

#### **4. SUMBER DAN RUTE PAPARAN PADA PANGAN OLAHAN**

Sumber kontaminasi mikroplastik pada pangan olahan ada kemungkinan dapat masuk melalui berbagai sumber. Terkait sumber kontaminasi mikroplastik yang telah ditemukan diketahui dapat melalui beberapa faktor antara lain bahan baku, proses produksi, dan cara konsumsi.

##### **4.1. Rute Paparan Mikroplastik pada Produk Pangan Melalui Bahan Baku**

Masuknya mikroplastik salah satunya dapat berasal dari bahan baku produk pangan itu sendiri. Bahan baku utama produk garam dapat digolongkan tergantung dari jenisnya seperti garam laut bersumber dari air laut, garam danau bersumber dari air danau, dan garam batu bersumber dari halit (Kim *et al.*, 2018). Pada garam ditemukan mikroplastik dalam bentuk serat dan fragmen (Tabel 3) yang kemungkinan dapat masuk ke produk melalui air laut yang terkontaminasi. Kontaminasi air laut sendiri dapat berasal dari pembuangan sampah/limbah yang tidak tepat (Fadare *et al.*, 2021). Hasil tersebut sesuai dengan (Henry *et al.*, 2019) bahwa mikroplastik teridentifikasi sebagian besar di lingkungan laut dan dapat sulit terurai dalam waktu yang cukup lama. Sehingga semakin tingginya kontaminasi mikroplastik pada bahan baku akan semakin mempengaruhi kontaminasi pada produk garam (Yang *et al.*, 2015 ; Lee *et al.*, 2019; Gündoğdu, 2018).

Terasi terbuat dari garam laut dan krill yang diproses dengan fermentasi. Pada terasi kontaminasi mikroplastik ditemukan dalam bentuk serat, fragmen, dan filamen seperti yang ditunjukkan pada (Tabel 7) yang kemungkinan dapat masuk melalui bahan baku seperti garam laut, krill dan air bekas pemakaian (Sutthacheep *et al.*, 2021). Hal tersebut sesuai pula dengan beberapa peneliti yang telah melaporkan keberadaan mikroplastik ditemukan didalam garam (Kim *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2018; Iñiguez *et al.*, 2017). Sehingga penggunaan garam meski hanya sedikit sebagai bahan tambahan pangan pada produk olahan lain tetapi dapat mempengaruhi kontaminasi mikroplastik ke dalam produk. Selain itu,

karena terasi terbuat dari krill yang hadir dengan ukuran kecil sehingga selama penangkapan krill diperlukan penggunaan jaring dengan ukuran mata jaring yang kecil agar lebih mudah (Sutthacheep *et al.*, 2021). Oleh karena itu ada kemungkinan mikroplastik dapat mengkontaminasi saat proses pengumpulan krill sehingga hal tersebut dapat terjadi perpindahan kontaminasi ke dalam produk terasi.

Pada madu bahan baku utamanya berupa cairan yang memiliki rasa manis dan berasal dari bunga atau tanaman (Wibowo *et al.*, 2016). Sehingga kemungkinan masuknya mikroplastik ke dalam madu juga dapat berasal dari bahan asing yang mengkontaminasi serbuk sari asal tanaman tersebut kemudian dibawa oleh lebah ke dalam sarang, serta dapat pula karena penambahan bahan baku lain selama proses produksi (Diaz-Basantos *et al.*, 2020; Liebezeit & Liebezeit, 2013, 2015). Hal tersebut juga ditunjukkan oleh (Liebezeit & Liebezeit, 2015) bahwa berbagai spesies tanaman berbunga terdapat kemungkinan mampu mengkontaminasi partikel serat dan fragmen sehingga pada madu mengandung rata-rata  $19,0 \pm 77,9$  (Tabel 7). Berbeda dengan hasil yang dilaporkan oleh Mühlischlegel *et al.*, (2017) bahwa mikroplastik dapat masuk ke dalam madu tidak berasal dari lingkungan tetapi kemungkinan berasal selama aktivitas peternakan lebah saat produksi.

Bahan baku nori kering pada umumnya yaitu rumput laut merah (Rhodophyta) dengan jenis porphyra atau genus piropia yang dikeringkan dahulu tetapi jenis rumput laut tersebut biasanya dibudidayakan di iklim subtropis sehingga tidak banyak dibudidayakan di Indonesia (Kuda *et al.*, 2005). Hal tersebut sesuai dengan sampel nori kering yang dilaporkan oleh Li *et al.*, (2020) bahwa bahan baku utama yang digunakan yaitu nori segar jenis piropia spp. yang diambil dari laut kuning di Cina. Hasil penelitiannya melaporkan pula bahwa mikroplastik kemungkinan dapat masuk ke dalam nori kering melalui air laut yang terkontaminasi atau bahan baku itu sendiri yang terpapar selama proses budidaya

rumpun laut menggunakan tali plastik untuk pemasangan bibit dan melalui jaring ikan yang digunakan untuk pengambilan ikan di sekitarnya.

Pada makanan kaleng umumnya bahan baku yang digunakan akan mengalami proses pengolahan terlebih dahulu dengan tujuan untuk menghilangkan sedikit kadar airnya agar lebih awet (Vatria, 2006). Makanan kaleng yang hingga saat ini diketahui ada kemungkinan terkontaminasi mikroplastik hanya ditemukan di dalam produk ikan kaleng seperti sarden, sprat, tuna, dan makarel (Akhbarizadeh *et al.*, 2020; Hussien *et al.*, 2021; Karami *et al.*, 2018). Bahan baku utama ikan kalengan yaitu jenis ikan itu sendiri sedangkan bahan baku pendukungnya dapat berupa bahan rempah atau bahan tambahan pangan seperti garam. Sehingga ditemukannya mikroplastik pada produk terdapat kemungkinan berasal dari ikan itu sendiri. Hal ini sesuai dengan laporan yang menyatakan bahwa ikan sarden biasanya hidup di perairan pantai yang terdapat kemungkinan banyak sampah plastik yang terbuang sehingga kemungkinan masuknya mikroplastik bisa terjadi (Chae *et al.*, 2015). Hal tersebut juga ditunjukkan dengan adanya beberapa studi yang telah melaporkan sebelumnya bahwa menemukan mikroplastik pada bagian tubuh ikan (Abbasi *et al.*, 2018; Akhbarizadeh *et al.*, 2020; Karami *et al.*, 2017). Selain itu, garam juga dapat menjadi salah satu sumber masuknya mikroplastik pada produk ikan kalengan karena telah dilaporkan terkontaminasi juga dalam beberapa penelitian sebelumnya (Iñiguez *et al.*, 2017; Karami *et al.*, 2017; Kosuth *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2015).

Dalam produk minuman beralkohol dan non-beralkohol diperlukan banyak air bersih sebagai bahan baku utama ataupun pencucian selama proses produksi. Namun, dalam beberapa studi telah ditemukan hasil bahwa air tawar dan air bersih seperti air keran dan air minum memiliki kemungkinan dapat terkontaminasi mikroplastik (Kosuth *et al.*, 2018). Sedangkan industri minuman dapat memperoleh air dari berbagai sumber seperti air tanah, air permukaan, air hujan yang kemudian melalui beberapa proses. Sehingga masuknya mikroplastik

ke dalam produk minuman dapat dimungkinkan berasal dari air bersih yang digunakan sebagai bahan baku utama (Diaz-Basantos *et al.*, 2020; Shruti *et al.*, 2020). Selain itu, pada produk susu yang dilaporkan oleh (Kutralam-Muniasamy *et al.*, 2020), adanya penambahan air ke dalam produk susu cair yang biasanya untuk menambahkan volume dan menggantikan lemak juga ada kemungkinan dapat menjadi sumber kontaminasi mikroplastik.

Gula, cuka, teh celup, dan daging kemasan hingga saat ini tidak ditemukan adanya penelitian yang melaporkan terkait sumber kontaminasi yang disebabkan oleh bahan baku. (Liebezeit & Liebezeit., 2013; Makhdoumi *et al.*, 2021), Hernandez *et al.*, (2019);

#### **4.2. Rute Paparan Mikroplastik pada Produk Pangan Melalui Proses**

##### **Produksi**

Rute paparan mikroplastik kemungkinan dapat berasal selama proses produksi. Proses produksi pada beberapa jenis garam pada umumnya hampir sama yaitu pemompaan air dari sumber bahan baku sesuai dengan jenis garamnya melalui proses penyaringan lalu dilakukan penguapan dengan sinar matahari dan angin lalu dilakukan proses pengkristalan (Gündoğdu, 2018; Yang *et al.*, 2015). Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh adanya polimer PET yang ditemukan pada garam laut (Tabel 4). PET biasanya sering digunakan pada sektor tekstil sehingga ada kemungkinan bahwa polimer PET masuk ke dalam produk karena adanya abrasi partikel dari pakaian pekerja selama proses produksi (Iñiguez *et al.*, 2017). Selain itu, karena densitas PET yang tinggi dapat pula membuat polimer PET mengendap selama proses kristalisasi (Yang *et al.*, 2015).

Hanya saja terdapat jenis garam yang diolah menggunakan sumber panas selain matahari dan mengalami proses pemurnian sehingga kemungkinan proses tersebut dapat berpengaruh pada kontaminasi mikroplastik ke dalam garam. Ada pula jenis

garam yang tidak mengalami proses pemurnian yaitu garam batuan yang melalui proses tambang dan proses penghancuran, Hal tersebut sesuai dengan hasil identifikasi pada garam batu non-rafinasi mengandung mikroplastik lebih banyak dibandingkan garam batu yang mengalami proses pemurnian/rafinasi(Tabel 4) (Kim *et al.*, 2018). Selain itu, masuknya mikroplastik ke dalam garam batuan dapat berasal pula selama proses pengumpulan, pengeringan dan pengemasan produk (Yang *et al.*, 2015).

Langkah utama pada proses produksi madu yaitu pemindahan serbuk sari dari tanaman oleh lebah ke sarang atau tempat budidaya kemudian madu pada umumnya dilakukan penyaringan. Namun ada pula madu padat yang perlu melalui proses pemanasan terlebih dahulu baru dilakukan penyaringan Liebezeit & Liebezeit, (2013). Madu ditemukan bentuk serat dan fragmen (Tabel 7). Hal tersebut dapat dimungkinkan bahwa selama proses pemindahan serbuk sari fragmen sudah terdapat di tanaman dan terbawa oleh lebah ke sarang (Liebezeit & Liebezeit, 2015). Selain itu, hasil tersebut didukung pula dengan yang dilaporkan oleh Mühlischlegel *et al.*, (2017) bahwa aktivitas peternak lebah selama proses produksi dapat menjadi salah satu rute paparan mikroplastik ke dalam madu dengan ditemukannya konsentrasi mikroplastik yang lebih tinggi dibandingkan yang lainnya (Tabel 7).

Proses pembotolan dapat menjadi salah satu rute paparan mikroplastik ke dalam produk cuka. Hal tersebut ditunjukkan dengan proses pengolahan cuka yang terjadi secara alami melalui proses fermentasi setelah itu akan dikemas dengan botol. Sehingga sesuai dengan hasil yang ditemukan (Makhdoumi *et al.*, 2021) bahwa bentuk mikroplastik paling dominan yaitu fragmen (Tabel 4) yang kemungkinan dapat berasal dari selama proses produksi cuka seperti proses pembotolan, penyimpanan, pengangkutan, dan pengocokan. Didukung pula dengan penelitian Mason *et al.*, (2018) yang melaporkan bahwa fragmen dapat terkontaminasi dari bahan pelumas alat industri dan terbawa ke produk selama proses pembotolan. Pemrosesan dalam produk nori yang pada umumnya terdiri dari pengumpulan rumput laut dari tempat budidaya, pencucian, pengeringan, dan pengemasan juga

dapat menjadi penyebab transfernya mikroplastik ke dalam produk. Hal tersebut sesuai dengan yang dilaporkan oleh Li *et al.*, (2020) bahwa ditemukannya bentuk mikroplastik serat dalam produk nori (Tabel 7) dapat masuk selama proses pembudidayaan rumput laut menggunakan alat seperti tali plastik dan jaring ikan (Claessens *et al.*, 201). Selain itu, ditemukan pula polimer polistirena, polivinil klorida, dan polietilen tereftalat (Tabel 7) dalam produk nori dapat disebabkan selama proses pengemasan dan pencucian seperti di dalam kantong plastik, wadah yang digunakan, pipa pencucian (Claessens *et al.*, 2011). Sedangkan sampel nori yang diteliti oleh (Prihandari *et al.*, 2021) tidak menunjukkan sumber kontaminasi dan proses pembuatannya.

Masuknya mikroplastik ke dalam makanan kaleng dapat pula terjadi selama proses produksi. Seperti pada sarden dan sprat kalengan dapat diproduksi dengan metode yang berbeda-beda tetapi biasanya yang sering digunakan yaitu proses tradisional mediterania dan norwegia. Metode tradisional mediterania dilakukan dengan cara sarden atau sprat mentah dipotong, dibersihkan sisiknya tetapi tidak dilakukan pengeluaran bagian dalam ikan, dan dimasak terlebih dahulu (Karami *et al.*, 2018; Warne, 1988). Sehingga masuknya mikroplastik ke dalam produk ikan kaleng dapat dikarenakan adanya partikel yang tertransfer ke dalam bagian tubuh ikan dan karena adanya pembuangan yang tidak tepat (Karami *et al.*, 2018). Hasil tersebut hampir sama dengan yang dilaporkan oleh Akhbarizadeh *et al.*, (2020) bahwa tuna dan makarel kaleng juga dapat terkontaminasi mikroplastik melalui saluran pencernaan ikan/usus ikan, udara, atau selama proses pengalengan di pabrik.

Kedzierski *et al.*, (2020) melaporkan produk daging kemasan yang dikemas dengan polistirena yang diekstrusi hingga saat ini masih memiliki keterbatasan pembahasan terkait proses produksi. Tetapi dilaporkan bahwa terdapat kemungkinan sumber kontaminasi mikroplastik pada daging kemasan berasal

selama proses produksi hanya saja kemungkinan kontaminasi dari mikroplastik XPS yang tersuspensi di udara gedung produksi. Ukuran dan massa dari mikroplastik XPS yang rendah sehingga dapat lebih mudah terbawa oleh udara serta sifat elektrostatis yang dimilikinya membuat partikel juga mudah lengket. Hal tersebut ditunjukkan dengan mikroplastik XPS yang ditemukan pada produk daging kemasan dengan ukuran berkisar 130 - 450  $\mu\text{m}$  (Tabel 7).

Sumber kontaminasi mikroplastik pada produk bir kemungkinan dapat terjadi selama tahapan filtrasi yang dikarenakan bahan pembuatan filter berasal dari selulosa nitrat yang mengandung PE (Wiesheu *et al.*, 2016). Seperti yang dilaporkan Liebezeit & Liebezeit, 2014 bahwa terdapat kemungkinan sumbernya berasal dari bahan pembuatan filter tetapi dapat pula partikel yang lebih kecil mampu menembus filter dan menjadi sumber kontaminasi. Di sisi lain, selama proses pembotolan dapat menjadi kemungkinan sumber kontaminasi juga dikarenakan adanya kotoran dalam botol yang tidak diinginkan dan selama pembersihan botol kotoran tersebut tidak dapat hilang atau selama proses pembersihan terdapat partikel asing yang masuk Liebezeit & Liebezeit, (2014).

Sumber kontaminasi melalui proses produksi dapat pula terjadi dalam produk susu. Faktor yang mempengaruhi masuknya mikroplastik selama proses produksi ada kemungkinan dapat berasal dari selama proses pengumpulan, penyaringan, dan pengiriman. Hal tersebut sesuai dengan yang dilaporkan Kutralam-Muniasamy *et al.*, (2020) bahwa faktor utama masuknya mikroplastik ke dalam produk susu berasal dari lingkungan selama proses pengumpulan susu dikarenakan proses yang tidak tepat dan penggunaan mesin pemerah susu berlapis karet yang dipasang pada sekitar puting. Faktor lain yang mempengaruhi juga dapat berasal selama proses penyaringan karena penggantian filter susu yang tidak tepat maka dapat menyebabkan bahan organik menghambat aliran susu dan meningkatkan ukuran pori sehingga menyebabkan masuknya mikroplastik dari bahan filter ke susu.

Minuman ringan atau minuman berenergi juga dapat dimungkinkan bahwa sumber kontaminasi mikroplastiknya dapat berasal dari proses produksi. Proses produksi minuman berenergi dilaporkan oleh Diaz-Basantes *et al.*, (2020) bahwa pertama-tama bahan baku seperti buah dilakukan pengupasan dan pemotongan lalu dipanaskan pada suhu 65-75°C selama 10 menit lalu kemudian pembuatan bubur buah dan pencampuran air, gula, dan bahan aditif setelah itu dilakukan ultrafiltrasi kemudian dikemas ke dalam botol PET serta yang terakhir dilakukan penyegelan dan pelabelan. Berdasarkan langkah-langkah tersebut terdapat kemungkinan masing-masing proses produksi dapat menjadi sumber mikroplastik. Sedangkan faktor lain saat proses produksi yang memungkinkan menjadi sumber yaitu selama pencucian botol dan pembersihan area kerja (Shruti *et al.*, 2020).

Selain itu, terdapat beberapa produk seperti gula, terasi, wine, teh celup yang sampai saat ini tidak ditemukan sumber kontaminasi selama proses produksi. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena keterbatasan publikasi yang masih belum banyak membahas sumber kontaminasi mikroplastik di dalam produk pangan olahan.

#### **4.3. Rute Paparan Mikroplastik pada Produk Pangan Melalui Kemasan/Wadah**

Polimer polietilen (PE) dan polistirena (PS) merupakan jenis polimer yang banyak digunakan sebagai bahan kemasan seperti kantong plastik dan botol serta polimer ini dapat ditemukan banyak di lingkungan laut (Andrady, (2011); Alvarez-Zeferino *et al.*, (2020)). Hal ini sesuai dengan ditemukannya polimer PE dan polistirena pada produk garam masing-masing memiliki kelimpahan sebesar 22% dan 61% (Tabel 4). dibandingkan seluruh polimer yang ditemukan oleh Seth *et al.*, (2018). Penelitian lain juga melaporkan kelimpahan polimer PE dan PS pada garam di Turki, Taiwan, Spanyol, India (Gundogdu (2018); Kim (2018); Lee (2019); Iniguez (2017); Selvam (2020); Karami (2017)). Sehingga sumber

kontaminasi mikroplastik pada garam melalui bahan kemasan dapat terjadi dan perlu diperhatikan. Selain itu, Makhdoumi (2021) melaporkan polimer polietilen (PE) dan polietilen densitas tinggi (HDPE) dapat ditemukan pula dalam produk cuka.

Kemasan produk pangan pada umumnya berasal dari plastik yang memiliki kemungkinan bahwa dapat terjadi migrasi plastik dari kemasan ke produk pangan (Touissaint *et al*, 2019). Hal tersebut selaras dengan hasil yang dilaporkan oleh Song *et al.*, (2021) bahwa belum lama ini pada susu botol ditemukan mikroplastik yang dilepaskan dari botol susu itu sendiri. Pelepasan partikel tersebut ditunjukkan dengan jumlah cukup tinggi berkisar 16,2 partikel/kg dikarenakan adanya suhu tinggi. Selain itu, pada produk susu ditemukan pula jenis polimer polietilen (Diaz, 2020) dan polietilen tereftalat (PET) (Song *et al*, 2021) (Tabel 6). Hal tersebut sesuai dengan Diaz bahwa produk susu dikemas dengan botol PET dan tetrapak yang terdapat kemungkinan dilapisi oleh plastik (Diaz, 2020).

Kemasan seperti botol dan plastik sekali pakai dapat pula menjadi salah satu sumber kontaminasi. Sumber kontaminasi tersebut ditunjukkan oleh penelitian Shruti *et al*, (2020) bahwa ditemukan polimer polietilen tereftalat (PET) dalam produk minuman seperti bir (Tabel 5 ). Rusaknya polimer PET pada kemasan dapat dikarenakan adanya tekanan pada saat pembukaan kemasan yang mampu menyebabkan pelepasan mikroplastik ke dalam produk (Schymanski *et al*, (2018) dan Sobhani *et al*, (2020).

Pada kemasan plastik yang digunakan sebagai pengemas produk daging kemasan juga dapat dimungkinkan menjadi sumber kontaminasi ke dalam produk. Polistirena ekstrusi (XPS) merupakan polimer yang sering digunakan sebagai bahan pengemas makanan berbentuk seperti nampan/pelat. Polimer tersebut dapat mengkontaminasi produk dari kemasan itu sendiri atau dapat pula kemasan tersebut terkontaminasi terlebih dahulu dengan polimer polistirena ekstrusi (XPS). Hal tersebut sesuai dengan yang dilaporkan Kedzierski, (2020) bahwa polimer

polistirena ekstrusi ditemukan dalam produk daging kemasan di bagian luar dan dalam kemasan (Tabel 7).

#### **4.4. Rute Paparan Mikroplastik pada Produk Pangan Melalui Cara**

##### **Konsumsi**

Selain bahan baku, proses produksi, dan kemasan, paparan mikroplastik ke dalam produk pangan dapat pula melalui bagaimana manusia mengonsumsi produk tersebut. Proses pembukaan kemasan plastik pada produk pangan saat akan dikonsumsi dapat menyebabkan adanya pelepasan partikel mikroplastik ke dalam produk (Sobhani *et al*, 2020; Shruti, 2020). Setelah produk pangan berada ditangan konsumen, beberapa cara konsumsi juga dapat mentransfer mikroplastik ke dalam produk secara tidak sengaja. Salah satunya yaitu selama pembukaan kemasan plastik terdapat tekanan yang mampu menyebabkan terjadinya abrasi kemasan ke dalam produk pangan. Hal tersebut seperti yang dilaporkan Song (2021) bahwa terjadinya abrasi kemasan selama pembukaan/penutupan kemasan dapat berpengaruh terhadap pelepasan mikroplastik ke dalam produk susu botol. Hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 semakin banyak jumlah partikel yang ditemukan maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak pula proses pembukaan/penutupan yang dilakukan (Winkler, 2019).

Selama proses perendaman dan penyeduhan pada produk teh celup menggunakan air panas diketahui dapat melepaskan partikel mikroplastik ke dalam produk tersebut. Hal tersebut dikarenakan produk teh celup dikemas menggunakan kantong teh berbahan plastik. Jumlah mikroplastik yang ditemukan pada kantong teh celup setelah diseduh sebesar  $0,0000012 \text{ kg/mm}^2$  (Tabel 7). Sehingga ada kemungkinan bahwa manusia dapat menelan mikroplastik saat mengonsumsi secangkir teh lebih tinggi daripada produk makanan lainnya yaitu berkisar 2,3 juta partikel berukuran mikron ( $\sim 1-150 \mu\text{m}$ ) dan 14,7 miliar partikel plastik submikron ( $< 1 \mu\text{m}$ ). Selain itu adanya proses perendaman atau penyeduhan menggunakan air

panas juga dapat merubah bentuk atau menghilangkan partikel (Hernandez *et al.*, 2019).

