

## 4. PEMBAHASAN

### 4.1. Cemaran Mikroplastik pada Bivalvia

Plastik paling sering digunakan seperti kemasan produk, bahan alat tulis hingga alat memancing dan bahan tekstil (Aliabad *et al.*, 2019; Blastic, 2016). Hal inilah yang membuat jenis polimer mikroplastik yang banyak ditemukan adalah PP, PE dan PS (Chen *et al.*, 2020; Feng *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2018). Jumlah produksi plastik dari ketiga polimer ini mencapai 49% di dunia (Cho *et al.*, 2019). Selain itu polimer ini memiliki sifat yang mudah terdegradasi menjadi mikroplastik dibandingkan dengan jenis lainnya (Feldman, 2002).

Tingginya kontaminasi mikroplastik pada bivalvia dapat disebabkan karena tingginya aktivitas manusia pada suatu wilayah (Chen *et al.*, 2020; Feng *et al.*, 2020; Guzzetti *et al.*, 2018; Nabizadeh *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2020). Perilaku bivalvia yang tidak banyak bergerak (*sedentary*) menyebabkan mikroplastik cenderung terakumulasi dalam tubuhnya (Su *et al.*, 2018). Kandungan mikroplastik paling tinggi sering ditemukan pada bivalvia yang berhabitat di kawasan wisata (Silva & Nanny, 2020; Thomas *et al.*, 2020; Thushari *et al.*, 2017).

Berdasarkan hasil *review* (Tabel 4), kandungan mikroplastik pada satu wilayah dapat lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya. Hal ini disebabkan karena beberapa wilayah merupakan tempat wisata ataupun daerah perindustrian, seperti pembuangan limbah industri sembarangan (Bagheri *et al.*, 2020; Teng *et al.*, 2019). Jumlah penduduk dan wisatawan yang melimpah juga menyebabkan jumlah sampah juga meningkat (Qiu *et al.*, 2015).

Jumlah mikroplastik dalam setiap individu *Meretrix lusoria* di Shanghai, China adalah 9 partikel sedangkan jumlah mikroplastik dalam setiap gram sampel bivalvia adalah 4,2 partikel. Jumlah ini menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik yang lebih tinggi dibandingkan spesies lainnya di wilayah yang sama. Hal ini dapat disebabkan karena *Meretrix lusoria* memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan bivalvia lainnya (0,96

cm) (Fotonoff *et al.*, 2018), dan konsentrasi cemaran mikroplastik pada daerah tersebut sangat tinggi. Sehingga *Meretrix lusoria* tidak dapat melakukan depurasi. Hal ini menyebabkan kepadatan kontaminan yang tinggi sehingga jumlah mikroplastik dalam individu menjadi lebih besar. Hal ini diperkuat dengan jurnal penelitian lainnya yang menguji tingkat pencemaran mikroplastik pada sedimen dan perairan laut di China. Mikroplastik yang ditemukan di China dalam bentuk fragmen atau fiber dengan ukuran sekitar  $< 100 \mu\text{m}$  hingga  $1000 \mu\text{m}$ . Konsentrasi mikroplastik dalam sedimen di China adalah 13,4 gram pada setiap 100 gram (6-24 partikel). Sedangkan kontaminasi di perairan laut China mencapai 20-120 partikel mikroplastik pada setiap  $\text{m}^3$  dan setiap tahunnya terus meningkat (Lin *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2019; Zheng *et al.*, 2019).

Mikroplastik memiliki bentuk serta ukuran menyerupai plankton yang merupakan makanan utama bivalvia sehingga sulit untuk dibedakan. Terutama mikroplastik dengan bentuk fiber yang sangat kecil (Metian *et al.*, 2020; Sussarellu *et al.*, 2016). Mikroplastik yang masuk ke dalam bivalvia akan lebih banyak terikat pada jaringan pencernaan (Gouin, 2020). Mikroplastik dapat dikeluarkan dari bivalvia melalui *clearance* atau depurasi (Chae & An, 2020; Xu *et al.*, 2017). Tetapi depurasi tidak akan membersihkan kontaminan secara keseluruhan. Sekitar 2-6% mikroplastik yang diserap oleh bivalvia dan limbah dengan ukuran yang sangat kecil ( $2-6 \mu\text{m}$ ) tetap tertinggal pasca depurasi (Fernández & Albentosa, 2019b). Proses depurasi maksimal dapat membersihkan mikroplastik dalam jaringan bivalvia liar hingga 46,79% dan 28,95% pada individu hasil budidaya (Birnstiel *et al.*, 2019). Mikroplastik yang dapat dikeluarkan pada depurasi sebagian besar berukuran  $> 1000 \mu\text{m}$  dan  $> 500 \mu\text{m}$  (Fernández & Albentosa, 2019b). Sedangkan mikroplastik dengan ukuran  $< 10 \mu\text{m}$  lebih berpeluang untuk menembus membran-membran dan terikat pada jaringan bivalvia, seperti pada *byssus* (Fernández & Albentosa, 2019a; Rist *et al.*, 2017).

Banyaknya jumlah mikroplastik dengan bentuk fiber dan fragmen yang ditemukan di dalam bivalvia disebabkan karena adanya perbedaan bentuk dan densitas. Bentuk film memiliki densitas yang lebih rendah karena berasal dari degradasi kantong plastik, sehingga mikroplastik dengan bentuk ini mudah terapung dan sulit untuk mengendap di dasar laut (Dewi *et al.*, 2015). Sedangkan plastik dengan bentuk fiber banyak ditemukan

di dalam bivalvia karena mikroplastik dengan bentuk ini banyak digunakan untuk pembuatan jaring-jaring penangkapan (Dewi *et al.*, 2015).

Warna mikroplastik yang paling banyak ditemukan berdasarkan *review* Tabel 4 adalah hijau dan hitam. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Phuong *et al.*, (2018), dikatakan bahwa mikroplastik dengan warna hijau memiliki warna yang serupa dengan fitoplankton. Kemiripan inilah yang kemungkinan membuat bivalvia menganggap bahwa mikroplastik tersebut adalah mangsanya (Phuong *et al.*, 2018). Faktor lainnya yang menyebabkan warna tertentu banyak ditemui di dalam bivalvia adalah karena kemungkinan terjadinya perubahan warna mikroplastik pada saat proses digesti. Terutama pada penggunaan KOH sebagai pelarut (Vandermeersch *et al.*, 2015). Kemungkinan lainnya adalah adanya fotodegradasi karena terlalu lama di berada di laut dan terus terpapar sinar matahari yang juga dapat mengubah warna asli mikroplastik (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012).

Mikroplastik dapat menimbulkan dampak buruk pada bivalvia, seperti berkurangnya jumlah energi, lipid, protein maupun karbohidrat. Hal ini terjadi karena mikroplastik yang diserap oleh bivalvia tidak memiliki kandungan nutrisi. Toksisitas yang terkandung dalam mikroplastik akan menghambat proses metabolisme dan menyebabkan cangkang bivalvia tumbuh lebih kecil (Alnajar *et al.*, 2021; Bour *et al.*, 2018; Capolupo *et al.*, 2018; Green, 2016; Luan *et al.*, 2019). Tingkat penetasan telur bivalvia yang terkontaminasi mikroplastik lebih rendah (Luan *et al.*, 2019; Tony *et al.*, 2018). Metamorfosis larva umbo mengalami penurunan karena dampak dari malformasi yang terjadi (Capolupo *et al.*, 2018; Lu *et al.*, 2020; Luan *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2016).

#### **4.1.1. Dampak Bivalvia terhadap Manusia sebagai Konsumen**

Tabel 4 merangkum data hasil penelitian mikroplastik dalam bivalvia dari berbagai wilayah. Dapat diketahui bahwa semua bivalvia yang pernah diuji dari berbagai negara mengandung mikroplastik. Hal ini menandakan bahwa cemaran mikroplastik sudah menyebar di berbagai wilayah. Jenis bivalvia yang paling banyak diuji adalah jenis *mussel*, terutama spesies *Mytilus galloprovincialis* (*Blue mussel*) dan *Crassostrea gigas* (*Pacific oyster*). Kedua spesies merupakan bivalvia yang paling sering dikonsumsi (Bonham, 2017; Bonham, 2021).

Produsen bivalvia terbesar berada di China. Hingga pada tahun 2005, produksi bivalvia di China mencapai 9,5 juta ekor. Selain itu, China memegang 70% dari jumlah panen bivalvia di dunia diikuti oleh Amerika Serikat (Pawiro, 2010). Data panen secara global menunjukkan bahwa hingga pada tahun 2015, 90% bivalvia dipanen dari China. Jenis bivalvia yang paling sering dikonsumsi secara global adalah kerang (*clams*) sebanyak 38%, tiram (*oyster*) sebanyak 33%, simping (*scallops*) sebanyak 17% dan *mussels* sebanyak 13% (Wijsman *et al.*, 2019).

Tingkat konsumsi makanan laut hingga pada tahun 2015 mencapai 6,7% dari keseluruhan konsumsi manusia (Catarino *et al.*, 2018). Konsumsi makanan laut di Amerika Serikat mencapai 20 kg setiap tahunnya (Catarino *et al.*, 2018; Smith *et al.*, 2018). Setiap tahunnya secara global, hanya dengan mengonsumsi bivalvia, sekitar 2.602-16.228 partikel mikroplastik atau sama dengan sekitar 26,4 g mikroplastik masuk ke dalam tubuh manusia. Sehingga bivalvia menjadi penyumbang mikroplastik kedua tertinggi setelah air minum (Senathirajah *et al.*, 2021). Oleh karena itu, bivalvia menjadi penyumbang mikroplastik kedua tertinggi setelah air minum (Senathirajah *et al.*, 2021).

Sebuah studi dengan menggunakan feses manusia dilakukan dan mikroplastik yang ditemukan mempunyai kemiripan dengan mikroplastik yang ada di dalam bivalvia, yaitu PP dan PET dengan bentuk fragmen (Zhang *et al.*, 2021). Mikroplastik dengan ukuran sekitar 50-500  $\mu\text{m}$  dapat dikeluarkan melalui feses (Senathirajah *et al.*, 2021). Sedangkan mikroplastik yang memiliki ukuran yang lebih kecil dari 50  $\mu\text{m}$  sulit dikeluarkan dari tubuh manusia. Dari penelitian yang dilakukan dengan sel kultur manusia, mikroplastik dengan ukuran yang sangat kecil (0,1 – 10  $\mu\text{m}$ ) di spekulasi dapat menembus pembuluh darah dan membran otak manusia (Barboza *et al.*, 2018; Capanale *et al.*, 2020; Catarino *et al.*, 2018; EFSA, 2016; Fonseca *et al.*, 2021; Lusher *et al.*, 2017). Penelitian *in vitro* untuk topik ini masih sangat sedikit sehingga tingkat bahaya dan toksisitas mikroplastik bagi manusia masih sangat terbatas (Barboza *et al.*, 2018). Ukuran mikroplastik yang dapat membahayakan manusia sebagai konsumen adalah < 20  $\mu\text{m}$  karena sangat sulit untuk dikeluarkan dari tubuh (WHO, 2019).

Selain itu, dalam sebuah penelitian menyebutkan bahwa suhu degradasi mikroplastik jenis PP dan PS cukup rendah (70°C) (Al-Azzawi *et al.*, 2020). Mikroplastik yang terdegradasi akan memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan pada saat belum terpapar suhu tinggi (Von Friesen *et al.*, 2019). Sehingga dapat menyebabkan bahaya yang lebih tinggi bagi konsumen karena mikroplastik yang sangat kecil dapat meenbus membran-membran penting (WHO, 2019).

Bivalvia memiliki tubuh yang kecil sehingga bagian yang dikonsumsi tidak hanya daging saja tetapi juga organ pencernaan. Semakin kecil ukuran bivalvia, jumlah konsumsi setiap porsinya akan semakin banyak dan hal inilah yang menjadi bahaya bagi konsumen. Sehingga sebaiknya, bivalvia yang akan diolah menjadi makanan diberikan proses depurasi selama beberapa hari (Revel *et al.*, 2019; Ward *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2017). Keterbatasan data mengakibatkan sampai saat ini belum tersedia *tolerable daily intake* (TDI) untuk mikroplastik (Fonseca *et al.*, 2021).

#### **4.2. Metode Digesti dan Deteksi**

Metode digesti dapat dilakukan menggunakan berbagai macam pelarut. Tetapi jika pelarut yang digunakan terlalu kuat ataupun lemah, identifikasi mikroplastik menjadi kurang akurat karena *soft tissue* dari bivalvia tidak dapat larut dengan sempurna (Olesen *et al.*, 2018).

KOH sebagai larutan untuk digesti memiliki efektivitas yang rendah karena memerlukan waktu 1-2 hari (24-48 jam) dengan menggunakan pemanasan dengan suhu 40°C (Dehaut *et al.*, 2016; Kühn *et al.*, 2017). Selain itu, KOH cukup terjangkau dan lebih mudah untuk didapatkan. Kelemahan KOH yaitu tidak dapat melakukan digesti yang sempurna. Jaringan organik dari bivalvia yang tersisa dari digesti yang kurang sempurna dapat menyebabkan kesulitan dalam mengamati mikroplastik (Wagner *et al.*, 2017).

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ini merupakan larutan asam lemah yang dapat melarutkan jaringan organik (Gusmão *et al.*, 2016). Digesti menggunakan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan pelarut lainnya dan memberikan hasil yang lebih jernih (24 jam pada suhu 65°C) (Dyachenko *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2016; Tagg *et al.*, 2015; Thiele *et al.*, 2019).

HNO<sub>3</sub> merupakan larutan oksidatif yang kuat (Santana *et al.*, 2016; Vandermeersch *et al.*, 2015). Tetapi HNO<sub>3</sub> dapat melarutkan mikroplastik jenis fiber sehingga kurang efektif untuk digunakan (Li *et al.*, 2015; Lusher *et al.*, 2017). Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian yang menunjukkan bahwa bivalvia memiliki jenis tubuh yang lembut (*soft*) sehingga sangat rentan untuk terlarut dalam bahan pelarut (Karlsson *et al.*, 2017; Lu *et al.*, 2020).

Digesti juga dapat dilakukan dengan menggunakan enzim. Enzim yang sering digunakan untuk melarutkan sampel adalah tripsin, kolagenase dan papain. Ketiga enzim ini memiliki ikatan peptida yang dapat menghancurkan dan melarutkan bagian organik dari bivalvia dan dapat meninggalkan bagian anorganik yaitu mikroplastik yang akan diidentifikasi (Lusher *et al.*, 2017). Perbandingan metode digesti dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan metode digesti

| Metode                        | Kelebihan   | Kelemahan  | Efektivitas   | Referensi   |
|-------------------------------|---|--|---|---|
| KOH                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah untuk dilakukan</li> <li>Harga murah dan mudah didapat</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dapat meninggalkan bahan organik sehingga susah untuk diidentifikasi dengan FTIR</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Terdapat lendir kecoklatan.</li> <li>Bahan organik dengan ukuran kecil tersisa.</li> </ul>   | (Dehaut <i>et al.</i> , 2016; Enders <i>et al.</i> , 2017; Wagner <i>et al.</i> , 2017)   |
| HNO <sub>3</sub>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah untuk dilakukan</li> <li>Harga murah dan mudah didapat</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dapat merusak beberapa jenis polimer</li> <li>Bersifat korosif</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Larutan digesti menjadi kecoklatan</li> <li>Mikroplastik jenis PVC mengalami perubahan warna</li> <li>Efisiensi &gt;95%</li> </ul> | (Li <i>et al.</i> , 2015; Lusher <i>et al.</i> , 2017; Naidoo <i>et al.</i> , 2017)       |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mudah untuk dilakukan</li> <li>Harga murah dan mudah didapatkan</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dapat menghilangkan warna pada plastik</li> <li>Bersifat korosif</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mikroplastik jenis PP, PET, PVC, dan PA akan mengalami diskolorisasi (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%)</li> </ul>                   | (Al-Azzawi <i>et al.</i> , 2020; Dyachenko <i>et al.</i> , 2017; Li <i>et al.</i> , 2016; |

| Metode | Kelebihan   | Kelemahan  | Efektivitas   | Referensi   |
|--------|---|--|---|---|
|        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Prosesnya cepat, 20 menit – 24 jam</li> </ul>            |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Efisiensi digesti 90% dan tidak ada perubahan warna pada mikroplastik (<math>H_2O_2</math> 15%)</li> </ul> | Tagg <i>et al.</i> , 2015; Thiele <i>et al.</i> , 2019)         |
| Enzim  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Memiliki sifat yang relatif aman bagi manusia</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Harga yang mahal dan susah untuk didapatkan</li> <li>Susah untuk dilakukan</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Larutan digesti jernih dan tidak tersisa bahan organik.</li> </ul>   | (Lusher <i>et al.</i> , 2017; Von Friesen <i>et al.</i> , 2019) |

Berdasarkan hasil perbandingan metode digesti (Tabel 5),  $H_2O_2$  merupakan pelarut yang paling efektif. Bahan pelarut yang mudah didapatkan dan waktu digesti yang cukup cepat. Selain itu  $H_2O_2$  juga dapat melarutkan bahan organik tanpa tersisa (Tagg *et al.*, 2015; Thiele *et al.*, 2019). Walaupun memiliki sifat korosif yang dapat menghilangkan warna mikroplastik,  $H_2O_2$  memiliki banyak nilai tambah dibandingkan pelarut yang lainnya. Banyaknya nilai positif pada pelarut  $H_2O_2$  yang menjadi alasan pelarut ini cukup banyak digunakan.

Metode deteksi yang digunakan juga beragam. Spektroskopi FTIR merupakan pendeteksi yang menggabungkan spektroskopi dan mikroskopi dan sangat cocok digunakan untuk mendeteksi mikroplastik dengan alat yang cukup terjangkau (Van der Hal *et al.*, 2017). Tingkat ketipisan maksimal mikroplastik yang dapat diidentifikasi dengan spektroskopi FTIR hingga pada 5  $\mu m$  atau seperti jenis fiber dan film (Käppler *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2019). Spektroskopi FTIR mendeteksi dengan mendata partikel-partikel yang bentuknya menyerupai mikroplastik (Wang *et al.*, 2017; Wang & Wang, 2018). Kemudian spektroskopi FTIR akan menghasilkan gelombang yang berasal dari gugus fungsi dari mikroplastik tersebut (Wang *et al.*, 2017; Wang & Wang, 2018). Spektroskopi FTIR juga lebih cepat dan lebih akurat (Wang & Wang, 2018). Kelemahan spektroskopi FTIR adalah tidak boleh ada sedikit air yang tersisa karena dapat mengganggu proses identifikasi, sehingga mikroplastik harus dalam keadaan kering (Xu *et al.*, 2019).

Spektroskopi Raman paling cocok digunakan untuk mendeteksi jenis mikroplastik pada biota perairan laut (Lenz *et al.*, 2015). Spektroskopi Raman dilengkapi dengan *micro-Raman*, sehingga dapat mendeteksi mikroplastik hingga ukuran 1  $\mu\text{m}$  (Quinn & Crawford, 2017; Shim *et al.*, 2016; Young & Elliott, 2016). Mikroplastik yang terlalu tipis sehingga tidak dapat diidentifikasi oleh spektroskopi FTIR dapat diidentifikasi oleh spektroskopi Raman. Spektroskopi Raman dapat mengidentifikasi hingga 19 jenis polimer mikroplastik, dibandingkan dengan spektroskopi FTIR yang hanya bisa mendeteksi 10 polimer (Cabernard *et al.*, 2018; Cho *et al.*, 2019). Kelemahan spektroskopi Raman adalah mikroplastik jenis fiber yang sangat tipis akan sulit terdeteksi (Käppler *et al.*, 2016; Ramsperger *et al.*, 2020).

Dari hasil *review* (Tabel 4), diketahui bahwa penggunaan spektroskopi Raman lebih sedikit dibandingkan dengan spektroskopi FTIR (Gambar 6). Hal ini disebabkan karena biaya alat yang lebih mahal dibandingkan dengan FTIR walaupun spektroskopi Raman memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan FTIR (Kögler & Heilala, 2021). Penggunaan metode ekstraksi yang salah dapat merusak mikroplastik bersamaan dengan jaringan organik dari sampel (Li *et al.*, 2020; Olesen *et al.*, 2018). Ringkasan perbandingan spektroskopi Raman dan FTIR dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan metode deteksi

| Metode             | Kelebihan   | Kelemahan  | Referensi   |
|--------------------|---|--|---|
| Spektroskopi FTIR  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Harga terjangkau</li> <li>• Data yang didapatkan akurat</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak dapat mendeteksi mikroplastik yang terlalu tipis</li> <li>• Air dapat menghambat proses deteksi</li> <li>• Hanya dapat mendeteksi 10 jenis polimer</li> </ul> | (Käppler <i>et al.</i> , 2016; Xu <i>et al.</i> , 2019) |
| Spektroskopi Raman | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat mendeteksi hingga 1 <math>\mu\text{m}</math></li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Harga yang dibutuhkan lebih tinggi</li> </ul>   | (Cho <i>et al.</i> , 2019; Quinn & Crawford, 2017;      |

| Metode | Kelebihan   | Kelemahan   | Referensi                        |
|--------|---|---|----------------------------------|
|        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat mendeteksi mikroplastik yang sangat tipis</li> <li>• Dapat mendeteksi hingga 19 jenis polimer</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurang akurat dalam mendeteksi mikroplastik jenis fiber</li> </ul> | Ramsperger <i>et al.</i> , 2020) |

Hasil perbandingan identifikasi mikroplastik (Tabel 6), menunjukkan bahwa spektroskopi Raman lebih efektif dibandingkan dengan spektroskopi FTIR. Spektroskopi Raman dapat mengidentifikasi lebih banyak polimer dan ukuran mikroplastik yang sangat kecil (hingga 1  $\mu\text{m}$ ) (Cabernard *et al.*, 2018). Biaya yang harus dikeluarkan untuk spektroskopi Raman lebih tinggi dan waktu yang dibutuhkan juga lebih lama dibandingkan dengan spektroskopi FTIR, tetapi hasil yang didapatkan lebih akurat.

