....	42
BAB 9 DAMPAK MIKROPLASTIK PADA KESEHATAN MANUSIA	45
A. Toksikologi Mikroplastik: Studi In-Vitro dan In-Vivo	45

B. Paparan Mikroplastik pada Manusia melalui Udara, Air, dan Makanan	47
C. Potensi Risiko Jangka Panjang bagi Kesehatan.....	50
D. Mikroplastik dan Penyakit Non-Komunikabel.....	52
BAB 10 TEKNIK DETEKSI DAN ANALISIS MIKROPLASTIK....	55
A. Metode Pemisahan dan Pengambilan Sampel Mikroplastik.....	55
B. Teknik Mikroskopi dan Spektroskopi.....	57
C. Tantangan dalam Analisis Mikroplastik pada Lingkungan.....	59
D. Teknologi Baru untuk Pengukuran Mikroplastik.....	61
BAB 11 INOVASI BIODEGRADASI MIKROPLASTIK	63
A. Biodegradasi Mikroplastik oleh.....	63
B. Biodegradasi Black Soldier Fly (BSF).....	65
BAB 12 REGULASI DAN KEBIJAKAN GLOBAL MENGENAI MIKROPLASTIK.....	68
A. Peraturan Internasional Tentang Plastik dan Mikroplastik.....	68
B. Upaya Negara-Negara dalam Mengurangi MPs	70
C. Strategi Kebijakan Berkelanjutan untuk Mengurangi Polusi MPs.....	71
D. Kolaborasi Global dalam Penelitian dan Penanggulangan MPs.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	77
BIODATA PENULIS	121

BAB 1

PENGANTAR MIKROPLASTIK

A. Definisi dan Klasifikasi Mikroplastik

Mikroplastik (MPs) didefinisikan sebagai partikel plastik yang memiliki ukuran kurang dari 5 milimeter (Cai et al., 2023). Mereka berasal dari berbagai sumber, termasuk degradasi plastik besar yang pecah menjadi partikel-partikel kecil dan produk plastik yang dirancang untuk memiliki ukuran kecil, seperti butiran dalam produk kosmetik atau pembersih (Acharya et al., 2021). MPs dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, mulai dari butiran bulat hingga fragmen tak beraturan, dan sering kali terdistribusi secara luas di lingkungan (Chang et al., 2022).

Klasifikasi MPs dapat dibagi menjadi dua kategori utama: MPs primer dan sekunder. MPs primer adalah partikel plastik yang dibuat dengan ukuran kecil untuk tujuan tertentu, seperti mikrobeads dalam produk perawatan pribadi atau plastik berukuran mikroskopis yang digunakan dalam industri. Sebaliknya, MPs sekunder terbentuk dari degradasi plastik yang lebih besar, seperti botol, kantong, atau jaring ikan, yang pecah menjadi partikel-partikel kecil akibat proses fisik, kimia, dan biologis (Acharya et al., 2021).

Dalam beberapa penelitian MPs, penting untuk membedakan berbagai jenis dan ukuran partikel, karena karakteristik ini mempengaruhi perilaku mereka di lingkungan dan dampaknya terhadap biota (Alberghini et al., 2023). Pengetahuan tentang definisi dan klasifikasi MPs membantu dalam memahami

seberapa luas penyebarannya dan bagaimana dampak lingkungan dan kesehatan dapat dimitigasi (Amesho et al., 2023).

B. Sejarah Penemuan dan Perkembangan Studi Mikroplastik

Penemuan MPs pertama kali dipicu oleh observasi partikel plastik kecil yang ditemukan di lingkungan laut pada akhir abad ke-20. Pada tahun 1970-an, para ilmuwan mulai mencatat bahwa partikel-partikel kecil plastik, yang dikenal sebagai MPs, muncul dalam sampel air laut dan sedimen (Kavya et al., 2020). Namun, perhatian terhadap MPs tidak secara langsung terfokus pada partikel-partikel kecil ini hingga tahun 2000-an, ketika penelitian menunjukkan bahwa mereka tersebar luas dan berpotensi berdampak negatif pada ekosistem (Hale et al., 2020).

Seiring waktu, penelitian tentang MPs berkembang pesat dengan penemuan bahwa MPs tidak hanya terdapat di lautan tetapi juga di lingkungan darat dan udara (Aini et al., 2022). Penemuan ini mengarahkan pada pemahaman bahwa mikroplastik berasal dari berbagai sumber dan proses. Di tahun 2010-an, penelitian mulai memusatkan perhatian pada dampak MPs terhadap biota laut dan kesehatan manusia, menandai awal dari fokus yang lebih besar pada dampak ekologis dan toksikologis (Alberghini et al., 2023).

Pada periode yang sama, ilmuwan mulai mengembangkan metode untuk mendeteksi dan mengukur MPs di berbagai media lingkungan. Teknik-teknik seperti mikroskopi optik, mikroskopi elektron, dan spektroskopi telah memungkinkan para peneliti untuk mengidentifikasi ukuran, bentuk, dan

komposisi MPs dengan lebih akurat (Garfansa et al., 2024d). Pengembangan teknologi ini merupakan langkah penting untuk memahami sejauh mana MPs menyebar dan bagaimana mereka berinteraksi dengan lingkungan dan organisme hidup (Amesho et al., 2023).

Selama dekade terakhir, penelitian tentang MPs semakin meluas untuk mencakup berbagai aspek, termasuk dampak kesehatan manusia dan pencemaran di berbagai ekosistem (Pironti et al., 2021). Penelitian ini mencakup studi tentang akumulasi MPs dalam rantai makanan, efek toksik pada organisme, serta potensi risiko kesehatan bagi manusia yang terpapar MPs melalui makanan, air, dan udara (Jin et al., 2021). Hal ini memicu upaya untuk meningkatkan regulasi dan kebijakan yang bertujuan mengurangi penggunaan plastik dan mengelola limbah plastik dengan lebih baik.

Saat ini, perhatian global terhadap MPs terus meningkat dengan berbagai inisiatif internasional yang bertujuan mengatasi masalah ini. Organisasi-organisasi lingkungan, lembaga penelitian, dan pemerintah di seluruh dunia bekerja sama untuk mengurangi dampak MPs melalui berbagai strategi, termasuk pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, pengembangan teknologi pembersihan, dan program pendidikan publik. Studi tentang MPs tidak hanya melibatkan ilmuwan lingkungan tetapi juga melibatkan berbagai pemangku kepentingan dalam upaya kolektif untuk menangani tantangan global ini (Muniasamy et al., 2023).

C. Sumber-Sumber Mikroplastik Primer dan Sekunder

MPs berasal dari dua sumber utama, yaitu MPs primer dan MPs sekunder (Lehtiniemi et al., 2018). MPs primer adalah partikel plastik kecil yang secara sengaja diproduksi dalam ukuran mikro, seperti mikrobeads yang digunakan dalam produk kosmetik dan perawatan pribadi, seperti scrub wajah, pasta gigi, dan pembersih tubuh. Selain itu, industri tekstil, terutama serat sintesis seperti polyester dan nylon, juga menjadi sumber MPs primer, karena partikel-partikel kecil ini dapat lepas dari pakaian selama proses pencucian dan akhirnya masuk ke sistem air (Laskar & Kumar, 2019).

Sumber lain dari MPs primer adalah pelepasan pelet plastik atau "nurdles," yang merupakan bahan baku dalam pembuatan produk plastik. Pelet ini sering kali tumpah selama transportasi dan produksi, yang kemudian terdispersi ke lingkungan melalui air hujan atau angin. Selain itu, ban kendaraan juga menjadi sumber MPs primer, karena partikel karet mikro yang dihasilkan dari gesekan ban terhadap jalan dapat terbawa air limpasan hujan dan berakhir di sungai atau laut (Jaikumar et al., 2019).

Sementara itu, MPs sekunder terbentuk dari degradasi plastik besar yang sudah ada di lingkungan, seperti botol, kantong plastik, dan jaring ikan. Plastik besar ini, melalui paparan sinar matahari, panas, dan proses mekanis seperti abrasi, akhirnya pecah menjadi partikel yang lebih kecil. Plastik sekunder ini mungkin tidak dirancang untuk berukuran mikro, tetapi proses alami dan aktivitas manusia menyebabkan fragmentasi plastik besar menjadi MPs seiring waktu (Jiang, 2018).

Salah satu contoh MPs sekunder yang umum adalah serat tekstil yang lepas dari kain selama pemakaian atau pencucian, yang masuk ke sistem air limbah dan sulit dihilangkan melalui proses pengolahan air limbah konvensional. Selain itu, produk plastik sekali pakai, seperti kantong dan kemasan plastik, sering kali terurai di lingkungan menjadi MPs sekunder, yang kemudian menyebar ke seluruh ekosistem (Hadri et al., 2020).

Kombinasi antara MPs primer dan sekunder menciptakan masalah besar bagi lingkungan, karena partikel-partikel ini berukuran sangat kecil sehingga sulit ditangkap oleh sistem pengolahan limbah dan dapat dengan mudah terbawa ke ekosistem perairan, tanah, dan bahkan udara. MPs yang masuk ke dalam rantai makanan dapat menumpuk dalam tubuh organisme hidup, termasuk manusia, sehingga menimbulkan risiko kesehatan yang belum sepenuhnya dipahami (Rodríguez-Seijo & Pereira, 2017).

D. Distribusi Mikroplastik di Lingkungan Global

Distribusi MPs di lingkungan global telah menjadi perhatian serius karena partikel-partikel kecil ini ditemukan di hampir semua ekosistem bumi, mulai dari lautan hingga atmosfer, dan bahkan di tempat-tempat terpencil seperti Kutub Utara dan Antartika. Salah satu alasan utama penyebaran MPs yang luas adalah ukuran kecilnya, yang memungkinkan mereka terbawa angin, air, dan aliran limbah dengan mudah. MPs dapat terbawa oleh aliran sungai, yang kemudian bermuara di laut, di mana mereka terdistribusi oleh arus laut dan menyebar ke seluruh penjuru dunia (Auta et al., 2017).

Di lautan, MPs telah ditemukan di berbagai lapisan air, mulai dari permukaan hingga dasar laut. Partikel-partikel ini bisa

mengapung di permukaan air atau tenggelam ke dasar tergantung pada densitasnya (Ajith et al., 2020). Sampah plastik besar yang terdegradasi secara perlahan melepaskan MPs ke dalam air laut, di mana mereka menyatu dengan plankton dan partikel organik lainnya. Akibatnya, MPs ditemukan di gyre samudra, daerah pertemuan arus laut yang cenderung mengumpulkan puing-puing. MPs juga telah ditemukan dalam organisme laut, mulai dari plankton hingga mamalia besar, menunjukkan bahwa mereka telah memasuki rantai makanan laut (Koutnik et al., 2021).

Distribusi MPs tidak terbatas pada lingkungan akuatik. MPs juga terdeteksi di tanah, terutama di lahan pertanian dan perkotaan, di mana penggunaan plastik dalam bentuk pupuk atau mulsa plastik berkontribusi terhadap akumulasi MPs. Limbah plastik dari kegiatan manusia, seperti kemasan plastik dan produk sekali pakai, sering kali berakhir di tanah melalui pembuangan yang tidak tepat atau degradasi. MPs di tanah dapat masuk ke dalam sistem perairan melalui limpasan air hujan atau terserap oleh tanaman, yang kemudian dapat dikonsumsi oleh hewan dan manusia (Büks & Kaupenjohann, 2020).

MPs bahkan terdistribusi di atmosfer, terbawa oleh angin dari jalan raya, industri, dan sumber-sumber lain. Studi menunjukkan bahwa partikel MPs dapat terbawa jauh dari sumbernya oleh angin dan berakhir di wilayah terpencil, seperti gunung-gunung tinggi dan lapisan es kutub. Partikel MPs ini juga dapat jatuh kembali ke permukaan bumi melalui presipitasi, seperti hujan atau salju, sehingga menyebar lebih jauh ke berbagai ekosistem yang sebelumnya tidak tersentuh oleh polusi plastik (Chang et al., 2022).

Distribusi global MPs menunjukkan betapa seriusnya masalah ini sebagai bentuk polusi yang tidak mengenal batas geografis. MPs tidak hanya mengancam kehidupan laut dan darat tetapi juga berdampak pada kesehatan manusia, karena mereka masuk ke rantai makanan dan air minum (Dai et al., 2022). Upaya untuk mengatasi penyebaran MPs memerlukan tindakan global yang terkoordinasi, termasuk pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, peningkatan sistem pengelolaan limbah, dan penelitian lebih lanjut tentang bagaimana MPs bergerak dan berinteraksi di lingkungan global (Li et al., 2023c).

BAB 2

KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA MIKROPLASTIK

A. Ukuran dan Bentuk Mikroplastik

Ukuran MPs merupakan salah satu karakteristik utama yang memengaruhi bagaimana partikel-partikel ini terdistribusi di lingkungan serta interaksinya dengan organisme hidup. MPs didefinisikan sebagai partikel plastik berukuran kurang dari 5 milimeter, meskipun beberapa penelitian menyebutkan MPs ultra-kecil dengan ukuran di bawah 1 mikrometer sebagai nanoplastik (Gan et al., 2023). Ukuran ini sangat penting karena MPs yang lebih kecil cenderung lebih mudah terbawa oleh angin dan air, masuk ke rantai makanan, serta terserap oleh organisme yang lebih kecil, seperti plankton dan hewan mikroskopis (Aini et al., 2022).

Selain ukuran, bentuk MPs juga sangat bervariasi dan memainkan peran penting dalam menentukan dampaknya terhadap lingkungan. Bentuk MPs umumnya dikategorikan ke dalam beberapa jenis, seperti fragmen, fiber (serat), film, pelet, dan butiran (Jiang, 2018). Fragmen MPs biasanya dihasilkan dari degradasi produk plastik yang lebih besar, seperti kantong plastik atau botol, sementara fiber berasal dari bahan tekstil sintetis yang dilepaskan selama pencucian pakaian. Pelet dan butiran adalah bentuk MPs primer yang secara sengaja diproduksi, misalnya dalam kosmetik atau sebagai bahan baku industri plastik (Zhang et al., 2022).

Ukuran dan bentuk MPs memengaruhi bagaimana mereka terdistribusi dan berinteraksi dengan ekosistem. MPs yang berbentuk fiber cenderung tersangkut di jaringan organisme dan menimbulkan efek fisik yang lebih besar dibandingkan dengan partikel berbentuk bulat, seperti pelet. Fragmen dan fiber juga lebih cenderung terperangkap di saluran pencernaan hewan atau terserap oleh filter feeder, seperti kerang dan plankton, yang dapat mengakibatkan gangguan pencernaan dan kematian (Huang et al., 2022).

Selain itu, ukuran dan bentuk MPs berperan dalam proses bioakumulasi. MPs yang lebih kecil, terutama yang berukuran mikro atau nano, lebih mudah diserap oleh organisme pada berbagai tingkat trofik, termasuk manusia. Partikel kecil ini dapat memasuki aliran darah, jaringan, dan organ tubuh, sehingga meningkatkan potensi risiko toksikologi. Di sisi lain, MPs yang berukuran lebih besar mungkin tidak mudah terserap, tetapi mereka tetap dapat menyebabkan kerusakan fisik pada organisme yang mengonsumsinya (Ma et al., 2020).

Secara keseluruhan, variasi dalam ukuran dan bentuk MPs menunjukkan bahwa partikel-partikel ini memiliki potensi yang luas untuk mencemari berbagai ekosistem. Kemampuan mereka untuk bergerak melalui udara, air, dan tanah, serta terserap oleh organisme dari berbagai ukuran, membuat MPs menjadi polutan yang sangat sulit diatasi. Oleh karena itu, memahami sifat fisik MPs sangat penting dalam mengembangkan strategi untuk mengurangi dampak negatif mereka terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Alfonso et al., 2021).

B. Komposisi Polimer dalam Mikroplastik

Komposisi polimer MPs sangat bervariasi tergantung pada asal dan jenis plastik yang dihasilkan. MPs terbentuk dari berbagai jenis polimer sintesis, yaitu rantai molekul panjang yang terdiri dari unit-unit monomer yang diulang (Pham et al., 2021). Polimer ini didesain untuk memiliki sifat-sifat tertentu seperti kekuatan, fleksibilitas, dan daya tahan, yang membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi komersial. Di antara jenis polimer yang paling umum ditemukan dalam MPs adalah polietilena (PE), polipropilena (PP), polivinil klorida (PVC), polistirena (PS), dan polietilen tereftalat (PET) (Gui et al., 2021).

Polietilena (PE) adalah salah satu polimer yang paling banyak digunakan dan juga sering ditemukan sebagai MPs. PE umumnya digunakan dalam produk sehari-hari seperti kantong plastik, botol, dan kemasan sekali pakai. MPs dari polietilena biasanya terdispersi di lingkungan sebagai fragmen kecil atau butiran yang dihasilkan dari degradasi produk plastik besar. Sifat PE yang tahan lama tetapi ringan membuatnya menjadi salah satu sumber utama MPs yang tersebar luas di perairan dan tanah (Dhaka et al., 2022).

Polipropilena (PP) adalah polimer yang sering digunakan untuk membuat produk kemasan, alat rumah tangga, dan komponen otomotif. PP lebih padat daripada PE dan juga memiliki ketahanan yang baik terhadap panas dan bahan kimia (Saikrishnan et al., 2020). MPs yang berasal dari PP sering ditemukan dalam bentuk fiber atau fragmen kecil, terutama dari produk-produk seperti tali plastik, karung, dan jaring ikan. Keberadaan PP sebagai MPs dapat menyebabkan masalah

dalam ekosistem laut, di mana partikel ini sulit terurai dan dapat dikonsumsi oleh organisme laut.

Polivinil klorida (PVC) dan polistirena (PS) juga sering ditemukan sebagai MPs di lingkungan. PVC biasanya digunakan dalam pipa, bahan konstruksi, dan barang elektronik, sementara PS lebih umum digunakan dalam wadah makanan dan bahan insulasi (Grosu, 2022). MPs dari PVC dan PS memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda. PVC dikenal karena ketahanannya terhadap degradasi, sehingga MPs dari PVC dapat bertahan dalam lingkungan untuk waktu yang sangat lama. Di sisi lain, polistirena sering ditemukan dalam bentuk MPs karena produk seperti styrofoam mudah pecah menjadi partikel-partikel kecil (Kik et al., 2020).

Polietilen tereftalat (PET), yang umum digunakan dalam pembuatan botol plastik dan serat tekstil, juga sering menjadi sumber MPs. Produk PET sering kali melepaskan serat-serat mikro selama proses pencucian pakaian atau penggunaan produk plastik lainnya. Serat-serat ini kemudian terdispersi dalam air dan udara, serta dapat terakumulasi dalam sistem lingkungan. Karena PET merupakan polimer yang sangat stabil dan tidak mudah terurai, MPs dari PET cenderung bertahan dalam waktu yang lama di lingkungan dan dapat menimbulkan dampak jangka panjang terhadap ekosistem.

Secara keseluruhan, komposisi polimer MPs mencerminkan keragaman jenis plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Variasi ini tidak hanya mempengaruhi perilaku MPs di lingkungan tetapi juga menentukan sejauh mana mereka dapat diurai secara alami. Pemahaman mendalam tentang komposisi polimer MPs sangat penting untuk pengembangan solusi efektif dalam mengatasi polusi plastik

dan meminimalkan dampaknya terhadap ekosistem dan kesehatan manusia (Prata et al., 2020).

C. Sifat-Sifat Fisik dan Kimiawi Mikroplastik

MPs memiliki sifat fisik dan kimia yang sangat bervariasi, bergantung pada jenis polimer yang digunakan, bentuk, serta ukuran partikel. Secara fisik, MPs ditemukan dalam berbagai bentuk seperti fragmen, serat, pelet, atau butiran. Bentuk ini berpengaruh terhadap bagaimana MPs tersebar di lingkungan dan bagaimana mereka berinteraksi dengan organisme. Misalnya, MPs berbentuk serat cenderung lebih mudah terserap oleh organisme laut dibandingkan partikel berbentuk bulat seperti pelet (Prata et al., 2020). Ukuran MPs biasanya didefinisikan kurang dari 5 mm, namun ada juga yang berukuran mikroskopis (nanoplastik) yang bahkan lebih kecil dari 1 mikrometer. Ukuran partikel ini penting karena mempengaruhi distribusi mereka di lingkungan. Partikel MPs yang lebih kecil lebih mudah terbawa angin atau air, meningkatkan kemungkinan mereka terakumulasi di berbagai ekosistem, termasuk laut, tanah, dan atmosfer (Peng et al., 2020).

Secara kimiawi, MPs terdiri dari berbagai jenis polimer sintesis seperti polietilen (PE), polipropilena (PP), polivinil klorida (PVC), dan polistirena (PS). Polimer ini dirancang untuk memiliki sifat tahan lama dan sulit terurai, yang menjadikan MPs tetap bertahan di lingkungan selama bertahun-tahun. Selain itu, MPs sering kali mengandung bahan kimia tambahan seperti pewarna, stabilisator, atau bahan pengisi yang dapat larut ke lingkungan atau diserap oleh organisme (Padervand et al., 2020).

Sifat kimia MPs yang inert (tidak reaktif) membuat mereka sulit diurai oleh proses alami. Hal ini menyebabkan MPs menjadi perantara bagi polutan lain, seperti logam berat dan bahan kimia beracun, yang dapat menempel di permukaannya. MPs yang terkontaminasi kemudian masuk ke dalam rantai makanan, berpotensi membahayakan kesehatan hewan dan manusia .

Secara keseluruhan, sifat fisik dan kimia MPs, seperti ukuran, bentuk, komposisi polimer, serta kemampuan untuk mengikat polutan lain, menjadikan mereka ancaman serius bagi lingkungan. Dampak jangka panjang MPs terhadap kesehatan manusia dan ekosistem masih memerlukan penelitian lebih lanjut, tetapi risiko yang dihasilkan sudah mulai dirasakan di berbagai ekosistem global.

D. Degradasi dan Fragmentasi Plastik di Lingkungan

Proses degradasi dan fragmentasi plastik di lingkungan merupakan fenomena yang kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik, kimia, dan biologis. Degradasi plastik terjadi ketika polimer plastik yang besar mengalami kerusakan dan pecah menjadi partikel yang lebih kecil. Faktor-faktor seperti paparan sinar UV, suhu, dan oksigen memainkan peran penting dalam mempercepat proses degradasi ini. Misalnya, plastik yang terpapar sinar matahari langsung akan mengalami fotodegradasi, di mana sinar UV memecah ikatan kimia dalam struktur polimer (Fotopoulou & Karapanagioti, 2019).

Dalam lingkungan laut dan darat, degradasi plastik dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, termasuk fotodegradasi, oksidasi, hidrolisis, dan degradasi biologis. Proses fotodegradasi, misalnya, dimulai ketika plastik terpapar sinar

matahari, menyebabkan molekul polimer terpecah menjadi fragmen yang lebih kecil (Andrady et al., 2022). Degradasi ini dapat memakan waktu berbulan-bulan hingga bertahun-tahun, tergantung pada jenis plastik dan kondisi lingkungannya.

Selain degradasi fisik, plastik juga mengalami fragmentasi, di mana partikel besar secara bertahap terpecah menjadi potongan-potongan MPs. Fragmentasi ini terjadi melalui mekanisme seperti gesekan mekanis akibat arus laut, abrasi dari angin, dan benturan fisik. Proses ini menghasilkan potongan MPs yang sangat kecil, yang seringkali sulit terdeteksi tetapi sangat berbahaya bagi ekosistem karena ukurannya yang mudah masuk ke rantai makanan (Grosu, 2022).

Namun, tidak semua plastik terdegradasi sepenuhnya menjadi unsur yang tidak berbahaya. Banyak jenis plastik yang mengalami degradasi hanya sebagian, sehingga masih meninggalkan fragmen MPs di lingkungan. MPs ini memiliki potensi untuk mengikat polutan kimia lain, seperti logam berat atau zat beracun, yang kemudian dapat terakumulasi dalam tubuh organisme (Cao et al., 2021).

Proses degradasi dan fragmentasi plastik sangat dipengaruhi oleh kondisi spesifik dari lingkungan di mana plastik tersebut berada (Tang et al., 2021). Lingkungan dengan paparan sinar matahari yang tinggi dan kondisi fisik yang ekstrem cenderung mempercepat proses ini. Namun, di lingkungan yang lebih stabil seperti di dasar laut atau di tanah yang tertutup, proses degradasi bisa berjalan sangat lambat, membuat plastik bertahan di lingkungan selama berabad-abad.

BAB 3

MIKROPLASTIK DI UDARA

A. Rute Masuk Mikroplastik ke Atmosfer

MPs dapat memasuki atmosfer melalui berbagai rute, baik dari sumber langsung maupun tidak langsung. Salah satu sumber utama adalah degradasi plastik di darat, di mana plastik yang terfragmentasi menjadi MPs terbawa oleh angin dan partikel debu ke udara. Aktivitas manusia seperti konstruksi, pertanian, dan transportasi juga melepaskan partikel MPs ke atmosfer melalui proses abrasif dan mekanis (Ren & Ni, 2022).

Sumber lainnya berasal dari lautan (Nakanishi et al., 2021). Gelombang laut yang menghantam dan aktivitas biota laut menyebabkan partikel MPs terlepas dari permukaan air dan masuk ke atmosfer melalui proses penguapan air laut. Selain itu, angin yang kuat dapat membawa partikel MPs yang mengapung di permukaan laut ke atmosfer dan menyebarkan lebih jauh ke darat (Chubarenko et al., 2018).

MPs juga dapat masuk ke atmosfer melalui emisi dari kegiatan industri. Proses manufaktur, seperti produksi tekstil dan produk plastik, sering melepaskan serat MPs yang kemudian terdispersi ke udara (Periyasamy & Tehrani-Bagha, 2022). Selain itu, penggunaan kendaraan bermotor juga menjadi salah satu penyumbang, terutama dari abrasi ban dan jalan yang terbuat dari aspal berbasis plastik (Adetuyi et al., 2024).

Di dalam ruangan, sumber MPs termasuk debu rumah tangga yang berasal dari pakaian, karpet, dan produk berbahan

sintetis. MPs yang terlepas dari tekstil selama proses mencuci atau aktivitas lainnya dapat beredar di udara ruangan, dan dalam beberapa kasus, dapat masuk kembali ke atmosfer luar melalui ventilasi (Jubinville et al., 2020).

Secara keseluruhan, MPs dapat melakukan perjalanan jarak jauh melalui atmosfer sebelum akhirnya mengendap kembali ke permukaan bumi. Siklus ini memungkinkan distribusi MPs secara global, menjadikannya ancaman yang sulit dikendalikan karena menyebar ke ekosistem darat, laut, dan udara secara terus-menerus.

B. Penyebaran Mikroplastik Melalui Angin dan Presipitasi

Penyebaran MPs melalui angin dan presipitasi merupakan salah satu jalur utama distribusi global partikel plastik kecil ini (Aini et al., 2022; Aini et al., 2023). Angin dapat membawa partikel-partikel MPs yang telah terdegradasi dari berbagai sumber, seperti limbah plastik dan serat tekstil, ke atmosfer (Xu et al., 2020). Dari sana, MPs dapat tersebar ke berbagai tempat, termasuk daerah terpencil yang jauh dari sumber asalnya. Presipitasi, seperti hujan dan salju, juga berperan dalam distribusi MPs. MPs yang tersuspensi di udara dapat jatuh kembali ke tanah melalui hujan, membawa partikel-partikel plastik ke tanah, air tawar, atau lautan (Enyoh et al., 2019). Mekanisme ini menjelaskan mengapa MPs ditemukan di wilayah pegunungan atau kawasan terpencil di mana aktivitas manusia minimal.

Lautan juga berkontribusi pada penyebaran MPs ke atmosfer. Partikel plastik yang terlepas dari permukaan laut akibat gelombang dan penguapan air laut dapat terangkut oleh angin

dan menyebar ke wilayah daratan (Allen et al., 2022). Fenomena ini menunjukkan bagaimana MPs dapat bergerak dari lingkungan laut ke atmosfer dan sebaliknya. Selain itu, kondisi cuaca seperti kelembapan, angin, dan curah hujan sangat memengaruhi distribusi MPs (Jia et al., 2022). Ketika curah hujan tinggi, lebih banyak MPs yang dikeluarkan dari atmosfer dan kembali ke permukaan bumi. Sebaliknya, saat kondisi kering dan berangin, MPs dapat terdispersi lebih luas melalui udara.

Dalam skala global, penyebaran MPs melalui angin dan presipitasi menyebabkan partikel ini mencapai lingkungan yang jauh dari sumber polusi, memperluas dampak lingkungan dan kesehatan akibat MPs ke seluruh ekosistem dunia.

C. Dampak Mikroplastik di Udara Terhadap Kesehatan Manusia dan Ekosistem

MPs di udara memiliki dampak serius terhadap kesehatan manusia. Ketika MPs terhirup, partikel-partikel ini dapat terendap di saluran pernapasan, menyebabkan iritasi dan peradangan. Paparan jangka panjang dapat memicu masalah pernapasan kronis, termasuk gangguan paru-paru dan kardiovaskular (Bălă et al., 2021). MPs juga dapat menimbulkan efek pada sistem kekebalan tubuh dan meningkatkan risiko terkena penyakit serius, seperti kanker, karena adanya zat kimia berbahaya yang terlepas dari partikel tersebut.

Dalam konteks ekosistem, MPs di udara dapat tersebar ke area yang sangat jauh dari sumbernya, termasuk kawasan terpencil dan ekosistem alami. Partikel-partikel plastik ini, ketika jatuh kembali ke tanah melalui presipitasi, bisa merusak tanah,

mencemari air, dan mempengaruhi organisme di ekosistem tersebut (Wu et al., 2022). Efek fisik MPs pada organisme termasuk penumpukan di jaringan tubuh, yang mengganggu fungsi biologis, sedangkan efek kimia dapat disebabkan oleh zat beracun yang menempel pada MPs (Yang et al., 2022).

Transportasi MPs melalui angin juga mempercepat penyebarannya secara global. Akibatnya, bahkan ekosistem yang tampaknya tidak terpengaruh oleh aktivitas manusia dapat tercemar MPs. Hal ini mengakibatkan kerusakan rantai makanan, penurunan kualitas lingkungan, dan gangguan keseimbangan ekosistem secara keseluruhan.

D. Teknik Pemantauan dan Pengukuran Mikroplastik di Udara

Pemantauan dan pengukuran MPs di udara memerlukan metode yang sangat spesifik dan teliti, mengingat ukuran partikelnya yang sangat kecil. Salah satu teknik utama yang digunakan adalah pengambilan sampel udara dengan pompa aktif. Dalam metode ini, udara dipompa melalui filter khusus yang mampu menangkap partikel MPs (Lenz & Labrenz, 2018). Filter tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan jumlah dan jenis polutan MPs yang terkumpul. Setelah pengambilan sampel, analisis visual sering dilakukan sebagai langkah awal identifikasi (Zarfl, 2019). Partikel-partikel yang terkumpul dapat diamati menggunakan mikroskop optik atau mikroskop elektron. Teknik ini memungkinkan peneliti untuk menghitung jumlah MPs dan mengidentifikasi bentuk serta ukuran partikel. Namun, teknik ini mungkin kurang akurat untuk partikel yang sangat kecil atau untuk sampel yang terkontaminasi partikel lain (Kotar et al., 2022).

Selain analisis visual, teknologi spektroskopi seperti *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan spektroskopi Raman sering digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia MPs (Hengstmann & Fischer, 2019). Teknik ini memberikan hasil yang lebih akurat dengan menganalisis pola absorpsi cahaya pada partikel MPs, sehingga memungkinkan identifikasi jenis polimer secara spesifik (Lee & Chae, 2021).

Selain itu, penggunaan pyrolysis-GC/MS menjadi pilihan lain yang menjanjikan untuk analisis MPs (Hermabessiere et al., 2018). Teknik ini melibatkan pemanasan sampel MPs hingga terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana, yang kemudian dianalisis menggunakan kromatografi gas dan spektrometri massa. Dengan teknik ini, MPs dapat diukur baik secara kualitatif maupun kuantitatif dengan akurasi tinggi.