

Bioakumulasi Mikroplastik Pada Daging Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Keramba Jaring Apung Ranu Grati, Pasuruan, Jawa Timur

Ericsson Ama Tanaka Utomo dan Farid Kamal Muzaki
Departemen Biologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: faridmuzaki@gmail.com

Abstrak—Mikroplastik (MPs) merupakan polimer sintesis berukuran kurang dari 5 mm. Peningkatan limbah plastik di perairan dan kecilnya ukuran MPs menyebabkan potensi untuk masuk dan terakumulasi MPs tersebut dalam tubuh ikan. Bioakumulasi MPs dapat menimbulkan dampak fisiologis negatif terhadap ikan dan juga konsumennya, termasuk manusia. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui bioakumulasi MPs pada daging ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) periode 1 (umur 2 bulan) dan periode 2 (umur 4 bulan) setelah tebar di Keramba Jaring Apung (KJA) di Ranu Grati, Pasuruan; juga membandingkannya dengan konsentrasi MPs di air dalam KJA. Parameter pengamatan adalah jumlah dan karakter fisik (bentuk, ukuran dan warna) MPs. Perbandingan konsentrasi MPs pada ikan nila periode 1 dan periode 2 akan dianalisis dengan uji Mann Whitney U pada selang kepercayaan 95%. Sampel air KJA pada periode 1 dan periode 2 menunjukkan kelimpahan MPs sebanyak 12 partikel/100 liter dan 21 partikel/100 liter dengan panjang rata-rata panjang 958,57 μm dan 922,09 μm secara berturut-turut, sebagian besar dalam rentang ukuran 100-1000 μm . Sampel air KJA pada kedua periode menunjukkan dominasi bentuk MPs fiber dan warna MPs biru. Sampel daging ikan nila pada periode 1 dan periode 2 menunjukkan kelimpahan MPs 510 partikel dan 330 partikel dengan panjang rata-rata 1404,5 + 1481,7 μm dan 1028,9 + 1009,4 μm secara berturut-turut, sebagian besar dalam rentang ukuran 1000-5000 μm . Jumlah MPs per satuan massa pada grup periode 1 adalah 2,1 partikel/g; jumlah MPs per satuan massa pada grup periode 2 adalah 0,3 partikel/g. Sampel daging pada kedua periode menunjukkan dominasi bentuk MPs fiber dan warna MPs biru.

Kata Kunci—Bioakumulasi, Ranu Grati, Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*), Mikroplastik

I. PENDAHULUAN

POLUSI plastik merupakan topik yang ramai ditelusuri pada masa ini di beragam tempat. Mengetahui produksi plastik dunia yang mencapai 335 juta ton pada tahun 2017 dan terus bertambah, disertai dengan penanganan limbah plastik yang belum optimal, menyebabkan masuknya limbah plastik ke badan-badan perairan dan akumulasi di dalamnya [1]. Limbah plastik membutuhkan waktu yang lama untuk terurai dan beberapa di antaranya akan terpecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Bagian plastik yang lebih kecil ini dikenal sebagai mikroplastik [2].

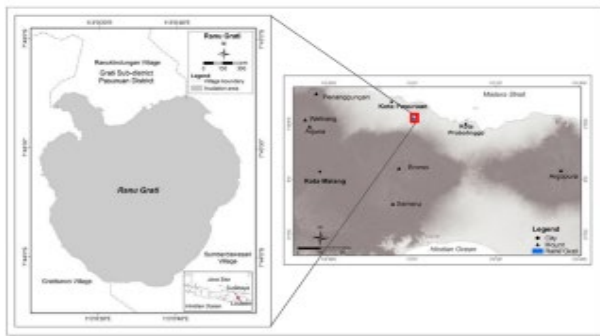
Mikroplastik merupakan partikel sintesis berbahan polimer yang memiliki ukuran antara 5 mm hingga 1 mm [2-3]. Ukuran mikroplastik yang sangat kecil berpotensi termakan oleh organisme-organisme yang hidup di lingkungan yang tercemar olehnya, mulai dari mikroorganisme seperti plankton hingga ikan-ikan besar yang cukup sering ditemukan dan dibudidayakan, seperti

ikan nila [4-6].

Bioakumulasi merupakan fenomena penimbunan partikel kontaminan, seperti bahan kimiawi atau mikroplastik, yang masuk ke dalam organisme melalui beragam metode, seperti ingesti, respirasi, atau kontak dengannya, dari beragam sumber seperti air, sedimen, atau bahkan mangsa [7]. Penelitian oleh Wetland (2018) menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif antara akumulasi mikroplastik dengan panjang dan berat tubuh ikan [8]. Sejumlah penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ikan yang lebih besar akan mengonsumsi lebih banyak makanan untuk memenuhi kebutuhan energinya yang lebih besar [9-10]. Dengan ini, partikel mikroplastik memiliki kemungkinan yang lebih besar tertelan oleh ikan dan terakumulasi di dalamnya [11-12]. Bioakumulasi mikroplastik dalam ikan telah diketahui berpotensi menyebabkan perubahan perilaku makan, inflamasi, perubahan proses metabolisme, dan gangguan sistem imun dalam ikan [5]. Akumulasi tersebut juga diketahui memiliki potensi efek negatif terhadap sejumlah fungsi tubuh pada generasi ikan selanjutnya [13]. Ikan-ikan yang terkontaminasi mikroplastik berpotensi mengontaminasi manusia yang memakannya, menyebabkan bioakumulasi mikroplastik dalam tubuh manusia.

Ukuran mikroplastik yang kecil memungkinkan masuknya partikel ke dalam beragam jaringan. Salah satu jaringan yang dapat terkontaminasi oleh mikroplastik adalah jaringan otot [14]. Jaringan otot menjadi penting dalam penelitian mikroplastik karena jaringan otot merupakan bagian paling umum untuk dikonsumsi oleh manusia [15]. Keberadaan mikroplastik dalam tubuh manusia dapat menimbulkan sejumlah efek negatif [16].

Ranu Grati merupakan salah satu danau alami yang terletak di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Danau tersebut menjadi lokasi penting bagi beragam kegiatan masyarakat daerah sekitar, seperti sumber air, lokasi pariwisata, dan budidaya ikan air tawar. Seluas 1,77% dari luas perairan Ranu Grati digunakan sebagai lokasi budidaya ikan [17]. Hasil budidaya ikan dimanfaatkan oleh 3 desa/kelurahan di sekitar Ranu Grati: Desa Sumber Dawesari, Desa Ranu Klindungan, dan Kelurahan Grati Tunon. Data mengenai keberadaan mikroplastik di Ranu Grati masih relatif terbatas, namun tingginya kegiatan budidaya ikan disertai kegiatan lainnya memunculkan potensi keberadaan mikroplastik dan akumulasi mikroplastik dalam tubuh ikan-ikan yang dibudidayakan di sana. Penelitian mengenai keberadaan mikroplastik telah banyak dilakukan, namun penelitian mengenai bioakumulasi masih jarang dilakukan, terutama penelitian di kawasan peternakan ikan serta di bagian non-pencernaan ikan [18]. Selain itu, penelitian



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel di Ranu Grati.

seputar mikoplastik pada ikan biasanya dilakukan dengan melakukan 1 kali pengambilan sampel ikan. Pada penelitian ini, pengambilan ikan dilaksanakan 2 kali, yakni pada saat ikan berumur 2 bulan dan saat ikan berumur 4 bulan.

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan spesies ikan yang kerap dibudidayakan oleh masyarakat Indonesia. Daging ikan nila memiliki manfaat Seiring berjalannya waktu, permintaan untuk daging putih, yakni daging ikan, mulai bertambah dan menyaingi permintaan daging merah [19]. Namun, meledaknya jumlah limbah plastik yang mencemari badan-badan perairan memunculkan bahaya masuknya mikroplastik ke dalam tubuh manusia dan juga berpotensi mengurangi minat konsumsi daging putih. Menurut Rao, et.al (2015) ikan nila merupakan spesies ikan yang biasanya mencari makan di sekitar permukaan air dan dalam kolom air [20]. Mengetahui lokasi sebagian besar ditemukannya mikroplastik sebelumnya oleh Kooi & Koelmans (2019) maka ikan nila memiliki risiko tinggi mengonsumsi mikroplastik [21].

Dalam studi ini, akan dilakukan perhitungan bioakumulasi mikroplastik pada ikan *Oreochromis niloticus* di keramba ikan Ranu Grati. Ukuran dan jenis mikroplastik yang ditemukan juga akan dihitung.

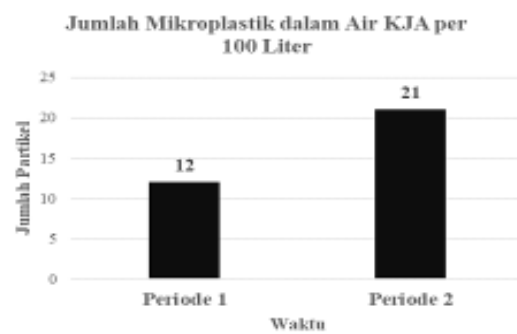
II. METODOLOGI

A. Waktu dan Tempat Penelitian

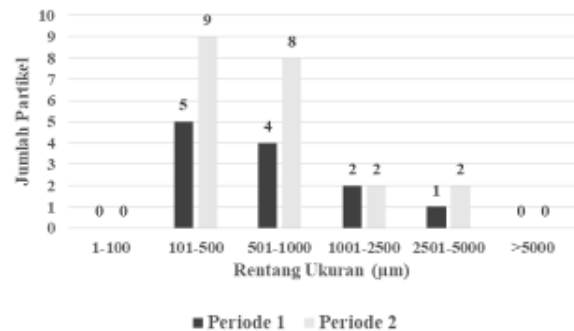
Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari Januari 2022 hingga Juni 2022. Pengambilan sampel dilaksanakan di keramba jaring apung atau KJA di kawasan Ranu Grati yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Sementara itu, analisis sampel dilaksanakan di Laboratorium Ekologi Departemen Biologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Sains dan Analisis Data.

B. Pengambilan dan Preparasi Sampel Air KJA

Sampel air diambil menggunakan ember, *plankton net*, botol plastik 100 ml, dan *cool box*. Pengambilan dilakukan secara langsung dari KJA Desa Sumber Dawesari, pada tempat diambilnya sampel ikan dan menggunakan metode penyaringan dengan *plankton net*. Sampel air diambil dengan ember sebanyak 10 liter, kemudian dituang pada *plankton net* untuk melakukan penyaringan. Sampel yang disaring melalui *plankton net* dengan ukuran mesh 80 µm. Bagian luar *plankton net* dibilas dengan air untuk memastikan tidak adanya partikel mikroplastik yang menempel pada jaring. Lalu, bagian *cod end* dilepas secara perlahan dan sampel air disimpan dalam botol plastik 100 ml. Botol sampel dimasukkan ke *cool box* berisi es untuk



Gambar 2. Data Kelimpahan Mikroplastik dalam Air KJA.



Gambar 3. Data Kelimpahan Mikroplastik Dalam Air KJA pada Periode 1 dan Periode 2 Berdasarkan Ukurannya.

mencegah degradasi mikroplastik di dalamnya, kemudian dipindahkan ke *freezer* hingga akan dianalisis. Sampel air diambil setiap kali dilakukan pengambilan sampel ikan [22-24].

Sampel air yang telah tersaring kemudian dipindahkan ke tabung erlenmeyer. Sampel lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu 80°C selama 24 jam [25-26]. Setelah dikeringkan, sampel ditambahkan 2 ml larutan H₂O₂ 30% serta 6 g NaCl/20 ml dan dibiarkan selama 24 jam. Penambahan larutan H₂O₂ bertujuan untuk merusak bahan-bahan organik yang ada dalam sampel air, sementara penambahan larutan NaCl bertujuan untuk memisahkan mikroplastik dari sedimen-sedimen yang ada [26]. Sampel yang telah ditambahkan larutan-larutan kemudian diinkubasi dengan *water bath* bersuhu 80°C selama 24 jam. Hasil sampel kemudian difiltrasi dengan pompa vakum dan kertas filtrasi mikrofiber Whatman No. 42 [25]. Hasil filtrasi kemudian dipindahkan ke cawan petri dan disimpan hingga pengamatan.

C. Pengambilan dan Preparasi Sampel Daging Ikan Nila

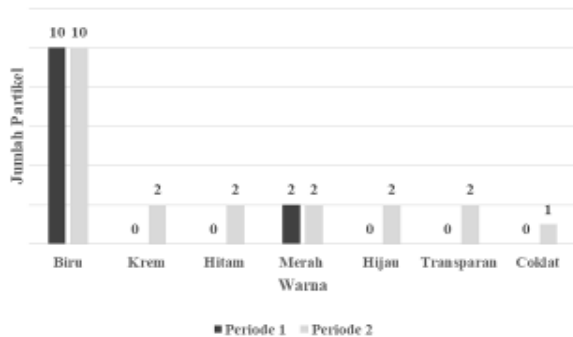
Sampel ikan nila diambil secara langsung dari keramba apung di daerah Ranu Grati. Pengambilan sampel dilaksanakan sebanyak 2 kali. Yang pertama dilakukan 2 bulan setelah pembenihan, sementara yang kedua dilakukan 4 bulan setelah pembenihan. Tiap pengambilan dilakukan secara acak dan dari 1 persegi yang sama dari KJA yang sama. Untuk tiap pengambilan, diambil 30 ekor sampel ikan.

Sampel ikan yang didapatkan selanjutnya disimpan di *cool box* berisi es, kemudian dipindahkan ke dalam *freezer* dengan suhu -20°C hingga siap dibedah [27-28]. Sampel ikan diukur panjang tubuhnya dan berat tubuhnya. Panjang tubuh ikan diukur dari bagian mulut hingga bagian tengah dari sirip kaudal (ekor). Pengukuran panjang menggunakan meteran kain dengan satuan ketelitian 1 mm. Berat tubuh

Tabel 1.

Data Mikroplastik Terpanjang dan Terpendek Serta Rata-rata Panjang Mikroplastik dalam Air KJA pada Periode 1 dan Periode 2

| Data | Periode 1 (µm) | Periode 2 (µm) |
|-----------------|----------------|----------------|
| MP Terpanjang | 3490,82 | 4650,5 |
| MP Terpendek | 133,07 | 133,3 |
| Mean Panjang MP | 958,57 | 922,09 |



Gambar 4. Data Kelimpahan Mikroplastik Dalam Air KJA pada Periode 1 dan Periode 2 Berdasarkan Warnanya.

ikan diukur menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,1 g [29]. Ikan dibedah secara longitudinal di daerah abdomen, dari pangkal sirip pektoral hingga anus, menggunakan pisau bedah, gunting, dan gunting forcep. Daging ikan kemudian diambil dan diletakkan di wadah kaca.

Wadah kaca berisi daging ditambahkan larutan KOH 10% dengan volume 3 kali lebih banyak dibandingkan dengan berat daging yang ada, hingga maksimum 150 ml, untuk merusak bahan organik pada daging. Untuk memastikan perusakan berlangsung optimal, wadah kaca dibungkus dengan lapisan *aluminium foil* dan diinkubasi dalam suhu 60°C selama sekurang-kurangnya 24 jam [1], [29].

Setelah inkubasi, wadah kaca ditambahkan sekitar 800 ml larutan NaCl terfiltrasi untuk memisahkan mikroplastik dari larutan cernaan bahan organik dengan pengapungan. Larutan kemudian difiltrasi dengan kertas filtrasi mikrofiber Whatman GF/C 1,2 µm menggunakan pompa vakum. Hasil filtrasi kemudian diletakkan di cawan petri bersih dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C. Cawan petri kemudian disimpan hingga pengamatan mikroskopis [1].

D. Analisis Mikroplastik pada Sampel Air dan Daging Ikan

Sampel ikan nila diambil secara langsung dari keramba apung di daerah Ranu Grati. Pengambilan sampel dilaksanakan sebanyak 2 kali. Yang pertama dilakukan 2 bulan setelah pembenihan, sementara yang kedua dilakukan 4 bulan setelah pembenihan. Tiap pengambilan dilakukan secara acak dan dari 1 persegi yang sama dari KJA yang sama. Untuk tiap pengambilan, diambil 30 ekor sampel ikan.

Sampel ikan yang didapatkan selanjutnya disimpan di coolbox berisi es, kemudian dipindahkan ke dalam *freezer* dengan suhu -20°C hingga siap dibedah [1], [27-28].

E. Analisis Data Statistik

Analisis data statistik dilakukan secara deskriptif kuantitatif menggunakan program SPSS for Windows. Data percobaan terlebih dahulu diberlakukan uji normalitas Shapiro-Wilk serta uji homogenitas varian Levene [30-31]. Jika distribusi data tergolong normal, maka dilanjutkan dengan uji t 2 sampel berpasangan [32]. Sebaliknya, maka

Tabel 2.

Data Kelimpahan Mikroplastik Dalam Air KJA pada Periode 1 dan Periode 2 Berdasarkan bentuk dan Warnanya

| Bentuk | Warna | Jumlah | |
|---------|------------|-----------|-----------|
| | | Periode 1 | Periode 2 |
| Fiber | Biru | 8 | 10 |
| | Krem | 0 | 2 |
| | Hitam | 0 | 1 |
| | Kuning | 0 | 0 |
| | Merah | 2 | 2 |
| | Hijau | 0 | 1 |
| | Transparan | 0 | 2 |
| | Coklat | 0 | 1 |
| | Biru | 2 | 0 |
| | Krem | 0 | 0 |
| Fragmen | Hitam | 0 | 1 |
| | Kuning | 0 | 0 |
| | Merah | 0 | 0 |
| | Hijau | 0 | 1 |
| | Transparan | 0 | 0 |
| | Coklat | 0 | 0 |
| | Coklat | 0 | 0 |

dilanjutkan dengan uji Mann Whitney U [33]. Uji t dilaksanakan untuk mengetahui keberadaan perbedaan kelimpahan mikroplastik antara ikan nila berumur 2 bulan dengan 4 bulan. Uji t berpasangan dilakukan karena kedua kelompok sampel (ikan nila berumur 2 bulan dengan 4 bulan) berasal dari lingkungan yang sama, yakni KJA Desa Sumber Dawesari, dengan kondisi yang sama [34]. Semua uji statistik menggunakan taraf signifikansi 95% (p-value<0.05).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Mikroplastik Dalam Air Keramba Jaring Apung

1) Kelimpahan Mikroplastik Dalam Air Keramba Jaring Apung

Pengambilan sampel air KJA dilaksanakan sebanyak 2 kali: periode 1 (1 Maret 2022) dan periode 2 (23 April 2022). Volume sampel air yang diambil setiap kalinya adalah 100 liter pada petak KJA yang sama. Pengambilan air dilakukan dengan ember pada kolom air bagian permukaan. Hal ini disebabkan karena terdapat jarak sekitar 50 cm antara pijakan KJA dengan permukaan, menyebabkan terbatasnya kemampuan pengambilan air pada kolom yang lebih dalam. Data sampel akan disajikan dalam Gambar 2.

Pengambilan sampel mikroplastik pada air KJA dilaksanakan sebanyak 2 kali. Dari sampel air KJA periode 1, ditemukan 12 partikel/100 liter atau sekitar 0,12 partikel/L. Sementara itu, pada sampel air KJA periode 2, ditemukan 21 partikel/100 liter atau sekitar 0,21 partikel/L. Terlihat kelimpahan mikroplastik pada sampel periode 1 yang lebih tinggi dibandingkan sampel periode 2. Perbedaan kelimpahan mikroplastik dapat disebabkan oleh degradasi partikel plastik. Degradasi plastik pada perairan dapat disebabkan oleh fotodegradasi (degradasi oleh sinar matahari), degradasi biologis, degradasi fisik, dan degradasi kimiawi [27], [35].

Sumber dari kelimpahan mikroplastik sendiri dapat berasal dari kegiatan antropogenik atau perikanan sekitar di sekitar KJA. Menurut penduduk sekitar, tidak terdapat pabrik yang membuang limbahnya ke Ranu Grati. Dapat

Tabel 3.

Data Mikroplastik Terpanjang dan Terpendek Serta Rata-rata Panjang Mikroplastik dalam Daging Ikan pada Periode 1 dan Periode 2

| Data | Periode 1 | Periode 2 |
|----------------------|-----------|-----------|
| MP Terpanjang (µm) | 15466,5 | 7479,9 |
| MP Terpendek (µm) | 20,8 | 26,8 |
| Mean Panjang MP (µm) | 1404,5 | 1028,9 |
| Standar Deviasi | 1481,7 | 1009,4 |

diasumsikan bahwa limbah antropogenik yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga menjadi faktor penting kemunculan banyaknya mikroplastik berwarna.

Penemuan kelimpahan mikroplastik dalam air KJA Ranu Grati (periode 1=0,12 partikel/L; periode 2=0,21 partikel/L) terlihat sangat sedikit dibandingkan penemuan oleh peneliti lain di danau lain. Hasibuan, et.al (2021) menemukan rata-rata kelimpahan mikroplastik pada air Danau Kenanga, Depok, Jawa Barat, sebesar $1.766,6 \pm 40,11$ partikel/L dan Danau Agathis, Depok, Jawa Barat, sebesar $1.885,53 \pm 106,27$ partikel/L [36]. Hasil penemuan yang sedikit ini dapat disebabkan oleh ketinggian pengambilan sampel air, yakni hanya pada bagian permukaan air. Hal ini dapat menyebabkan keterbatasan variasi dan jumlah partikel mikroplastik yang terambil. Selain itu, pengambilan sampel air tidak dilakukan pengulangan, sehingga data yang didapatkan semakin terbatas dan tidak dapat dibandingkan untuk mengetahui kebenarannya.

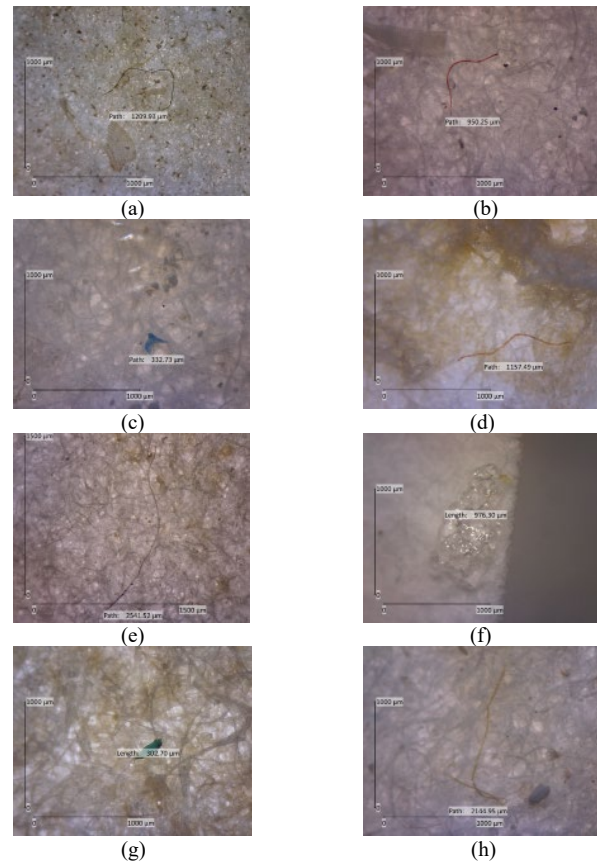
2) *Bentuk dan Ukuran Mikroplastik Dalam Air Keramba Jaring Apung*

Untuk mempermudah komparasi hasil data ukuran dengan hasil dari penelitian lainnya, mikroplastik pada air KJA diklasifikasikan menjadi 6 grup: 1-100 µm, 101-500 µm, 501-1000 µm, 1001-2500 µm, 2501-5000 µm, dan >5000 µm. Gambar 3 akan menyajikan jumlah mikroplastik dari keenam grup ukuran dalam bentuk grafik. Gambar 4 akan menyajikan data jumlah bentuk mikroplastik yang ditemukan dalam air KJA pada periode 1 dan periode 2. Tabel 1 menyajikan data mikroplastik terpanjang dan terpendek serta rata-rata panjang mikroplastik pada tiap periode.

Pengamatan terhadap sampel air KJA periode 1 dan periode 2 menunjukkan bahwa mikroplastik berukuran 101-500 µm paling banyak ditemukan, diikuti dengan ukuran 501-1000 µm. Jumlah mikroplastik pada kedua periode menunjukkan tren kelimpahan rentang ukuran yang serupa. Mikroplastik pada periode 1 memiliki rentang ukuran antara 133,07-3490,82 µm; sementara mikroplastik pada periode 2 memiliki rentang ukuran antara 133,3-4650,5 µm.

Dari penemuan ini, dapat diasumsikan bahwa mayoritas mikroplastik yang ditemukan memiliki ukuran >1000 µm (1 mm). Mikroplastik dalam rentang ukuran ini sering disebut juga mikroplastik kecil [37]. Dominasi kelimpahan mikroplastik kecil juga ditemukan dalam penelitian lain [2], [35]. Kelimpahan mikroplastik kecil dapat diasosiasikan dengan fragmentasi limbah-limbah plastik primer atau plastik yang lebih besar. Fragmentasi dapat disebabkan oleh fotodegradasi (degradasi oleh sinar matahari), degradasi biologis, degradasi fisik, dan degradasi kimiawi [27], [35].

Melihat data yang didapatkan, diketahui bahwa mikroplastik dengan bentuk fiber merupakan jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan pada periode 1 dan periode 2 sekaligus. Dominasi mikroplastik fiber yang



Gambar 5. (a) Mikroplastik fiber hitam. (b) Fiber Merah. (c) Fragmen Biru. (d) Fiber Coklat. (e) Fiber Krem. (f) Film Transparan. (g) Fragmen Hijau. (h) Fiber Kuning.

ditemukan dapat dikaitkan dengan lokasi pengambilan sampel air sendiri, yakni dalam petak KJA yang disekat oleh banyak tali tambang. Mikroplastik fiber sendiri merupakan mikroplastik sekunder yang biasanya merupakan fragmentasi dari bahan-bahan kain, jaring ikan, tali, dan kanvas. Degradasi tali seiring berjalannya waktu diduga menambah jumlah mikroplastik fiber yang ditemukan dalam air [38]. Dominasi bentuk fiber juga ditemukan pada sejumlah penelitian lainnya dalam beragam jenis badan perairan [35], [38].

Selain mikroplastik fiber, ditemukan juga sejumlah mikroplastik berbentuk fragmen. Biasanya mikroplastik fragmen berasal dari fragmentasi botol atau produk plastik lainnya yang berukuran lebih besar [27], [39]. Fragmen merupakan salah satu bentuk mikroplastik yang cukup sering ditemukan, seperti fiber. Kecilnya kelimpahan mikroplastik fragmen dalam penemuan ini kemungkinan disebabkan oleh densitas mikroplastik fragmen yang ditemukan cenderung lebih tinggi dibandingkan densitas mikroplastik fiber yang ditemukan. Densitas mikroplastik yang lebih tinggi akan menyebabkan partikel semakin tenggelam. Karena pengambilan sampel air yang terbatas hanya pada permukaan air, maka hanya sedikit mikroplastik fragmen yang didapatkan [40].

3) *Warna Mikroplastik Dalam Air Keramba Jaring Apung*

Data kelimpahan mikroplastik berdasarkan warnanya akan disajikan melalui Tabel 2 dan Gambar 4. Melihat data yang didapatkan dan ditunjukkan oleh Gambar 5 diketahui bahwa mikroplastik dengan karakteristik berwarna biru serta berbentuk fiber merupakan jenis mikroplastik yang paling

Tabel 4.
Data Kelimpahan Mikroplastik Dalam Daging Ikan pada Periode 1 dan Periode 2 Berdasarkan Bentuk dan Warnanya

| Bentuk | Warna | Jumlah | |
|---------|------------|-----------|-----------|
| | | Periode 1 | Periode 2 |
| Fiber | Biru | 284 | 191 |
| | Krem | 86 | 13 |
| | Hitam | 63 | 45 |
| | Kuning | 2 | 1 |
| | Merah | 24 | 23 |
| | Hijau | 1 | 0 |
| | Transparan | 22 | 14 |
| | Coklat | 6 | 4 |
| | Biru | 7 | 28 |
| | Krem | 0 | 0 |
| Fragmen | Hitam | 7 | 7 |
| | Kuning | 0 | 0 |
| | Merah | 1 | 1 |
| | Hijau | 0 | 2 |
| | Transparan | 0 | 1 |
| | Coklat | 1 | 0 |
| | Biru | 0 | 0 |
| | Krem | 0 | 0 |
| | Hitam | 0 | 0 |
| | Kuning | 0 | 0 |
| Film | Merah | 0 | 0 |
| | Hijau | 0 | 0 |
| | Transparan | 6 | 0 |
| | Coklat | 0 | 0 |
| | | | |

banyak ditemukan. Dominasi warna biru juga ditemukan pada sejumlah penelitian lainnya dalam beragam jenis badan perairan [35], [38]. Pada sampel air KJA periode 2, didapatkan variasi warna mikroplastik yang lebih tinggi. Perbedaan kelimpahan warna ini dapat disebabkan oleh tingginya rendahnya kelimpahan warna selain biru dan merah saat pengambilan di periode 1. Minimnya variasi warna mikroplastik yang ditemukan juga dapat disebabkan oleh keterbatasan pengambilan sampel air hanya pada permukaan air saja.

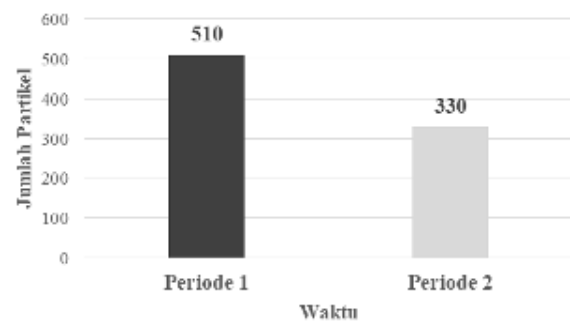
B. Mikroplastik Pada Daging Ikan Nila

1) Kelimpahan Mikroplastik Pada Daging Ikan Nila

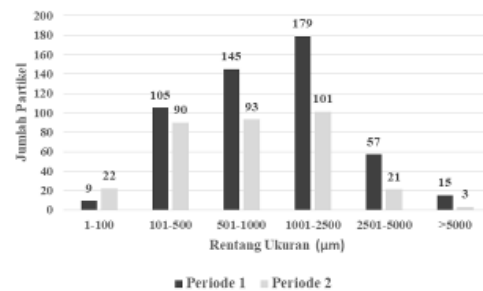
Tabel 3 menyajikan data rata-rata atau mean morfometri ikan dan rata-rata jumlah mikroplastik dalam ikan nila dari kedua periode. Data jumlah mikroplastik dalam daging ikan nila dari kedua periode disajikan dalam Gambar 6.

Pada grup periode 1, 30 ikan memiliki rata-rata panjang tubuh (PT) sebesar 108,3 + 8,1 mm; dengan rentang ukuran antara 94-130 mm. Berat tubuh (BT) rata-rata ikan dalam grup periode 1 adalah 25,6 + 5,7 g; dengan rentang berat antara 14,3-40,7 g. Pada grup periode 2, 30 ikan memiliki rata-rata panjang tubuh (PT) sebesar 180,1 + 10,1 mm; dengan rentang ukuran antara 169-201 mm. Berat tubuh (BT) rata-rata ikan dalam grup periode 2 adalah 105,6 + 19,6 g; dengan rentang berat antara 75-152,7 g.

Pada grup periode 1, ditemukan sebanyak 510 mikroplastik dalam daging ikan dengan rata-rata sebesar 17,0 + 9,8 partikel/individu; dengan rentang jumlah mikroplastik antara 1-41 partikel/individu dan jumlah mikroplastik per satuan biomassa daging sebesar 2,1 partikel/g. Pada grup periode 2, ditemukan sebanyak 330 mikroplastik dalam daging ikan dengan rata-rata 11,0 + 9,8



Gambar 6. Data Kelimpahan Mikroplastik Dalam Daging Ikan pada Periode 1 dan Periode 2.



Gambar 7. Data Kelimpahan Mikroplastik dalam Daging Ikan pada Periode 1 dan Periode 2 Berdasarkan Ukurannya.

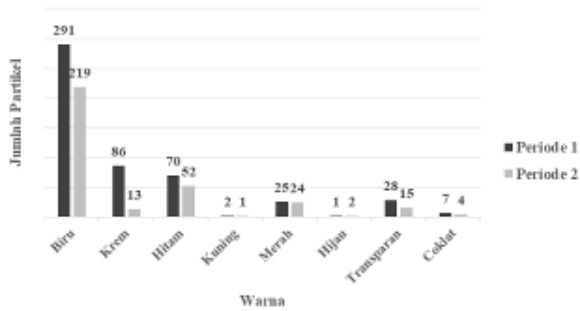
partikel/individu; dengan rentang jumlah antara 1-50 partikel/individu dan jumlah mikroplastik per satuan biomassa daging sebesar 0,3 partikel/g.

Mikroplastik dalam daging ikan diduga berasal dari perairan dalam KJA, sesuai dengan pembahasan kelimpahan mikroplastik dalam air KJA sebelumnya. Masuknya mikroplastik ke dalam tubuh ikan kemungkinan besar melalui konsumsi mikroplastik secara tidak sengaja. Menurut pemilik KJA, ikan-ikan diberikan pakan berupa pelet ikan secara rutin, dan bagi ikan-ikan yang sudah cukup besar, diberikan juga pakan tambahan berupa sayuran. Pelet ikan dan sayuran dapat menjadi salah satu sumber mikroplastik yang masuk ke dalam ikan [41-42].

Mikroplastik yang terkonsumsi oleh ikan kemudian masuk ke dalam saluran gastrointestinal. Jika mikroplastik tidak dikeluarkan dari tubuh melalui urin atau feses, mikroplastik dapat melewati dinding saluran gastrointestinal dan tersebar ke jaringan tubuh atau organ lain melalui pembuluh darah. Jaringan otot, atau bagian daging, menjadi salah satu jaringan yang dapat menjadi tempat akumulasi mikroplastik.

Hasil uji Mann Whitney U menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada kelimpahan mikroplastik dalam daging ikan periode 1 dan periode 2 (p-value=0,006182). Perbedaan ditunjukkan dengan kandungan mikroplastik dalam daging ikan dari grup periode 1 yang lebih tinggi dibandingkan ikan dari grup periode 2. Penemuan kelimpahan mikroplastik ini berbeda dengan teori yang diberikan oleh McNeish bahwa bioakumulasi mikroplastik dapat berkorelasi terhadap umur ikan, dengan ikan yang lebih tua cenderung memiliki mikroplastik yang lebih banyak dalam tubuhnya [11].

Di sisi lain, Vries menyugestikan bahwa partikel-partikel mikroplastik yang masuk, menetap, dan dikeluarkan tubuh ikan kemungkinan berjumlah acak, menyebabkan jumlah mikroplastik yang ditemukan dalam penelitian ini fluktuatif,



Gambar 8. Data Kelimpahan Mikroplastik Dalam Daging Ikan pada Periode 1 dan Periode 2 Berdasarkan Warnanya.

baik antar individu maupun antar grup [43]. Penelitiannya terhadap mikroplastik dalam perut ikan cod dan ikan saithe tidak menemukan perbedaan keberadaan atau jumlah mikroplastik yang signifikan di antara kedua spesies ikan.

Tingginya jumlah mikroplastik pada ikan nila grup periode 1 dapat dikaitkan dengan kebiasaan makan ikan nila muda yang lebih cenderung mengonsumsi mikroplastik dari air KJA secara tidak disengaja karena kemiripannya dengan plankton [10], [29], [44-46]. Tesfahun (2018) menemukan bahwa ikan nila juvenil lebih memilih makanan hewani (zooplankton, hewan, dan nematoda), sementara ikan nila dewasa lebih cenderung memilih makanan nabati (fitoplankton, detritus, dan makrofit) [47].

2) Ukuran dan Bentuk Mikroplastik Pada Daging Ikan Nila

Gambar 6 menyajikan jumlah mikroplastik dari keenam grup ukuran dalam bentuk grafik. Gambar 7 menyajikan data jumlah bentuk mikroplastik yang ditemukan dalam daging ikan pada periode 1 dan periode 2, tersajikan dalam diagram lingkaran. Tabel 3 menyajikan data mikroplastik terpanjang dan terpendek serta rata-rata panjang mikroplastik pada tiap periode.

Pengamatan terhadap sampel daging ikan periode 1 dan periode 2 menunjukkan bahwa mikroplastik berukuran 1001-2500 μm paling banyak ditemukan. Jumlah mikroplastik pada kedua periode juga menunjukkan tren yang serupa. Mikroplastik pada periode 1 memiliki rentang ukuran antara 20,8-15466,5 μm ; sementara mikroplastik pada periode 2 memiliki rentang ukuran antara 26,8-7479 μm . Penemuan ini juga ditemukan oleh sejumlah peneliti lain [48]. Kelimpahan tinggi mikroplastik dalam daging ikan dengan rentang ukuran 500-2500 μm dapat diasosiasikan dengan kemiripannya dengan ukuran zooplankton yang menjadi mangsa ikan nila [49-50].

Mikroplastik dengan ukuran yang cukup kecil dapat terdistribusi melalui aliran darah dan memasuki jaringan otot. Fragmentasi mikroplastik dalam pencernaan hewan akuatik kemungkinan mempermudah proses ini [51]. Namun, menurut Kim, et.al (2021) hanya mikroplastik berukuran sekitar 5-150 μm yang dapat melewati epitel saluran gastrointestinal dan masuk ke sistem sirkulasi, sementara mikroplastik dengan ukuran yang lebih besar biasanya menetap di saluran gastrointestinal [15], [51-54]. Barboza, et.al (2020) menduga bahwa mikroplastik tersebut dapat mencapai daging ikan melalui lesi atau luka yang terdapat pada kulit, insang, atau dinding saluran gastrointestinal [54]. Abbasi, et.al (2018) berpendapat bahwa mikroplastik kemungkinan masuk ke dalam jaringan melalui proses endositosis atau melalui penempelan

mikroplastik secara langsung (*adherence*) pada jaringan non-pencernaan [15].

3) Warna Mikroplastik Pada Daging Ikan Nila

Data kelimpahan mikroplastik berdasarkan warnanya akan disajikan melalui Gambar 8 dan Tabel 4. Diketahui bahwa mikroplastik dengan karakteristik berwarna biru paling banyak ditemukan pada daging ikan periode 1 dan periode 2, diikuti dengan warna hitam dan transparan. Mayoritas kelimpahan mikroplastik biru dapat disebabkan oleh banyaknya jumlah mikroplastik biru di perairan pengambilan sampel ikan sejak awal. Akhbarizadeh (2018) menduga bahwa jumlahnya yang banyak menyebabkan mikroplastik biru memiliki kemungkinan yang lebih besar terkonsumsi oleh ikan [51]. Hal ini dapat dikaitkan juga dengan penemuan dominasi mikroplastik biru pada sampel perairan KJA.

Variasi warna mikroplastik yang ditemukan dalam daging ikan dari grup periode 1 dan periode 2 tidak merefleksikan variasi warna mikroplastik yang ditemukan dalam air KJA. Kemunculan beragam warna lainnya dapat disebabkan oleh beragamnya limbah antropogenik yang masuk ke dalam air KJA, terfragmentasi menjadi mikroplastik sekunder berukuran kecil, dan terkonsumsi oleh ikan nila di KJA [39]. Ikan nila mampu bergerak secara vertikal dalam kolom perairan, memungkinkan konsumsi mikroplastik dengan warna yang tidak ditemukan pada sampel air KJA sebelumnya [55].

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa: (1) Ditemukan mikroplastik terdeteksi pada air dalam keramba jaring apung Ranu Grati yang didominasi oleh mikroplastik berwarna biru dan berbentuk fiber. (2) Ditemukan mikroplastik dalam daging ikan nila berumur 2 bulan dan berumur 4 bulan, dengan keduanya didominasi oleh mikroplastik berwarna biru dan berbentuk fiber. (3) Ikan nila berumur 2 bulan memiliki kandungan mikroplastik per satuan massa (2,1 partikel/g) yang lebih tinggi dibandingkan ikan nila yang berumur 4 bulan (0,3 partikel/g).

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, disarankan bagi penelitian serupa di masa mendatang untuk melakukan pengulangan saat pengambilan sampel air agar hasilnya dapat dibandingkan. Pengambilan sampel air juga dapat dilakukan dengan kedalaman yang memungkinkan terambilnya sampel air dari kolom air yang lebih dalam. Penelitian lebih lanjut dapat mencari kelimpahan mikroplastik dalam salah satu sumber makanan ikan nila di KJA Ranu Grati, yakni pelet ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Atici, A. Sepil, and F. Sen, "High levels of microplastic ingestion by commercial, planktivorous *Alburnus Tarichi* in Lake Van, Turkey," *Food Addit. Contam. Part A*, vol. 38, no. 10, pp. 1767-1777, Oct. 2021, doi: 10.1080/19440049.2021.1941304.
- [2] K. Zhang, J. Su, X. Xiong, X. Wu, C. Wu, and J. Liu, "Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet Plateau, China," *Environ. Pollut.*, vol. 219, pp. 450-455, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.envpol.2016.05.048.
- [3] L. Van Cauwenberghe, A. Vanreusel, J. Mees, and C. R. Janssen, "Microplastic pollution in deep-sea sediments," *Environ. Pollut.*, vol. 182, pp. 495-499, Nov. 2013, doi:

- 10.1016/j.envpol.2013.08.013.
- [4] L. M. Ziccardi, A. Edgington, K. Hentz, K. J. Kulacki, and S. Kane Driscoll, "Microplastics as vectors for bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in the marine environment: A state-of-the-science review," *Environ. Toxicol. Chem.*, vol. 35, no. 7, pp. 1667–1676, Jul. 2016, doi: 10.1002/etc.3461.
 - [5] S. Galafassi, C. Campanale, C. Massarelli, V. F. Uricchio, and P. Volta, "Do freshwater fish eat microplastics? A Review with a focus on effects on fish health and predictive traits of MPs ingestion," *Water*, vol. 13, no. 16, p. 2214, Aug. 2021, doi: 10.3390/w13162214.
 - [6] A. Rodríguez-Seijo and R. Pereira, "Morphological and physical characterization of microplastics," *Compr. Anal. Chem.*, vol. 75, pp. 49–66, 2017, doi: 10.1016/bs.coac.2016.10.007.
 - [7] M. E. Miller, M. Hamann, and F. J. Kroon, "Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data," *PLoS One*, vol. 15, no. 10, p. e0240792, Oct. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0240792.
 - [8] J.-S. Huang *et al.*, "Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China," *Sci. Total Environ.*, vol. 708, p. 134839, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134839.
 - [9] A. A. Horton, M. D. Jürgens, E. Lahive, P. M. van Bodegom, and M. G. Vijver, "The influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by the freshwater fish *Rutilus rutilus* (roach) in the River Thames, UK," *Environ. Pollut.*, vol. 236, pp. 188–194, May 2018, doi: 10.1016/j.envpol.2018.01.044.
 - [10] N. Azizi, N. Khoshnamvand, and S. Nasseri, "The quantity and quality assessment of microplastics in the freshwater fishes: A systematic review and meta-analysis," *Reg. Stud. Mar. Sci.*, vol. 47, p. 101955, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.rsma.2021.101955.
 - [11] R. E. McNeish, L. H. Kim, H. A. Barrett, S. A. Mason, J. J. Kelly, and T. J. Hoellein, "Microplastic in riverine fish is connected to species traits," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, p. 11639, Aug. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-29980-9.
 - [12] H. S. H. Chan, C. Dingle, and C. Not, "Evidence for non-selective ingestion of microplastic in demersal fish," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 149, p. 110523, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110523.
 - [13] M. Assas *et al.*, "Bioaccumulation and reproductive effects of fluorescent microplastics in medaka fish," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 158, p. 111446, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111446.
 - [14] A. Karami, A. Golieskardi, C. K. Choo, N. Romano, Y. Bin Ho, and B. Salamatinia, "A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish," *Sci. Total Environ.*, vol. 578, pp. 485–494, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.213.
 - [15] S. Abbasi, N. Soltani, B. Keshavarzi, F. Moore, A. Turner, and M. Hassanaghaei, "Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf," *Chemosphere*, vol. 205, pp. 80–87, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.04.076.
 - [16] Campanale, Massarelli, Savino, Locaputo, and Uricchio, "A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 4, p. 1212, Feb. 2020, doi: 10.3390/ijerph17041212.
 - [17] E. W. Safitri and H. Idajati, "Identifikasi pemanfaatan Danau Ranu Grati oleh stakeholders dengan participatory mapping," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, Sep. 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.24570.
 - [18] Z. Feng *et al.*, "The accumulation of microplastics in fish from an important fish farm and mariculture area, Haizhou Bay, China," *Sci. Total Environ.*, vol. 696, p. 133948, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133948.
 - [19] A. Nurhayati, A. Yustiati, and T. Herawati, "An integrated supply chain management based Nila Nirwana (*Oreochromis niloticus*) seed market institution," *J. Perikan. Univ. Gadjah Mada*, vol. 21, no. 2, p. 65, Dec. 2019, doi: 10.22146/jfs.44210.
 - [20] W. Rao, J. Ning, P. Zhong, E. Jeppesen, and Z. Liu, "Size-dependent feeding of omnivorous Nile tilapia in a macrophyte-dominated lake: implications for lake management," *Hydrobiologia*, vol. 749, no. 1, pp. 125–134, May 2015, doi: 10.1007/s10750-014-2155-3.
 - [21] M. Kooi and A. A. Koelmans, "Simplifying microplastic via continuous probability distributions for size, shape, and density," *Environ. Sci. Technol. Lett.*, vol. 6, no. 9, pp. 551–557, Sep. 2019, doi: 10.1021/acs.estlett.9b00379.
 - [22] X. Xiong, C. Wu, J. J. Elser, Z. Mei, and Y. Hao, "Occurrence and fate of microplastic debris in middle and lower reaches of the Yangtze River – From inland to the sea," *Sci. Total Environ.*, vol. 659, pp. 66–73, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.313.
 - [23] C. Campanale, I. Savino, I. Pojar, C. Massarelli, and V. F. Uricchio, "A practical overview of methodologies for sampling and analysis of microplastics in riverine environments," *Sustainability*, vol. 12, no. 17, p. 6755, Aug. 2020, doi: 10.3390/su12176755.
 - [24] J. N. Hitchcock, "Storm events as key moments of microplastic contamination in aquatic ecosystems," *Sci. Total Environ.*, vol. 734, p. 139436, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139436.
 - [25] N. R. Buwono, Y. Risjani, and A. Soegianto, "Distribution of microplastic in relation to water quality parameters in the Brantas River, East Java, Indonesia," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 24, p. 101915, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101915.
 - [26] N. R. Buwono, Y. Risjani, and A. Soegianto, "Contamination of microplastics in Brantas River, East Java, Indonesia and its distribution in gills and digestive tracts of fish *Gambusia affinis*," *Emerg. Contam.*, vol. 7, pp. 172–178, 2021, doi: 10.1016/j.emcon.2021.08.002.
 - [27] K. Tanaka and H. Takada, "Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters," *Sci. Rep.*, vol. 6, no. 1, p. 34351, Sep. 2016, doi: 10.1038/srep34351.
 - [28] L. G. A. Barboza, L. R. Vieira, V. Branco, C. Carvalho, and L. Guilhermino, "Microplastics increase mercury bioconcentration in gills and bioaccumulation in the liver, and cause oxidative stress and damage in *Dicentrarchus labrax* juveniles," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, p. 15655, Oct. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-34125-z.
 - [29] P. Makhdomi, H. Hossini, Z. Nazmara, K. Mansouri, and M. Pirsaeheb, "Occurrence and exposure analysis of microplastic in the gut and muscle tissue of riverine fish in Kermanshah province of Iran," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 173, p. 112915, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112915.
 - [30] S. McGregor and N. A. Strydom, "Feeding ecology and microplastic ingestion in *Chelon richardsonii* (Mugilidae) associated with surf diatom *Anaulus australis* accumulations in a warm temperate South African surf zone," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 158, p. 111430, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111430.
 - [31] Q. Wang *et al.*, "Microplastic uptake in commercial fishes from the Bohai Sea, China," *Chemosphere*, vol. 263, p. 127962, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127962.
 - [32] M. S. Hossain *et al.*, "Microplastic contamination in Penaeid shrimp from the Northern Bay of Bengal," *Chemosphere*, vol. 238, p. 124688, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124688.
 - [33] J. Ding *et al.*, "Microplastics in the Coral Reef Systems from Xisha Islands of South China Sea," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 14, pp. 8036–8046, Jul. 2019, doi: 10.1021/acs.est.9b01452.
 - [34] J.-B. du Prel, B. Röhrig, G. Hommel, and M. Blettner, "Choosing statistical tests," *Dtsch. Arztebl. Int.*, May 2010, doi: 10.3238/arztebl.2010.0343.
 - [35] M. B. Alfonso *et al.*, "First evidence of microplastics in nine lakes across Patagonia (South America)," *Sci. Total Environ.*, vol. 733, p. 139385, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139385.
 - [36] A. J. Hasibuan, M. P. Patria, and E. Nurdin, "Analisis Kelimpahan Mikroplastik Pada Air, Insang dan Saluran Pencernaan Ikan Mujair *Oreochromis Mossambicus*. (Peters, 1852) di Danau Kenanga dan Danau Agathis, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat," 2021.
 - [37] M. Sighicelli *et al.*, "Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes," *Environ. Pollut.*, vol. 236, pp. 645–651, May 2018, doi: 10.1016/j.envpol.2018.02.008.
 - [38] A. M. Wieczorek *et al.*, "Frequency of microplastics in Mesopelagic Fishes from the Northwest Atlantic," *Front. Mar. Sci.*, vol. 5, Feb. 2018, doi: 10.3389/fmars.2018.00039.
 - [39] A. Agharokh, M. S. Taleshi, M. Bibak, M. Rasta, H. Torabi Jafroudi, and B. Rubio Armesto, "Assessing the relationship between the abundance of microplastics in sediments, surface waters, and fish in the Iran southern shores," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 13, pp. 18546–18558, Mar. 2022, doi: 10.1007/s11356-021-17128-8.
 - [40] C. B. Crawford and B. Quinn, *Microplastic Pollutants*. Elsevier, 2016.
 - [41] E. A. Wicaksono, "Threats of microplastic pollution on aquaculture activities in Indonesia," *Torani J. Fish. Mar. Sci.*, pp. 77–91, Jun. 2022, doi: 10.35911/torani.v5i2.20106.
 - [42] A. B. T. Amelba *et al.*, "Microplastics found in rice consumed by humans," *Fish. Mar. Sci.*, vol. 6, no. 6, pp. 77–91, 2022.
 - [43] A. N. de Vries, D. Govoni, S. H. Arnason, and P. Carlsson, "Microplastic ingestion by fish: Body size, condition factor and gut fullness are not related to the amount of plastics consumed," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 151, p. 110827, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110827.
 - [44] S. Roch, C. Friedrich, and A. Brinker, "Uptake routes of microplastics in fishes: practical and theoretical approaches to test existing theories," *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, p. 3896, Mar. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-60630-1.
 - [45] A. G. Garcia, D. C. Suárez, J. Li, and J. M. Rotchell, "A comparison of microplastic contamination in freshwater fish from natural and farmed sources," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 12, pp. 14488–14497, Mar. 2021, doi: 10.1007/s11356-020-11605-2.

- [46] X. Xu *et al.*, "Microplastic pollution characteristic in surface water and freshwater fish of Gehu Lake, China," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 47, pp. 67203–67213, Dec. 2021, doi: 10.1007/s11356-021-15338-8.
- [47] A. M. T. Tesfahun, "Food and feeding habits of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) in Ethiopian water bodies: A review," *Fish. Aquat. Stud.*, vol. 6, no. 1, pp. 43–47, 2018.
- [48] R. Sawalman, N. P. Zamani, S. Werorilangi, and M. S. Ismet, "Akumulasi mikroplastik pada spesies ikan ekonomis penting di perairan Pulau Barranglompo, Makassar," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 13, no. 2, pp. 241–259, Aug. 2021, doi: 10.29244/jitkt.v13i2.34587.
- [49] R. S. Pazos, D. E. Bauer, and N. Gómez, "Microplastics integrating the coastal planktonic community in the inner zone of the Río de la Plata estuary (South America)," *Environ. Pollut.*, vol. 243, pp. 134–142, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.envpol.2018.08.064.
- [50] R. Di Mauro, M. J. Kupchik, and M. C. Benfield, "Abundant plankton-sized microplastic particles in shelf waters of the northern Gulf of Mexico," *Environ. Pollut.*, vol. 230, pp. 798–809, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.envpol.2017.07.030.
- [51] R. Akhbarizadeh, F. Moore, and B. Keshavarzi, "Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf," *Environ. Pollut.*, vol. 232, pp. 154–163, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.envpol.2017.09.028.
- [52] J.-H. Kim, Y.-B. Yu, and J.-H. Choi, "Toxic effects on bioaccumulation, hematological parameters, oxidative stress, immune responses and neurotoxicity in fish exposed to microplastics: A review," *J. Hazard. Mater.*, vol. 413, p. 125423, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125423.
- [53] E. F. S. Authority, "Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood," *EFSA J.*, vol. 14, no. 6, Jun. 2016, doi: 10.2903/j.efsa.2016.4501.
- [54] L. G. A. Barboza *et al.*, "Microplastics 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," *Sci. Total Environ.*, vol. 717, p. 134625, May 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134625.
- [55] C. Müller, "Not as bad as it seems? A literature review on the case of microplastic uptake in fish," *Front. Mar. Sci.*, vol. 8, Apr. 2021, doi: 10.3389/fmars.2021.672768.