

## Kelimpahan Mikroplastik pada Ikan Lemuru (*Sardinella lemuru*) dan Ikan Kembung (*Rastrelliger kanagurta*) Yang Didaratkan di PPP Mayangan, Probolinggo

### Microplastic Abundance on Bali Sardinella (*Sardinella lemuru*) and Indian Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) Landed at PPP Mayangan, Probolinggo

Achmadika Avisina<sup>1</sup>, Defri Yona<sup>1,2</sup>, Victor Adi Winata<sup>3</sup>, Hazimah Binte Mohamed Nor<sup>4</sup>, Aida Sartimbul<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran Malang 65145, Indonesia

<sup>2</sup>Marine Exploration Resources and Management (MEXMA) Research Group. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran, Malang 65145. Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Magister Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran, Malang 65145, Indonesia

<sup>4</sup>Nanyang Technological University, Asian School of the Environment, Nanyang Technological University, 50 Nanyang Avenue, Singapore 639798, Singapore

\*Korespondensi penulis: aida@ub.ac.id

#### Abstrak

Ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) dan ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) merupakan dua spesies ikan yang umum ditangkap di PPP Mayangan Probolinggo dan memiliki peluang yang tinggi untuk terkontaminasi oleh mikroplastik. Sampel ikan diambil secara acak dan diukur morfometrik (panjang dan berat tubuh) sebagai informasi biologis pendukung dan validasi untuk penggunaan uji perbedaan morfometrik dari kedua jenis ikan terhadap data kelimpahan mikroplastiknya. Analisis kelimpahan mikroplastik pada kedua jenis ikan dilakukan dengan mengidentifikasi dan membandingkan kelimpahan partikel antara kedua jenis ikan berdasarkan jaringan/organ ikan, tipe partikel, ukuran partikel, serta warna partikel. Bahan organik dihancurkan menggunakan metode destruksi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% dengan perbandingan 1:20. Analisis FTIR digunakan untuk mengetahui jenis polimer dari mikroplastik. Hasil menunjukkan terdapat kelimpahan sebanyak  $52,20 \pm 22,81$  partikel/individu pada ikan kembung dan  $61,20 \pm 10,48$  partikel/individu pada ikan lemuru. Analisis statistik menunjukkan tidak adanya perbedaan kelimpahan partikel yang signifikan berdasarkan asal organ/jaringan maupun tipe, ukuran, dan warna partikel. Dapat disimpulkan bahwa partikel mikroplastik yang dikonsumsi oleh kedua jenis ikan cenderung memiliki karakteristik yang sama: bertipe fragmen atau fiber, berwarna hitam atau biru, dan berukuran berkisar 50-100  $\mu\text{m}$ . Hasil FTIR menunjukkan partikel dengan tipe *cotton fibre*. Kontrol kualitas data mikroplastik dari sampel (tingkat kontaminasi udara 1,59 %) didapatkan dari blanko (kontrol negatif) dengan mempertimbangkan kelimpahan dan karakteristik mikroplastiknya.

**Kata Kunci:** *Rastrelliger kanagurta*, *Sardinella lemuru*, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, mikroplastik, kelimpahan, karakteristik partikel

#### Abstract

Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) and the Bali Sardinella (*Sardinella lemuru*) are two common fish species caught in the Mayangan Probolinggo Fishing Port (PPP) and are highly susceptible to microplastic contamination. Fish samples were picked randomly and their

Received: 17 September 2024

Accepted: 12 October 2024

Published: 28 October 2024

morphometric (body length and weight) were measured as supporting biological information and validation for the usage of difference testing of both species' morphometrics to their microplastics abundance. Analysis of microplastic abundance in both fish species was conducted by identifying and comparing particle abundance between the two species based on fish tissues/organs, particle type, particle size, and particle colour. Organic material was destroyed using a 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> destruction method with a ratio of 1:20. FTIR was performed to determine the polymer of microplastics. The results showed an abundance of  $52.20 \pm 22.81$  particles/individual in mackerel and  $61.20 \pm 10.48$  particles/individual in *Bali Sardinella*. Statistical analysis indicated no significant differences in particle abundance based on organ/tissue origin or particle type, size, and colour. It can be concluded that the microplastic particles consumed by both fish species tend to have similar characteristics: fragmented or fibrous type, black or blue colour, and a size of 50-100  $\mu\text{m}$ . FTIR results indicated cotton fibre type particle. Quality control of the microplastic data from samples (air contamination level of 1,59%) was obtained from blank samples (negative control) with their abundance and characteristics taken into consideration.

**Keywords:** *Rastrelliger kanagurta*, *Sardinella lemuru*, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, microplastic, abundance, particle characteristics

## PENDAHULUAN

Plastik merupakan polimer sintesis dengan penggunaan yang luas dalam berbagai aspek hidup manusia. Produksi massal plastik diketahui terus meningkat tiap tahunnya sejak tahun 1950-an (PlasticEurope, 2019; Worm et al., 2017). Meningkatnya produksi plastik ini juga disertai dengan meningkatnya jumlah limbah plastik yang dihasilkan. Indonesia diketahui menempati posisi kedua sebagai negara dengan jumlah kesalahan manajemen pengelolaan limbah plastik terbesar di dunia (3,2 juta Mt/tahun) setelah Tiongkok (8,82 juta Mt/tahun) (Jambeck et al., 2015; Omeyer et al., 2022). Selanjutnya, limbah plastik tersebut akan masuk ke lautan, terbukti pada tahun 2010 saja telah dihasilkan 275 juta Mt sampah plastik yang dihasilkan dari 192 negara pesisir, dimana 4,8 juta Mt hingga 12,7 juta Mt sampah masuk ke lautan (Jambeck et al., 2015). Plastik yang masuk ke laut dapat tertimbun dalam jumlah yang besar karena bahan baku plastik (berupa etilen dan propilen) yang terbuat dari hidrokarbon fosil sulit tergradasi (Geyer et al., 2017).

Seiring waktu, plastik yang tersebar di lautan ini akan terpapar oleh berbagai faktor lingkungan seperti faktor mekanis perairan, intensitas panas matahari, susunan kimia perairan, radiasi UV, serta biodegradasi (Lin et al., 2023) dan akan terdegradasi menjadi partikel-partikel yang berukuran lebih kecil, dimana apabila partikel tersebut berukuran <5 mm, maka partikel tersebut dapat dikategorikan sebagai mikroplastik (Reimonn et al., 2019). Mikroplastik ini berada pada berbagai kolom perairan, bahkan sampai pada sedimen (Anjeli et al., 2024; Omeyer et al., 2022). Selama 50 tahun terakhir, partikel mikroplastik telah terdeteksi pada saluran pencernaan organisme air, khususnya pada berbagai jenis ikan (Bernardini et al., 2018; Gouin,

2020; Pegado et al., 2021; Sarasita et al., 2020; Yona et al., 2020). Setelah terakumulasi pada tubuh ikan, mikroplastik akan masuk pada jaring makanan dan dapat mencapai tingkat trofik yang lebih tinggi (Bergmann et al., 2015). Akumulasi mikroplastik diketahui dapat menyebabkan berbagai dampak negatif pada tubuh ikan. Dampak-dampak ini meliputi peradangan dan kerusakan pada organ, gangguan pada aktivitas estrogenik dan androgenik, bersifat sitotoksik, dan lain-lain (Hu et al., 2020; Jovanović, 2017; Qiao et al., 2019;; Zimmermann et al., 2019).

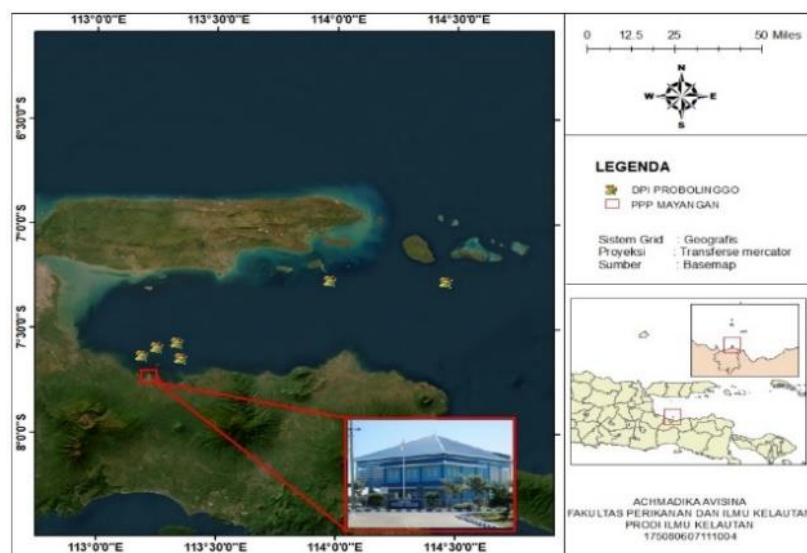
Dua spesies ikan pelagis yang diketahui telah memiliki kontaminasi mikroplastik adalah *Sardinella lemuru* (ikan lemuru) dan *Rastrelliger kanagurta* (ikan kembung) (Wawan Adisaputra and Purwati, 2021; Yona et al., 2021; Yudhantari et al., 2019). Kedua spesies ikan ini memiliki pola makan *filter feeding* (Bhendarkar et al., 2014; Madkour, 2011; Sartimbul et al., 2023a) dan diketahui memiliki nilai ekonomis yang tinggi, dengan jumlah tangkapan sebesar 5,59% untuk ikan kembung, dan 3,73% untuk ikan lemuru pada tahun 2020 (Badan Statistik KKP, 2020). Apabila kita bandingkan dengan produksi ikan tertinggi yaitu tongkol sebesar 8,95%, layang sebesar 8,45%, dan cakalang sebesar 7,21%, maka dapat dilihat bahwa angka produksi ikan kembung dan lemuru tergolong sangat tinggi.

Penelitian mengenai keberadaan mikroplastik pada organisme air di Indonesia telah meningkat sejak tahun 2017, khususnya pada daerah padat penduduk di Pulau Jawa seperti Surabaya, Jakarta, dan Semarang (Rafika Sari et al., 2022). Dibandingkan dengan daerah-daerah lainnya, penelitian mikroplastik di Perairan Probolinggo masih belum teridentifikasi. Secara statistik, Probolinggo memiliki jumlah penduduk sebanyak 1.163.859 jiwa untuk Kabupaten Probolinggo pada tahun 2023, dan 245.174 jiwa untuk Kota Probolinggo pada tahun 2020 (BPS Kabupaten Probolinggo, 2023a; BPS Kota Probolinggo, 2020). Sektor perikanan Probolinggo tergolong cukup produktif, terbukti dengan data hasil tangkapan laut Kabupaten Probolinggo pada tahun 2023 yang mencapai 47.717,80 ton dan Kota Probolinggo pada tahun 2022 yang mencapai 866,10 ton (BPS Kabupaten Probolinggo, 2023b; BPS Kota Probolinggo, 2022). Namun, di sisi lain, pada tahun 2022, Probolinggo telah menghasilkan 17.518 ton sampah (Fernando, 2023). Hal ini menyebabkan tingginya peluang terjadinya kontaminasi mikroplastik pada perairan lokal maupun organisme air yang hidup di dalamnya. Oleh karena itu, penting dilakukan studi di daerah Probolinggo untuk mendapatkan informasi mengenai kontaminasi mikroplastik berupa kelimpahan dan karakteristik partikel, khususnya dengan membandingkan keberadaan partikel pada ikan ekonomis penting seperti ikan lemuru dan kembung yang didaratkan di salah satu pelabuhan perikanan di Kota Probolinggo, yaitu PPP Mayangan.

## MATERI DAN METODE

### Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Mayangan, Kelurahan Mangunharjo, Kecamatan Mayangan, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur (koordinat: 7°43'56"S 113°13'27"E) pada bulan Januari tahun 2023. Karena tidak dilakukan pengambilan sampel secara langsung pada daerah penangkapan ikan (DPI), maka digunakan data sekunder yang berasal dari studi lain untuk menggambarkan DPI yang digunakan oleh nelayan dari PPP Mayangan, Probolinggo. Lokasi DPI merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Burhany (2015). Lokasi pengambilan sampel serta DPI tersaji pada **Gambar 1**. Pengolahan sampel dilakukan di Laboratorium Eksplorasi Sumberdaya Perikanan dan Laboratorium Hidrobiologi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya. Tahapan pengolahan sampel di laboratorium dilakukan dari bulan Febuari hingga Juni 2023.



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian, PPP Mayangan, Probolinggo.

### Preparasi dan Pembedahan Sampel

Total sampel ikan sebanyak 20 ekor yang terdiri atas 10 ekor ikan lemuru dan 10 ekor ikan kembung diperoleh dari PPP Mayangan, Probolinggo. Pengambilan sampel dilakukan secara acak, dengan seleksi berdasarkan kesesuaian spesies dan kualitas ikan. Ikan kemudian disimpan di *cool box* yang telah diisi dengan es batu guna mempertahankan kesegaran selama proses perjalanan dari Probolinggo menuju Laboratorium Eksplorasi Sumberdaya Perikanan. Setelah tiba di laboratorium, sampel dipindahkan ke *freezer* merek GEA VT 307 asal Jerman agar tetap awet hingga waktu pengolahan sampel tiba.

Alat dan bahan dibilas menggunakan akuades untuk menghindari adanya kontaminasi dan dilakukan *thawing* terhadap sampel ikan yang masih beku. Selanjutnya, dilakukan pengukuran morfologi dan morfometrik dan dicatat panjang total tubuh ikan atau *total length* (cm) serta berat tubuh ikan (gr) sebagai informasi biologis pendukung. Pengukuran morfologi dan morfometrik telah menjadi langkah standar dalam penelitian biologi seperti yang dilakukan pada ikan lemuru (Sartimbul, et al., 2023a; Sartimbul, et al., 2023b). Selanjutnya, dilakukan pembedahan sampel ikan dengan pisau bedah dan diambil jaringan otot, organ saluran pencernaan, serta organ insang ikan dengan masing-masing 1 gram berat basah (Digka et al., 2018; Pan et al., 2021) yang disimpan pada wadah botol kaca 250 ml.

### **Identifikasi Karakteristik Mikroplastik**

Identifikasi karakteristik partikel mikroplastik dalam penelitian ini meliputi 3 kategori karakteristik yaitu ukuran, warna, dan tipe partikel mikroplastik karena merupakan kategori yang paling umum digunakan pada identifikasi mikroplastik (Bermúdez and Swarzenski, 2021; Choi et al., 2022; Thammasanya et al., 2024) Berdasarkan tipenya, partikel mikroplastik hasil pengamatan dibagi menjadi 3 tipe yaitu fiber, fragmen, dan film. Berdasarkan ukurannya, partikel mikroplastik dibagi menjadi 5 kelompok rentang ukuran yaitu  $< 50 \mu\text{m}$ ,  $50\text{-}100 \mu\text{m}$ ,  $100\text{-}200 \mu\text{m}$ ,  $200\text{-}500 \mu\text{m}$ ,  $500\text{-}1000 \mu\text{m}$ , dan  $> 1000 \mu\text{m}$  dengan batas atas  $5000 \mu\text{m}$  (Bermúdez and Swarzenski, 2021; Cordova and Wahyudi, 2016; Reimonn et al., 2019; Song et al., 2015). Pada kategori karakteristik warna, partikel teridentifikasi sebanyak 5 warna yaitu biru, hitam, merah, hijau, dan ungu.

### **Destruksi Bahan Organik**

Destruksi bahan organik sampel dilakukan menggunakan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% dengan perbandingan 1:20 ml sesuai dengan metode yang digunakan oleh Digka et. al, (2018). Larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dimasukkan ke dalam wadah sampel organ atau jaringan dan diinkubasikan selama 24 jam pada suhu  $60^\circ\text{C}$  menggunakan oven MEMMERT UN30 dari Jerman. Proses destruksi ini dilakukan secara bertahap sampai hancur. Namun, apabila bahan organik pada sampel tersebut belum terdestruksi sempurna ketika larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% sudah teruapkan hingga mendekati 1 ml, maka dapat ditambahkan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% sebanyak 1-2 ml kemudian dilanjutkan dengan inkubasi pada suhu yang sama selama 24 jam hingga seluruh bahan organik telah terdestruksi.

Penyaringan dilakukan dengan menggunakan *vacuum pump* (Rocker 400 Oil Free produk Taiwan) dengan kertas saring Whatman No 42 ukuran pori  $5 \mu\text{m}$  produksi Amerika Serikat. Hasil penyaringan kemudian dipindahkan ke *petridish* untuk proses identifikasi

menggunakan mikroskop cahaya Olympus CX33 dengan perbesaran 4x dibantu dengan *software* Outilab Viewer 3.0 untuk mendokumentasikan partikel yang diamati dan Image Raster 3.0 untuk pengukuran pada partikel yang diamati. Pada penelitian ini, digunakan 3 kontrol negatif berupa larutan 20 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% pada wadah berupa botol kaca dengan ukuran 250 ml. Kontrol negatif memiliki perlakuan yang paralel dengan sampel, yaitu dilakukan inkubasi dengan waktu yang bersamaan dengan sampel serta filtrasi pada kertas saring 5 mm dan juga diamati keberadaan kontaminannya. Adapun hasil kontaminasi pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan **Rumus 1**.

$$\text{Kontaminasi (\%)} = \frac{\text{Jumlah total partikel pada kontrol negatif}}{\text{Jumlah total partikel pada semua sampel}} \times 100\% \quad (1)$$

### Analisis FTIR

Analisis tipe polimer mikroplastik yang telah diidentifikasi dilakukan menggunakan FTIR SHIMADZU QP210S yang dilakukan di UPT Instrumen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya. Adapun partikel yang dianalisis dipilih terlebih dahulu berdasarkan tampak visualnya pada kertas saring kemudian dipisahkan menurut organ asalnya. Tipe polimer mikroplastik dapat diketahui melalui uji FTIR dengan menyesuaikan panjang gelombang standar sesuai dengan *database* polimer menggunakan *website* Openspecy.

### Perhitungan Kelimpahan Partikel & Analisis Statistik

Kelimpahan mikroplastik pada ikan dapat dihitung dengan membagi jumlah partikel mikroplastik yang ditemukan pada ikan dengan jumlah individu ikan per spesiesnya. Adapun satuannya adalah partikel/ individu. Menurut Digka et al. (2018), rumus jumlah kelimpahan mikroplastik per individu dan dapat dihitung menggunakan **Rumus 2**.

$$\text{Kelimpahan} = \frac{\text{Jumlah partikel mikroplastik}}{\text{Jumlah individu ikan}} \quad (2)$$

Untuk mengetahui sebaran kelimpahan mikroplastik pada tiap jenis ikan berdasarkan jaringan atau organ dan karakteristik partikel nya, dilakukan uji analisis statistik menggunakan metode *one-way* ANOVA atau *Kruskal-Wallis*. Selanjutnya, dilakukan uji *Post-hoc* untuk mengetahui letak perbedaan pada sebaran kelimpahan partikel mikroplastik tersebut. Untuk membandingkan kelimpahan mikroplastik antar spesies ikan, analisis statistik dilakukan menggunakan metode *two-way* ANOVA atau *Mann-Whitney*. Proses analisis statistik dilakukan dengan menggunakan *software* IBM SPSS Statistics 26.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengukuran Morfometrik Ikan

Berdasarkan pengukuran morfometrik pada kedua jenis ikan ( $n=10$ ) yang disajikan pada **Tabel 1**, ditemukan bahwa rata-rata panjang total tubuh pada ikan kembung dan ikan lemuru adalah  $16,34 \pm 0,33$  cm dan  $16,76 \pm 0,22$  secara berurutan. Rata-rata berat tubuh pada ikan kembung dan ikan lemuru adalah  $55,20 \pm 3,78$  dan  $51,00 \pm 2,15$  secara berurutan. Berdasarkan Fishbase (2021), ukuran-ukuran tersebut menunjukkan bahwa sampel ikan kembung tergolong ikan belum dewasa, sementara sampel ikan lemuru tergolong ikan dewasa. Dikarenakan perbedaan ukuran yang tidak signifikan diantara sampel pada kedua jenis ikan (uji *Independent T-Test*,  $p > 0,05$ ), maka hasil pengukuran morfometrik tidak digunakan lebih lanjut pada tahapan analisis lanjutan yang berhubungan dengan kelimpahan partikel mikroplastik.

**Tabel 1.** Hasil pengukuran morfometrik ikan kembung dan ikan lemuru ( $n=10$ )

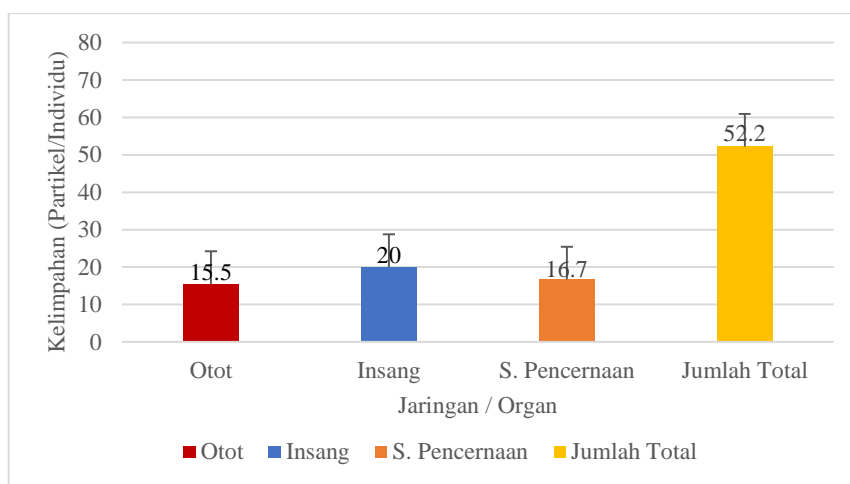
Kategori Morfometrik	Ikan kembung	Ikan lemuru
Panjang Maksimal (cm)	17,9	17,4
Panjang Minimal (cm)	15,1	15,6
Berat Maksimal (gram)	71	63
Berat Minimal (gram)	40	42
Rata-rata Panjang Total Tubuh Ikan (cm)	$16,34 \pm 0,33$	$16,76 \pm 0,22$
Rata-rata Berat Total Tubuh Ikan (gr)	$55,2 \pm 11,95$	$51 \pm 6,82$

\*Sumber: hasil penelitian, 2024

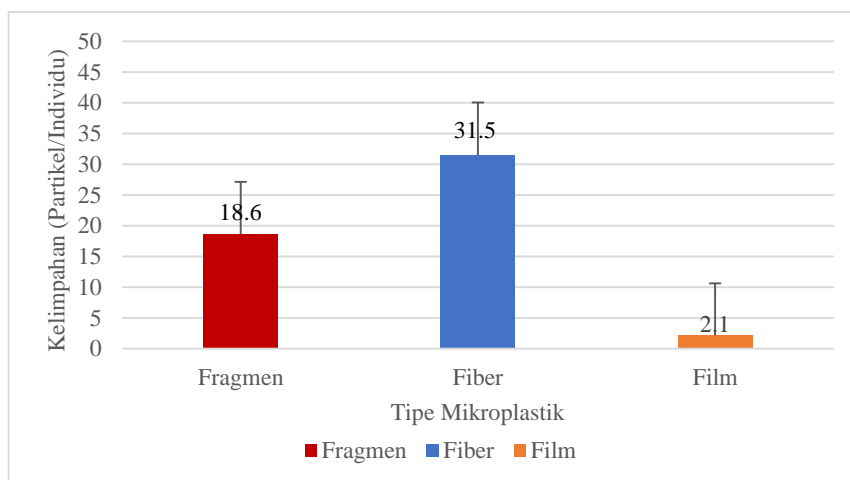
### Kelimpahan Mikroplastik pada Ikan Kembung

Ditemukan bahwa rata-rata total jumlah partikel mikroplastik pada sampel ikan kembung adalah  $52,20 \pm 22,81$  partikel per individu seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Organ insang menunjukkan kelimpahan tertinggi dengan rata-rata  $20,00 \pm 15,06$  partikel per individu, diikuti oleh saluran pencernaan dengan  $16,70 \pm 11,18$  partikel per individu, dan jaringan otot dengan  $15,50 \pm 9,42$  partikel per individu. Meskipun demikian, tidak terdapat perbedaan signifikan dalam kelimpahan partikel mikroplastik di antara ketiga organ atau jaringan tersebut (uji *Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ). Selanjutnya, sebaran kelimpahan mikroplastik berdasarkan karakteristik partikel pada ikan kembung dapat dilihat pada **Gambar 3, 4, dan 5**. Berdasarkan tipe partikel, ditemukan bahwa fiber menjadi yang paling dominan dengan kelimpahan rata-rata sebesar  $31,50 \pm 14,10$  partikel per individu, diikuti oleh fragmen ( $18,60 \pm 11,87$  partikel per individu) dan film ( $2,10 \pm 1,52$  partikel per individu). Uji *Kruskal-Wallis* ( $p$

< 0,05) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara ketiga tipe partikel, khususnya pada tipe film dengan tipe lainnya (uji *Post-hoc*,  $p < 0,05$ ). Analisis ukuran partikel menunjukkan bahwa kelompok ukuran 50-100  $\mu\text{m}$  memiliki kelimpahan tertinggi ( $12,50 \pm 7,04$  partikel/individu), sementara kelompok ukuran 0,05), ditemukan perbedaan yang signifikan antara kelompok ukuran 0,05). Selain itu, warna biru dan hitam menunjukkan kelimpahan tertinggi, sedangkan warna hijau dan ungu memiliki kelimpahan yang paling sedikit, dengan perbedaan signifikan (uji *Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ) antara warna biru dan hitam dengan warna lainnya seperti merah, hijau, dan ungu (uji *Post-hoc*,  $p < 0,05$ ).

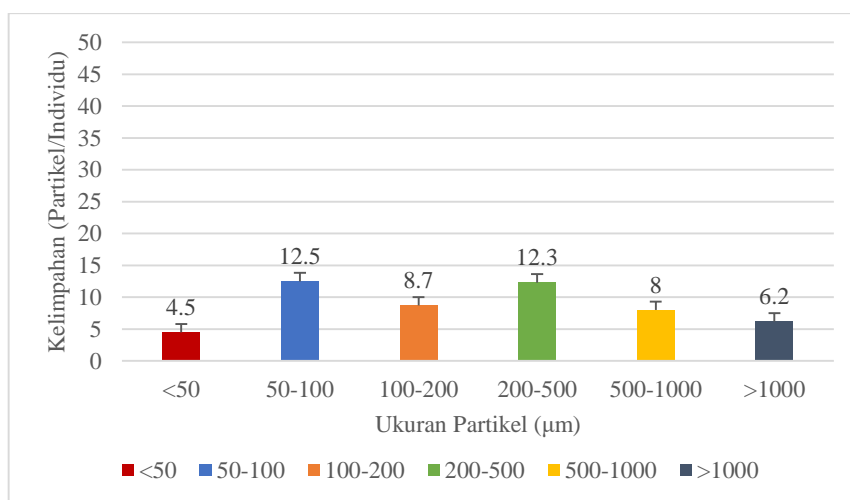


**Gambar 2.** Kelimpahan partikel berdasarkan jaringan/organ asal pada ikan kembung

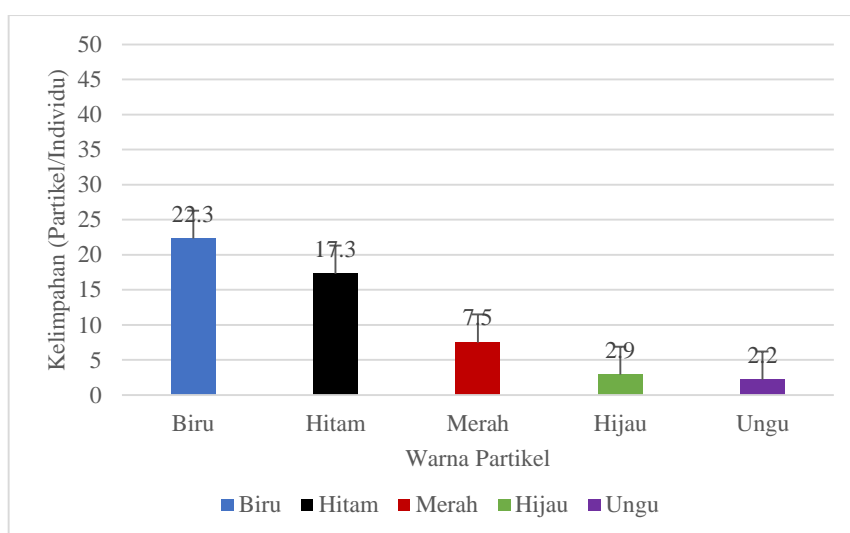


**Gambar 3.** Kelimpahan partikel berdasarkan tipe partikel mikroplastik ikan kembung





**Gambar 4.** Kelimpahan partikel berdasarkan ukuran partikel mikroplastik ikan kembung

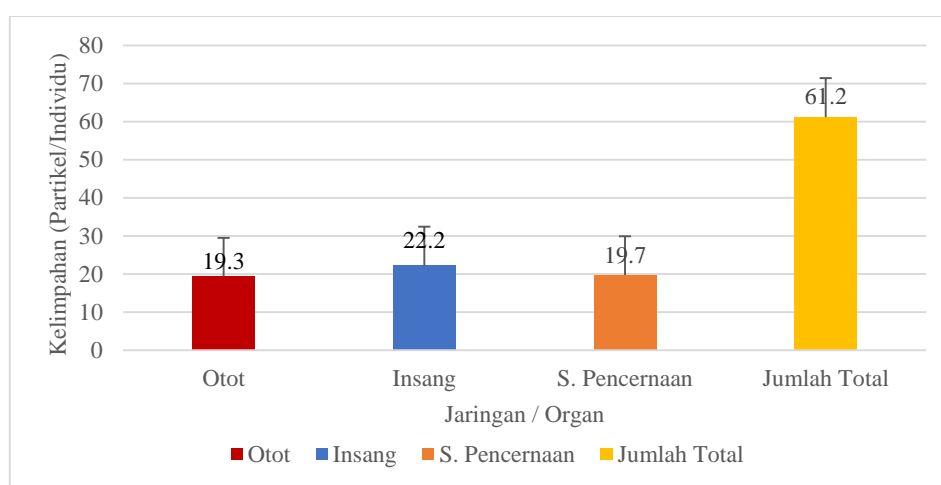


**Gambar 5.** Kelimpahan partikel berdasarkan warna partikel mikroplastik ikan kembung

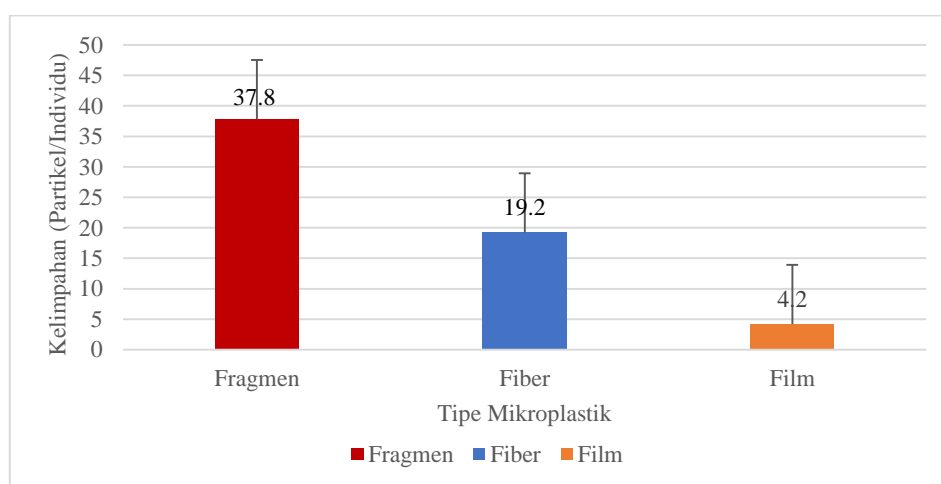
### Kelimpahan Mikroplastik pada Ikan Lemuru

Rata-rata jumlah total partikel yang terdeteksi per individu adalah  $61,20 \pm 10,48$  partikel per individu. Dapat dilihat pada **Gambar 6** bahwa diantara organ dan jaringan yang diambil, insang menunjukkan jumlah partikel tertinggi ( $22,20 \pm 9,38$  partikel per individu), diikuti oleh saluran pencernaan ( $19,70 \pm 7,15$  partikel per individu) dan jaringan otot ( $19,30 \pm 7,18$  partikel per individu), tanpa perbedaan signifikan yang teramati di antara mereka (uji *Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ). Hasil perhitungan kelimpahan mikroplastik berdasarkan karakteristik partikel dapat dilihat pada **Gambar 7, 8, dan 9**. Berdasarkan tipe partikel, fragmen adalah yang paling melimpah ( $37,80 \pm 6,37$  partikel per individu), diikuti oleh fiber ( $19,20 \pm 10,12$  partikel per individu) dan film ( $4,20 \pm 1,93$  partikel per individu), dengan perbedaan signifikan teramati di antara mereka (uji *Kruskal-Wallis*  $p < 0,05$ ), terutama pada tipe film (uji *Post-hoc*,  $p < 0,05$ ).

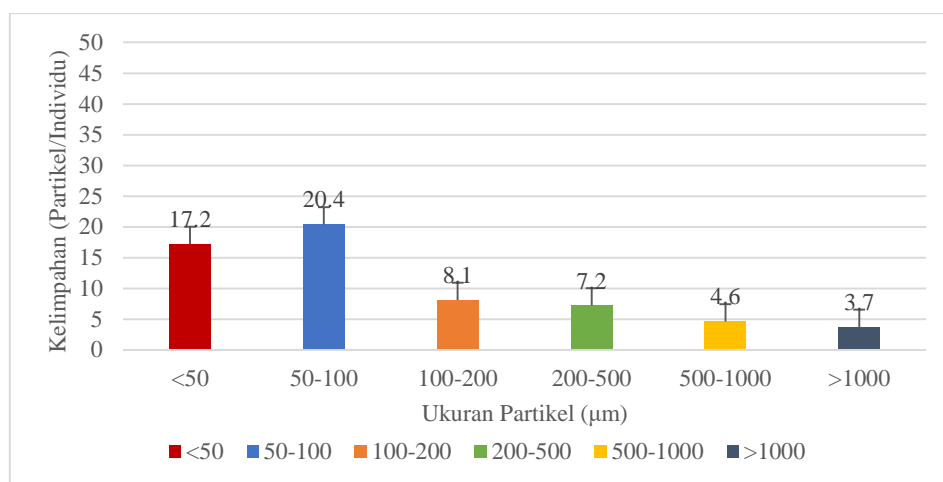
Kelompok ukuran 50-100  $\mu\text{m}$  menunjukkan kelimpahan tertinggi ( $20,40 \pm 5,87$  partikel per individu), sedangkan kelompok ukuran  $>1000 \mu\text{m}$  menunjukkan yang terendah ( $3,70 \pm 1,89$  partikel per individu). Uji *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ) menunjukkan adanya perbedaan signifikan yang ditemukan antar kelompok ukuran, terutama antara  $<50 \mu\text{m}$  dan yang lainnya (uji *Post-hoc*,  $p < 0,05$ ). Partikel hitam adalah yang paling melimpah ( $33,20 \pm 9,83$  partikel per individu), sementara partikel ungu adalah yang paling sedikit ( $0,8 \pm 0,79$  partikel per individu), didukung oleh uji *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ) yang menunjukkan perbedaan signifikan diantara biru, hitam, merah, dan hijau dibandingkan dengan ungu (uji *Post-hoc*,  $p < 0,05$ ).



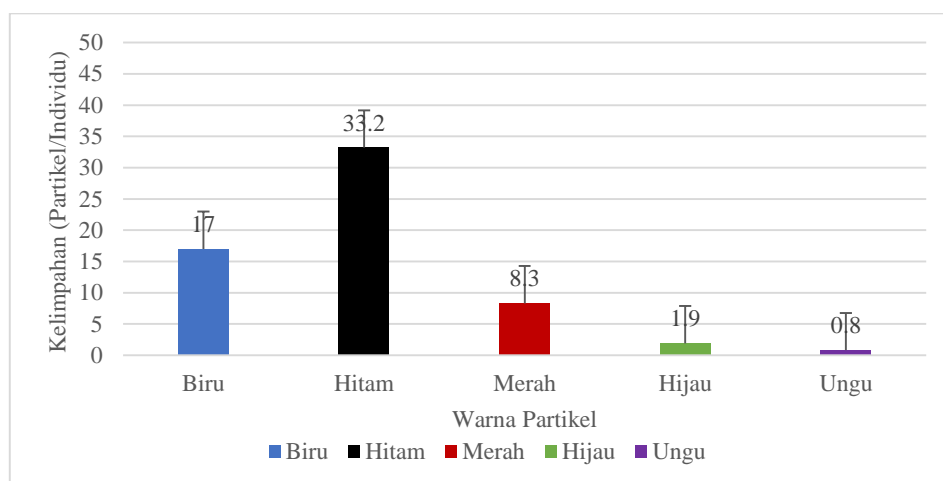
**Gambar 6.** Kelimpahan partikel berdasarkan jaringan/organ asal pada ikan lemuru



**Gambar 7.** Kelimpahan partikel berdasarkan tipe partikel mikroplastik pada ikan lemuru



**Gambar 8.** Kelimpahan partikel berdasarkan ukuran partikel mikroplastik ikan lemuru



**Gambar 9.** Kelimpahan partikel berdasarkan warna partikel mikroplastik ikan lemuru

### Perbedaan Kelimpahan Mikroplastik pada Ikan Kembung dan Ikan Lemuru

Kelimpahan partikel mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini jauh melebihi jumlah rata-rata yang ditemukan pada penelitian-penelitian sebelumnya baik pada ikan lemuru dengan rata-rata sebanyak  $3,72 \pm 3,97$  partikel per individu (Palermo et al., 2020), maupun pada ikan kembung dengan rata-rata sebanyak 19,42 partikel per individu (Riaz et al., 2024). Meskipun menggunakan metode yang sama, hasil pada penelitian ini berbeda dengan (Digka et al., 2018) yang menemukan kelimpahan mikroplastik dengan rata-rata  $1,9 \pm 0,8$  partikel/individu pada spesies ikan *P. erythrinus*,  $1,8 \pm 0,8$  partikel/individu pada *S. pilchardus*, dan  $1,5 \pm 0,5$  partikel/individu pada *M. barbatus*. Perbedaan ini diduga terjadi karena adanya partikel kontaminasi yang dibuktikan dengan hasil pengamatan pada kontrol negatif yang menunjukkan tingkat kontaminasi dari udara sebesar 1,59% (**Gambar 14**). Selain itu, berdasarkan karakteristik, ditemukan bahwa tipe fragmen, warna hitam, dan kategori ukuran

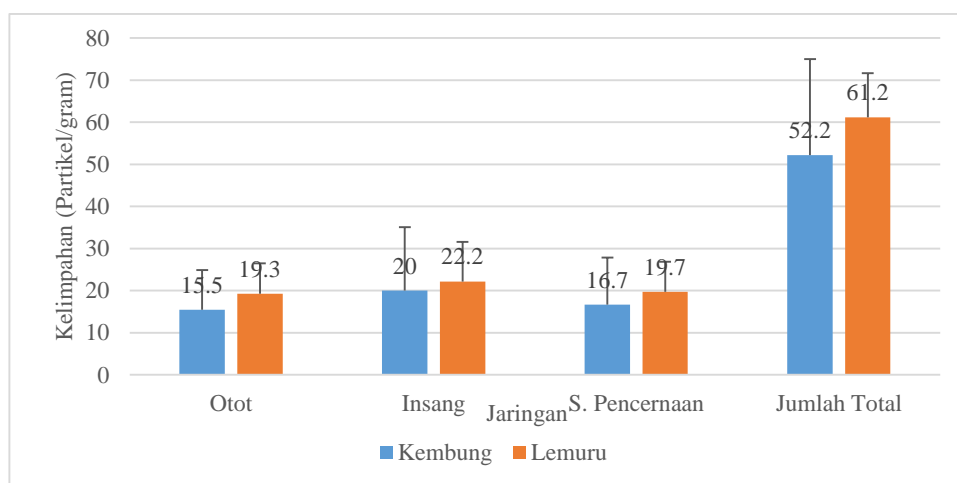
50-100  $\mu\text{m}$  karakteristik-karakteristik yang dominan pada partikel-partikel yang ditemukan di kontrol negatif. Adapun kontaminan dapat berasal dari ruangan laboratorium dapat berasal dari pakaian maupun dari luar laboratorium yang masuk melalui sirkulasi udara (Munno et al., 2023). Kemungkinan lainnya adalah kelimpahan mikroplastik yang jauh lebih tinggi di lingkungan penangkapan pada penelitian ini dibandingkan lokasi-lokasi pada studi lainnya. Perairan di Jawa, khususnya pada lokasi-lokasi dengan aktivitas perikanan yang tinggi, telah diketahui memiliki tingkat cemaran partikel mikroplastik yang cukup tinggi (Yona et al., 2019, 2022).

Tidak ditemukan perbedaan kelimpahan yang signifikan antara kedua jenis ikan apabila dilihat berdasarkan asal organ/jaringan partikel (uji *Mann-Whitney*,  $p > 0,05$ ). Jumlah kelimpahan partikel tertinggi pada kedua jenis ikan adalah pada organ insang (**Gambar 10**). Insang merupakan organ yang terus menerus aktif selama ikan pelagis hidup. Ikan kembung dan ikan lemuru memiliki kebiasaan makan *filter feeding*, dimana ikan menyaring makanan dari air yang masuk melalui mulut dengan menggunakan tapis insangnya, sehingga organ insang tersebut dapat juga menyaring secara langsung air yang mengandung partikel mikroplastik. Selain itu, kedua jenis ikan tersebut memiliki komposisi makanan yang didominasi oleh zooplankton (Bhendarkar et al., 2014; Pertamina et al., 2019).

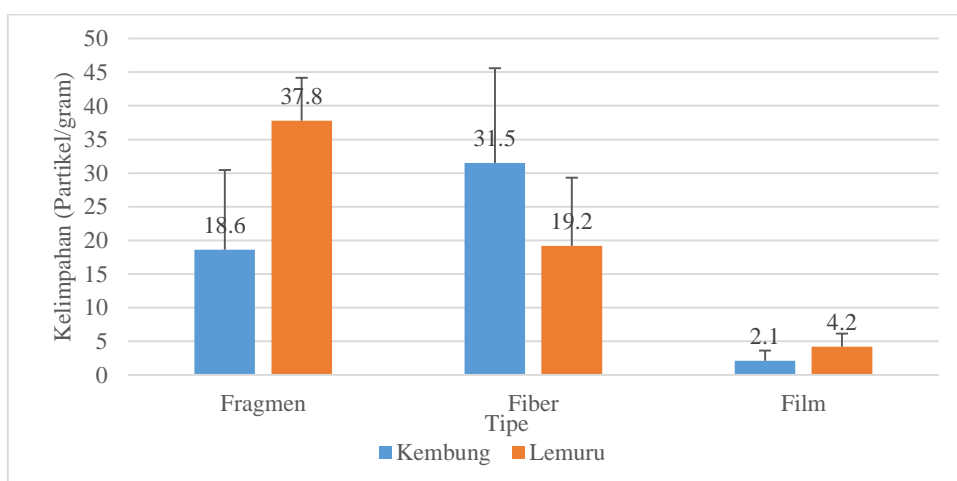
Uji statistik *Mann-Whitney* ( $p > 0,05$ ) menunjukkan tidak adanya perbedaan kelimpahan partikel yang signifikan antara kedua jenis ikan berdasarkan karakteristiknya. Meskipun begitu, perbedaan terdapat pada sebaran kelimpahan partikel pada kedua jenis ikan, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 11, 12, dan 13**. Ditemukan bahwa tipe partikel yang paling dominan pada masing-masing jenis ikan adalah fragmen pada ikan lemuru dan fiber pada ikan kembung. Fiber dan fragmen diketahui merupakan tipe partikel mikroplastik paling dominan yang ditemukan pada organ ikan karena kelimpahannya pada kolom air cenderung tinggi (Atamanalp et al., 2022; Gresli et al., 2021; Tanaka and Takada, 2016).

Selanjutnya, pada kategori ukuran ditemukan bahwa partikel pada kelompok ukuran 50-100  $\mu\text{m}$  merupakan kelompok dengan kelimpahan terbanyak. Hal ini sesuai dengan penelitian-penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa partikel berukuran  $<100 \mu\text{m}$  merupakan kelompok ukuran yang paling umum ditemukan (Atamanalp et al., 2022; Palermo et al., 2020; Pratiwi et al., 2024). Dominansi kelompok ukuran tersebut dipengaruhi umumnya oleh cara makan dan jenis makanan ikan. Ikan yang planktivora akan cenderung memiliki partikel mikroplastik dengan ukuran yang lebih kecil, sementara ikan karnivora cenderung memiliki partikel mikroplastik dengan ukuran yang lebih besar (Hossain et al., 2019).

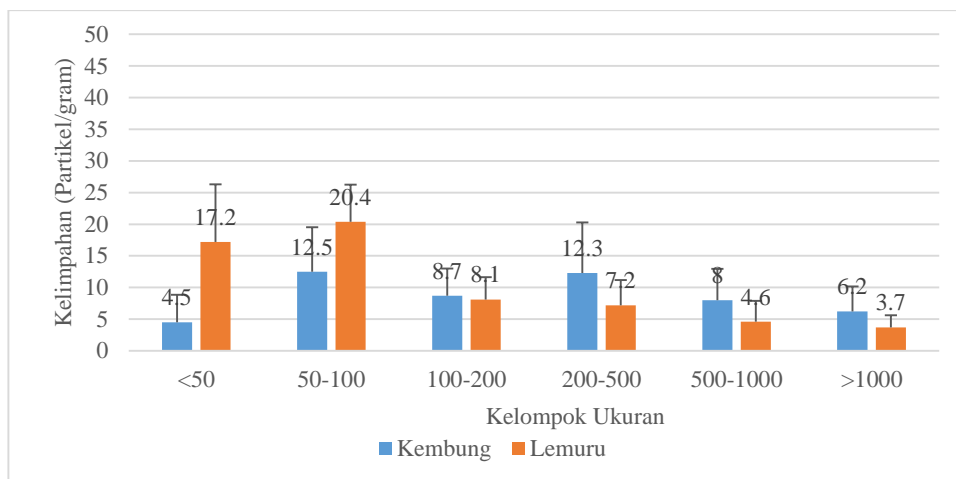
Terakhir, pada kategori warna ditemukan bahwa warna hitam merupakan warna yang paling dominan pada ikan lemuru, sedangkan warna biru merupakan warna yang paling dominan pada ikan kembung. Hasil ini sesuai dengan temuan-temuan oleh penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kedua jenis warna ini merupakan partikel yang paling umum dijumpai pada ikan (Buwono et al., 2021; Sawalman et al., 2021; Shu et al., 2023). Adapun perbedaan warna ini dipengaruhi oleh komposisi makanan kedua jenis ikan yang memiliki variasi akibat adanya dampak dari angin muson barat laut (Sartimbul et al., 2023a).



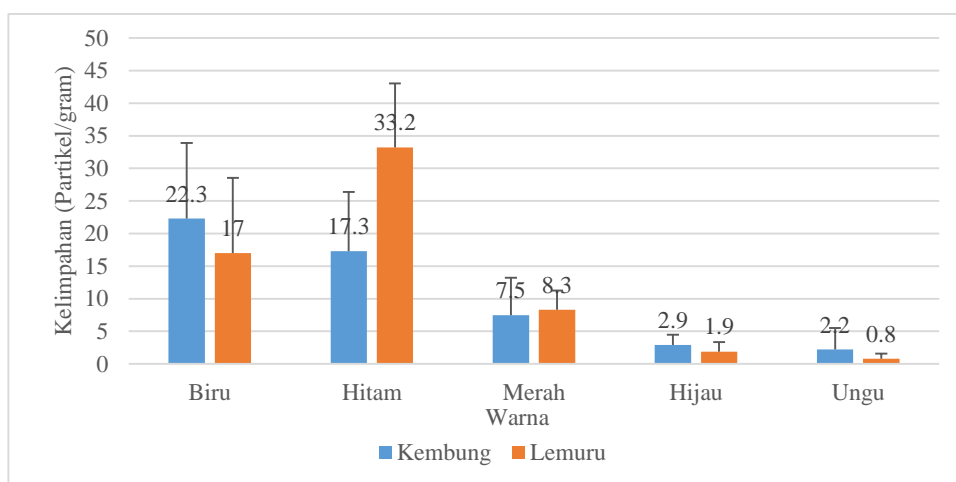
**Gambar 10.** Perbandingan kelimpahan partikel berdasarkan organ/jaringan asal antara ikan kembung dan lemuru



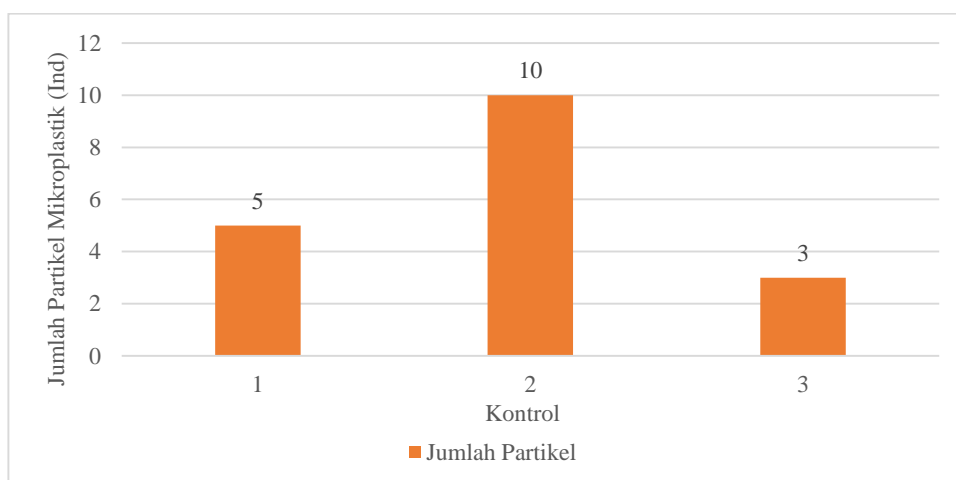
**Gambar 11.** Perbandingan kelimpahan partikel berdasarkan tipe partikel antara ikan kembung dan lemuru



**Gambar 12.** Perbandingan kelimpahan partikel berdasarkan ukuran antara ikan kumbang dan lemuru



**Gambar 13.** Perbandingan kelimpahan partikel berdasarkan warna antara ikan kumbang dan lemuru



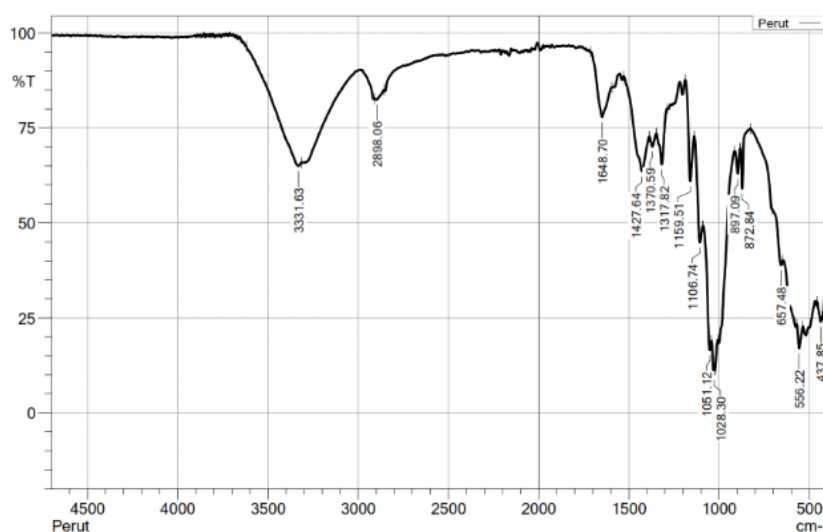
**Gambar 14.** Kelimpahan partikel pada tiga kontrol negatif

## Hasil Analisis FTIR

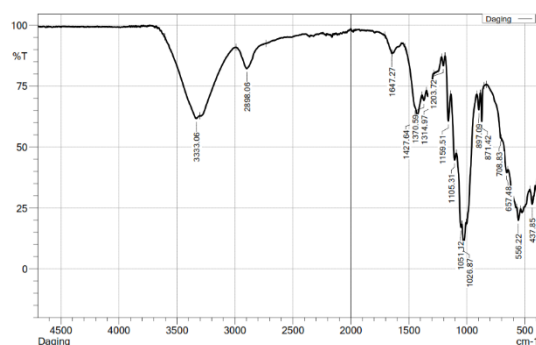
Hasil uji FTIR dapat dilihat pada **Gambar 15, 16, dan 17** dengan hasil yang menunjukkan bahwa semua partikel yang diuji memiliki jenis mikrofiber non-plastik berjenis *cotton fiber*. *Cotton fiber*, yang merupakan sebuah tipe fiber non-sintesis yang memiliki susunan utama berupa selulosa, biasanya dapat memasuki lingkungan laut melalui air buangan dari aktivitas pencucian pakaian (Haap et al., 2019). Kesalahan pemilihan partikel yang terlalu selektif secara visual menjadi penyebab terjadinya pembacaan partikel *cotton fiber* pada tahapan analisis FTIR (Asamoah et al., 2021; Olesen et al., 2017; Primpke et al., 2020).

## KESIMPULAN

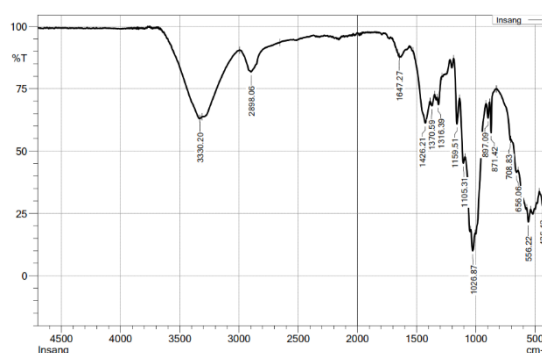
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah partikel mikroplastik pada ikan lemuru lebih tinggi daripada pada ikan kembung. Insang merupakan bagian tubuh ikan yang paling banyak ditemukan partikel mikroplastik. Adapun karakteristik mikroplastik yang dominan antara lain fragmen dan fiber, dan didominasi dengan warna biru dan hitam yang mempunyai rentang ukuran antara 50-100  $\mu\text{m}$ . Analisis statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam kelimpahan partikel mikroplastik antara kedua jenis ikan dan organ tubuhnya, namun terdapat perbedaan yang signifikan berdasarkan karakteristik partikel seperti tipe dan ukuran, meskipun secara keseluruhan tidak ada perbedaan signifikan dalam kelimpahan partikel mikroplastik antara kedua jenis ikan. Disarankan kepatuhan dalam menerapkan protokol dalam menganalisis mikroplastik harus lebih ketat, untuk mencegah peluang kontaminasi partikel dari sumber lain.



**Gambar 15.** Hasil Uji FTIR Partikel Mikroplastik Saluran Pencernaan



**Gambar 16.** Hasil Uji FTIR Partikel Mikroplastik Jaringan Otot



**Gambar 17.** Hasil Uji FTIR Partikel Mikroplastik Insang

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sebagian didanai melalui Hibah Penelitian MEXMA dan didukung oleh Hibah Southeast Asia Plastic (SEAP) Project yang telah membantu penulis secara materil maupun dengan memberikan pengalaman dan pelatihan dalam pengerjaan penelitian ini. Project SEAP didanai atas kerjasama *National Research Foundation-Prime Minister's Office (Singapore)*, dan *the Natural Environment Research Council (United Kingdom)* melalui *NERC-SEAP-2020 grant call, "Understanding the Impact of Plastic Pollution on Marine Ecosystems in Southeast Asia (Southeast Asia Plastics (SEAP))"* (Award No. SEAP-2020-0003). Terima kasih disampaikan kepada Fakultas Perikanan atas ketersediaan fasilitas laboratorium, terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Bakrie dan Bapak Ali dalam proses pengambilan sampel di lapang, dan rekan-rekan mahasiswa yang senantiasa hadir dan memberikan *support* pada tahapan pengerjaan sampel di laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

Anjeli, U.G., Sartimbul, A., Sulistiyati, T.D., Yona, D., Iranawati, F., Seftiyawan, F.O., Aliviyanti, D., Lauro, F.M., Matallana-Surget, S., Fanda, A.M., Winata, V.A., 2024. Microplastics contamination in aquaculture-rich regions: A case study in Gresik, East



- Java, Indonesia. *Science of the Total Environment* 927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171992>
- Asamoah, B.O., Uurasjärvi, E., Rätty, J., Koistinen, A., Roussey, M., Peiponen, K.E., 2021. Towards the development of portable and in situ optical devices for detection of micro and nanoplastics in water: A review on the current status. *Polymers (Basel)*. <https://doi.org/10.3390/polym13050730>
- Atamanalp, M., Kokturk, M., Kırıcı, Mahinur, Ucar, A., Kırıcı 1, Muammer, Parlak, V., Aydın, A., Alak, G., 2022. Interaction of Microplastic Presence and Oxidative Stress in Freshwater Fish: A Regional Scale Research, East Anatolia of Türkiye (Erzurum & Erzincan & Bingöl). *Sustainability (Switzerland)* 14. <https://doi.org/10.3390/su141912009>
- Badan Statistik KKP, 2020. Produksi Perikanan Laut Kabupaten 2020 [WWW Document]. [https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=prod\\_ikan\\_laut\\_kab&i=2#panel-footer](https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=prod_ikan_laut_kab&i=2#panel-footer).
- Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M., 2015. Marine Anthropogenic Litter.
- Bermúdez, J.R., Swarzenski, P.W., 2021. A microplastic size classification scheme aligned with universal plankton survey methods. *MethodsX* 8. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101516>
- Bernardini, I., Garibaldi, F., Canesi, L., Fossi, M.C., Baini, M., 2018. First data on plastic ingestion by blue sharks (*Prionace glauca*) from the Ligurian Sea (North-Western Mediterranean Sea). *Mar Pollut Bull* 135, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.022>
- Bhendarkar, M., Sonone, A.D., Wankhade, H., 2014. Rastrelliger kanagurta (Cuvier, 1817) off Ratnagiri coast, Maharashtra, India Article in Ecology Environment and Conservation. *Ecology Environment and Conservation* 20, 1147–52.
- BPS Kabupaten Probolinggo, 2023a. Jumlah Penduduk Kabupaten Probolinggo Per Kecamatan, 2022-2023 [WWW Document]. <https://probolinggokab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTI0IzI=/jumlah-penduduk-kab-probolinggo-per-kecamatan.html>.
- BPS Kabupaten Probolinggo, 2023b. Produksi Perikanan Tangkap Menurut Kecamatan dan Subsektor di Kabupaten Probolinggo (ton), 2023 [WWW Document]. <https://probolinggokab.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTQxNiMx/produksi-perikanan-tangkap-menurut-kecamatan-dan-subsektor-di-kabupaten-probolinggo--ton---2023.html>.
- BPS Kota Probolinggo, 2022. Produksi Perikanan Tangkap Laut Menurut Jenis Ikan di Kota Probolinggo, 2022 [WWW Document]. <https://probolinggokota.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTA1IzI=/produksi-perikanan-tangkap-laut-menurut-jenis-ikan-di-kota-probolinggo.html>.
- BPS Kota Probolinggo, 2020. Jumlah Penduduk di Kota Probolinggo, 2019-2020 [WWW Document]. <https://probolinggokab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTI0IzI=/jumlah-penduduk-kab-probolinggo-per-kecamatan.html>.
- Buwono, N.R., Risjani, Y., Soegianto, A., 2021. Contamination of microplastics in Brantas River, East Java, Indonesia and its distribution in gills and digestive tracts of fish *Gambusia affinis*. *Emerg Contam* 7, 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2021.08.002>
- Choi, S., Kim, J., Kwon, M., 2022. The Effect of the Physical and Chemical Properties of Synthetic Fabrics on the Release of Microplastics during Washing and Drying. *Polymers (Basel)* 14. <https://doi.org/10.3390/polym14163384>
- Cordova, M.R., Wahyudi, A.J., 2016. Microplastic in the deep-sea sediment of southwestern Sumatran Waters. *Marine Research in Indonesia* 41, 27–35. <https://doi.org/10.14203/mri.v41i1.99>

- Digka, N., Tsangaris, C., Torre, M., Anastasopoulou, A., Zeri, C., 2018. Microplastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea. *Mar Pollut Bull* 135, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.063>
- Fernando, R., 2023. Setahun Hasilkan 17.518 Sampah di Kab Probolinggo, Kraksaan Terbanyak [WWW Document]. *Radar Bromo*.
- Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv* 3.
- Gouin, T., 2020. Toward an Improved Understanding of the Ingestion and Trophic Transfer of Microplastic Particles: Critical Review and Implications for Future Research. *Environ Toxicol Chem*. <https://doi.org/10.1002/etc.4718>
- Gresi, G., Panjaitan, M., Yudha Perwira, I., Putu, N., Wijayanti, P., 2021. Diterima (received) 11 Juli 2021; disetujui (accepted), *Curr.Trends Aq. Sci. IV*.
- Haap, J., Classen, E., Beringer, J., Mecheels, S., Gutmann, J.S., 2019. Microplastic fibers released by textile laundry: A new analytical approach for the determination of fibers in effluents. *Water (Switzerland)* 11. <https://doi.org/10.3390/w11102088>
- Hossain, M.S., Sobhan, F., Uddin, M.N., Sharifuzzaman, S.M., Chowdhury, S.R., Sarker, S., Chowdhury, M.S.N., 2019. Microplastics in fishes from the Northern Bay of Bengal. *Science of the Total Environment* 690, 821–830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.065>
- Hu, L., Chernick, M., Lewis, A.M., Lee Ferguson, P., Hinton, D.E., 2020. Chronic microfiber exposure in adult Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *PLoS One* 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229962>
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science (1979)* 347, 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jovanović, B., 2017. Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective. *Integr Environ Assess Manag*. <https://doi.org/10.1002/ieam.1913>
- Lin, Y.D., Huang, P.H., Chen, Y.W., Hsieh, C.W., Tain, Y.L., Lee, B.H., Hou, C.Y., Shih, M.K., 2023. Sources, Degradation, Ingestion and Effects of Microplastics on Humans: A Review. *Toxics*. <https://doi.org/10.3390/toxics11090747>
- Madkour, F.F., 2011. Feeding ecology of the round sardinella, *Sardinella aurita* (Family: Clupeidae) in the Egyptian Mediterranean waters, *International Journal Of Environmental Science And Engineering (IJESE)*.
- Munno, K., Lusher, A.L., Minor, E.C., Gray, A., Ho, K., Hankett, J., T Lee, C.F., Primpke, S., McNeish, R.E., Wong, C.S., Rochman, C., 2023. Patterns of microparticles in blank samples: A study to inform best practices for microplastic analysis. *Chemosphere* 333. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138883>
- Olesen, K.B., Van Alst, N., Simon, M., Vianello, A., Liu, F., Vollertsen, J., Agilent, M.K., Photo, A., Blair, R.M., 2017. Analysis of Microplastics using FTIR Imaging Application Note Application Note Environmental Authors.
- Omeyer, L.C.M., Duncan, E.M., Aiemsomboon, K., Beaumont, N., Bureekul, S., Cao, B., Carrasco, L.R., Chavanich, S., Clark, J.R., Cordova, M.R., Couceiro, F., Cragg, S.M., Dickson, N., Failler, P., Ferraro, G., Fletcher, S., Fong, J., Ford, A.T., Gutierrez, T., Shahul Hamid, F., Hiddink, J.G., Hoa, P.T., Holland, S.I., Jones, L., Jones, N.H., Koldewey, H., Lauro, F.M., Lee, C., Lewis, M., Marks, D., Matallana-Surget, S., Mayorga-Adame, C.G., McGeehan, J., Messer, L.F., Michie, L., Miller, M.A., Mohamad, Z.F., Nor, N.H.M., Müller, M., Neill, S.P., Nelms, S.E., Onda, D.F.L., Ong, J.J.L., Pariatamby, A., Phang, S.C., Quilliam, R., Robins, P.E., Salta, M., Sartimbul, A., Shakuto, S., Skov, M.W., Taboada, E.B., Todd, P.A., Toh, T.C., Valiyaveetil, S., Viyakarn, V., Wonnapijit, P., Wood, L.E., Yong, C.L.X., Godley, B.J., 2022. Priorities to inform research on marine

- plastic pollution in Southeast Asia. *Science of the Total Environment*.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156704>
- Palermo, J.D.H., Labrador, K.L., Follante, J.D., Agmata, A.B., Pante, M.J.R., Rollon, R.N., David, L.T., 2020. Susceptibility of *Sardinella lemuru* to emerging marine microplastic pollution. *Global Journal of Environmental Science and Management* 6, 373–384.  
<https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.03.07>
- Pan, Z., Zhang, C., Wang, S., Sun, D., Zhou, A., Xie, S., Xu, G., Zou, J., 2021. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract and gills of fish from Guangdong, South China. *J Mar Sci Eng* 9. <https://doi.org/10.3390/jmse9090981>
- Pegado, T., Brabo, L., Schmid, K., Sarti, F., Gava, T.T., Nunes, J., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Giarrizzo, T., 2021. Ingestion of microplastics by *Hypanus guttatus* stingrays in the Western Atlantic Ocean (Brazilian Amazon Coast). *Mar Pollut Bull* 162.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111799>
- Pertami, N.D., Rahardjo, M.F., Damar, A., Nurjaya, I.W., 2019. Food and feeding habit of Bali *Sardinella*, *Sardinella lemuru* Bleeker, 1853 in Bali Strait waters. *J Iktiologi Indones* 19.  
<https://doi.org/10.32491/jii.v19i1.444>
- PlasticEurope, 2019. *Plastics-the Facts 2019 An analysis of European plastics production, demand and waste data*.
- Pratiwi, A.I., Umroh, Hudatwi, M., 2024. Analisis kelimpahan mikroplastik pada ikan yang didaratkan di Pantai Rebo Kabupaten Bangka. *Jurnal Perikanan Unram* 13, 621–633.  
<https://doi.org/10.29303/jp.v13i3.601>
- Primpke, S., Christiansen, S.H., Cowger, W., De Frond, H., Deshpande, A., Fischer, M., Holland, E.B., Meyns, M., O'Donnell, B.A., Ossmann, B.E., Pittroff, M., Sarau, G., Scholz-Böttcher, B.M., Wiggin, K.J., 2020. Critical Assessment of Analytical Methods for the Harmonized and Cost-Efficient Analysis of Microplastics. *Appl Spectrosc* 74, 1012–1047. <https://doi.org/10.1177/0003702820921465>
- Qiao, R., Deng, Y., Zhang, S., Wolosker, M.B., Zhu, Q., Ren, H., Zhang, Y., 2019. Accumulation of different shapes of microplastics initiates intestinal injury and gut microbiota dysbiosis in the gut of zebrafish. *Chemosphere* 236.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.065>
- Rafika Sari, N., Intan Pangesty, A., Chalid, M., Zuas, O., 2022. Concentration, distribution, and characteristics of microplastic in estuary, coast, and marine organisms in Indonesia: A preliminary review. *Akuatikisile* 6, 57–64.
- Reimonn, G., Lu, T., Gandhi, N., Chen, W.T., 2019. Review of microplastic pollution in the environment and emerging recycling solutions. *J Renew Mater*.  
<https://doi.org/10.32604/jrm.2019.08055>
- Riaz, S., Nasreen, S., Burhan, Z., Shafique, S., Alvi, S.A., Khan, M.A., 2024. Microplastics assessment in Arabian Sea fishes: accumulation, characterization, and method development. *Brazilian Journal of Biology* 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.270694>
- Sarasita, D., Yunanto, A., Yona, D., 2020. Kandungan Mikroplastik pada Empat Jenis Ikan Ekonomis Penting di Perairan Selat Bali. *J Iktiologi Indones* 20, 1–12.
- Sartimbul, A., Nakata, H., Herawati, E.Y., Rohadi, E., Yona, D., Harlyan, L.I., Putri, A.D.R., Winata, V.A., Khasanah, R.I., Arifin, Z., Susanto, R.D., Lauro, F.M., 2023a. Monsoonal variation and its impact on the feeding habit of Bali *Sardinella* (*S. lemuru* Bleeker, 1853) in Bali Strait. *Deep Sea Res 2 Top Stud Oceanogr* 211.  
<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2023.105317>
- Sartimbul, A., Winata, V.A., Kasitowati, R.D., Iranawati, F., Rohadi, E., Yona, D., Anjeli, U.G., Pranowo, W.S., Lauro, F.M., 2023b. Seasonal Indonesian Throughflow (ITF) across southern Java determines genetic connectivity of *Sardinella lemuru* (Bleeker, 1835). *Deep Sea Res 2 Top Stud Oceanogr* 209. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2023.105295>

- Sawalman, R., Zamani, N.P., Werorilangi, S., Ismet, M.S., 2021. Akumulasi mikroplastik pada spesies ikan ekonomis penting di perairan Pulau Barranglombo, Makassar. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 13, 241–259. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i2.34587>
- Shu, R., Hu, W., Gao, S., Zhang, S., Li, Z., Liang, B., Yu, W., 2023. Transfer pattern of microplastics at an individual level: A case study of two typical Sciaenidae fish in coastal waters. *Science of the Total Environment* 901. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165570>
- 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. *Mar Pollut Bull* 93, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.015>
- Tanaka, K., Takada, H., 2016. Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Sci Rep* 6. <https://doi.org/10.1038/srep34351>
- Thammasanya, T., Patiam, S., Rodcharoen, E., Chotikarn, P., 2024. A new approach to classifying polymer type of microplastics based on Faster-RCNN-FPN and spectroscopic imagery under ultraviolet light. *Sci Rep* 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53251-5>
- Wawan Adisaputra, M., Purwati, D.S., 2021. Kandungan mikroplastik pada ikan bawis (*Siganus canaliculatus*) dan ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) di Perairan Bontang. *Jurnal Ilmiah Biosmart* 1, 1–11.
- Worm, B., Lotze, H.K., Jubinville, I., Wilcox, C., Jambeck, J., 2017. Plastic as a Persistent Marine Pollutant. *Annu Rev Environ Resour*. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ>
- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environ Pollut*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Yona, D., Evitantri, M.R., Wardana, D.S., Pitaloka, D.A., Ningrum, D., Fuad, M.A.Z., Prananto, Y.P., Harlyan, L.I., Isobe, A., 2022. Microplastics in Organs of Commercial Marine Fishes from Five Fishing Ports in Java Island, Indonesia. *Ilmu Kelaut* 27, 199–214. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.27.3.199-214>
- Yona, D., Harlyan, L.I., Fuad, M.A.Z., Prananto, Y.P., Ningrum, D., Evitantri, M.R., 2021. Komposisi Mikroplastik pada Organ *Sardinella lemuru* yang Didaratkan di Pelabuhan Sendangbiru, Malang. *Journal of Fisheries and Marine Research* 5, 675–684.
- 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 tiga pulau kecil dan terluar Papua, Indonesia: Kajian awal. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 12, 497–507. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.25971>
- Yona, D., Sari, S.H.J., Iranawati, F., Bachri, S., Ayuningtyas, W.C., 2019. Microplastics in the surface sediments from the eastern waters of Java Sea, Indonesia. *F1000Res* 8. <https://doi.org/10.12688/f1000research.17103.1>
- Yudhantari, C.I.A.S., Hendrawan, I.G., Puspitha, N.L.P.R., 2019. Kandungan Mikroplastik pada Saluran Pencernaan Ikan Lemuru Protolan (*Sardinella Lemuru*) Hasil Tangkapan di Selat Bali. *Journal of Marine Research and Technology*.
- Zimmermann, L., Dierkes, G., Ternes, T.A., Völker, C., Wagner, M., 2019. Benchmarking the in Vitro Toxicity and Chemical Composition of Plastic Consumer Products. *Environ Sci Technol* 53. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02293>