

CEMARAN MIKROPLASTIK PADA IKAN PINDANG DAN POTENSI BAHAYANYA TERHADAP KESEHATAN MANUSIA, STUDI KASUS DI BOGOR

Microplastic Contamination of Boiled Salted Fish and Its Potential Hazards to Human Health, Case Study in Bogor

Gunawan^{1,2*}, Hefni Effendi³, dan Endang Warsiki⁴

¹Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Jl. KS Tubun, Petamburan VI, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10260, Indonesia

²Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Pascasarjana-IPB, Gedung Sekolah Pascasarjana Lantai II Kampus IPB Baranangsiang Bogor 16144, Indonesia

³Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB, Kampus IPB Darmaga, Jl. Agatis, Bogor, Jawa Barat, 16680, Indonesia

⁴Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Kampus IPB Darmaga, Jl. Lingkar Akademik, Bogor, Jawa Barat, 16680, Indonesia

*Korespondensi penulis : gunawan170881@yahoo.co.id; gunawan81gunawan@apps.ipb.ac.id

Diterima: 3 Mei 2021; Direvisi: 16 Agustus 2021; Disetujui: 17 Oktober 2021

ABSTRAK

Tingginya akumulasi sampah plastik di perairan Indonesia dapat meningkatkan potensi cemaran mikroplastik. Ikan dan garam merupakan bahan baku utama pembuatan ikan pindang yang keduanya berpotensi membawa berbagai bahan cemaran, termasuk mikroplastik. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui cemaran mikroplastik pada ikan pindang yang diproduksi oleh 5 pengolah di Tanah Sareal, Bogor Utara, Parung, dan Ciampea. Kandungan mikroplastik dianalisis dari 5 jenis ikan, yaitu bandeng (*Chanos chanos*), tongkol (*Euthynnus affinis*), layang (*Decapterus russelli*), semar/etem (*Mene maculata*), dan kembung (*Rastrelliger kanagurta*), yang meliputi daging ikan segar dan produk pindangnya, garam, dan air rebusan pindang. Identifikasi mikroplastik dilakukan terhadap hasil destruksi dengan H₂O₂ secara mikroskopis dan dikonfirmasi dengan FTIR-UATR. Hasil penelitian menunjukkan jumlah mikroplastik pada daging produk pindang berkisar antara 0,22±0,15 dan 0,69±0,12 MP/g atau meningkat sekitar 11-19% dibandingkan dengan bahan bakunya. Sebanyak 0,17±0,02 MP/g ditemukan pada sampel garam dan 0,10±0,02 MP/mL pada air rebusan pindang. Analisis FTIR-UATR menunjukkan bahwa mikroplastik yang dominan adalah polipropilena (PP) sebanyak 54% dalam bentuk fragmen atau *film*, dan polietilena (PE) sebanyak 46% dalam bentuk *fiber* atau fragmen. Perkiraan paparan mikroplastik akibat mengkonsumsi ikan pindang yang didasarkan pada tingkat konsumsi ikan pindang masyarakat Indonesia adalah 2.345±603 MP/orang/tahun. Kondisi tersebut mengindikasikan potensi bahaya apabila dikonsumsi terus-menerus, karena mikroplastik yang dapat bersifat akumulatif. Dengan demikian, perlu diupayakan pengurangan kandungan mikroplastik pada bahan utama ikan pindang dan garam dengan mengurangi pencemaran mikroplastik di perairan dan memperbaiki teknologi produksi garam.

KATA KUNCI : ikan pindang, mikroplastik, garam, serat, fragmen

ABSTRACT

*The high accumulation of plastic waste in Indonesian waters can increase the potential contamination of microplastic. Fish and salt are the primary raw materials for boiled salted fish, both of which can carry various contaminants, including microplastics. The objective of this study was to determine the presence of microplastic contamination in boiled salted fish produced by five processors in Tanah Sareal, North Bogor, Parung, and Ciampea. The microplastic content was analyzed from 5 types of fish, namely milkfish (*Chanos chanos*), mackerel tuna (*Euthynnus affinis*), indian scad (*Decapterus russelli*), moon fish (*Mene maculata*), and indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*), each of fresh fish and its boiled salted product, salt used, and boiled water. Microplastic identification was carried out microscopically on samples prepared by H₂O₂ destruction and further confirmed by FTIR-UATR. The results showed that the amount of microplastics in the products ranged from 0.22±0.15 to 0.69±0.12 MP/g or an increase of about 11-19% compared to the raw material. A total of 0.17±0.02 MP/g was found in the salt sample and 0.10±0.02 MP/mL in the boiling water sample. FTIR-UATR analysis showed that the dominant microplastic was polypropylene (PP) as much as 54% in fragments or film form, and polyethylene*

(PE) account for 46% in the form of fibers/fragments. The estimated exposure of microplastics due to consuming boiled salted fish based on the level of consumption of boiled salted fish in Indonesia is $2,345 \pm 603$ MP/person/year. This condition indicates a potential danger if boiled salted fish is consumed at a large amount and continuously because of the cumulative nature of microplastics. So it is necessary to reduce the amount of microplastic content in the fish material and salt by reducing microplastic pollution in the waters and improving the salt production technology.

KEYWORDS: *boiled salted fish, microplastic, salt, fiber, fragment*

PENDAHULUAN

Produksi ikan pindang di Indonesia terus meningkat termasuk di Jawa Barat sebagai produsen ikan pindang terbanyak di Pulau Jawa (Widria, 2019). Bogor merupakan salah satu sentra produksi ikan pindang di Jawa Barat (>13%) (Anonim, 2018), selain Sukabumi (3,3%), Bekasi (0,1%), Cirebon (0,19%), dan Indramayu (0,84%). Produksi ikan pindang di Bogor mencapai 16.363,47 ton pada tahun 2018 dan pada tahun 2019 meningkat menjadi 16.949,92 ton (Disnakan Kabupaten Bogor, 2020; DKP Kota Bogor, 2020). Sepanjang tahun 2012-2019, peningkatan produksi pindang di Bogor meningkat sekitar 10% tiap tahunnya (KKP, 2019). Selain sebagai sentra pengolah ikan pindang, Bogor juga menjadi daerah pemasaran sebagian besar ikan pindang dari Sukabumi (DKP Kabupaten Sukabumi, 2015). Menurut Hermana, Kusmarwati, dan Yennie (2018), Bogor merupakan salah satu daerah dengan tingkat produksi dan konsumsi ikan pindang yang tinggi.

Lebih dari 90% jenis ikan pindang menggunakan bahan baku yang berasal dari tangkapan laut, dan sisanya merupakan ikan hasil budidaya dari perairan umum (Disnakan Kabupaten Bogor, 2020; DKP Kota Bogor, 2020; Hildanilyulia, 2012). Hasil penelitian Cordova dan Wahyudi (2016); Dewi, Budiarsa, dan Ritonga (2015); Falahudin et al. (2017); Rochman et al. (2015); Syakti et al. (2017); UNUD dan CSIRO (2017) menyebutkan bahwa sebagian besar perairan Indonesia sudah tercemar plastik. Jumlah akumulasi sampah plastik di perairan Indonesia diperkirakan sebanyak 0,48-1,29 juta metrik ton/tahun (Jambeck et al., 2015). Rochman et al. (2015) melaporkan adanya mikroplastik dalam bentuk fragmen, *fiber*, dan *foam* pada 21 dari 76 sampel (27,63 %) pada biota perairan (ikan dan kekerangan) dari Makassar. Hasil penelitian tersebut mengisyaratkan bahwa mikroplastik sudah mengkontaminasi ikan sebagai salah satu bahan baku produksi ikan pindang. Selanjutnya mikroplastik dapat berpindah ke dalam tubuh manusia saat ikan pindang dikonsumsi.

Selain ikan sebagai bahan utama, proses pembuatan ikan pindang juga membutuhkan garam sebagai bahan tambahan untuk memberikan cita rasa dan meningkatkan umur simpannya (pengawet alami).

Sekitar 10-25 % garam ditambahkan pada proses pembuatan pindang dalam bentuk kristal utuh maupun larutan garam, tergantung dari jenis pengolahan pindangnya (Adawyah, 2011; Riyanto, 2011). Garam yang digunakan dalam pengolahan ikan pindang umumnya berasal dari industri garam tradisional yang memanfaatkan air laut sebagai bahan baku dengan proses yang sederhana sehingga berpotensi mengandung bahan pencemar ukuran mikro, termasuk mikroplastik. Hasil penelitian Iñiguez, Conesa, dan Fullana (2017) menyebutkan bahwa dari 21 sampel garam dari Spanyol (*coarse* dan *refine*) yang diteliti, ditemukan sebanyak 50-280 MP/kg garam yang didominasi oleh plastik jenis polietilena-terefalat (PET) dan PE. Garam komersial yang berasal dari Indonesia juga dilaporkan terkontaminasi mikroplastik, berdasarkan hasil penelitian Dwiytino, Sturm, Januar, dan Schuhen (2021); Kim, Lee, Kim, dan Kim (2018) melaporkan masing-masing $273,50 \pm 108,00$ MP/kg garam dan lebih dari 10.000 MP/kg garam.

Efek mikroplastik sebagai cemaran fisik yang terakumulasi pada tubuh manusia masih belum banyak dipahami jika dibandingkan dengan jalur distribusi dan akumulasi toksiknya. Hasil penelitian menunjukkan beberapa dampak negatif mikroplastik yang perlu diperhatikan, seperti peningkatan respons inflamasi, toksisitas sesuai ukuran partikel plastik, adanya bahan kimia polutan yang teradsorpsi, dan gangguan mikroorganisme usus (Wright & Kelly, 2017). Selain itu, sifat permukaannya yang hidrofobik, menjadikan mikroplastik mampu menyerap dan mengakumulasi kontaminan organik hidrofobik seperti hidrokarbon aromatik polisiklik, pestisida organoklorin, dan poliklorinasi bifenil (Mato et al., 2001; Ogata et al., 2009). Mikroplastik juga dapat mengakumulasi logam berat seperti kadmium, seng, nikel, dan timbal (Holmes, Turner, & Thompson, 2012; Rochman, Hentschel, & Teh, 2014). Belum adanya penelitian tentang potensi migrasi mikroplastik pada ikan pindang yang berbahan baku utama ikan dan garam menjadikan perlu dilakukan penelitian untuk mengamati mikroplastik yang bersumber dari bahan baku (garam dan ikan) serta pada ikan olahannya (ikan pindang). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kelimpahan cemaran mikroplastik

pada ikan pindang (MP/g), sumber cemarannya, dan potensi bahayanya terhadap kesehatan manusia.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ikan segar bahan baku ikan pindang, ikan hasil pemindangan, garam, dan air sisa rebusan pemindangan. Ikan segar dan ikan pindang yang diambil sampelnya terdiri atas 5 jenis ikan yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat/dijual di Bogor dan sekitarnya dengan komposisi 15 sampel ikan pindang dan 5 sampel ikan segar. Berdasarkan observasi pendahuluan dan hasil penelitian Hermana et al. (2018) di beberapa pasar di Kota Bogor, jenis ikan pindang yang paling banyak dijual adalah ikan pindang bandeng (*Chanos chanos*), tongkol (*Euthynnus affinis*), layang (*Decapterus russelli*), semar (*Mene maculata*), dan kembung (*Rastrelliger kanagurta*).

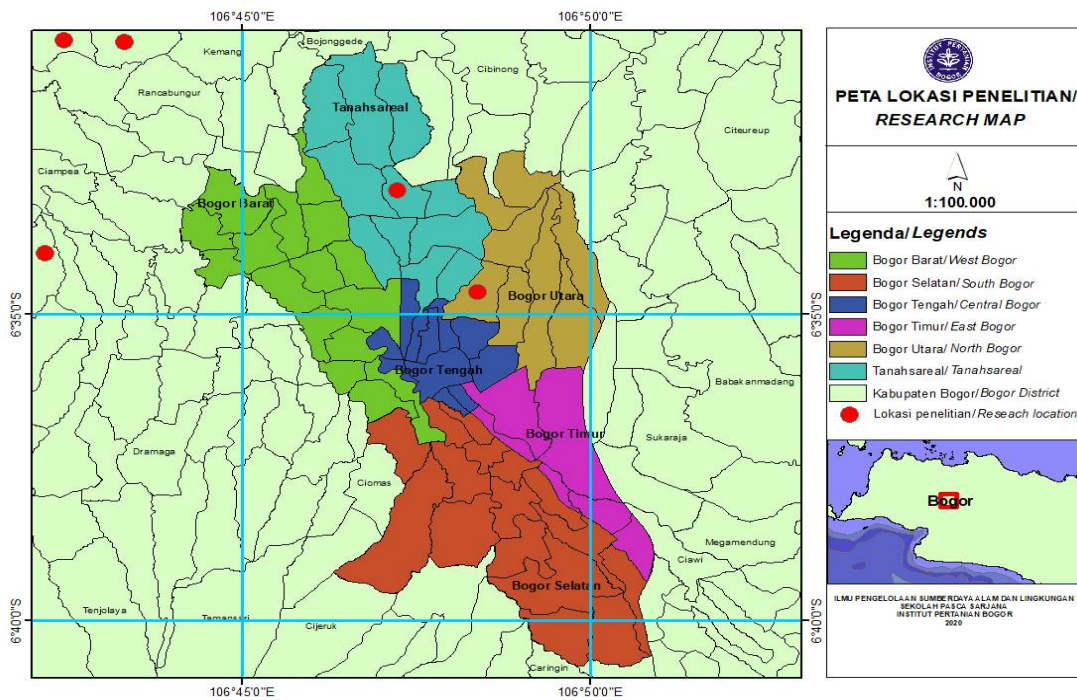
Metode

Pengumpulan sampel

Sampel penelitian diambil dari Kota Bogor dan Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Produsen ikan

pindang Kota Bogor diwakili oleh pengolah di Kecamatan Tanah Sareal (1 pengolah) dan Bogor Utara (1 pengolah), sedangkan di Kabupaten Bogor diwakili oleh pengolah di Kecamatan Parung (2 pengolah) dan Ciampea (1 pengolah) (Gambar 1). Pengolah-pengolah tersebut dipilih karena memproduksi ikan pindang yang paling banyak (minimal 2 ton/hari) di Kota dan Kabupaten Bogor (Disnakan Kabupaten Bogor, 2020; DKP Kota Bogor, 2020). Analisis mikroplastik dilakukan di Laboratorium Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Jakarta.

Sampel ikan segar digunakan sebagai kontrol untuk mengetahui jumlah mikroplastik sebelum penambahan garam, sedangkan sampel garam dan air rebusan diambil untuk mengetahui persentase mikroplastik yang bermigrasi selama proses pengolahan. Sampel garam yang diambil adalah garam krosok (kasar) berasal dari pengolah pindang yang digunakan pada saat pengolahan ikan pindang. Sampel air rebusan yang diambil adalah air sisa pengolahan ikan pindang. Jumlah sampel yang diambil sebanyak 100 sampel ikan (segar dan pindang), 25 sampel garam, dan 25 sampel air rebusan, sebagaimana anjuran Gay, Mills, dan Airasian (2009) yang menyarankan besar sampel minimum untuk penelitian deskriptif sebanyak 10% dari populasi.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian
Figure 1. Research location map

Identifikasi Mikroplastik

Analisis cemaran mikroplastik dilakukan terhadap daging ikan karena bagian inilah yang biasanya dikonsumsi. Cemaran mikroplastik yang masuk ke tubuh ikan diasumsikan pada akhirnya terdeposit di daging. Selain itu, pada pengolahan pindang diduga migrasi mikroplastik dari garam akan masuk melalui kulit dan menempel pada bagian antara kulit dan daging. Terhadap insang tidak dilakukan analisis mengingat konsumen umumnya tidak mengkonsumsi bagian kepala (termasuk insang).

Ikan pindang yang berasal dari sampling lapangan dipisahkan masing-masing individu dan ditimbang bobot serta diukur panjang totalnya. Sampel tersebut kemudian dibilas dengan akuades untuk membersihkan bagian permukaannya dan difilet bagian daging beserta kulitnya. Tahapan selanjutnya adalah proses destruksi sampel (daging ikan, garam, air rebusan) berdasarkan metode NOAA (2015) dan Dwiyoitno et al. (2018), namun dengan modifikasi pada jumlah sampel dan hidrogen peroksida yang ditambahkan. Pada penelitian ini sebanyak 20 g daging ikan ditimbang kemudian ditempatkan dalam botol sampel berbahan kaca ukuran 300 mL. Sampel didestruksi dengan menambahkan 20 mL hidrogen peroksida (H_2O_2) 30% untuk menghancurkan bahan organiknya, kemudian disimpan dalam pemanas kering pada suhu $60^\circ C$ selama 12 jam dengan sesekali dilakukan pengadukan. Apabila masih ditemukan bahan organik yang belum hancur, maka dilakukan penambahan H_2O_2 30% sebanyak 20 mL dan dipanaskan kembali pada suhu $60^\circ C$.

Perlakuan untuk sampel air rebusan dan garam diterapkan metoda yang sama dengan sampel ikan namun dengan sedikit modifikasi pada banyaknya sampel yang digunakan, yaitu 250 mL untuk air rebusan dan 250 g untuk sampel garam. Pada setiap pengolah diambil 1 jenis ikan pindang yang dominan beserta ikan segarnya, garam, dan air rebusan pindangnya. Mikroplastik yang diduga terkandung dalam sampel kemudian dipisahkan dengan saringan *mesh sieves* ukuran 100 *mesh* dan dibilas dengan akuades. Hasil tampungan pembilasan akuades kemudian ditambah NaCl jenuh sebanyak 100 mL untuk sampel ikan dan 250 mL untuk sampel air rebusan dan garam dan dilanjutkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring *Whatman* selulosa nitrat Ø 47mm 0,42mm, kemudian disimpan dalam *petri dish* (tertutup) dan dikering-anginkan (modifikasi Young & Elliott, 2016).

Analisis mikroplastik

Kertas saring yang mengandung sampel mikroplastik diidentifikasi dengan mikroskop

Olympus BX-53 yang dilengkapi kamera DP21 dengan perbesaran 40x hingga 100x. Gambar yang diperoleh kemudian diolah dengan bantuan *software ImageJ* (Wayne Rasband dev.). Selanjutnya, sampel mikroplastik dikelompokkan berdasarkan warna (hitam, merah, biru, hijau, putih/transparan, dan jingga/kuning), bentuk (fragmen, *fiber*, dan *film*) dan ukuran ($\leq 100 \mu m$, 101-500 μm , 501-1000 μm , dan 1001-5000 μm) (modifikasi Barboza et al., 2019). Hasil pengelompokkan berdasarkan warna, bentuk, dan ukurannya kemudian dihitung persentase terhadap jumlah total mikroplastik untuk masing-masing jenis sampel.

Konfirmasi jenis plastik dengan FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*)

Konfirmasi jenis mikroplastik dilakukan berdasarkan kombinasi metode yang dilakukan oleh Barboza et al. (2019) dan Falahudin et al. (2017), yaitu menggunakan FTIR *Perkin Elmer* yang dilengkapi aksesoris *universal attenuated total reflectance* (UATR) dengan detektor *Zinc-Selenium* (ZnSe). Spektrum merupakan hasil dari 16x pemindaian dengan resolusi 4 cm^{-1} dalam kisaran bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} . Spektrum yang diperoleh tidak dilakukan manipulasi lebih lanjut, kecuali untuk menghilangkan *noise* akibat penggunaan detektor ZnSe pada rentang 1800-2500 cm^{-1} . Spektrum dianalisis menggunakan *Software OMNIC 9* (*Thermo Fisher Scientific Inc.*), dengan membandingkannya terhadap database referensi dengan tingkat kecocokan $\geq 75\%$. Hasil analisis menggunakan FTIR-UATR kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis mikroplastik (polietilena tereftalat/PET, polietilena/PE, polivinil klorida/PVC, polipropilena/PP, polistirena/PS, dan lainnya).

Analisis menggunakan FTIR-UATR pada partikel yang diduga sebagai mikroplastik hanya dilakukan pada sampel dengan ukuran 501-5000 μm . Hal tersebut dilakukan karena kesulitan memindahkan sampel mikroplastik dari kertas saring ke bagian kompartemen pembacaan sampel FTIR-UATR. Sampel ukuran di bawah 100 μm dan 101-500 μm diidentifikasi dengan pendekatan secara visual (mikroskopis), yaitu mencocokkannya dengan jenis yang sama pada ukuran yang lebih besar.

Pengendalian kontaminasi

Untuk mengendalikan potensi kontaminasi cemaran mikroplastik selama proses penanganan sampel, 2 blanko berisi akuades dalam cawan petri diletakkan di sekitar tempat preparasi dan di setiap tahapan analisis. Akuades tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring *whatman* selulosa nitrat dan dianalisis menggunakan mikroskop untuk

mengidentifikasi adanya kontaminan mikroplastik dari lingkungan. Selain itu, pada saat melakukan penanganan sampel dan analisis, peneliti menggunakan baju laboratorium berbahan nonpolimer plastik dan sarung tangan karet. Hasil identifikasi pada blanko akuades tidak ditemukan cemaran mikroplastik.

Analisis data

Data hasil identifikasi mikroplastik berupa jenis mikroplastik, ukuran, dan jumlahnya dihitung kelimpahannya, diolah dengan statistik deskriptif, dan disajikan dalam bentuk tabel distribusi yang dijelaskan dalam bentuk narasi. Data kelimpahan mikroplastik dihitung sebagai rerata jumlah partikel mikroplastik per gram bobot sampel (MP/g) untuk sampel ikan segar, ikan pindang dan garam. Data kelimpahan untuk sampel air rebusan dihitung sebagai rerata jumlah partikel mikroplastik per mililiter sampel (MP/mL). Perhitungan lengkap dihitung dengan persamaan 1. Data bobot dan panjang total ikan serta kelimpahan mikroplastik dianalisis lanjut menggunakan uji statistik parametrik untuk mengukur keterkaitan masing-masing variabel berdasarkan perhitungan koefisien determinasi menggunakan *software Minitab 19 (Minitab Limited Liability Company)*.

$$\text{Kelimpahan mikroplastik (partikel MP/g)} = \frac{\text{Jumlah partikel mikroplastik}}{\text{Berat sampel (g)}} \dots\dots\dots(1)$$

(Iñiguez et al., 2017)

Estimasi paparan mikroplastik pada manusia dari ikan pindang

Jumlah paparan mikroplastik pada manusia akibat konsumsi ikan diperkirakan melalui pendekatan tingkat konsumsi ikan pindang masyarakat Indonesia, yaitu 6,70 kg/kapita/tahun (diolah dari Anonim, 2019a; KKP, 2019). Jumlah asupan mikroplastik dihitung dengan persamaan 2. Mengenai batasan jumlah paparan

mikroplastik yang diperbolehkan masuk ke dalam tubuh manusia akibat konsumsi pangan sampai saat ini belum diatur di Indonesia.

$$\text{Asupan MP (MP/tahun)} = \frac{\text{Kelimpahan mikroplastik pada daging (MP/g)} \times \text{Tingkat konsumsi Ikan pindang di Indonesia (g/tahun)}}{\dots\dots\dots(2)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mikroplastik pada Ikan Segar, Ikan Pindang, Garam dan Air Rebusan Pindang

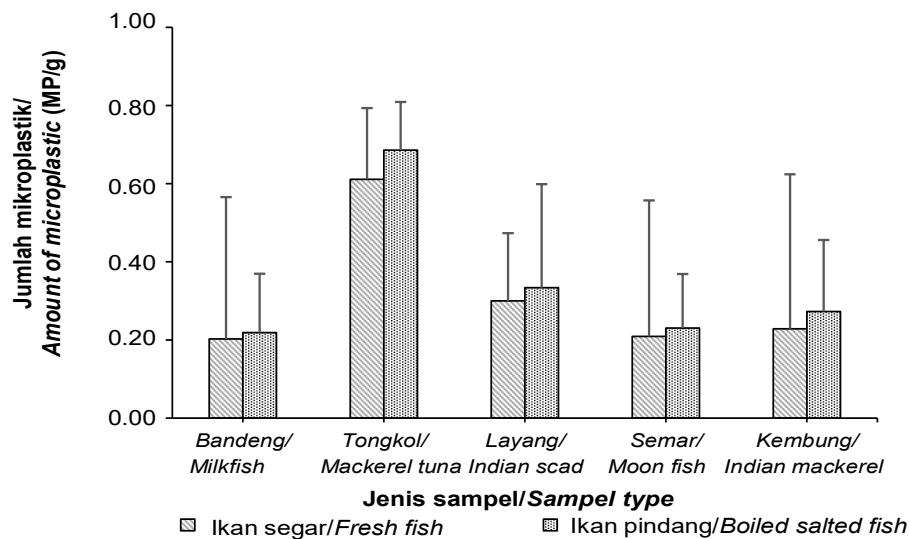
Hasil pengukuran bobot (g) dan panjang (cm) untuk sampel ikan segar dan ikan pindang adalah 26,53-112,85 g dan 12,26-19,17 cm. Hasil pengukuran bobot dan panjang total secara lengkap disajikan pada Tabel 1. Hasil pengukuran tersebut digunakan pada tahapan identifikasi sumber mikroplastik.

Hasil analisis menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan pada seluruh sampel dari 75 (100%) sampel ikan pindang bandeng, tongkol, layang, semar, dan kembung, namun pada sampel ikan segar hanya ditemukan pada 11 dari 25 (44%) sampel dengan rincian 4% bandeng, 12% tongkol, 12% layang, 4% semar, dan 12% kembung. Total sebanyak 1.260 mikroplastik dapat diidentifikasi pada 100 sampel ikan segar dan ikan pindang yang diambil, dengan rincian 1.185 MP (94,00%) pada sampel ikan pindang dan 75 MP (6,00%) pada sampel ikan segar. Grafik perbandingan jumlah mikroplastik masing-masing spesies ditampilkan pada Gambar 2.

Rerata jumlah mikroplastik untuk setiap gram bobot pada sampel ikan pindang adalah antara 0,22±0,15 dan 0,69±0,12 MP/g dan pada ikan segar berkisar antara 0,20±0,40 MP/g dan 0,61±0,18 MP/g. Keberadaan mikroplastik pada daging sampel ikan

Tabel 1. Bobot dan panjang total contoh uji (ikan segar dan produk pindang)
 Table 1. Total weight and length of samples (fresh fish and boiled salted product)

Species/Species	Rerata Bobot/ Average of Weight (g)	Rerata Panjang Total/ Average of Total Length (cm)
Bandeng/Milkfish (<i>C. chanos</i>)	101.43 ± 18.44	18.44 ± 1.55
Tongkol/Mackerel tuna (<i>E. affinis</i>)	112.85 ± 42.04	19.17 ± 1.29
Layang/Indian scad (<i>D. russelli</i>)	33.71 ± 20.22	15.29 ± 4.43
Semar/Moon fish (<i>M. maculata</i>)	72.95 ± 15.59	14.91 ± 1.52
Kembung/Indian mackerel (<i>R. kanagurta</i>)	26.53 ± 1.96	12.26 ± 0.69



Gambar 2. Perbandingan mikroplastik pada ikan segar dan pindang
 Figure 2. Comparison of microplastics in fresh fish and boiled salted fish

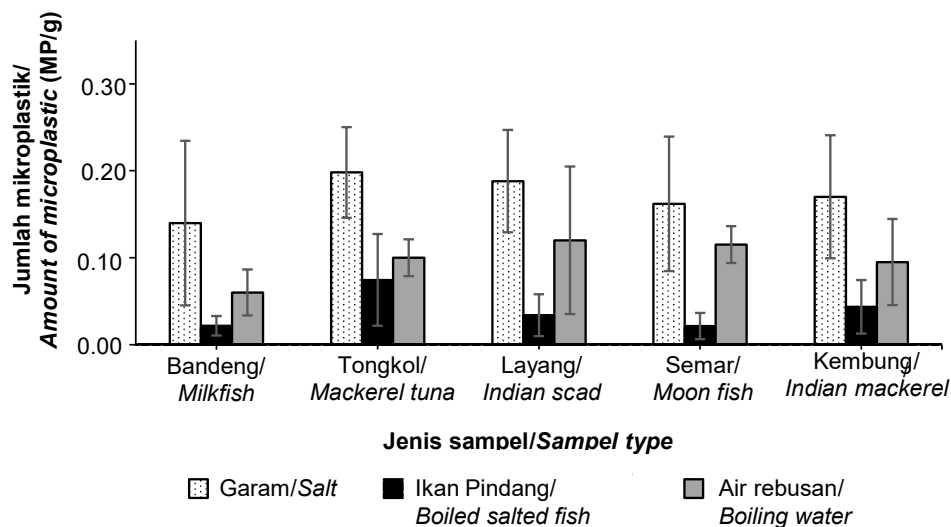
segar sejalan dengan hasil penelitian Abbasi et al. (2018); Akhbarizadeh, Moore, dan Keshavarzi (2018); Barboza et al. (2019); Sembiring, Fareza, Suendo dan Reza (2020), namun berbeda nilainya dengan spesies-spesies berikut: *Platycephalus indicus*, *Saurida tumbil*, *Sillago sihama*, *Cynoglossus abbreviatus*, *Epinephelus coioides*, *Sphyrna jello* dan *Platycephalus indicus* dari Teluk Persia; *Dicentrarchus labrax*, *Trachurus trachurus*, dan *Scomber colias* dari Samudera Atlantik; dan *Chanos chanos* dari budidaya di Indonesia. Rerata kandungan mikroplastik pada ikan segar dan ikan pindang lebih rendah jika dibanding dengan hasil penelitian kandungan mikroplastik pada daging ikan (segar) hasil penelitian Akhbarizadeh et al. (2018) yaitu sebesar $0,98 \pm 0,58$ MP/g, dan lebih tinggi dari hasil penelitian Abbasi et al. (2018); Barboza et al. (2019); dan Sembiring et al. (2020) dengan nilai berturut-turut sebesar $0,32 \pm 0,19$; $0,054 \pm 0,099$ MP/g; dan $0,012 \pm 0,002$ MP/g. Menurut Hastuti, Lumbanbatu, dan Wardiatno (2019), perbedaan tersebut diduga disebabkan oleh beberapa hal, yaitu perbedaan spesies, ukuran (bobot dan panjang) ikan, fase ontogenetik (perkembangan), jumlah sampel yang diuji, kelimpahan mikroplastik di perairan, dan waktu retensi tertelannya mikroplastik oleh ikan.

Peningkatan jumlah partikel mikroplastik pada ikan pindang dibandingkan dengan ikan segar menunjukkan terjadinya migrasi partikel mikroplastik dari garam pada proses pengolahan. Hal tersebut ditunjukkan dengan hasil pengujian koefisien determinasi antara variabel kadar mikroplastik di garam dan mikroplastik pada ikan pindang lebih besar ($R^2=0,89$) dari koefisien determinasi antara variabel

mikroplastik di ikan segar dan mikroplastik di ikan pindang ($R^2=0,10$) dengan nilai signifikansi 95% ($p < 0,05$). Penambahan jumlah partikel mikroplastik berada pada rentang 0,02 MP/g (ikan pindang bandeng) sampai dengan 0,07 MP/g (ikan pindang tongkol) atau sekitar 11-19% partikel mikroplastik dari garam bermigrasi pada ikan pindang. Penambahan partikel tersebut sejalan dengan jumlah garam yang ditambahkan pada saat pengolahan ikan pindang, yaitu sekitar 10-25% dari bobot ikan.

Ditemukannya partikel mikroplastik pada sampel kontrol (ikan segar) kemungkinan dari mikroplastik yang masuk ke dalam tubuh ikan melalui mekanisme rantai makanan, yaitu dari memangsa ikan-ikan kecil yang terpapar mikroplastik. Sumber lain dapat berasal dari mikroplastik yang ditelan langsung oleh ikan semasa hidupnya karena menduga sebagai makanan, kemudian terbawa hingga ke bagian tubuhnya (otot/daging) melalui saluran pencernaan, seperti hasil penelitian Barboza et al. (2019); Fauziah (2020); Widyawati (2019). Paparan mikroplastik melalui mekanisme lain seperti jalur pernapasan sangat kecil kemungkinannya menurut Wright dan Kelly (2017), mikroplastik harus mampu berpindah melintasi insang melalui serapan trans-seluler atau difusi para-seluler dan memasuki sistem sirkulasi (darah). Epitel pernapasan pada insang adalah bagian yang jauh lebih ketat dan sulit ditembus, mikroplastik hanya akan tertahan pada insang (Yona, Maharani, Cordova, Elvania, & Dharmawan, 2020), sehingga kemungkinan paparan melalui jalur ini sangat kecil.

Perhitungan koefisien determinasi (R^2) antara jumlah mikroplastik dengan bobot dan panjang total untuk masing-masing sampel ikan pindang



Gambar 3. Rerata jumlah mikroplastik pada garam, air rebusan, dan kenaikannya di ikan pindang
 Figure 3. The average number of microplastics in salt, boiling water, and the increase in boiled salted fish

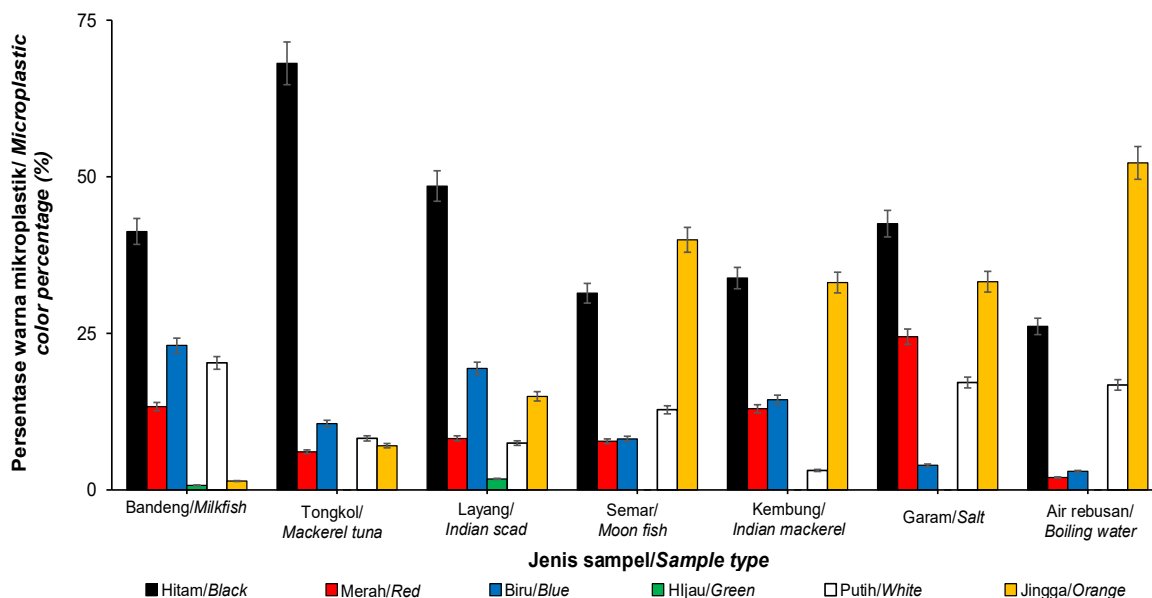
menunjukkan tidak memiliki kaitan antara kedua variabel tersebut. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai determinasi yang lemah ($R^2 < 0,5$) dan signifikan ($p < 0,05$) untuk hampir semua sampel uji ikan pindang, kecuali ikan pindang semar yang memiliki kaitan antara jumlah mikroplastik dengan bobot sebesar 65, % ($R^2 = 0,66$) pada nilai signifikansi 95 % ($p = 0,0$). Beberapa penelitian sebelumnya menemukan hal serupa yang menunjukkan tidak ada hubungan antara akumulasi mikroplastik dengan bobot total (Halstead, Smith, Carter, Lay, & Johnston, 2018; Pegado et al., 2018) dan panjang total (Digka, Tsangaris, Torre, Anastasopoulou, & Zeri, 2018; Horton, Jurgens, Lahive, van Bodegom, & Vijver, 2018). Hal tersebut juga diduga karena hampir seluruh spesies sampel uji ikan pindang cenderung berbentuk memanjang kecuali ikan pindang semar yang semakin besar bobotnya akan berbentuk semakin pipih (melebar), sehingga akan semakin banyak mikroplastik yang menempel di permukaan tubuh ikan.

Selain pada ikan (pindang dan segar) analisis mikroplastik juga dilakukan pada sampel garam dan air rebusan. Sebanyak $0,17 \pm 0,02$ MP/g (170 MP/kg) ditemukan pada sampel garam dan $0,10 \pm 0,02$ MP/mL pada sampel air rebusan (Gambar 3). Kandungan mikroplastik pada garam tersebut lebih rendah dari hasil penelitian Dwiyoitno et al. (2021) dan Kim et al. (2018) yang melaporkan masing-masing $273,5 \pm 108$ MP/kg ($\pm 0,27$ MP/g) dan lebih dari 10.000 partikel MP/kg (± 10 MP/g) pada sampel garam komersial yang diproduksi di Indonesia. Hasil uji statistik kelima garam yang digunakan pada pengolahan masing-masing ikan pindang tidak berbeda nyata ($p > 0,05$). Hal tersebut juga diperkuat dengan data hasil wawancara dengan

pengolah yang menyebutkan bahwa mereka memperoleh garam dari daerah yang sama, yaitu dari Kabupaten Indramayu dan Cirebon. Perairan Kabupaten Indramayu dan Cirebon yang berada pada kawasan yang sama di Laut Jawa serta teknologi produksi garam yang relatif sama memungkinkan garam yang dihasilkan memiliki kualitas yang serupa.

Berdasarkan komposisi warna mikroplastik pada sampel uji yang ditampilkan pada Gambar 4, ditemukan 6 warna yaitu hitam, merah, biru, hijau, putih, dan jingga. Warna-warna tersebut ditemukan pada semua spesies sampel uji, sedangkan warna hijau hanya ditemukan pada sampel ikan pindang bandeng dan layang. Hampir semua sampel uji didominasi oleh warna hitam (41,26-68,10%) dan biru (10,57-23,10%), kecuali ikan pindang semar dan kembung yang didominasi oleh warna hitam (31,40-33,81%) dan jingga (33,09-39,92%). Dominasi warna hitam pada ikan pindang diduga karena adanya proses pemanasan selama pengolahan sehingga menyebabkan perubahan warna beberapa mikroplastik yang berubah dari yang awalnya putih/hijau/biru/merah/jingga (terang) menjadi menjadi hitam (gelap). Plastik akan mengalami perubahan intensitas warna dari warna terang menjadi gelap apabila dipanaskan (Fauzi, 2016). Mikroplastik warna hitam juga dapat menjadi indikasi banyaknya jumlah kontaminan dan pengotor yang terserap dalam mikroplastik. Ditemukan mikroplastik dengan warna putih/transparan yang mengindikasikan lamanya mikroplastik tersebut mengalami fotodegradasi oleh sinar UV (Hiwari, Purba, Ihsan, Yuliadi, & Mulyani, 2019).

Bentuk mikroplastik yang ditemukan pada sebagian besar sampel ikan pindang adalah jenis *fiber*, *fragmen*, dan *film*, kecuali pada ikan pindang bandeng



Gambar 4. Persentase warna mikroplastik pada ikan pindang
 Figure 4. The percentage of microplastic color in boiled salted fish

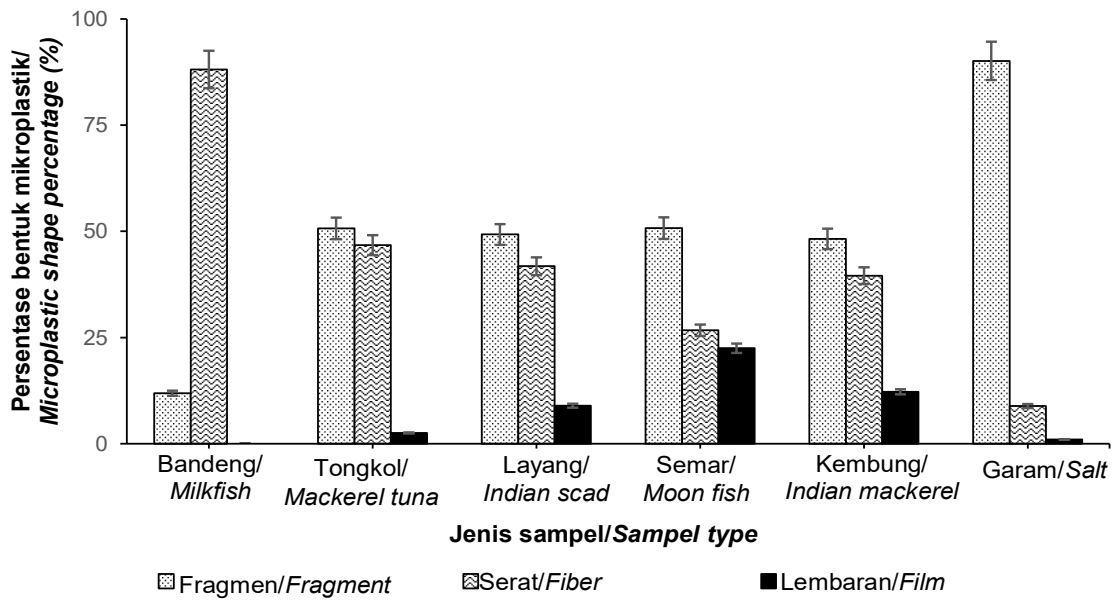
yang ditemukan hanya bentuk *fiber* dan fragmen (Tabel 2 dan Gambar 5). Hampir semua sampel uji didominasi oleh mikroplastik bentuk fragmen (48,20-82,11%), kecuali ikan pindang bandeng yang didominasi bentuk *fiber* (88,11%). Ditemukan 1.185 mikroplastik pada semua sampel uji ikan pindang, dengan komposisi 45,57% fragmen, 45,99% *fiber*, dan 8,44% *film*. Pada sampel ikan bandeng, mikroplastik *fiber* lebih banyak ($\geq 88\%$) daripada fragmen ($\geq 12\%$). Sampel ikan pindang tongkol, layang, semar, dan kembung didominasi oleh mikroplastik jenis fragmen 48-51% dan *fiber* 27-47%, sisanya *film* 3-22%.

Komposisi jenis mikroplastik yang ditemukan pada ikan pindang tongkol, layang, semar, dan kembung memiliki kesamaan dengan komposisi jenis mikroplastik pada garam, yaitu jenis fragmen, warna hitam dengan ukuran 100-500 μm lebih dominan. Hal ini menunjukkan sebagian besar penambahan mikroplastik pada keempat spesies tersebut adalah jenis fragmen (ukuran 101-500 μm), dengan kenaikan 17,40-29,70% (dari ikan segar). Berbeda halnya dengan ikan pindang bandeng, penambahan mikroplastik akibat penambahan garam didominasi oleh jenis *fiber* ukuran 100-5000 μm . Sifat permukaan bahan baku ikan yang lengket (memiliki kolagen) lebih mudah mengikat partikel kecil (fragmen) dan ringan (*fiber*) yang ada pada garam yang ditambahkan saat proses pengolahan. Kolagen akan sedikit melunak dan lengket pada saat ikan dimasak (dipanaskan), sehingga akan mengikat partikel garam yang bercampur dengan mikroplastik, bahkan mikroplastik

diduga akan masuk lebih dalam menuju batas antara daging dan kulit ikan. Kandungan mikroplastik dalam ikan pindang lebih banyak akibat penambahan garam dibandingkan berasal dari bahan baku ikan segarnya. Hal tersebut diperkuat dengan rendahnya jumlah ikan segar yang terpapar mikroplastik (44%) jika dibanding dengan ikan pindang (100%).

Komposisi bentuk mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini sejalan dengan penelitian Kim et al. (2018) yang memaparkan bahwa fragmen merupakan bentuk yang dominan (63%) ditemukan pada garam hasil olahan dari bahan baku air laut, diikuti *fiber* (31%), dan sisanya *sheets/film* (6%) dengan ukuran dominan <500 μm . Penelitian Kim et al. (2018) menggunakan sampel garam dari air laut yang berasal dari 16 negara di dunia (termasuk Indonesia). Dominasi bentuk mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian Cordova, Purwiyanto, dan Suteja (2019); Dwiyo, Andayani, Anissah, Januar, dan Wibowo (2020); Syakti et al. (2017), menyebutkan bahwa sampah plastik yang paling dominan ditemukan di perairan Indonesia adalah botol bekas minuman (fragmen), kantong plastik polietilena (*film*), dan senar pancing (*fiber*).

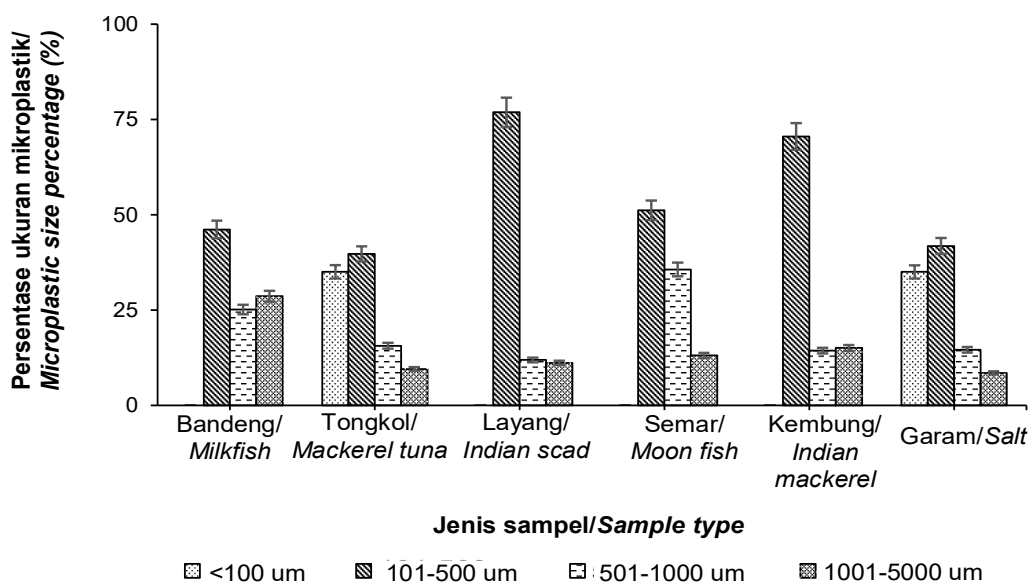
Berdasarkan ukuran mikroplastik pada ikan pindang yang disajikan pada Gambar 6, semua spesies memiliki lebih banyak mikroplastik ukuran 101-500 μm (40-77%) dibanding ukuran <100 μm (0-35%), 501-1000 μm (12-36%) dan 1001-5000 μm (9-29%). Mikroplastik dengan ukuran <100 μm tidak dapat dikonfirmasi seluruhnya sebagai mikroplastik, melainkan hanya sebanyak 30% (Kim et al., 2018).



Gambar 5. Persentase bentuk mikroplastik pada sampel ikan pindang
 Figure 5. Percentage of microplastic shape in boiled salted fish sample

Tabel 2. Mikroskopi mikroplastik yang ditemukan pada ikan pindang, garam, dan air rebusan (perbesaran 40x)
 Table 2. Microplastic microscopy found in boiled salted fish, salt, and cooking water (40x magnification)

Jenis Sampel/ Sample Type	Jenis Mikroplastik/Microplastic Type		
	Serat/Fiber	Fragmen/Fragment	Lembaran/Film
Ikan pindang/ Boiled salted fish			
Garam/Salt			
Air rebusan/ Boiling water			



Gambar 6. Persentase ukuran mikroplastik pada ikan pindang
 Figure 6. Percentage of microplastic size in boiled salted fish

Berdasarkan ukurannya, diduga mikroplastik yang terdapat dalam ikan pindang sebagian besar (ukuran >100 μm) berasal dari penambahan garam atau melalui mekanisme absorpsi non seluler. Hal tersebut terlihat dari kemiripan profil ukuran mikroplastik ikan pindang yang lebih mirip dengan profil ukuran mikroplastik pada garam (didominasi mikroplastik 101-500 μm : 40-70%) dibanding ikan segarnya (didominasi mikroplastik <100 μm : 0-81,82%) dan ikan segar yang hanya ditemukan mikroplastik pada 44% sampel uji.

Studi sebelumnya menegaskan bahwa mikroplastik pada sampel yang berasal dari lingkungan secara signifikan ditaksir terlalu tinggi atau terlalu rendah jika dianalisis secara stereomikroskopi (Chae, Kim, Song, Kim, & Kim, 2014; Song et al., 2015). Silva et al. (2018) menambahkan kesalahan identifikasi mikroplastik melalui pengamatan visual dapat mencapai 20%. Sehingga hasil identifikasi secara visual menggunakan mikroskop perlu dikonfirmasi lebih lanjut, salah satunya menggunakan FTIR.

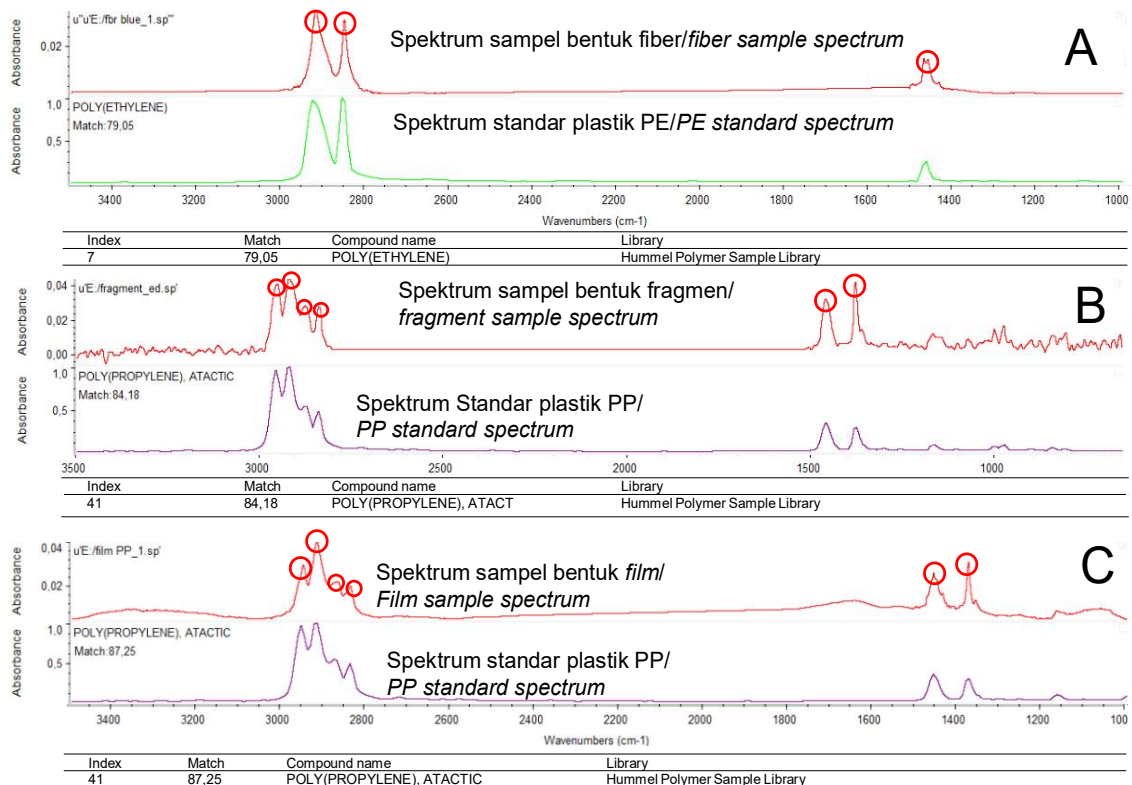
Konfirmasi dengan Analisis FTIR

Hasil analisis lanjutan dengan FTIR-UATR dan identifikasi menggunakan software *Thermo Fisher OMNIC 9*, polimer yang paling banyak ditemukan pada ikan pindang adalah PP dan variasinya (*atactic* PP, *syndiotactic* PP) yaitu sebanyak 54% yang tersebar dalam bentuk fragmen dan *film*; dan PE: sebanyak 46% yang dominan ditemukan dalam bentuk *fiber* dan fragmen (Gambar 7). *Atactic* dan *syndiotactic*

menunjukkan orientasi gugus metil penyusun polimer PP. Jika gugus metil dalam rantai polipropilen tidak menunjukkan orientasi yang disukai oleh gugus karbon (C), polimer tersebut disebut *atactic*, sedangkan ketika posisi kelompok metil bergantian maka disebut *syndiotactic* (Anonim, 2020).

Polietilena termasuk golongan termoplastik yang digunakan secara luas oleh konsumen sebagai kantong plastik, botol susu, kemasan deterjen, kemasan margarin, pipa air, tempat sampah, pipa gas dan lain sebagainya. Polipropilena juga termasuk ke dalam jenis polimer termoplastik yang digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya: pengemasan, tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah pakai ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, dan uang kertas polimer.

Dwiyitno et al. (2020) melaporkan bahwa sampah plastik di perairan Teluk Jakarta didominasi oleh sampah yang berasal dari kemasan dan produk konsumen berjenis PE dan PP (berdasarkan luas area observasi), sisanya berjenis PS, PET, dan PVC dengan konsentrasi sekitar 257-1.280 partikel plastik/km². Pada lokasi berbeda Cordova et al. (2019) dan Syakti et al. (2017) melaporkan hasil observasinya tentang dominasi mikroplastik jenis PP (*atactic* PP, *syndiotactic* PP), *low density* PE, dan PS di perairan Surabaya Utara dan Cilacap. Sebanyak 90% bahan baku ikan segar pengolah pindang ikan didatangkan dari Jakarta (Muara Baru dan Muara Angke) (Firdaus,



Gambar 7. Spektrum FTIR dan hasil identifikasi menggunakan *software* OMNIC 9 untuk sampel: (A) *fiber* PE, (B) fragmen PP dan (C) *film* PP
 Figure 7. FTIR spectrum and identification results using OMNIC 9 software for samples: (A) PE fiber, (B) PP fragment and (C) PP film

2014; Sari, 2016) yang diduga merupakan hasil tangkapan dari perairan sekitar Teluk Jakarta dan bahan baku garamnya berasal dari daerah Pantai Utara Jawa. Kondisi perairan sumber bahan baku berasal yang sudah tercemar sampah plastik rumah tangga mengindikasikan bahwa mikroplastik yang ditemukan pada sampel uji sebagian besar berasal dari sampah plastik rumah tangga yang terbawa ke laut. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk mengurangi pencemaran sampah plastik di laut, salah satunya dengan membangun kesadaran masyarakat untuk tidak membuang sampah ke perairan dan menjelaskan bahayanya bagi kesehatan dan lingkungan. Sampah-sampah yang sudah terakumulasi di laut perlu dibersihkan dengan peralatan modern seperti *waste trap* milik *The Ocean CleanUp* (Anonim, 2019b) yang mampu membersihkan sampah yang berada di laut (terapung atau tenggelam).

Estimasi Paparan Mikroplastik pada Manusia dari Ikan Pindang dan Potensi Bahayanya

Potensi bahaya cemaran mikroplastik dapat berasal dari bahan baku ikan, garam, dan produk ikan

pindang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen bahan baku dan produk ikan pindang memiliki kandungan mikroplastik masing-masing $0,31 \pm 0,17$ MP/g pada ikan segar; $0,35 \pm 0,09$ MP/g pada ikan pindang; dan $0,17 \pm 0,02$ MP/g pada garam. Hasil penelitian tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat bahaya cemaran mikroplastik akibat konsumsi ikan pindang. Berdasarkan rerata mikroplastik yang terdapat pada sampel ikan pindang ($0,35 \pm 0,09$ MP/g, N = 75) dan tingkat konsumsi ikan pindang di Indonesia (6,70 kg/kapita/tahun) (diolah dari Anonim, 2019a; KKP, 2019), maka perkiraan jumlah paparan mikroplastik pada manusia adalah 2.345 ± 603 partikel MP/tahun.

Keberadaan mikroplastik pada daging ikan pindang memiliki potensi bahaya bagi kesehatan manusia yang mengkonsumsinya. Potensi bahaya tersebut karena daging ikan merupakan bagian utama yang umum dikonsumsi. Plastik umumnya disusun oleh monomer-monomer dan bahan aditif yang berfungsi untuk meningkatkan stabilitas, daya tahan, dan melindungi dari pengaruh lingkungan. Salah satu jenis aditif yang sering ditambahkan adalah platisizer yang memiliki fungsi memberikan fleksibilitas dan melembutkan

polimer (plastik). Penelitian toksikologi pada mencit menunjukkan gangguan *plastisizer* jenis DIBP/*diisopropylbenzene* (Shinshi & Kogo, 1980), DBP/*dibutyl phthalate* (Zimmer, 2008), MEHP/*monoethylhexyl phthalate* (Papadopoulos, 2007) terhadap sistem reproduksi dan *endocrine disrupting compounds* (EDCs). DIBP, DBP dan MEHP memiliki efek bagi kesehatan mirip seperti komonomer *bisphenol A* yang dapat menyebabkan gangguan pada saluran endokrin (Muncke, 2009; Geueke & Muncke, 2018). Beberapa komponen *stabilizer* plastik seperti Caradate 30 dapat menyebabkan kram perut dan muntah-muntah pada konsentrasi 0,05-0,1 ppm (Pohanish, 2017) dan Chissonox 206 bersifat karsinogenik pada manusia (Anonim, 2011; ICSC, 1998; IARC, 1987; IARC, 1994; Lahimer, Ayed, Horriche, & Belgaied, 2017).

Paparan mikroplastik dianggap sebagai ancaman berbahaya bagi manusia karena menyebabkan gangguan yang disebabkan oleh mikropartikel itu sendiri dan penyerapan bahan kimia berbahaya pada plastik (Bouwmeester, Hollman & Peters, 2015; Wright & Kelly, 2017). Setelah masuk ke dalam tubuh manusia melalui proses ingesti, mikroplastik akan berpindah menuju system limfatik dan peredaran darah (Hussain, Jaitley & Florence, 2001; Peixoto et al. 2019; Rieux et al., 2005; Waring, Harris & Mitchell, 2018). Sifatnya yang *non-biodegradable*, mikroplastik diduga akan terakumulasi pada organ manusia (Lusher, Welden, Sobral & Cole, 2017; Lusher, Hollman & Mendoza-Hill, 2017; Smith, Love, Rochman & Neff, 2018) dan kemungkinan memiliki dampak pada sistem imun dan kondisi sel (Teuten et al., 2009; van der Meulen et al., 2015). Selain itu partikel mikroplastik akan sangat mudah menyerap kontaminan organik hidrofobik (PAH/*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*, pestisida organoklorin, *polychlorinated biphenyls*), logam berat (Cd, Pb, Se, Cr), non logam (Si, N, C), dan aditif/monomer (*bisphenol-A*, *polybrominated diphenyl ethers*, *nonylphenols*, dan *octylphenol*) (Jiang, 2018; Massos & Turner, 2017; Mato et al., 2001; Ogata et al., 2009; Smith et al., 2018; Teuten et al., 2009; Waring et al., 2018; Wright & Kelly, 2017) yang dapat mempengaruhi sistem biologis dan ancaman bagi manusia dan hewan walaupun dalam dosis rendah (ATSDR, 2015; Barboza et al., 2020; Smith et al., 2018).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya mikroplastik sebanyak $0,22 \pm 0,15$ sampai dengan $0,69 \pm 0,12$ MP/g pada ikan pindang atau meningkat sekitar 10-19% jika dibandingkan dengan bahan baku ikannya. Analisis lanjutan menunjukkan mikroplastik yang

paling banyak ditemukan adalah jenis polipropilena (54%) dalam bentuk fragmen dan *film* serta polietilena (46%) dalam bentuk *fiber* dan fragmen. Perkiraan paparan mikroplastik akibat mengkonsumsi ikan pindang yang didasarkan pada jumlah konsumsi ikan pindang adalah 2.345 ± 603 MP/orang/tahun.

Adanya mikroplastik pada ikan pindang, dapat dikurangi atau bahkan dihindari dengan upaya mengurangi jumlah kandungan mikroplastik dari bahan baku utama ikan pindang yaitu ikan dan garam. Dalam hal ikan sebagai bahan baku, penulis merekomendasikan perlu diupayakan pengurangan akumulasi sampah plastik yang dibuang ke laut (perairan) dan perlu adanya *pre-treatment* terhadap ikan bahan baku atau menggunakan ikan budidaya untuk bahan baku ikan pindang. Untuk mengurangi cemaran mikroplastik pada garam, perlu diupayakan penggunaan teknologi yang lebih baik seperti aplikasi penyaringan bertingkat untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan pencemar mikroplastik pada pembuatan garam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP), Kementerian Keuangan Tahun 2020-2021. Dalam penyusunan makalah penelitian ini Gunawan bertindak sebagai kontributor utama. Penulis mengucapkan terimakasih kepada LPDP sebagai sponsor pelaksanaan studi dan penelitian ini; kepala dan staf laboratorium kimia instrumen dan mikrobiologi BBRP2BKP; kepala dan staf Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Bogor; dan kepala dan staf Dinas Keamanan Pangan dan Perikanan Kota Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., & Hassanaghaei, M. (2018). Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere*, 205, 80-87. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.04.076
- Adawyah, R. (2011). *Pengolahan dan pengawetan ikan*. Jakarta(ID): Bumi Aksara.
- Akhbarizadeh, R., Moore, F., & Keshavarzi, B. (2018). Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf. *Environ. Pollut.*, 232, 154-163. doi: 10.1016/j.envpol.2017.09.028
- Anonim. (2011). *Report on carcinogens, twelfth ed., 2011*. Research Triangle Park, NC: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program.
- Anonim. (2018). Jumlah produksi olahan mikro berdasarkan jenis pengolahan di Jawa Barat.

- Internet. (Diakses: 2021 Agt 190]. Bandung (ID): Dinas Kelautan dan Perikanan Jawa Barat. Retrieved from: <https://opendata.jabarprov.go.id/id/dataset/jumlah-produksi-olahan-mikro-berdasarkan-jenis-pengolahan-di-jawa-barat>
- Anonim. (2019a). *Angka konsumsi ikan (AKI) tahun 2019*. Internet. (Diakses: 2021 Sep 17). Jakarta(ID): Kementerian Kelautan dan Perikanan. Retrieved from:<https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=aki&i-209#panel-footer>
- Anonim. (2019b). *Pembersih laut terbesar di dunia ini diklaim mampu angkat 90% sampah*. Internet. (Diakses: 2021 Sep 12). Jakarta(ID): Liputan6: <https://hot.liputan6.com/read/3993113/pembersih-laut-terbesar-di-dunia-ini-diklaim-mampu-angkat-90-sampah-keren#:~:text=System%20001%20adalah%20alat%20sepanjang,arus%20air%20lebih%20jauh%20lagi>.
- Anonim. (2020). *PP (Polypropylene)*. Retrieved from: <https://delta-engineering.be/pp>
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). (2015). *Public health statement: polychlorinated biphenyls (PCBs)*. Retrieved from: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/PHS/PHP.aspx?phsid=139&toxid=26>
- Barboza, L. G. A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., ... & Guilhermino, L. (2020). Microplastic in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of The Total Environment*, 134625. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134625
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C., & Peters, R. J. B. (2015). Potential health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environmental Science Technology*, 49(15), 8932-8947. doi: doi.org/10.1021/acs.est.5b01090
- Chae, D. H., Kim, I. S., Song, Y. K., Kim, S., & Kim, S. K. (2014). Development of analytical method for microplastics in seawater. *The Sea: Journal of the Korean Society of Oceanography*, 19(1), 88-98. doi: 10.7850/jkso.2014.19.1.88
- Cordova, M., & Wahyudi, A. (2016). Microplastic in the Deep-Sea Sediment of Southwestern Sumatran Waters. *Marine Research in Indonesia*, 41(1), 27-35. doi: 10.14203/mri.v41i1.99
- Cordova, M. R., Purwiyanto, A. I. S., & Suteja, Y. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in the northern coastal waters of Surabaya, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 83-188. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.03.040
- Dewi, I. S., Budiarsa, A. A. & Ritonga, I. R. (2015). Distribusi mikroplastik pada sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara. *J. Depik*, 4(3), 121-131. doi: 10.13170/depik.4.3.2888
- Digka N., Tsangaris C., Torre M., Anastasopoulou A. & Zeri C. (2018). Microplastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 30-40.
- Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Bogor. (Disnakan) (2020). *Laporan tahunan tahun 2020*. Bogor (ID): Dinas Peternakan dan Perikanan.
- Dinas Keamanan Pangan dan Perikanan Kota Bogor (DKP). (2020). *Laporan tahunan tahun 2020*. Bogor (ID): Dinas Keamanan Pangan dan Perikanan.
- Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Sukabumi (DKP). (2015). *Laporan Tahunan Tahun 2015*. Sukabumi (ID): Dinas Kelautan dan Perikanan.
- Dwiyitno, Januar, H. I., Andayani, F., Gunawan, Barokah, G. R., Anissah, U., & Putri, A. K. (2018). *Keamanan produk perikanan dari polutan organik dan marine debris (Mikroplastik)*. Laporan Teknis. Jakarta (ID): Badan Riset dan SDM, Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Dwiyitno, Andayani, F., Anissah, U., Januar, H. I., & Wibowo, S. (2020). Concentration and characteristic of floating plastic debris in Jakarta Bay: a preliminary study. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnonology*, 15(3) 2020, 109-117. doi: 10.15578/squalen.v15i3.462
- Dwiyitno, Sturm, M. T., Januar, H. I., & Schuhen, K. (2021). Influence of various production methods on the microplastic contamination of sea salt produced in Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 30409-30413. doi: 10.1007/s11356-021-14411-6
- Falahudin, D., Cordova, M. R., Sun, X., Yogaswara, D., Wulandari, I., Hindarti, D., & Arifin, Z. (2017). The first occurrence, spatial distribution and characteristics of microplastic particles in sediments from Banten Bay, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 135304. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135304
- Fauzi, F. (2016). *Pengaruh degradasi termal polivinil klorida terhadap nilai konduktivitas*. skripsi. Medan (ID). Universitas Sumatera Utara.
- Fauziah, A. E. (2020). *Mikroplastik pada saluran pencernaan ikan dari Teluk Palabuhanratu, Jawa Barat*. skripsi. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Firdaus, N. (2014). *Analisis nilai tambah usaha pemindangan ikan (studi kasus di UD. Cindy Group, Kabupaten Bogor)*. skripsi. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Gay, L. R., Mills, G. E., & Airasian, P. (2009). *Educational research, competencies for analysis and application*. New Jersey(US): Pearson Education, Inc.
- Geueke, B. & Muncke, J. (2018). Substances of very high concern in food contact materials: migration and regulatory background. *Packag. Technol. Sci.*, 31(12),757-769. doi: 10.1002/pts.2288
- Halstead, J. E., Smith, J. A., Carter, E. A., Lay, P. A. & Johnston, E.L. (2018). Assessment tools for microplastics and natural fibers ingested by fish in an urbanised estuary. *Environmental Pollution*, 234, 552-561. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.085
- Hasuti, A. R., Lumbanbatu, D. T. F., & Wardiatno, Y. (2019). The presence of microplastics in the digestive tract of commercial fishes off Pantai Indah Kapuk coast, Jakarta, Indonesia. *Biodiversitas*, 20 (5), 1233-1242. doi: 10.13057/biodiv/d200513

- Hermana, I., Kusmarwati, A., & Yennie, Y. (2018). Isolasi dan identifikasi kapang dari ikan pindang. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 13(1), 81-92. doi: 10.15578/jpbkp.v13i1.492
- Hildanilyulia. (2012). Tepung telur, ikan asin, aneka ikan pindang, bandeng presto (durilunak), chicken nugget. *Teknologi Pangan dan Agroindustri*. 8(1), 111-115.
- 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. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 5(2), 165-171. doi: 10.13057/psnmbi/m050204
- Holmes, L. A., Turner, A., & Thompson, R. C. (2012). Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environmental Pollution*, 160(1), 42-48. doi: 10.1016/j.envpol.2011.08.052
- Horton, A. A., Jurgens, M.D., Lahive, E., van Bodegom, P. M., & Vijver, M. G. (2018). The influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by the freshwater fish *Rutilus rutilus* (roach) in the River Thames, UK. *Environmental Pollution*, 236, 188-194. doi: 10.1016/j.envpol.2018.01.044
- Hussain, N., Jaitley, V., & Florence, A. T. (2001). Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 50, 107-142. doi: 10.1016/S0169-409X(01)00152-1
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (1987). *Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC monographs, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol 1-42, Suppl. 7*. International Agency for Research on Cancer, Lyon.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (1994). *Some industrial chemicals. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks, vol. 60*. International Agency for Research on Cancer, Lyon.
- International Chemical Safety Cards (ICSC). (1998). *ICSC: International chemical safety cards no. 0820, 1998 validated*. National Institute for Occupational Safety and Health.
- Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific Reports*, 7, 8620. doi:10.1038/s41598-017-09128-x.
- 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. doi: 10.1126/science.1260352
- Jiang, J. Q. (2018). Occurrence of microplastics and its pollution in the environment: a review. *Sustainable Production and Consumption*, 13, 16-23. doi: 10.1016/j.spc.2017.11.003
- Kim, J. S., Lee, H. -J., Kim, S. K., & Kim, H. J. (2018). Global pattern of microplastics (MPs) in commercial food-grade salts: sea salt as an indicator of seawater MP pollution. *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/acs.est.8b04180
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). (2019). *Kelautan dan perikanan dalam angka*. Jakarta (ID):KKP
- Lahimer, M. C., Ayed, N., Horriche, J., & Belgaied, S. (2017). Characterization of plastic packaging additives: Food contact, stability and toxicity. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1938-S1954. doi:10.1016/j.arabjc.2013.07.022
- Lusher, A., Welden, N. A., Sobral, P., & Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods*, 9, 1346-1360. doi: 10.1039/c6ay02415g.
- Lusher, A. L., Hollman, P. C. H., & Mendoza-Hill, J. J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture - status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO, Fisheries and Aquaculture Technical paper*, 978-92-5-109882-0.
- Massos, A. & Turner, A. (2017). Cadmium, lead and bromine in beached microplastics. *Environmental Pollution*, 227, 139-145. doi: 10.1016/j.envpol.2017.04.034.
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., & Kaminuma, T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science Technology*, 35, 318-324. doi: 10.1021/es0010498.
- Muncke, J. (2009). Exposure to endocrine disrupting compounds via the food chain: is packaging a relevant source?, *Science of the Total Environment*, 407(16),4549-4559. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.05.006.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2015). *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. U.S. Department of Commerce Technical Memorandum NOS-OR&R-48
- Ogata, Y., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., ... & Thompson, R. C. (2009). International Pellet Watch: global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine Pollution Bulletin*, 58,1437-1446. doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.06.014.
- Papadopoulos, V. (2007). *The leydig cell in health and disease*. A.H. Payne, M.P. Hardy (Eds.), *Environmental factors that disrupt leydig cell steroidogenesis*, Humana Press, Totowa, NJ (2007), pp. 393-415
- Pegado, T. S. S., Schmid, K., Winemiller, K. O., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L. & Giarrizzo, T. (2018). First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 814-821
- Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., & Vieira, M. N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. doi:10.1016/j.ecss.2019.02.018
- Pohanish, R. P. (2017). *Sittig's handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogens*. Elsevier,

- Amsterdam(ND). doi:10.1016/B978-1-4377-7869-4.00030-8
- Riyanto, S. (2011). *Quality characterized boiled fish motan (Thynnichthys polylepis) with different boiling time*. skripsi. Riau (ID): Univesitas Riau.
- Rieux, A. Des., Ragnarsson, E. G. E., Gullberg, E., Pr at, V., Schneider, Y. J., & Artursson, P. (2005). Transport of nanoparticles across an in vitro model of the human intestinal follicle associated epithelium. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 25, 455–465. doi: 10.1016/j.ejps.2005.04.015.
- Rochman, C. M., Hentschel, B. T., & Teh, S. J. (2014). Long-term sorption of metals is similar among plastic types: implications for plastic debris in aquatic environments. *Plos One* 9(1), e85433.
- Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T., ... & 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, 14340. doi:10.1038/srep14340.
- Sari, S.M. (2016). *Buntut mogok Muara Baru: pembuat pindang mulai kesulitan bahan baku*. Internet. [Diunduh: 2020 Apr 28]. Jakarta (ID):Bisnis.com. Tersedia pada: <https://kalimantan.bisnis.com/read/20161016/99/592968/buntut-mogok-muara-baru-pembuat-pindang-mulai-kesulitan-bahan-baku>
- Semiring, E., Fareza, A. A., Suendo, V. & Reza M. (2020). The presence of microplastics in water, sediment, and milkfish (*Chanos chanos*) at the downstream area of Citarum River, Indonesia. *Water, Air, & Soil Pollution* 231, 355. doi: 10.1007/s11270-020-04710-y
- Shinshi, O. & Kogo, H. (1980). Effect of phthalic acid esters on mouse testes. *Toxicology Letters*, 5(6), 413-416. doi: 10.1016/0378-4274(80)90024-7
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5, 375–386. doi: 10.1007/s40572-018-0206-z.
- Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I. L., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. A. P. (2018). Microplastics in the environment: challenges in analytical chemistry-A review. *Analytica Chimica Acta.*, 1017, 1-19. doi: 10.1016/j.aca.2018.02.043
- Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Rani, M., Lee, J., & Shim, W. J. (2015). A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples. *Marine Pollution Bulletin*, 93(1-2), 202-209.
- Syakti, A. D., Bouhroum, R., Hidayati, N. V., Koenawan, C. J., Boulkamh, A., Sulisty, I., ... & Wong-Wah-Chung, P. (2017). Beach macro-litter monitoring and floating microplastic in coastal area of Indonesia. *Buletin Marine Pollution*, 122(1–2), 217–225. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.06.046
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Bjorn, A., ... & 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, 2027–2045. doi: 10.1098/rstb.2008.0284
- Universitas Udayana (UNUD) & Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). (2017). *Sebaran distribusi sampah di seluruh pesisir Pulau Bali pada 2017*. Laporan Riset. Bali (ID): UNUD dan CSIRO.
- van der Meulen, M. D., Devriese, L., Lee, J., Maes, T., Van Dalfsen, J. A., Huvet, A., ... & Vethaak, A. D. (2015). Socio-economic impact of microplastics in the 2 Seas, Channel and France Manche Region: an initial risk assessment. MICRO Interreg project IVa. *Mededeling ILVO*, (177).
- Waring, R. H., Harris, R. M., & Mitchell, S. C. (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health?. *Maturitas*, 115, 64–68. doi:10.1016/j.maturitas.2018.06.010
- Widyawati, N. (2019). *Komposisi mikroplastik pada saluran pencernaan ikan*. skripsi. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Widriya, Y. (2019). *Pemindangan, teknik pengolahan ikan yang memiliki potensi meningkatkan konsumsi ikan Nasional*. Internet. [Diakses: 2020 Agt 18]. Jakarta(ID): KKP. Retrieved from: <https://kkp.go.id/djpdspkp/bbp2hp/artikel/11443-pemindangan-teknik-pengolahan-ikan-yang-memiliki-potensi-meningkatkan-konsumsi-ikan-nasional>
- Wright, S. L. & Kelly, F.J. (2017). Plastic and human health: a micro issue?. *Environmental Science Technology* , 51(12), 6634–6647 doi: 10.1021/acs.est.7b00423
- Yona, D., Maharani, M. D., Cordova, M. R., Elvania, Y., & Dharmawan, I. W. E. (2020). Analisis mikroplastik di insang dan saluran pencernaan ikan karang di tga pulau kecil dan terluar Papua, Indonesia: kajian awal. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 495-505. doi: 10.29244/jitkt.v12i2.25971
- Young, A. M., & Elliott, J. A. (2016). Characterization of microplastic and mesoplastic bebris sediments from Kamilo Beach and Kahuku Beach, Hawai'i. *Marine Pollution Bulletin*, 113, 477–482. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.11.009.
- Zimmer, A. C. (2008). *Chemical pollutants: children at risk*. Atelier Editions. Paris(FR): Atelier.