

Identifikasi Mikroplastik pada Feses Manusia

Eka Chlara Budiarti

ECOTON (Ecological Observation and Conservation Wetlands), Indonesia

ABSTRAK

Mikroplastik adalah masalah baru di lingkungan akibat dari penggunaan plastik yang massive serta kelalaian limbahnya yang dapat mencemari lingkungan darat hingga ke perairan. Penelitian terkini sudah banyak melaporkan keberadaannya yang memasuki rantai makanan sehingga dimungkinkan juga secara tidak langsung hadir dalam tubuh manusia. Penelitian bertujuan untuk memeriksa keberadaan mikroplastik pada feses manusia. Sampel feses sebanyak 10 gram dikumpulkan dari 102 sukarelawan. Preparasi sampel menggunakan 20ml campuran 3 : 1 H₂SO₄ dan H₂O₂ lalu diflotasi menggunakan NaCl 1% kemudian diidentifikasi menggunakan Mikroskop Stereo. Hasil yang didapatkan adalah seluruh sampel feses positif mengandung mikroplastik dengan nilai median sebesar 17,5 partikel/ 10 g. Jenis dan polimer mikroplastik yang didapatkan masing – masing yakni 4 jenis dengan fiber tertinggi sebesar 36% sedangkan polimer didapatkan 38 jenis dengan polimer EVOH tertinggi sebesar 19%. Berbagai mikroplastik terdeteksi dalam feses manusia, menunjukkan konsumsi yang tidak disengaja baik dari sumber makanan maupun dari lingkungan yang telah terkontaminasi.

Kata kunci: Feses, Mikroplastik, Manusia

ABSTRACT

Microplastics are a new problem in environment due to the massive use of plastics and negligence of their waste which can pollute environment. Recent studies have reported many of its presence in food chain so it possible indirectly present in human body. This research aims to examine the presence of microplastics in human feces. 10 grams of stool samples were collected from 102 volunteers. Sample preparation used 20 ml mixture of 3: 1 H₂SO₄ and H₂O₂ and then floated using 1% NaCl then identified using Stereo Microscope. The results obtained were all positive stool samples containing microplastics with median value is 17,5 particles/10 g. The types and microplastic polymers obtained were 4 types with the highest fiber by 36%, while polymer obtained 38 types with the highest EVOH polymer at 19%. Variety of microplastics were detected in human feces, indicating accidental ingestion both of food sources and contaminated environments.

Keywords: Stool, Microplastic, Human

PENDAHULUAN

Selama lebih dari 50 tahun, produksi plastik global terus meningkat. Sekitar 299 juta ton plastik diproduksi pada tahun 2013 sehingga diperkirakan jumlah produksi ini akan meningkat 100x lipat pada tahun 2050 mendatang (Gourmelon, 2015). Hal tersebut akan berdampak juga dalam peningkatan sampah plastik salah satunya juga dihadapi Indonesia. (Chaerul et al., 2007) dalam (Mahyudin,

2017) menganalisis permasalahan yang dihadapi dalam pengelolaan sampah di Indonesia, diantaranya kurangnya dasar hukum yang tegas, tempat pembuangan sampah yang tidak memadai dan kurangnya pengelolaan TPA dengan sistem yang tepat, sehingga polusi plastik bisa ditemukan di daratan hingga di perairan sungai maupun di perairan laut (Jambeck et al., 2015; Lestari et al., 2020; Browne et al., 2011). Plastik merupakan

✉ Corresponding author :

Address : Wringinanom, Gresik, Jawa Timur

Email : ekachlarabudiarti@gmail.com

ecoton

Ecological Observation and Wetlands Conservation

tipe sampah laut yang paling dominan (CBD, 2012). Sekitar lebih dari 80% plastik laut berasal dari sumber darat, dan 20% lainnya berasal dari laut (McKinsey Center for Business and Environment, 2017; Pawar et al., 2016). Sumber utama plastik laut di darat berasal dari penggunaan plastik harian yang ekstensif dalam kegiatan rumah tangga dan industri, praktik pengelolaan limbah padat yang tidak tepat, dan limbah pengolahan air limbah (Jambeck et al., 2015; Li et al., 2016; Lestari & Trihadiningrum, 2019; Ferronato & Torretta, 2019 dalam Lestari et al., 2020). Selain itu, sumber berbasis laut berasal dari alat tangkap komersial, seperti jaring, tali pancing, atau peralatan lain yang dibuang dan hilang (Pawar et al., 2016). Di perairan, sampah – sampah plastik tidak dapat hilang, melainkan terpecah-pecah oleh radiasi UV, arus air, fisika-kimiawi, pelapukan, dan mekanisme biodegradasi menjadi partikel kecil yang disebut mikroplastik (Leslie, H. A., 2011; Wu et al., 2018; Wagner & Lambert, 2018 dalam Lestari et al., 2020).

Mikroplastik merupakan partikel plastik yang berukuran <5 mm yang terbagi menjadi 2 kategori, ukuran besar yaitu (1-5 mm) dan kecil (<1 mm) (NOAA, 2013). Sumber mikroplastik terbagi menjadi dua, yaitu primer dan sekunder. Mikroplastik primer merupakan butiran plastik murni yang mencapai wilayah laut akibat kelalaian dalam penanganan. Mikroplastik primer merupakan plastik yang langsung dilepaskan ke lingkungan dalam bentuk partikel kecil, yang berasal dari produk-produk yang mengandung partikel plastik (misalnya gel sabun mandi), juga dapat berasal dari proses degradasi benda plastik besar selama proses pembuatan, penggunaan atau perawatan seperti erosi ban atau degradasi tekstil sintetis saat dicuci. Mikroplastik sekunder berasal dari degradasi barang plastik yang lebih besar menjadi fragmen plastik yang lebih kecil setelah terkena lingkungan laut, hal ini terjadi melalui proses fotodegradasi dan proses pelapukan limbah lainnya seperti

kantong plastik yang dibuang atau seperti jaring ikan (Eriksen et al., 2014).

Mikroplastik yang masuk ke wilayah perairan melalui saluran limbah rumah tangga umumnya mencakup polietilen, polipropilen, dan polistiren. Sumber sekunder meliputi serat atau potongan hasil pemutusan rantai dari plastik yang lebih besar yang mungkin terjadi sebelum mikroplastik memasuki lingkungan. Potongan ini dapat berasal dari jala ikan, bahan baku industri, alat rumah tangga, kantong plastik yang memang dirancang untuk terdegradasi di lingkungan, serat sintetis dari pencucian pakaian, atau akibat pelapukan produk plastik (Chang, 2012). Sumber lain dari pencemaran plastik yang berukuran nano juga terdeteksi pada produk - produk kosmetik kecantikan, khususnya untuk perawatan/pemutihan muka yang diketahui mengandung exfoliants yang mengandung plastik dalam bentuk polyethylene glycol yang disingkat PEG, serta bahan pemutihan berbentuk halus lainnya, polyester atau acrylic beads yang juga sangat sering digunakan untuk perawatan kapal. Dengan semakin mengecilnya ukuran partikel seperti ikan dan copepod (zooplankton) juga telah terdeteksi. Hewan-hewan laut lainnya seperti *polychaeta*, *crustacean*, *echinodermata*, *bryozoans* dan *bivalvia* juga menelan partikel plastik, baik yang berukuran mikro atau nano (Von Moos et al., 2012). Mikroplastik dapat mengapung atau tenggelam karena berat massa jenis mikroplastik lebih ringan daripada air laut seperti polypropylene yang akan mengapung dan menyebar luas di lautan. Mikroplastik lainnya seperti akrilik lebih padat daripada air laut dan kemungkinan besar terakumulasi di dasar laut, yang berarti bahwa sejumlah besar mikroplastik pada akhirnya dapat terakumulasi di laut dalam dan akhirnya akan mengganggu rantai makanan di perairan (Pollution & Safety, 2015). Beberapa penelitian terkini telah melaporkan bahwa mikroplastik sudah mengkontaminasi perairan. Dalam penelitian Lestari et al. (2020), menemukan

mikroplastik sebanyak 1.47-43.11; 0.76-12.56; dan 1.43-34.63 partikel/ m^3 di permukaan, kolom maupun dasar sungai Kali Surabaya yang mana merupakan bahan baku air PDAM Surabaya. Selain itu, Hiwari et al. (2019) melaporkan mikroplastik rata-rata sebanyak 0.018 \pm 0.175 yang telah mengkontaminasi laut di Kupang dan Rote, Nusa Tenggara Timur.

Akumulasi mikroplastik di wilayah perairan akan menyebabkan terganggunya rantai makanan karena bisa dikonsumsi oleh biota didalamnya. Hal tersebut dapat berpotensi mengancam lebih serius pada organisme di tingkatan tropik rendah, seperti plankton yang mempunyai partikel rentan terhadap proses pencernaan mikroplastik sebagai akibatnya dapat mempengaruhi organisme tropik tingkat tinggi melalui proses bioakumulasi (Dewi et al., 2015). Pencemaran mikroplastik telah berhasil diidentifikasi oleh Ayun (2019) pada saluran pencernaan Ikan Belanak di Bengawan Solo rata-rata sebanyak 5 partikel dan Yudhantari et al. (2019) menemukan kandungan mikroplastik pada saluran pencernaan Ikan Lemuru di Selat Bali sebanyak 13 partikel jenis fiber dan 2 partikel jenis film. Meskipun hasil yang teridentifikasi hanya di saluran pencernaan, namun bisa dimungkinkan bila ukurannya makin kecil atau $<1\mu m$ mampu menembus sel dan masuk kedalam tubuh biota dan mengancam kualitas pangan manusia.

Dari hasil temuan mikroplastik tersebut, bisa dipastikan juga dapat masuk kedalam tubuh manusia melewati sistem pencernaan. Hal ini dibuktikan dari penelitian Liebmann et al. (2018), yang berhasil mengidentifikasi feses dari 8 peserta dari 8 negara dan menghasilkan rata-rata mikroplastik sebanyak 20 partikel/10 gram feses. Selain itu, kontaminasi mikroplastik bisa terjadi secara tidak langsung melalui produk yang dipakai sehari - hari salahsatunya produk perawatan tubuh. Hasil penelitian Lei et al. (2017), terhadap produk perawatan tubuh yang beredar di Beijing, Cina. Secara keseluruhan, 7.1% pembersih

wajah mengandung mikroplastik, dengan berat rata-rata 25.04 ± 10.69 mg MP/g dan ukuran rata-rata 313 ± 130 μm ; Sedangkan 2.2% produk pembersih badan mengandung rata-rata berat 17.80 ± 7.50 mg MPs/g dengan ukuran rata-rata 422 ± 185 μm . Semakin besar luas permukaan mikroplastik maka semakin tinggi pula kemungkinan mikroplastik akan masuk ke dalam sel - sel manusia. Hal ini akan berdampak pada kesehatan manusia, mengingat banyak potensi yang ditimbulkan oleh mikroplastik yakni dapat membawa zat bahan berbahaya penyusun plastik seperti bisphenol, alkylphenols, senyawa-senyawa perflourinasi, phthalate, BFRS, dioksin, UV *stabilizer* dan lainnya (IPEN, 2020); sebagai transporter dari kontaminan karena bisa mengikat dengan senyawa aditif, logam berat, obat-obatan, pestisida dan berbagai polutan organik persisten lainnya yang ada di lingkungan (Mishra et al., 2019; Alharbi et al., 2018; Volschenk et al., 2019; Pal & Maiti, 2019; Ribeiro et al., 2019 dalam Senathirajah et al., 2021) dan menjadi vektor pembawa mikroorganisme patogen (Curren & Leong, 2019; Viršek et al., 2017). Potensi - potensi tersebut telah dikaitkan dengan efek kesehatan makhluk hidup termasuk manusia seperti obesitas, diabetes, kanker, gangguan endokrin, gangguan tumbuh kembang, kardiovaskular hingga gangguan reproduksi. Kekhawatiran tentang terjadinya distribusi dan toksikologi mikroplastik kini menjadi fokus perhatian publik di seluruh dunia.

Mengingat dampak buruk yang akan berpotensi mengganggu kesehatan manusia dan masih belum ada penelitian pada feses manusia di Indonesia, maka dari itu penelitian ini dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah sebagai studi awal identifikasi mikroplastik pada feses manusia di Indonesia dan menjadi informasi untuk mengendalikan kontaminasi mikroplastik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dari Januari 2020 - Februari 2021 di Laboratorium ECOTON, Gresik, Jawa Timur. Sampel

feses dikumpulkan dari 102 sukarelawan masing - masing sebanyak 10 gram feses. Sampel feses yang telah dikumpulkan diberi label pada setiap wadahnya. Setiap sampel diproses menggunakan metode dari Liebmann et al. (2018) dengan beberapa dimodifikasi. Feses sebanyak 10 gram dilarutkan kedalam 20ml campuran H_2SO_4 30%, H_2O_2 30% dengan perbandingan 3:1. Pengadukan dilakukan selama 2 menit selanjutnya diinkubasi selama 24 jam di suhu ruangan. Setelah diinkubasi, sampel dipanaskan selama 2 jam dengan sistem *waterbath*. Sampel didinginkan lalu disaring menggunakan kain saring 400 mesh (37 mikron). Sampel yang mengendap di kain saring dan di dinding botol dibilas menggunakan larutan NaCl 1%. Material mikroplastik yang mengapung di supernatant sampel tersebut kemudian disaring menggunakan kertas filter *Whatmann* 01.

Setelah disaring, kertas filter *Whatmann* dikeringkan selama 24 jam di suhu ruangan. Material mikroplastik yang

menempel pada kertas filter kemudian diamati menggunakan mikroskop binokuler stereo. *Digital Wais* yang dilengkapi kamera *Sanqtid* DX-300 dipakai pada penelitian ini. Partikel mikroplastik yang diamati menggunakan mikroskop, dikelompokkan menjadi beberapa jenis seperti fiber, fragmen, filamen, granula dan bentuk lainnya. Data yang didapatkan akan disajikan menjadi partikel per 10 gram sampel feses (Liebmann, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekskresi feses harian rata-rata orang dewasa kira-kira 100g (Cummings & Englyst, 2018 dalam Schwabl et al., 2019) dan dalam penelitian ini sampel feses diambil sebanyak 10g dari 102 sukarelawan. Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 1. bahwa semua sampel positif mengandung mikroplastik dengan rata-rata partikel yang didapat sebesar 375,92 partikel/10g sedangkan nilai median seluruh sampel adalah 17,5 partikel/10g. Mikroplastik dianggap benda asing di

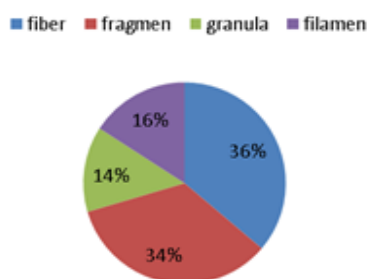
Tabel 1
Data Kelimpahan Mikroplastik pada Sampel Feses

No	Kota	Sampel	Rata-Rata Mikroplastik (partikel/10 g)				TOTAL RATA-RATA
			Fiber	Fragmen	Granular	Filamen	
1	Surabaya	17	7.43	6.81	2.76	3.18	20.18
2	Gresik	34	7.81	7.19	2.85	3.33	21.18
3	Sidoarjo	1	5.00	9.00	1.00	12.00	* 1 sampel
4	Mojokerto	3	3.67	6.33	0.33	2.33	12.67
5	Jombang	4	2.75	9.00	0.25	0.00	12.00
6	Trenggalek	1	8.00	11.00	4.00	24.00	* 1 sampel
7	Kediri	5	9.80	11.60	2.60	2.80	26.80
8	Malang	3	13.33	14.00	0.67	4.33	32.33
9	Pasuruan	1	7.00	12.00	9.00	4.00	* 1 sampel
10	Bogor	2	2.00	13.50	6.50	2.00	24.00
11	Karawang	2	3.00	9.00	2.00	1.00	15.00
12	Bali	12	8.50	9.08	5.42	6.58	29.58
13	Surakarta	3	5.67	10.00	7.67	0.33	23.67
14	Yogya	3	4.67	13.67	12.67	4.33	35.33
15	No Data	11	5.64	6.00	3.45	2.09	17.18
TOTAL Sampel		102	94.25	148.18	61.16	72.31	375.92

Sumber : ECOTON, 2021

dalam tubuh sehingga tidak bisa terserap oleh usus yang kemudian dikeluarkan melalui feses. Namun beberapa peneliti meyakini bahwa ukuran mikroplastik kurang dari 10 μ m akan terserap ke dalam sel di tubuh manusia bahkan bisa masuk ke dalam sistem peredaran darah (Prata, 2018). Pada pemisahan mikroplastik dari sampel feses yang digunakan hanya menggunakan metode floatation yang berprinsip dengan perbedaan densitas. Densitas mikroplastik yang kecil akan membuat partikel mengapung dipermukaan maupun kolom air. Menurut Horton et al (2017) menunjukkan bahwa pemisahan mikroplastik dengan metode floatation akan mampu memisahkan secara langsung dan penyaringan adalah proses yang utama setelah pengapungan. Hasil yang didapatkan jika dibandingkan dengan penelitian Liebmann et al. (2018), didapatkan nilai median sebesar 20 partikel/ 10 gram pada 8 sampel yang mana nilainya masih lebih besar daripada penelitian ini.

Presentase Jenis Mikroplastik pada Feses Manusia



Sumber: ECOTON, 2021

Gambar 1
Presentase Jenis Mikroplastik pada Feses

Gambar 1, menunjukkan hasil presentase jenis mikroplastik yang dihasilkan pada sampel feses. Jenis mikroplastik yang berhasil ditemukan ada 4 jenis yakni fiber, fragmen, filament dan granul. Jenis fiber ditemukan paling dominan pada sampel feses, lalu yang tertinggi kedua dari jenis fragmen, selanjutnya filament dan granula.

Mikroplastik fiber memiliki presentase sebesar 36% dengan nilai total 757 partikel. Lalu tertinggi kedua didapatkan pada jenis fragmen sebesar 34% dengan nilai total 700 partikel. Fiber merupakan mikroplastik yang umumnya berasal dari degradasi baju, kain, jaring hingga limbah tekstil sedangkan mikroplastik jenis fragmen berasal dari pecahan plastik keras dan kuat seperti plastik pecahan kotak makan, botol, tutup, dan produk plastik keras lainnya. Jenis mikroplastik filamen memiliki presentase 16% dengan nilai total sebesar 325 partikel dan granula memiliki presentase 14% dengan nilai total sebesar 288 partikel. Filamen merupakan jenis mikroplastik yang biasanya berasal dari plastik tipis yang berbentuk lembaran seperti kemasan plastik, kantong plastik, dan sachet kemudian granula merupakan mikroplastik yang biasanya berasal dari produk perusahaan yang sengaja ditambahkan untuk menambah nilai fungsi dari produk tersebut seperti *microbeads* dalam scrub, sabun wajah, pasta gigi dan produk perawatan tubuh lainnya.

Hasil identifikasi jenis polimer mikroplastik pada feses manusia ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil identifikasi mendapatkan 38 jenis polimer dengan 2 peringkat terbesar dari jenis polimer EVOH 19% dan PP 17%. EVOH merupakan kopolimer yang terdiri dari ethylene dan vinyl alcohol yang biasanya digunakan sebagai penahan gas dalam kemasan makanan. PP merupakan polimer dari propylene yang bersifat termoplastik dan keras sehingga biasanya digunakan mulai dari kebutuhan otomotif, medis hingga kemasan. Selain itu, terdapat juga jenis polimer plastik yang umum di kehidupan sehari-hari yakni LDPE, PET dan PS yang berhasil diidentifikasi. LDPE merupakan polimer etilena yang berdensitas rendah biasanya digunakan dalam membuat kantong plastik, plastik tipis, dan berbagai plastik kemasan lainnya. PET (Polyethylene Terephthalate) merupakan suatu resin polimer plastik dari kelompok polyester. Jenis polimer ini paling banyak digunakan

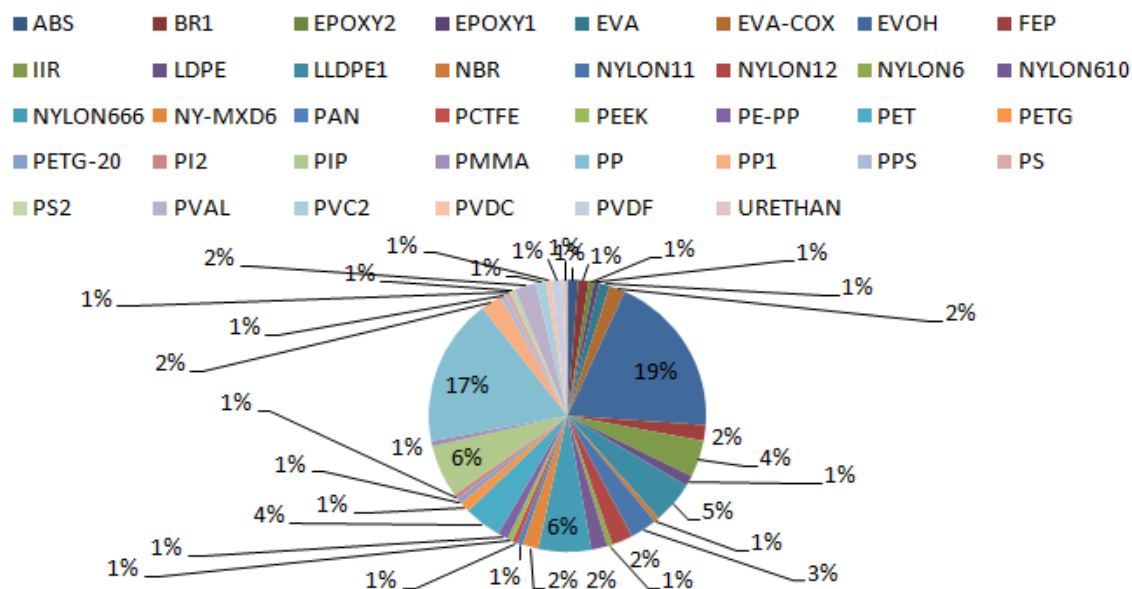
dalam industri kimia maupun dalam industri lain seperti serat sintetis, botol air minum hingga botol kosmetik. Sedangkan PS (*Polistyrene*) merupakan polimer plastik yang banyak dipakai untuk bahan pembuatan Styrofoam, wadah makanan beku dan wadah siap saji. Studi ini masih dibatasi oleh lingkup yang kecil sehingga investigasi yang lebih besar diperlukan untuk menetapkan korelasi antara jenis dan jumlah mikroplastik pada feses dan wilayah geografis, asupan makanan, dan sumber potensial lainnya dari pengonsumsi mikroplastik.

Jalur Paparan Mikroplastik ke dalam Tubuh Manusia

Mikroplastik adalah masalah lingkungan yang muncul dan sudah memasuki rantai makanan sehingga perlu dikaji melalui studi ini untuk mengetahui keberadaan mikroplastik di dalam tubuh manusia. Diperkirakan asupan tahunan mikroplastik adalah 123 hingga 11.000 partikel dari kerang (Cho et al., 2019; Van

Cauwenberghe & Janssen, 2014; Catarino et al., 2018 *dalam* Schwabl et al., 2019), 37 hingga 1000 partikel dari garam (Karami et al., 2017; Yang et al., 2015; Kosuth et al., 2018 *dalam* Schwabl et al., 2019), dan 4400 hingga 5800 partikel dari air keran (Kosuth et al., 2018 *dalam* Schwabl et al., 2019), sedangkan kejatuhan udara menyumbang 13.731 hingga 68.415 partikel yang tertelan per tahun (Catarino et al., 2018 *dalam* Schwabl et al., 2019). Metaanalisis terkini menyimpulkan bahwa total konsumsi mikroplastik berkisar dari 39.000 hingga 52.000 partikel per tahun. Apalagi air kemasan kemungkinan kuat kontributor konsumsi mikroplastik, dengan rata-rata 118 hingga 325 partikel per liter (Mason et al., 2018; Schymanski et al., 2018 *dalam* Schwabl et al., 2019), dengan total 90.000 mikroplastik setiap tahun jika air yang dianjurkan asupan seluruhnya berasal dari sumber botol (Cox et al., 2019 *dalam* Schwabl et al., 2019). Meskipun makanan laut jarang dikonsumsi, makanan dan

PRESENTASE POLIMER MIKROPLASTIK PADA FESES MANUSIA



Sumber: ECOTON, 2021

Gambar 2
Presentase Polimer Mikroplastik pada Feses Manusia

minuman yang disimpan di dalam wadah plastik juga bisa terkontaminasi mikroplastik. Selain itu, mikroplastik juga bisa berasal dari paparan benda yang terbuat dari bahan plastik seperti produk perawatan tubuh (Anderson et al., 2016) hingga benda yang ada didalam ruangan yang sudah melapuk (Vianello et al., 2019 dalam Prata et al., 2019)..

Menurut Prata (2018), paparan mikroplastik ke dalam tubuh manusia dimungkinkan terjadi dari 3 (tiga) jalur mekanisme yakni saluran pencernaan, saluran pernapasan dan paparan kulit. Saluran pencernaan diduga jalur utama mikroplastik bisa masuk ke dalam tubuh manusia mengingat penelitian sebelumnya sudah banyak melaporkan bahwa sumber pangan dan kebutuhan air minum telah terkontaminasi mikroplastik. Ukuran mikroplastik bisa bervariasi namun pada ukuran $>130\ \mu\text{m}$ biasanya terserap secara mekanis melalui celah di lapisan tunggal epitel di ujung vili saluran pencernaan. Jika memungkinkan juga bisa masuk ke dalam sistem peredaran darah melalui pembuluh limfatik. Hal tersebut dipengaruhi oleh fleksibilitas partikel yang masuk kedalam lapisan dan tingkat aktivitas motorik pada saluran pencernaan. Mikroplastik yang diangkut oleh Sel dendritic dan memecahnya ke pembuluh limfatik dan vena akan terdistribusi ke jaringan sekunder, termasuk hati, otot dan otak yang bisa mengakibatkan penumpukan di daerah tersebut bahkan bisa mengganggu proses metabolisme. Selain itu, juga bisa menimbulkan reaksi peradangan di saluran pencernaan. Sedangkan untuk mikroplastik ukuran $<10\ \mu\text{m}$ umumnya melalui Peyer's patch pada ileum (bagian ketiga dari usus kecil) yang mana dianggap sebagai jalur utama serapan dan mengalami translokasi. Daerah ini memiliki lapisan epitel sel M yang memiliki lekukan mikro pada permukaan luminal dan enterositnya. Di bawah lapisan tersebut terdapat lapisan subepitel yang memiliki rongga yang mengandung limfosit dan atau makrofag. Sampel sel M mampu mengangkut partikel

mikroplastik ($0,1 > 10\ \mu\text{m}$) dari lumen usus ke jaringan limfoid mukosa. Paparan yang terjadi secara berulang - ulang akan membuat inflamasi pada saluran pencernaan hingga mampu mengganggu homeostasis imun.

Pada jalur pernapasan Prata (2018) juga membagi mikroplastik menjadi 3 ukuran yang dimungkinkan masuk melalui saluran pernapasan. Pada mikroplastik $>10\ \mu\text{m}$ dapat langsung masuk ke dalam saluran pernafasan namun waktu tinggalnya sangat singkat karena tubuh memiliki respon ketika tidak sengaja terasuki oleh benda asing maka akan langsung dibersihkan dengan lendir yang ada dalam saluran pernafasan melalui proses bersin. Partikel ini dapat menyebabkan penumpukan diparu-paru dan impaksi pada saluran pernafasan jika terpapar terus-menerus. Sedangkan pada mikroplastik yang berukuran $1-10\ \mu\text{m}$ akan tetap tinggal bahkan bisa terdistribusi ke jalur mukosiliar. Mikroplastik jenis ini perlu bantuan makrofag untuk membersihkan dari saluran pernapasan. Jika banyaknya mikroplastik yang tertangkap oleh makrofag, maka pembersihanpun juga tidak maksimal karena mobilitas makrofag terhambat sehingga memungkinkan juga terjadi pengendapan di paru-paru. Hal ini dapat menyebabkan reaksi peradangan kronis dalam saluran pernafasan dan paling parah yakni kerusakan intraseluler. Fungsi makrofag yang terganggu maka mikroplastik yang ukurannya sangat kecil ($<1\ \mu\text{m}$) dimungkinkan akan terdistribusi menembus cairan lapisan paru-paru dan bertranslokasi ke jaringan epitel melalui difusi atau serapan seluler aktif hingga memasuki sistem peredaran darah. Karena luas permukaannya tinggi yang bisa menembus ke lapisan dalam paru-paru dimungkinkan juga dapat menginduksi stres oksidatif karena mengangkut zat pengoksidasi di permukaannya (mis. logam) atau karena interaksi luas permukaan tinggi dengan sistem biologis yang menghasilkan ROS sehingga menyebabkan kerusakan pada struktur sel. Yang paling parah mikroplastik ini

juga bisa bertranslokasi dan mencapai aliran darah seiring dengan peningkatan permeabilitas endotel dan epitel akibat peradangan sel.

Jalur terakhir yang menjadi faktor masuknya mikroplastik ke dalam tubuh manusia yakni melalui paparan kulit, namun pada jalur ini hanya terkait dengan paparan kandungan kimia yang terkandung pada plastik. Seperti yang diketahui, bahwa plastik memiliki beberapa kandungan kimia seperti Bisphenols, Alkylphenols, Phthalates, Senyawa-senyawa Perflouoronasi, BFRS, Dioksin, dan UV Stabilizers (IPEN, 2020). Bisphenols, seperti bisphenol A (BPA), adalah senyawa kimia yang merupakan kerangka pembangun plastik polikarbonat dan resin epoksi serta digunakan dalam kontainer-kontainer makanan dan minuman pakai ulang, botol-botol isi ulang, pinggiran kemasan makanan kaleng, peralatan medis dan olah raga, lensa kaca mata, kertas resi pembayaran, dan pipa air plastik. Sebagian besar masyarakat terpapar BPA ketika kimia ini terlepas dari material kemasan terutama makanan lalu berpindah atau masuk ke dalam makanan dan minuman saat dikonsumsi. BPA juga dilepaskan di landfill sehingga bisa mencemari air tanah, masuk ke dalam air limbah, dan air bersih, dan di pasir pantai di berbagai belahan dunia yang tercemari oleh plastik. BPA, terdaftar sebagai "substansi dengan perhatian tinggi" di Uni Eropa, dan berdasarkan berbagai studi terbukti bersifat toksik. Banyak negara telah melarang BPA dalam botol untuk bayi, tetapi ada bukti-bukti yang cukup kuat bahwa kimia pengganti BPA juga menunjukkan dampak yang sama. Banyak bukti menunjukkan bahwa BPA dapat mempengaruhi perkembangan otak dan perilaku. Paparan BPA dapat meningkatkan kecemasan, depresi, hiperaktivitas, menurunnya kefokuskan, gangguan perilaku, dan juga berkaitan dengan kelainan-kelainan pada sistem reproduksi yang mempengaruhi sel-sel dalam telur. BPA juga diasosiasikan dengan Polycystic Ovary Syndrome (PCOS)-suatu

kelainan hormonal yang kompleks yang diasosiasikan siklus menstruasi yang tak teratur, menurunnya kesuburan, dan meningkatnya risiko diabetes. Pada laki-laki, BPA mempengaruhi tingkat kesuburan dan diasosiasikan dengan disfungsi seksual diantara laki-laki yang mengalami paparan di tempat kerja. BPA juga diasosiasikan dengan kanker payudara, prostat, kanker ovarium dan kanker endometrium.

Alkylphenols banyak digunakan untuk cat latex, pestisida, industri pembersih, deterjen, produk-produk perawatan tubuh, dan digunakan dalam berbagai jenis plastik UV-stabilizers. Alkylphenols digunakan untuk menyebarkan substansi tertentu di permukaan suatu benda, seperti cat dan coatings. Beberapa alkylphenols diizinkan digunakan dalam bentuk senyawa yang tak berhubungan langsung dengan makanan (indirect food contact substances), dan penggunaan lain seperti heat stabilizers untuk PVC dalam pipa air dan bahan untuk lantai (flooring). Senyawa ini mampu meniru estrogen dan mengganggu sistem reproduksi. Alkylphenols dihubungkan dengan infertilitas pada laki-laki, jumlah sperma rendah, dan mengganggu perkembangan prostat. Penelitian juga menunjukkan paparan okupasi yang dikaitkan dengan peningkatan risiko kanker payudara pada laki-laki dan perempuan.

Phthalates adalah senyawa aditif yang banyak digunakan untuk memproduksi atau membuat plastik menjadi fleksibel dan untuk mengurangi tingkat kerapuhan plastik. Phthalates digunakan sebagai plasticizers dalam produk - produk PVC, alat-alat medis, dan bahan-bahan bangunan, sebagai matriks dan pengencer (solvents) dalam berbagai produk perawatan tubuh, dan sebagai bahan pengisi (fillers) dalam suplemen-suplemen pengobatan dan diet, kemasan-kemasan untuk makanan dan, dan mainan-mainan anak. Beberapa jenis phthalates sudah dilarang penggunaannya di negara-negara Uni Eropa dan digolongkan sebagai bahan kimia dengan perhatian

tinggi. *Phthalates* sering kali terlepas dari barang-barang seperti kemasan makanan, kosmetik, produk perawatan tubuh, dan mainan ke lingkungan sehingga bisa mengkontaminasi manusia secara tidak sengaja. Jalur paparan yang paling umum adalah melalui konsumsi oral dari kemasan makanan dan penggunaan produk kosmetik, tetapi dalam kadar yang tinggi, *phthalates* bisa terdapat dalam debu rumah tangga. Mereka dimetabolisme dengan cepat dan terdapat pada 90-100% sampel cairan ketuban dari janin trimester kedua, sampel darah tali pusat dari bayi baru lahir, ASI dari ibu menyusui, dan bahkan dalam cairan folikel ovarium manusia. *Phthalates* menurunkan tingkat testosteron dan estrogen, mengganggu hormon tiroid, dan telah diidentifikasi mengganggu sistem reproduksi. *Phthalates* juga meningkatkan gangguan kehamilan dan angka keguguran, anemia, toksemia, preeklampsia, menopause dini, dan kelainan hormon seks steroid juga diasosiasikan dengan *phthalates*. Paparan *phthalate* juga mempengaruhi fertilitas antar generasi. Paparan *phthalates* saat tumbuh-kembang juga mempengaruhi ekspresi gen, dan paparan *phthalates* prenatal berdampak pada perilaku asosial. Paparan *phthalate* juga diketahui meningkatkan risiko resistensi insulin dan secara persisten dihubungkan dengan diabetes. Lebih jauh, *phthalates* diasosiasikan dengan peningkatan tekanan darah, obesitas, dan peningkatan trigliserida dalam darah.

Senyawa terfluorinasi banyak digunakan dalam pakaian-pakaian tahan air dan anti-noda, dalam pembungkus yang kontak langsung dengan makanan, pelumas, pembersih karpet, cat, alat masak, dan sebagai dispersan dalam busa pemadam kebakaran (firefighting foams), dan penggunaan untuk aplikasi industri dan konsumen. Salahsatunya PFAS dan PFOA yang terdaftar di Konvensi Stockholm sebagai Polutan-polutan Organik yang Persisten. Kimia-kimia terfluorinasi digunakan untuk memproduksi fluoropolimer untuk plastik.

Senyawa kimia PFAS mencemari sumber-sumber air dan perairan. Penggunaan senyawa kimia PFAS dalam industri dan busa pemadam kebakaran di bandara-bandara dan pangkalan-pangkalan militer merupakan sumber kontaminasi air minum dan air tanah di seluruh dunia. Pencemaran PFAS di sistem perairan dan badan-badan air berasal dari limbah yang mengandung PFAS di Tempat-tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA). Lebih jauh lagi, PFAS juga dilepaskan dari kemasan makanan dan peralatan masak ke dalam makanan kita. PFAS merupakan senyawa kimia pengganggu metabolisme tubuh yang berdampak pada sistem kekebalan tubuh, fungsi hati, dan tiroid. PFAS juga mengubah masa pubertas, meningkatkan risiko kanker payudara, dan diasosiasikan dengan kanker-kanker ginjal, testikel, prostat, kanker ovarium, dan limfoma non-Hodgkin.

Penghambat nyala terbrominasi (Brominated flame retardants) atau BFRs merupakan bahan kimia yang digunakan untuk mengurangi sifat mudah terbakar dalam produk-produk plastik dan mencegah penyebaran api. BFRs digunakan dalam busa (foams), polistiren, dan resin epoksi yang dipakai dalam kerangka atau pembungkus produk-produk elektronik dan pembungkus kabel (misalnya penutup plastik untuk komputer, TV, dan produk-produk peralatan rumah tangga), pada tekstil, busa (foams) furnitur, karpet, bahan bangunan, dan banyak ditemukan pada mainan anak-anak berbahan plastik. BFRs terlepas dari produk dan dapat ditemukan dalam debu-debu di dalam rumah. Anak-anak kecil menelan BFRs dari perilaku tangan-ke-mulut, dan dari perilaku menjilat mainan yang terbuat dari plastik daur ulang yang mengandung BFRs. Pemrosesan limbah plastik merupakan sumber paparan BFRs yang signifikan pada manusia meskipun BFRs sudah dikontrol. Sampel global menunjukkan bahwa kehadiran BFRs cukup luas dan banyak dalam mainan anak-anak yang terbuat dari plastik daur ulang yang dijual di banyak negara.

BFRs dapat mengganggu perkembangan reproduksi laki-laki dan perempuan, mengubah perkembangan tiroid, dan mengganggu perkembangan syaraf. Paparan terhadap BFRs diasosiasikan dengan kinerja IQ terkait psikomotor dan atensi pada anak-anak.

Dioksin, yang dianggap zat paling beracun di dunia, adalah produk samping dari proses industri dan pembakaran yang terjadi saat manufaktur produk-produk plastik yang menggunakan BFRs dan saat plastik yang mengandung BFRs dibakar atau dipanaskan dalam proses daur ulang yang mencetak produk baru. Tidak ada tingkat pajanan dioksin yang aman. Dioksin larut dalam lemak, mengikat tanah, dan dapat terakumulasi di jaringan lemak hewan dan manusia. Paparan dioksin dapat terjadi melalui jalur oral, dermal dan inhalasi. Perilaku anak-anak seperti menjilat mainan yang terbuat dari plastik daur ulang dan dari limbah elektronik berisiko menimbulkan efek kesehatan yang berbahaya. Kontaminasi dioksin dalam rantai makanan lokal telah didokumentasikan di perkampungan-perkampungan dimana limbah elektronik dibuang dan dibakar, tempat pembuangan sampah dimana sampah plastik menumpuk, dan tempat sampah plastik dibakar untuk bahan bakar. Paparan dioksin mempengaruhi perkembangan otak, mengganggu tiroid dan sistem imun tubuh dan diasosiasikan dengan peningkatan risiko beberapa jenis kanker, dan kerusakan sistem imunitas.

UV stabilizers adalah senyawa aditif yang digunakan untuk melindungi bahan bangunan dari plastik, suku cadang kendaraan, lilin (waxes), dan cat dari pelapukan akibat radiasi ultraviolet. Beberapa UV stabilizers saat ini masuk ke dalam Daftar Kandidat Substansi dengan Perhatian Tinggi (Candidate List of Substances of Very High Concern) yang diajukan oleh Agen Kimia Eropa (European Chemicals Agency atau ECHA) karena sifatnya yang tidak mudah terurai (persisten), bio-akumulatif, dan sifat dasarnya toksik. Pemerintah Swiss baru-

baru ini mengajukan proposal kepada Konvensi Stockholm untuk memasukkan UV-328 ke dalam daftar sebagai POP (Persistent Organic Pollutant) yang diatur dalam Konvensi Stockholm. UV stabilizers dapat terlepas dari kemasan-kemasan pembungkus ke dalam makanan. Senyawa kimia ini juga ditemukan dalam debu di rumah-rumah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa UV stabilizers mengganggu fungsi endokrin, menghambat proses pertumbuhan yang normal dan memperkenalkan efek estrogenik.

Dampak Mikroplastik Terhadap Kesehatan Manusia

Penelitian terkini menyebutkan bahwa mikroplastik sejauh ini memiliki potensi yang berbahaya terhadap kesehatan manusia. Meskipun tidak secara langsung bisa berefek langsung terhadap tubuh, namun jika paparan berulang akan bisa mempengaruhi efek kesehatan. Menurut Prata (2018), mikroplastik bisa mengganggu secara fisik, kimiawi maupun biologis terhadap tubuh manusia. Secara fisik, kontaminasi mikroplastik yang banyak dan sering akan membuat inflamasi pada jaringan bahkan menyebabkan munculnya sel kanker. Selain itu, partikel mikroplastik yang bisa terserap oleh jaringan sel bisa mengendap dan mengganggu metabolisme tubuh.

Mikroplastik mampu mempengaruhi kesehatan manusia jika dihubungkan oleh pathogenesis. Hal ini disebabkan oleh toksisitas kimia yang dihasilkan dari pelepasan monomer dan aditif residu yang berbahaya, degradasi bahan kimia dan Polutan Organik Persisten (POPs) dari mikroplastik (Andrady, 2011; Rochman et al., 2015 dalam Prata, 2018). Plastik dilaporkan oleh Pivnenko et al (2015) memiliki kandungan *plasticizer* yakni Bisphenol A yang termasuk dalam senyawa Endocrine Disrupting Chemical (EDC) yang bisa mengganggu sistem hormone manusia. Selain itu, Cole et al (2011) melaporkan bahwa Phthalate yang mana termasuk *plasticizer* juga dapat

bertindak sebagai pengganggu hormon salahsatunya hormon endogen. Dampak yang diakibatkan juga dapat mungkin terlibat dalam patogenesis beberapa penyakit pernapasan (Ventrice et al., 2013; Xie et al., 2016 dalam Prata, 2018). Meskipun bentuk plastik telah terdegradasi menjadi partikel kecil berbentuk mikroplastik, kemungkinan senyawa tersebut hadir juga masih ada. Selain senyawa yang terkait dengan komposisi plastik, mikroplastik juga bertindak sebagai *transporter* yang mampu berikatan dan melepaskan polutan lingkungan yang diikatnya karena luas permukaan dan sifat hidrofobisitas yang besar (Teuten et al., 2009; Wang et al., 2016). Salahsatunya Polutan Organik Persisten (POPs) yang dilaporkan oleh (Bakir et al., 2012; Frias et al., 2010; Ogata et al., 2009 dalam Prata, 2018) telah terdeteksi pada mikroplastik.

Mikroplastik juga bisa bertindak sebagai vektor mikroorganisme di permukaannya. Beberapa koloni mikroorganisme telah teridentifikasi mendiami mikroplastik akuatik karena luas permukaannya yang tinggi (Oberbeckmann et al., 2015), termasuk organisme patogen seperti *Vibrio* spp. (Kirstein et al., 2016). Pengangkutan mikroorganisme oleh mikroplastik di udara mungkin jarang terjadi karena bergantung pada pertemuan dengan mikroorganisme di atmosfer dan adsorpsinya ke permukaan partikel. Namun demikian, aerosol perkotaan mengandung koloni mikroorganisme yang beragam dan partikel mikroplastik dapat bertindak sebagai perisai yang melindungi mereka dari radiasi UV yang merugikan (Brodie et al., 2007). Dengan menempel pada permukaan mikroplastik, mikroorganisme dapat langsung dibawa ke paru-paru manusia, menghindari mekanisme pertahanan dan kemungkinan mengakibatkan infeksi, terutama pada manusia yang sudah terpapar mikroplastik berulang - ulang.

SIMPULAN

Hasil penelitian mikroplastik pada 10 g sampel feses yang dikumpulkan dari

102 sukarelawan positif mengandung mikroplastik. Nilai median yang didapatkan adalah sebesar 17,5 partikel/ 10 gram. Jenis mikroplastik yang berhasil ditemukan ada 4 jenis yakni fiber, fragmen, filament dan granul. Jenis fiber ditemukan paling dominan pada sampel feses, lalu yang tertinggi kedua dari jenis fragmen, selanjutnya filament dan granula. Hasil yang didapatkan jika dibandingkan dengan penelitian Liebmenn (2017), didapatkan nilai median sebesar 20 partikel/ 10 gram pada 8 sampel yang mana nilainya masih lebih besar daripada penelitian ini. Sedangkan jumlah rata-rata mikroplastik pada feses adalah 375,92 partikel/10 gram. Presentase jenis mikroplastik yang dihasilkan pada sampel feses, Jenis mikroplastik tertinggi adalah fiber sebesar 36% dengan nilai total 757 partikel. Lalu tertinggi kedua didapatkan pada jenis fragmen sebesar 34% dengan nilai total 700 partikel. Fiber merupakan mikroplastik yang umumnya berasal dari degradasi baju, kain, jaring hingga limbah tekstil sedangkan mikroplastik jenis fragmen berasal dari pecahan plastik keras dan kuat seperti plastik pecahan kotak makan, botol, tutup, dan produk plastik keras lainnya. Jenis mikroplastik filamen memiliki presentase 16% dengan nilai total sebesar 325 partikel dan granula memiliki presentase 14% dengan nilai total sebesar 288 partikel. Filamen merupakan jenis mikroplastik yang biasanya berasal dari plastik tipis yang berbentuk lembaran seperti kemasan plastik, kantong plastik, dan sachet kemudian granula merupakan mikroplastik yang biasanya berasal dari produk perusahaan yang sengaja ditambahkan untuk menambah nilai fungsi dari produk tersebut seperti *microbeads* dalam scrub, sabun wajah, pasta gigi dan produk perawatan tubuh lainnya. Hasil identifikasi jenis polimer mikroplastik pada feses manusia mendapatkan 38 jenis polimer dengan presentase 2 terbesar dihasilkan dari jenis polimer EVOH 19% dan PP 17%. EVOH merupakan kopolimer yang terdiri dari ethylene dan vinyl alcohol yang biasanya digunakan sebagai

penahan gas dalam kemasan makanan. PP merupakan polimer dari propylene yang bersifat termoplastik dan keras sehingga biasanya digunakan mulai dari kebutuhan otomotif, medis hingga kemasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alharbi, O. M. L., Basheer, A. A., Khattab, R. A., & Ali, I. (2018). Health and environmental effects of persistent organic pollutants. In *Journal of Molecular Liquids* (Vol. 263, Issue 2017). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.05.029>.
- Anderson, A. G., Grose, J., Pahl, S., Thompson, R. C., & Wyles, K. J. (2016). Microplastics in personal care products: Exploring perceptions of environmentalists, beauticians and students. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 454-460. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.048>.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
- Ayun, N. Q. (2019). Analisis Mikroplastik Menggunakan Ft-Ir Pada Air, Sedimen, Dan Ikan Belanak (Mugil cephalus) Di Segmen Sungai Bengawan Solo Yang Melintasi Kabupaten Gresik. *Skripsi*.
- Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2012). Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 64(12), 2782-2789. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.09.010>.
- Brodie, E. L., DeSantis, T. Z., Moberg Parker, J. P., Zubietta, I. X., Piceno, Y. M., & Andersen, G. L. (2007). Urban aerosols harbor diverse and dynamic bacterial populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(1), 299-304. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608255104>.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45(21), 9175-9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Catarino, A. I., Macchia, V., Sanderson, W. G., Thompson, R. C., & Henry, T. B. (2018). Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environmental Pollution*, 237, 675-684. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.069>
- CBD. (2012). Impacts of Marine Debris on Biodiversity. *Current Status and Potential Solutions*, Technical Series No,67.
- Chaerul, M., Tanaka, M., & Shekdar, A. V. (2007). Municipal Solid Waste Management in Indonesia : Status and the Strategic Actions. *Journal of the Faculty Environmental Science and Technology, Okayama University*, 12(I), 41-49.

- Chang, S. (2012). No Title. *Analysis of Polymer Standards by Fourier Transform Infrared Spectroscopy-Attenuated Total Reflectance and Pyrolysis Gas Chromatography/Mass Spectroscopy and the Creation of Searchable Libraries*.
- Cho, Y., Shim, W. J., Jang, M., Han, G. M., & Hong, S. H. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in market bivalves from South Korea. *Environmental Pollution*, 245, 1107–1116. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.091>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>.
- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science and Technology*, 53(12), 7068–7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>.
- Cummings, H., & Englyst, N. (2018). *Gastrointestinal. March*.
- Curren, E., & Leong, S. C. Y. (2019). Profiles of bacterial assemblages from microplastics of tropical coastal environments. *Science of the Total Environment*, 655, 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.250>.
- Dewi, I. S., Budiarsa, A. A., & Ritonga, I. R. (2015). Distribusi mikroplastik pada sedimen di Muara Badak , Kabupaten Kutai Kartanegara Distribution of microplastic at sediment in the Muara Badak Subdistrict , Kutai Kartanegara Regency. *Depik*, 4(3), 121–131. <https://doi.org/10.13170/depik.4.3.2888>.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & 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), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>.
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>.
- Frias, J. P. G. L., Sobral, P., & Ferreira, A. M. (2010). Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 60(11), 1988–1992. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.030>.
- Gourmelon, G. (2015). Global Plastic Production Rises, Recycling Lags | Worldwatch Institute. *WorldWatch Institute*, 1–7.

- Hiwari, H., Purba, N. P., Ihsan, Y. N., Yuliadi, L. P. S., & Mulyani, P. G. (2019). *Kondisi sampah mikroplastik di permukaan air laut sekitar Kupang dan Rote , Provinsi Nusa Tenggara Timur Condition of microplastic garbage in sea surface water at around Kupang and Rote , East Nusa Tenggara Province*. 5, 165–171. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050204>.
- Horton, A. A., Svendsen, C., Williams, R. J., Spurgeon, D. J., & Lahive, E. (2017). Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK–Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 218–226.
- IPEN. (2020). *7 Kimia Berbahaya Dalam Plastik*.
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). The Ocean: the Ocean: *Marine Pollution*, 347(6223), 768–. <https://science.sciencemag.org/CONTENT/347/6223/768.abstract>.
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Romano, N., Ho, Y. Bin, & Salamatinia, B. (2017). A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish. *Science of the Total Environment*, 578, 485–494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.213>.
- Kirstein, I. V., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Erler, R., Löder, M., & Gerds, G. (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Marine Environmental Research*, 120, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.07.004>.
- Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE*, 13(4), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>.
- Lei, K., Qiao, F., Liu, Q., Wei, Z., Qi, H., Cui, S., Yue, X., Deng, Y., & An, L. (2017). Microplastics releasing from personal care and cosmetic products in China. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1–2), 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.016>.
- Leslie, H. A.; van der Meulen, M. D.; Kleissen, F. M.; Vethaak, A. D. (2011). Microplastic Litter in the Dutch Marine Environment Providing facts and analysis for with marine microplastic litter. *Deltares*, 104.
- Lestari, P., & Trihadiningrum, Y. (2019). The impact of improper solid waste management to plastic pollution in Indonesian coast and marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 149(August), 110505. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110505>.
- Lestari, P., Trihadiningrum, Y., Wijaya, B. A., Yunus, K. A., & Firdaus, M. (2020). Distribution of microplastics in Surabaya River, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 726, 138560. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138560>.
- Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment*, 566–567, 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>.

- Liebmann Bettina, Sebastian Köppel, Philipp Königshofer, Theresa Bucsics, T. R. and P. S. (2018). ASSESSMENT OF MICROPLASTIC CONCENTRATIONS IN HUMAN STOOL FINAL RESULTS OF A PROSPECTIVE STUDY Do microplastics reach the human gut? Pre-Treatment of Human Stool Samples Detection of Microplastics by FT-IR Spectroscopy and Imaging Conclusion & Outlook. *Conference on Nano and Microplastics in Technical and Freshwater Systems. Monte Verità, Ascona, Switzerland, October, 2018.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16638.02884>.
- Mahyudin, R. P. (2017). Kajian Permasalahan Pengelolaan Sampah Dan Dampak. *Teknik Lingkungan, 3, 3(1), 66-74.*
- Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry, 6(September).* <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407>.
- McKinsey Center for Business and Environment. (2017). Stemming the tide. *Land Based Strategies for a Plastic Free Ocean.*
- Mishra, S., Rath, C. charan, & Das, A. P. (2019). Marine microfiber pollution: A review on present status and future challenges. *Marine Pollution Bulletin, 140(November 2018), 188-197.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.039>.
- NOAA. (2013). *Programmatic Environmental Assessment (PEA) for the NOAA Marine Debris Program (MDP).* 168.
- Oberbeckmann, S., Löder, M. G. J., & Labrenz, M. (2015). Marine microplastic-associated biofilms - A review. *Environmental Chemistry, 12(5), 551-562.* <https://doi.org/10.1071/EN15069>.
- Ogata, Y., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., Mato, Y., Saha, M., Okuda, K., Nakashima, A., Murakami, M., Zurcher, N., Booyatumanondo, R., Zakaria, M. P., Dung, L. Q., Gordon, M., Miguez, C., Suzuki, S., Moore, C., ... Thompson, R. C. (2009). International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine Pollution Bulletin, 58(10), 1437-1446.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.014>.
- Pal, D., & Maiti, S. K. (2019). Evaluation of Potential Human Health Risks from Toxic Metals via Consumption of Cultured Fish Species *Labeo rohita*: A Case Study from an Urban Aquaculture Pond. *Exposure and Health, 11(1), 33-46.* <https://doi.org/10.1007/s12403-017-0264-8>.
- Pawar, P. R., Shirgaonkar, S. S., & Patil, R. B. (2016). Plastic marine debris: Sources, distribution and impacts on coastal and ocean biodiversity. *PENCIL Publication of Biological Sciences, 3(1), 40-54.*
- Pivnenko, K., Pedersen, G. A., Eriksson, E., & Astrup, T. F. (2015). Bisphenol A and its structural analogues in household waste paper. *Waste Management, 44, 39-47.* <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.017>.

- Pollution, M. P., & Safety, S. (2015). *New Link*, 123(2), 34-42.
- Prata, Joana C., da Costa, J. P., Girão, A. V., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Identifying a quick and efficient method of removing organic matter without damaging microplastic samples. *Science of the Total Environment*, 686, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.456>.
- Prata, Joana Correia. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution*, 234(November 2017), 115-126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>.
- Ribeiro, F., O'Brien, J. W., Galloway, T., & Thomas, K. V. (2019). Accumulation and fate of nano- and micro-plastics and associated contaminants in organisms. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 111, 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.010>.
- Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T., Teh, F. C., Werorilangi, S., & Teh, S. J. (2015). Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5(September), 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep14340>.
- Schwabl, P., Koppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool: A prospective case series. *Annals of Internal Medicine*, 171(7), 453-457. <https://doi.org/10.7326/M19-0618>.
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>.
- Senathirajah, K., Attwood, S., Bhagwat, G., Carbery, M., Wilson, S., & Palanisami, T. (2021). Estimation of the mass of microplastics ingested - A pivotal first step towards human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124004. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124004>.
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P. H., Tana, T. S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M. P., Akkhavong, K., ... Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027-2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>.
- Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>.

- Ventrice, P., Ventrice, D., Russo, E., & De Sarro, G. (2013). Phthalates: European regulation, chemistry, pharmacokinetic and related toxicity. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36(1), 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.03.014>.
- Vianello, A., Jensen, R. L., Liu, L., & Vollertsen, J. (2019). Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a Breathing Thermal Manikin. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45054-w>.
- Viršek, M. K., Lovšin, M. N., Koren, Š., Kržan, A., & Peterlin, M. (2017). Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1–2), 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.024>.
- Volschenk, C. M., Gerber, R., Mkhonto, M. T., Ikenaka, Y., Yohannes, Y. B., Nakayama, S., Ishizuka, M., van Vuren, J. H. J., Wepener, V., & Smit, N. J. (2019). Bioaccumulation of persistent organic pollutants and their trophic transfer through the food web: Human health risks to the rural communities reliant on fish from South Africa's largest floodplain. *Science of the Total Environment*, 685, 1116–1126. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.144>.
- Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental Science and Technology*, 46(20), 11327–11335. <https://doi.org/10.1021/es302332w>.
- Wagner, M., & Lambert, S. (2018). *Freshwater Microplastics - The Handbook of Environmental Chemistry* 58. 302. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>.
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., & Li, M. (2016). The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>.
- Wu, C., Zhang, K., & Xiong, X. (2018). Microplastic pollution in inland waters focusing on Asia. In *Handbook of Environmental Chemistry* (Vol. 58). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_5.
- Xie, M. Y., Ni, H., Zhao, D. S., Wen, L. Y., Li, K. S., Yang, H. H., Wang, S. S., Zhang, H., & Su, H. (2016). Exposure to bisphenol A and the development of asthma: A systematic review of cohort studies. *Reproductive Toxicology*, 65, 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2016.08.007>.
- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environmental Science and Technology*, 49(22), 13622–13627. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163>.
- Yudhantari, C. I., Hendrawan, I. G., & Ria Puspitha, N. L. P. (2019). Kandungan Mikroplastik pada Saluran Pencernaan Ikan Lemuru Protolan (*Sardinella Lemuru*) Hasil Tangkapan di Selat Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 2(2), 48. <https://doi.org/10.24843/jmrt.2019.v02.i02.p10>.