

Distribusi dan Karakteristik Mikroplastik pada Daging dan Saluran Pencernaan Ikan Tongkol (*Euthynnus affinis*) di PPI Ujong Baroh, Aceh Barat

Distribution and Characteristics of Microplastics in the Flesh and Digestive Tract of Skipjack Tuna (*Euthynnus affinis*) at the Ujong Baroh Fish Farming Center, West Aceh

Ika Kusumawati^{*1}, Mai Suriani¹, Siti Rahayuning Putri¹, Dina Islama²

¹Marine Science Department, Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Universitas Teuku Umar, Aceh Barat, Indonesia

²Aquaculture Department, Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Universitas Teuku Umar, Aceh Barat, Indonesia

*Corresponding Author: ikakusumawati@utu.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 March 2026

Revised 10 April 2026

Accepted 14 April 2026

Available online 21 April 2026

E-ISSN: 2829-1751

How to cite:

Kusumawati, I., Suriani, M., dan Putri, S.R., Islama, D. (2026). Distribusi dan Karakterisasi Mikroplastik pada Daging dan Saluran Pencernaan Ikan Tongkol (*Euthynnus affinis*) di PPI Ujong Baroh, Aceh Barat. *AQUACOASTMARINE: J.Aquat.Fish.Sci*, 5(1), 21-34.

ABSTRACT

The increasing use of plastic in coastal areas has led to the accumulation of microplastic particles in the marine environment, which have the potential to enter the food chain and endanger marine life and humans as end consumers. Microplastics are <5 mm in size and originate from the degradation of large plastics due to exposure to ultraviolet light and anthropogenic activities such as fishing, industry, and household waste. This study aims to analyze the content, type, and characteristics of microplastic polymers in the flesh and digestive tract of tuna (*Euthynnus affinis*) caught by fishermen at the Ujong Baroh Fishing Port (PPI), West Aceh. The study was conducted from June to September 2024. Six tunas were taken as samples, then the flesh and digestive tract were analyzed using a 10% KOH solution to degrade organic tissue. The results were filtered with 1.6 µm Whatman paper and observed using an optical microscope to identify the form of microplastics, while the Fourier Transform Infrared (FTIR) test was used to determine the type of polymer. The results showed five types of microplastics: fiber, fragments, film, pellets, and foam. Fiber dominated, with an average abundance of 73.05 particles/gram in meat and 42.83 particles/gram in the digestive tract. The polymer identified by FTIR was polyamide (nylon). The research findings are expected to inform plastic waste management policies and protect the safety of seafood.

Keyword: Microplastic, *Euthynnus affinis*, FTIR, Polyamide, Ujong Baroh

ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan plastik di wilayah pesisir menyebabkan meningkatnya akumulasi partikel mikroplastik di lingkungan laut yang berpotensi masuk ke rantai makanan dan membahayakan biota laut maupun manusia sebagai konsumen akhir. Mikroplastik memiliki ukuran <5 mm dan berasal dari degradasi plastik besar akibat paparan sinar ultraviolet dan aktivitas antropogenik seperti perikanan, industri, serta limbah rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan, jenis, dan karakteristik polimer mikroplastik pada daging dan saluran pencernaan ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) hasil tangkapan nelayan di PPI Ujong



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
[10.32734/jafs.v5i1.24939](https://doi.org/10.32734/jafs.v5i1.24939)

Baroh, Aceh Barat. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni hingga September 2024. Enam ekor ikan tongkol diambil sebagai sampel, kemudian bagian daging dan saluran pencernaan dianalisis menggunakan larutan KOH 10% untuk mendegradasi jaringan organik. Hasil disaring dengan kertas Whatman 1,6 μm dan diamati menggunakan mikroskop optika untuk identifikasi bentuk mikroplastik, sedangkan uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR) digunakan untuk menentukan jenis polimer mikroplastik. Hasil penelitian ditemukan lima jenis mikroplastik yaitu fiber, fragmen, film, pellet, dan foam. Jenis fiber mendominasi dengan rata-rata kelimpahan 73,05 partikel/gram pada daging dan 42,83 partikel/gram pada saluran pencernaan. Jenis polimer yang diidentifikasi melalui FTIR adalah Polyamide (*Nylon*) yang banyak digunakan dalam alat tangkap ikan. Temuan ini membuktikan adanya kontaminasi mikroplastik pada ikan konsumsi masyarakat pesisir Aceh Barat yang dapat menjadi indikator pencemaran lingkungan laut. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar kebijakan pengelolaan limbah plastik dan perlindungan keamanan pangan hasil laut di wilayah pesisir Indonesia.

Keyword: Mikroplastik, Ikan Tongkol, FTIR, Polyamide, Ujong Baroh

1. Pendahuluan

Permasalahan sampah plastik telah menjadi krisis lingkungan global yang mendesak, terutama di Indonesia yang tercatat menghasilkan 63.948.000 ton sampah per tahun dengan estimasi timbunan 7.300 ton setiap jamnya (SIPSN, 2021). Plastik yang terakumulasi di lingkungan tidak dapat terurai sempurna, melainkan terfragmentasi menjadi partikel berukuran kurang dari 5 mm yang dikenal sebagai mikroplastik. Keberadaan polutan ini sangat mengkhawatirkan karena sifatnya yang persisten dan kemampuannya untuk mengadsorpsi zat beracun dari lingkungan (Suprijanto et al., 2021).

Ekosistem perairan menjadi muara akhir dari polusi plastik, di mana mikroplastik seringkali disalahpahami sebagai makanan oleh biota laut. Berbagai studi di lokasi seperti Laut China Selatan, Teluk Jakarta, hingga Hongkong menunjukkan tingkat kelimpahan mikroplastik yang bervariasi pada ikan (Koongolla et al. 2020; Hastuti et al. 2019; Chan et al. 2019). Masuknya mikroplastik ke dalam saluran pencernaan ikan tidak hanya mengancam kesehatan biota tersebut, tetapi juga berpotensi berpindah ke jaringan otot atau daging melalui proses translokasi, yang akhirnya mencapai manusia melalui rantai makanan (Gamarro et al., 2020).

Meskipun penelitian mengenai mikroplastik pada ikan sudah mulai meningkat, masih terdapat celah penelitian terkait perbandingan spesifik akumulasi antara saluran pencernaan dan jaringan daging pada spesies lokal di wilayah Aceh Barat. Kebanyakan studi sebelumnya lebih berfokus pada kelimpahan di saluran pencernaan saja tanpa meninjau potensi paparan pada bagian ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat secara luas. Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada analisis komparatif distribusi tipe dan jumlah mikroplastik pada dua kompartemen tubuh ikan yang berbeda di perairan Aceh Barat.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik dan menghitung nilai kelimpahan mikroplastik pada saluran pencernaan serta daging ikan di Aceh Barat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data dasar mengenai tingkat kontaminasi mikroplastik pada sumber pangan laut lokal serta menjadi dasar pertimbangan dalam manajemen risiko kesehatan lingkungan dan keamanan pangan di masa depan.

2. Metode Penelitian

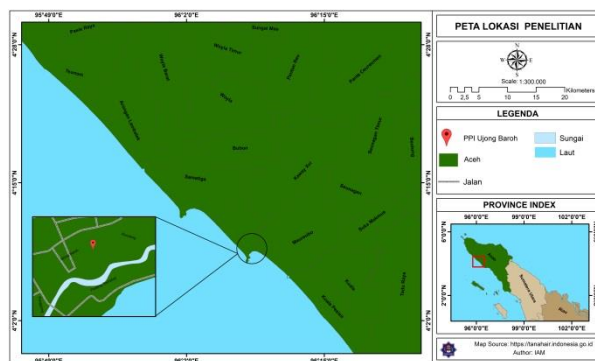
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni hingga September 2024. Sampel sebanyak 6 ekor ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) diperoleh dari PPI Ujong Baroh, Kabupaten Aceh Barat pada bulan Juni 2024, sedangkan bulan Juli hingga September 2024 digunakan untuk tahap preparasi, analisis laboratorium, dan pengolahan data. Dari ke-6 individu tersebut, disiapkan total 12 sampel yang terdiri atas 6 sampel daging dan 6 sampel saluran pencernaan untuk dianalisis lebih lanjut (**Gambar 1**).

Penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling* dengan pendekatan observasi laboratorium. Sampel ikan tongkol diperoleh dari hasil tangkapan nelayan di PPI Ujong Baroh. Enam ekor ikan dengan panjang masing-masing 23 cm digunakan sebagai sampel penelitian (Rochman, 2015). Jumlah sampel sebanyak 6 ekor (12 unit analisis organ) ditentukan berdasarkan pertimbangan homogenitas ukuran spesimen (23 cm) dan optimasi durasi analisis laboratorium yang mencakup tahap destruksi kimiawi selama 24 jam, pengeringan, serta identifikasi polimer menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang memerlukan ketelitian tinggi pada setiap partikel yang ditemukan.

Penelitian ini menggunakan laboratorium Bioteknologi Perikanan, Universitas Teuku Umar, Meulaboh, Aceh Barat untuk mendukung proses identifikasi mikroplastik pada ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) (Yudhantari et al., 2019; Jiang et al., 2018). Alat yang digunakan antara lain *cool box* sebagai wadah penyimpanan spesimen ikan agar tetap segar selama proses pengambilan sampel, timbangan digital untuk menimbang berat ikan dan bagian-bagiannya, serta penggaris untuk mengukur panjang total ikan. Selanjutnya digunakan cawan petri sebagai wadah media sampel, mikroskop optika dengan perbesaran 10x–40x untuk mengidentifikasi partikel mikroplastik, dan alat bedah untuk membuka bagian tubuh ikan guna memisahkan organ pencernaan dan daging. Proses pengeringan dilakukan menggunakan oven laboratorium merk Wiggins, sedangkan gelas beker dan pipet tetes digunakan untuk pencampuran serta pengambilan larutan dalam tahap ekstraksi. Kamera digital digunakan untuk mendokumentasikan proses dan hasil pengamatan. Selain itu, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (*Nicolet iS50, Thermo Fisher Scientific, USA*) digunakan untuk mengidentifikasi jenis polimer dari partikel mikroplastik yang ditemukan.

Bahan-bahan yang digunakan meliputi ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) sebagai objek penelitian, kertas label untuk penandaan sampel, dan aquades untuk pencucian serta pelarutan bahan kimia. Proses destruksi jaringan organik menggunakan larutan Kalium Hidroksida (KOH) 10% (p.a.) (Suprijanto et al., 2021), sedangkan kertas saring Whatman berpori 1,6 μm digunakan untuk memisahkan mikroplastik dari hasil destruksi. Asam sulfat (H_2SO_4) 10% (p.a.) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) 30% (p.a.) digunakan untuk menguraikan sisa senyawa organik, sedangkan etanol 70% berfungsi sebagai bahan sterilisasi alat. Untuk menjaga keselamatan kerja, digunakan sarung tangan dan masker laboratorium selama proses pengujian.

Sampel ikan disimpan dalam *cool box* berisi es untuk menjaga kesegaran, kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Setiap sampel ikan diukur panjang total dan berat tubuhnya (**Tabel 1**). Ikan dibedah menggunakan alat bedah steril dengan sayatan dari anus ke arah dorsal hingga sirip punggung untuk memisahkan daging dan saluran pencernaan (Putri, 2021). Sampel daging dan saluran pencernaan yang dianalisis menggunakan mikroskop optika merupakan sampel yang sama dengan yang digunakan pada pengujian metode FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Sampel jaringan saluran pencernaan ikan dalam kondisi basah diproses sesuai prosedur penelitian untuk mempermudah identifikasi mikroplastik menggunakan mikroskop optika.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian di PPI Ujong Baroh, Aceh Barat.

Kedua sampel (daging dan saluran pencernaan) tersebut dilarutkan dengan menggunakan larutan KOH 10% untuk melarutkan jaringan organik. Setelah itu, larutan disaring menggunakan kertas Whatman 1,6 μm . Residu yang tertahan di atas kertas saring dibilas dengan campuran H_2SO_4 dan H_2O_2 masing-masing 20 mL untuk menghilangkan sisa bahan organik, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 20 menit. Sampel kering diamati di bawah mikroskop optika dengan perbesaran 40 \times dan 100 \times untuk identifikasi jenis mikroplastik berdasarkan bentuk dan warnanya (Foekema, 2013).

Untuk memastikan bahwa partikel yang teridentifikasi merupakan mikroplastik sesungguhnya, diperlukan analisis lanjutan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Spectrometer (Villegas-Camacho et al., 2025). Melalui tahapan analisis, sampel mikroplastik diisolasi dari daging dan saluran pencernaan ikan, kemudian dikeringkan dan diubah menjadi serbuk halus untuk analisis spektroskopi. Hasil spektrum FTIR dari masing-masing sampel memberikan informasi mengenai karakteristik gugus fungsi yang menunjukkan jenis polimer penyusun mikroplastik.

Identifikasi jenis polimer mikroplastik dilakukan menggunakan spektrofotometer FTIR. Pengujian dilakukan pada rentang panjang gelombang 4000–400 cm^{-1} dengan dua mode analisis, yaitu transmisi untuk plastik transparan dan refleksi dengan ATR (*Attenuated Total Reflectance*) untuk plastik buram. Hasil analisis FTIR berupa spektrum serapan inframerah yang menunjukkan gugus fungsi spesifik tiap polimer (Andoh et al., 2024). Proses identifikasi jenis polimer mikroplastik pada penelitian ini mengacu pada metode validasi

spektrum yang dikemukakan oleh Jung et al. (2017). Validasi dilakukan dengan membandingkan bilangan gelombang serapan (*wavenumber*) pada hasil uji FTIR dengan karakteristik gugus fungsi khas dari beberapa jenis plastik umum yang sering ditemukan di lingkungan perairan.

Jenis plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) menunjukkan pita serapan khas pada bilangan gelombang 2915 cm^{-1} dan 2845 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya ikatan C–H alifatik, serta pada 1472–1462 cm^{-1} dan 730–717 cm^{-1} yang merepresentasikan getaran gugus CH_2 (Spanou et al., 2026). Sementara itu, Polypropylene (PP) memiliki karakteristik pita serapan di sekitar 2950–2838 cm^{-1} (C–H stretching), 1455–1397 cm^{-1} (C–H bending), 1166–972 cm^{-1} (C–C stretching), serta 840–808 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan gugus CH_2 terminal (Samat et al., 2021).

Untuk *Low Density Polyethylene* (LDPE), spektrum serapannya mirip dengan HDPE, namun dengan perbedaan kecil pada bilangan gelombang 1467 cm^{-1} dan 1397 cm^{-1} yang menandakan struktur rantai yang lebih fleksibel dan tidak rapat (Hu et al., 2025). Jenis plastik Ethylene Vinyl Acetate (EVA) ditandai oleh pita serapan kuat pada 1740 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan gugus karbonil (C=O), serta puncak pada 1241 dan 1020 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya ikatan C–O dari gugus ester (Giurginca et al., 2003). Adapun Polyamides (PA) atau Nylon memiliki bilangan gelombang khas pada 3298 cm^{-1} (getaran O–H atau N–H), 2932–2858 cm^{-1} (C–H alifatik), serta 1634–1538 cm^{-1} (C=O dan N–H bending), disertai puncak tambahan di sekitar 1274 dan 687 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan gugus amida (Caban & Gnatowski, 2023).

Data hasil identifikasi mikroplastik disajikan dalam bentuk foto hasil mikroskopis, tabel, dan grafik. Kelimpahan mikroplastik dihitung secara kuantitatif berdasarkan rumus Laila et al. (2020):

$$[K = \frac{n}{N}]$$

dengan (K) adalah kelimpahan mikroplastik (partikel/sampel), (n) jumlah total partikel mikroplastik yang ditemukan, dan (N) jumlah total sampel ikan yang dianalisis. Data FTIR digunakan untuk menentukan jenis polimer berdasarkan panjang gelombang serapan, sedangkan hasil pengamatan dibandingkan dengan referensi spektrum polimer dari literatur.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Morfologi Ikan Tongkol

Ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) (**Gambar 2**) merupakan spesies ikan yang memiliki nilai ekonomis tinggi (Melantina et al., 2022). Spesies ini termasuk dalam kelompok ikan pelagis yang dapat ditemukan sepanjang tahun dengan ketersediaan yang melimpah (Johnson & Tamatamah, 2013). Selain itu, ikan tongkol berperan sebagai salah satu komoditas unggulan yang memberikan kontribusi signifikan terhadap nilai ekspor sektor perikanan Indonesia setelah komoditas udang (Export Center Indonesia, 2024).



Gambar 2. Morfologi ikan tongkol yang didaratkan di PPI Ujong Baroh

Hasil identifikasi mikroplastik pada daging dan saluran pencernaan ikan menunjukkan 5 jenis mikroplastik yaitu fiber, fragment, film, pellet dan foam. Ikan tongkol dapat terpapar mikroplastik melalui proses ingestasi saat aktivitas makan, baik secara langsung dengan mengira partikel mikroplastik sebagai makanan, maupun secara tidak langsung melalui rantai makanan dari organisme yang telah terkontaminasi sebelumnya. Mikroplastik yang masuk ke dalam saluran pencernaan dapat terakumulasi, namun pengaruhnya terhadap laju pertumbuhan ikan tidak selalu terlihat secara langsung dan dapat bergantung pada ukuran, jenis, serta konsentrasi mikroplastik yang tertelan (Marmara et al., 2023). Hasil pengukuran berat sampel daging dan pencernaan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil pengukuran berat sampel ikan tongkol

Sampel (gr) TL 23 cm	Berat sampel		
	Sampel	Saluran	
	Daging (gr)	pencernaan (gr)	
Ikan 1	148	50	11
Ikan 2	187	50	12
Ikan 3	200	50	21
Ikan 4	192	50	20
Ikan 5	227	50	16
Ikan 6	210	50	13

3.2 Identifikasi Mikroplastik pada Daging dan Saluran Pencernaan

Secara keseluruhan, total mikroplastik yg ditemukan pada daging ikan tongkol lebih tinggi daripada di saluran pencernaan (**Gambar 3**). Jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan pada ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) baik pada daging maupun saluran pencernaan adalah tipe fiber, dengan kelimpahan masing-masing sebesar 73,05 partikel/gram pada daging (**Tabel 2**) dan 42,83 partikel/gram pada saluran pencernaan (**Tabel 3**).

Kelimpahan mikroplastik pada daging ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) tertinggi terdapat pada tipe fiber dan fragmen masing masing sebesar 73,05 partikel/gram dan 67,16 partikel/gram, sedangkan terendah pada tipe foam yaitu sebesar 10,83 partikel/gram (**Gambar 3**).

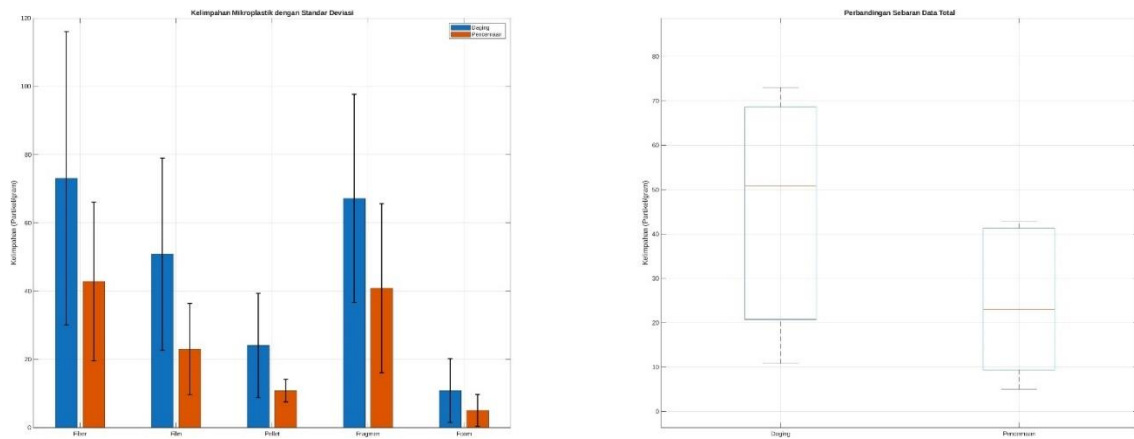
Tabel 2. Jenis dan kelimpahan mikroplastik pada daging Ikan

Jenis Mikroplastik	Kelimpahan (Partikel/gram)	Kisaran (Min–Max)	Rata-rata (\bar{x})	Standar Deviasi (SD)
Fiber	73,05	24 – 147	73,05	42,98
Film	50,83	20 – 95	50,83	28,15
Pellet	24,05	7 – 48	24,05	15,31
Fragmen	67,16	31 – 105	67,16	30,55
Foam	10,83	0 – 24	10,83	9,33
Total	225,92			

Tabel 3. Jenis dan kelimpahan mikroplastik pada saluran pencernaan ikan

Jenis Mikroplastik	Kelimpahan (Partikel/gram)	Kisaran (Min–Max)	Rata-rata (\bar{x})	Standar Deviasi (SD)
Fiber	42,83	16 – 77	42,83	23,28
Film	23	7 – 47	23	13,38
Pellet	10,83	7 – 15	10,83	3,31
Fragmen	40,83	21 – 89	40,83	24,8
Foam	5,05	0 – 13	5,05	4,68
Total	122,54			

Penelitian Akhbarizadeh et al. (2018) menyebutkan bahwa panjang dan berat ikan memiliki korelasi positif terhadap jumlah mikroplastik pada daging ikan. Hasil yang berbeda diperoleh dari penelitian ini. Analisis regresi menunjukkan berat sampel tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kelimpahan mikroplastik yang terdeteksi, nilai R^2 0,184; p-value 0,215. Faktor tersebut memungkinkan terjadinya akumulasi mikroplastik yang lebih tinggi pada jaringan daging ikan tongkol asal PPI Ujong Baroh akibat durasi paparan yang lebih lama. Jenis fragmen menunjukkan kelimpahan yang cukup tinggi, yaitu 67,16 partikel/gram pada daging (Tabel 2) dan 40,83 partikel/gram pada saluran pencernaan (**Tabel 3**). Sebaliknya, Jenis *foam* merupakan jenis mikroplastik dengan kelimpahan terendah pada kedua bagian tubuh ikan, yakni 10,83 partikel/gram pada daging dan 5,05 partikel/gram pada saluran pencernaan.



Gambar 3. Mikroplastik pada daging dan saluran cerna ikan tongkol (*Euthynnus affinis*)

Tingginya kandungan fiber dan fragmen kemungkinan besar berasal dari aktivitas antropogenik di sekitar perairan, seperti penggunaan jaring ikan, tali rafia, pakaian sintesis, serta limbah domestik yang mengandung serat tekstil. Partikel-partikel ini dapat masuk ke tubuh ikan melalui proses makan secara tidak sengaja karena bentuknya menyerupai plankton atau organisme kecil lainnya yang menjadi makanan ikan tongkol. Studi terbaru juga menyebut bahwa mikroplastik yang masuk ke tubuh ikan bisa melalui saluran pencernaan atau melalui cabang insersi di insang dan kemudian distribusi ke jaringan lainnya (Babkiewicz et al., 2025).

Korelasi antara konsentrasi mikroplastik di lingkungan dan biota air telah didokumentasikan secara luas. Sebagaimana dijelaskan oleh Guven et al. (2017) dan Jiang et al. (2018), komposisi mikroplastik pada ikan merupakan refleksi langsung dari beban polusi di kolom air atau sedimen habitatnya. Ketidakkampuan ikan dalam membedakan mikroplastik dari sumber makanan alami didukung oleh temuan Chan et al. (2019) mengenai perilaku makan non-selektif menyebabkan akumulasi terjadi secara terus-menerus. Lebih lanjut, mekanisme translokasi partikel dari saluran pencernaan ke jaringan otot, yang didukung oleh studi Wright et al. (2013) dan Akhbarizadeh et al. (2018), yang menjelaskan mengapa fiber dan fragmen dapat ditemukan pada bagian daging ikan yang dikonsumsi manusia, meskipun jalur masuk utamanya adalah melalui ingesti.

Temuan ini menunjukkan mekanisme translokasi mikroplastik dari saluran pencernaan atau jaringan lain menuju otot, maupun akumulasi diferensial yang dipengaruhi oleh jenis jaringan dan metabolisme ikan. Hal tersebut didukung oleh penelitian Akhbarizadeh et al. (2018) dan Barboza et al. (2020) yang menunjukkan bahwa daging ikan dapat mengakumulasi mikroplastik dari air laut melalui proses bioakumulasi dan translokasi partikel dari saluran pencernaan ke jaringan otot.

Secara keseluruhan, kelimpahan mikroplastik pada daging ikan tongkol ditemukan lebih tinggi dibandingkan dengan saluran pencernaan. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan perpindahan partikel mikroplastik dari organ pencernaan menuju jaringan otot, yang berpotensi menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia sebagai konsumen akhir. Ini bisa menunjukkan bahwa setelah penyerapan atau kontak awal di saluran pencernaan, sebagian partikel atau bahan terkait mikroplastik kemudian berpindah atau terdistribusi ke jaringan otot/daging. Beberapa studi terbaru menunjukkan bahwa meskipun kebanyakan penelitian fokus pada saluran pencernaan, mikroplastik juga telah terdeteksi di otot ikan yang dikonsumsi manusia (misalnya otot ikan pedang dan tuna) dengan kadar yang signifikan (Di Giacinto et al., 2023). Sebagai contoh, Di Giacinto et al. (2023) melaporkan mikroplastik, polimer PET, PC dan aditif lainnya ditemukan di otot *Xiphias gladius* dan *Thunnus sp.*, menunjukkan potensi paparan manusia via konsumsi jaringan otot.

Studi terkini pada ikan komersial menunjukkan bahwa ikan yang berada pada tingkat trofik lebih tinggi atau yang memiliki kebiasaan makan yang memungkinkan ingestasi mikropartikel misalnya pemakan plankton atau pemakan organisme yang telah terkontaminasi cenderung memiliki beban mikroplastik yang lebih besar (Canon-Bastidas et al., 2025)

Dalam konteks penelitian ini di perairan Aceh Barat, di mana aktivitas bongkar-muat batubara dan arus laut lokal mungkin mempengaruhi distribusi mikroplastik dan sedimen, maka keberadaan fiber dan fragmen yang tinggi dapat mencerminkan tekanan antropogenik lokal yang kuat (misalnya limbah tekstil, industri, transportasi laut). Data ini juga menunjukkan bahwa bagian daging ikan (yang lebih dekat ke jaringan konsumsi manusia) mengandung mikroplastik yang lebih tinggi menegaskan urgensi perhatian terhadap aspek kesehatan manusia. Pada penelitian ini ditemukan bahwa jenis fiber mendominasi kontaminasi mikroplastik pada sampel ikan, yaitu mencapai 73,05 partikel/g pada daging dan 42,83 partikel/g pada usus.. Temuan ini

sejalan dengan penelitian lain yang menempatkan fiber sebagai jenis mikroplastik yang paling sering ditemukan pada jaringan ikan. Hal ini diperkuat oleh penelitian Hossain *et al.* (2023) yang juga menemukan bahwa fiber adalah jenis mikroplastik yang dominan ditemukan di otot dan saluran pencernaan ikan komersial.

3.3 Kelimpahan Mikroplastik

Berdasarkan hasil ekstraksi mikroplastik pada ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) yang didaratkan di PPI Ujong Baroh Aceh Barat, diperoleh persentase mikroplastik terbanyak yaitu berjenis fiber dengan jumlah total 116,33. Jenis mikroplastik terbanyak kedua yaitu jenis fragmen sebanyak 108 partikel/g. Keberadaan mikroplastik di lingkungan perairan memiliki pengaruh yang besar akan masuknya mikroplastik pada ikan demersal (Güven *et al.*, 2017).

Tabel 4 menyajikan perbandingan beberapa penelitian kelimpahan mikroplastik pada ikan. Tingkat kontaminasi pada saluran pencernaan *Euthynnus affinis* di Aceh Barat tergolong tinggi. Secara regional, nilai kelimpahan ini melampaui temuan di Laut Cina Selatan (Koongolla *et al.*, 2020) yang mengamati spesies *Clupanodon punctatus* dan *Sillago sihama*, serta lebih tinggi dibandingkan hasil studi di perairan mesir (Sami, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa perairan di lokasi penelitian mungkin menerima beban polusi mikroplastik yang lebih besar dibandingkan perairan terbuka di wilayah tersebut.

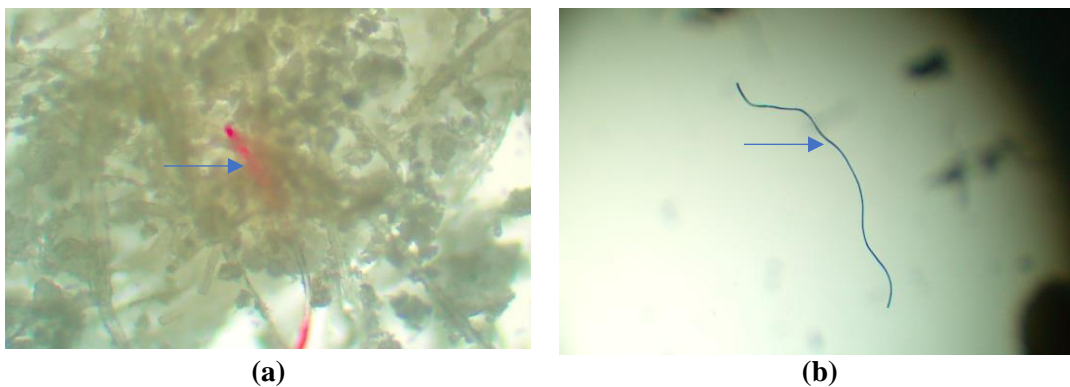
Tabel 4. Perbandingan kelimpahan mikroplastik pada berbagai jenis ikan

Lokasi Penelitian	Jenis Ikan	Kelimpahan (Partikel/Individu atau gram)	Referensi
Aceh barat	<i>Euthynnus affinis</i>	Tinggi	Data pribadi
Laut China Selatan	<i>Clupanodon punctatus</i> , <i>Clupanodon thrissa</i> , <i>Siganus fuscenssens</i> , <i>Leiognathus brevirostris</i> , <i>Alepes djedaba</i> , <i>Gerres lucidus</i> , <i>Sillago sihama</i> , dan <i>Terapon jarbua</i>	Rendah	Koongolla <i>et al.</i> (2020)
Perairan Timur	Berbagai Jenis	Rendah	Sami (2025)
Teluk Jakarta	<i>Oreochromis mossambicus</i> , <i>Scatophagus argus</i> , <i>Siganus canaliculatus</i> , <i>Crenimugil seheli</i> , <i>Mugil cephalus</i> , <i>Chanos chanos</i> , <i>Anodontostoma chacunda</i> , <i>Sardinella fimbriata</i> , dan <i>Abalistes stellaris</i> .	Sangat Tinggi	Hastuti <i>et al.</i> (2019)
Hongkong	Ikan Demersal	Sangat Tinggi	Chan <i>et al.</i> (2019)

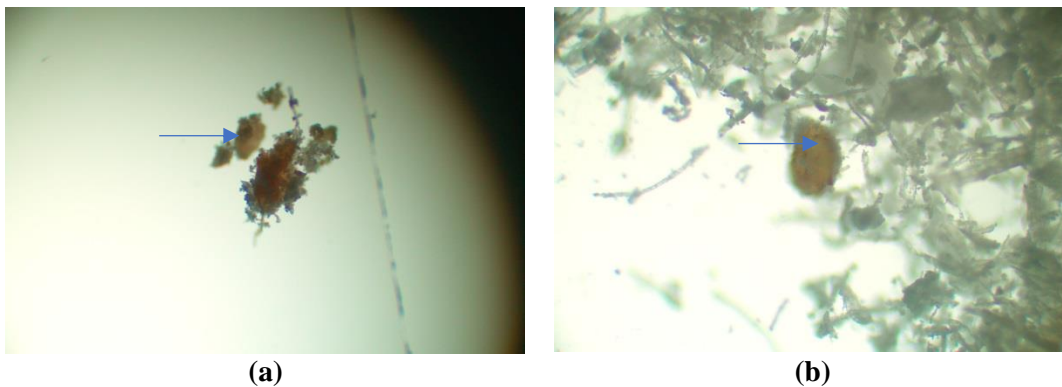
Kelimpahan mikroplastik di lokasi penelitian lebih rendah dibandingkan dengan wilayah metropolitan yang memiliki aktivitas antropogenik padat, seperti Teluk Jakarta (Hastuti *et al.*, 2019) dan perairan Hong Kong (Chan *et al.*, 2019). Hal ini diduga berkaitan erat dengan tingkat tekanan lingkungan Dimana Jakarta dan Hong Kong merupakan pusat industri serta pelabuhan besar yang berkontribusi langsung terhadap akumulasi sampah plastik di perairan.

Selain faktor lokasi, perbedaan spesifik pada jenis ikan turut memengaruhi hasil tersebut. *Euthynnus affinis* adalah ikan pelagis dengan mobilitas tinggi dan wilayah jelajah makan yang lebih luas dibandingkan kelompok ikan demersal yang diteliti oleh Chan *et al.* (2019). Sifat makan ikan tongkol yang oportunistik dan tidak selektif meningkatkan risiko tertelannya mikroplastik yang mengapung di kolom air bersama mangsa alaminya. Secara keseluruhan, hasil ini mempertegas adanya korelasi kuat antara intensitas aktivitas manusia dengan tingkat paparan mikroplastik pada biota. Kondisi di Aceh Barat saat ini menunjukkan tingkat polusi yang perlu diwaspadai, terutama terkait dampaknya terhadap keamanan pangan bagi masyarakat lokal.

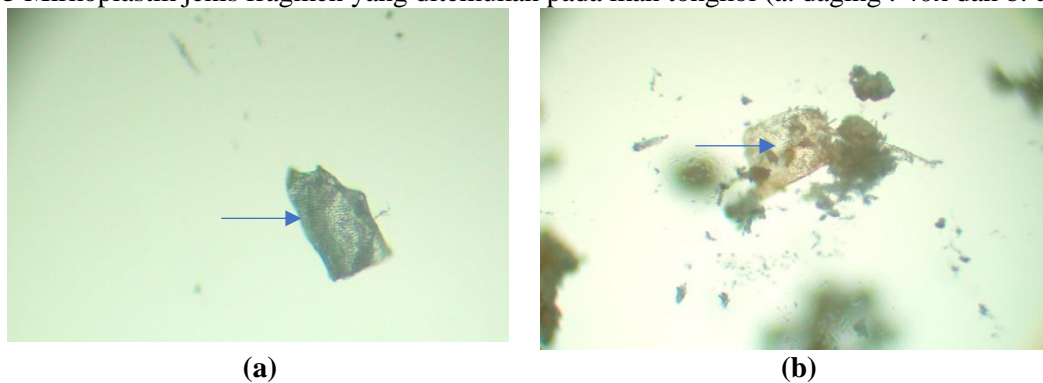
Mikroplastik pada bagian daging ikan tongkol cenderung sama atau lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian Akhbarizadeh et al. (2018) dan Barboza et al. (2020) yang berlokasi di Laut Atlantik dan Teluk Persia. Pada penelitian ini, mikroplastik pada daging ikan tongkol lebih banyak dari pada mikroplastik pada saluran pencernaan. Perbedaan kelimpahan mikroplastik yang ditemukan antar individu ikan dipengaruhi oleh variasi karakteristik biologis sampel, meskipun berada pada rentang panjang tubuh yang sama (TL 23 cm). Data menunjukkan adanya perbedaan bobot total yang cukup lebar, yakni berkisar antara 148 gr hingga 227 gr. Variasi massa tubuh ini mencerminkan perbedaan laju metabolisme dan kapasitas konsumsi pakan harian, yang secara langsung berkorelasi dengan jumlah partikel mikroplastik yang tertelan. Selain faktor biologis, variasi hasil juga dipengaruhi oleh aspek metodologi yang digunakan, khususnya pada rasio berat saluran pencernaan yang dianalisis (berkisar antara 11–21 gr). Perbedaan volume organ yang didegradasi serta resolusi optik mikroskop dalam mengidentifikasi partikel berukuran mikro menjadi faktor teknis yang menentukan batas deteksi dan penghitungan kelimpahan di setiap sampel. Mikroplastik dapat mudah masuk ke dalam tubuh ikan, melalui rantai makanan, selain itu mikroplastik dapat tertelan oleh biota-biota tersebut dalam prosesnya mencari makan secara tidak sengaja karena bentuknya yang hampir sama dengan jenis makanannya atau karena mangsanya juga telah terkontaminasi oleh mikroplastik.



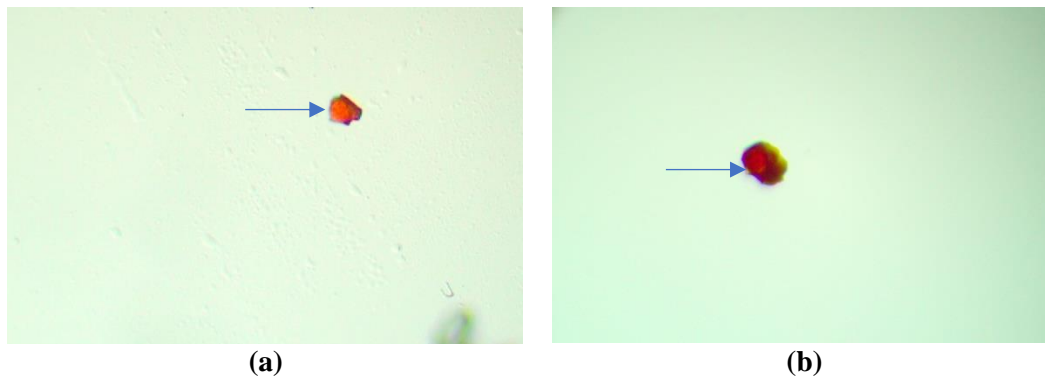
Gambar 4 Mikroplastik jenis fiber yang ditemukan pada ikan tongkol (a. daging : 40x, b. usus : 40x)



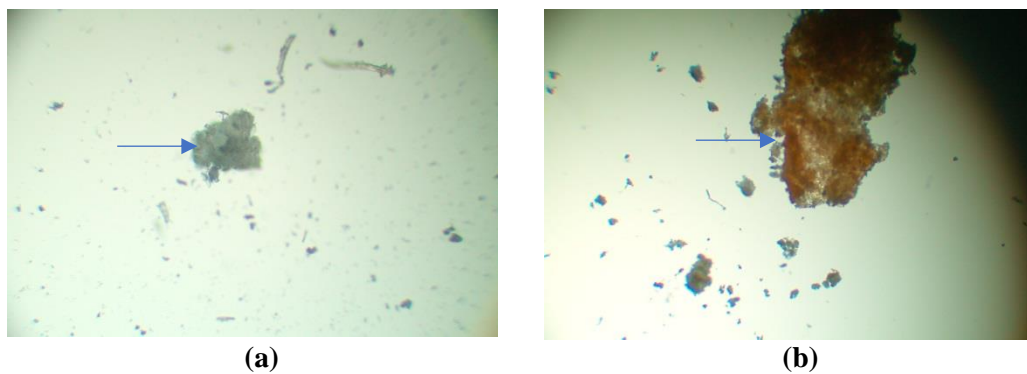
Gambar 5 Mirkoplastik jenis fragmen yang ditemukan pada ikan tongkol (a. daging : 40x dan b. usus : 40x)



Gambar 6 Mikroplastik jenis film yang ditemukan pada ikan tongkol (a.daging : 40x dan b.usus : 40x)



Gambar 7 Mikroplastik jenis pallet yang ditemukan pada tongkol (a.daging : 100x dan b.usus : 40x)



Gambar 8 Mikroplastik jenis foam yang ditemukan pada ikan tongkol (a.daging : 40x dan b.usus : 40x)

3.4 Identifikasi Polimer Partikel Mikroplastik pada Daging dan Saluran Pencernaan Ikan

Analisis FTIR menunjukkan bahwa mikroplastik pada sampel daging dan saluran pencernaan ikan tongkol memiliki spektrum serapan FTIR yang hampir identik (Gambar 9 dan Gambar 10), dengan puncak khas pada rentang $\sim 3200\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ (vibrasi O–H dan C–H) serta $\sim 1600\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ (C=O, N–H, dan C=C) (Tabel 5-6 dan Gambar 9-10). Spektrum ini menunjukkan bahwa jenis polimer yang dominan adalah Nylon (*Polyamide*), yang banyak digunakan dalam tekstil dan alat tangkap ikan.

Tabel 5. Analisis FTIR terhadap gugus fungsi senyawa mikroplastik pada daging ikan tongkol

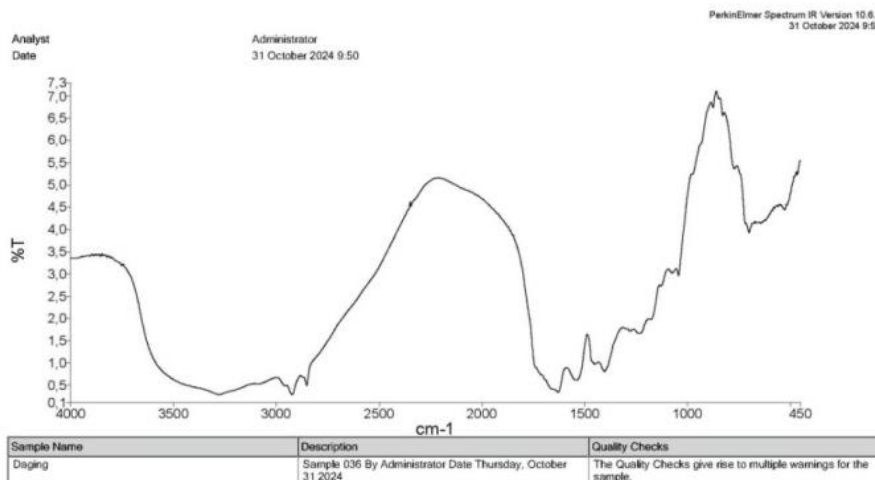
Konsentrasi (%)	Daerah Frekuensi (cm^{-1})	Tipe Senyawa	Ikatan Senyawa Kimia
Sampel Daging	3279,71	Alkohol Ikatan Hidrogen Fenol	O - H
	2923,25	Alkana	C - H
	2852,62	Alkana	C - H
	1628,17	Aldehid, Keton, Asam Karbosilat, Ester	C = O
	1402,97	Alkana	C - H
	699,17	Alkena	C - H

Studi Conger et al., (2024) menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan pada jaringan daging selain saluran pencernaan ikan komersial. Temuan ini mendukung interpretasi hasil pada daging bahwa partikel mikroplastik tidak hanya tertahan di usus tetapi juga telah berpindah ke jaringan daging (yang dikonsumsi manusia). Studi Pitt et al., (2024) menemukan bahwa pada jaringan daging ikan yang dikonsumsi manusia, nylon (*Polyamide*) adalah satu-satunya polimer yang ditemukan dalam daging ikan pada beberapa kasus, sedangkan jenis polimer lain lebih banyak di saluran pencernaan. Temuan ini juga menunjukkan bahwa PA memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk “menembus” ke jaringan daging dibandingkan polimer ringan seperti PE atau PP.

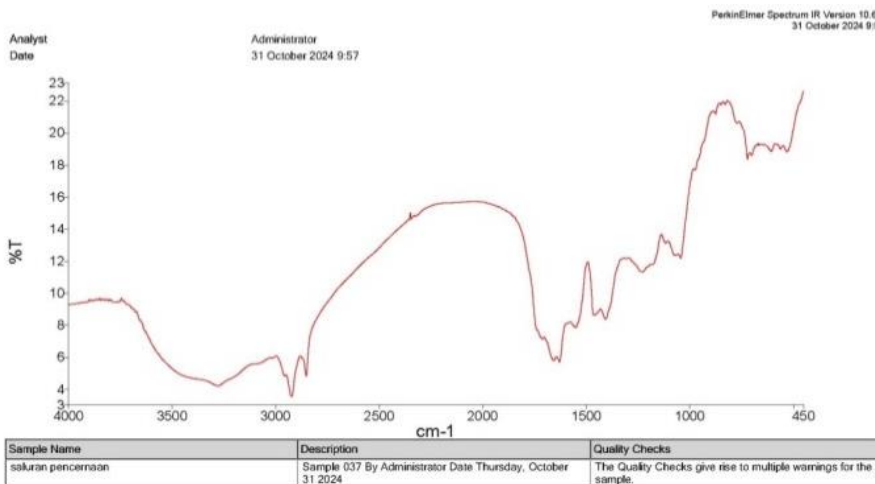
Penelitian Jamal et al. (2024) menunjukkan bahwa jenis dan distribusi mikroplastik organ-spesifik (termasuk daging) berbeda tergantung jenis ikan, kebiasaan makan dan berat badan ikan. Mikroplastik yang tertelan mungkin mengalami distribusi ke jaringan daging sejalan dengan tren global bahwa otot ikan bukan lagi bebas mikroplastik, melainkan telah menjadi target akumulasi. Polyamide banyak digunakan dalam jaring ikan, tali rafia, alat tangkap sintetis dan tekstil, maka dalam konteks perairan Aceh Barat, penelitian ini dapat menunjukkan bahwa aktivitas perikanan dan limbah tekstil/pakan atau tali jaring merupakan sumber dominan mikroplastik PA yang masuk ke rantai makanan. Studi tahun 2025 menekankan bahwa bentuk serat (fiber) dominan dan polimer seperti PA sangat tersebar di otot, Misalnya, studi di Malaysia menemukan dominasi fiber dan PA dalam jaringan ikan komersial (Jamal, et al., 2025).

Tabel 6. Analisis FTIR terhadap gugus fungsi senyawa mikroplastik pada saluran pencernaan ikan tongkol

Konsentrasi (%)	Daerah Frekuensi (cm ⁻¹)	Tipe Senyawa	Ikatan Senyawa Kimia
Sampel Usus	3280,29	Alkohol Ikatan Hidrogen Fenol	O - H
	2923,96	Alkana	C - H
	2852,88	Alkana	C - H
	1628,97	Alkena	C = O
	1552	Cincin Aromatik	C = C
	1407,7	Alkana	C - H
	1228,51	Amina, Amida	N - H
	720,85	Alkena	C - H



Gambar 9 Hasil analisis FTIR *Spectroscopy* mikroplastik pada sampel daging ikan tongkol



Gambar 10 Hasil analisis FTIR *Spectroscopy* mikroplastik pada sampel saluran pencernaan ikan tongkol

Hasil pengujian mikroplastik pada sampel daging dan saluran pencernaan ikan, dapat disimpulkan bahwa senyawa-senyawa yang ada pada sampel menunjukkan adanya kandungan ikatan *Hidrocarbon* yang berikatan membentuk ikatan senyawa kimia menjadi alkohol, fenol, asam karboksilat, dan lainnya. Area serapan (absorbansi) frekuensi yang ada pada gambar 9 dan 10, kisaran tersebut menunjukkan bahwa senyawa yang terkandung jenis Nylon PA (*Polyamides*). Gugus fungsi berupa ikatan yang terbentuk berkisar dari 699,17 – 3279,71 cm^{-1} , hal itu berupa jenis plastik nylon identifikasi lebih lanjut dengan menggunakan sebuah instrumen khusus yaitu *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Spectrometer.

Menurut Supit et al., (2022), PA atau Nylon adalah sebuah polimer mikroplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi keseharian, bahan ini termasuk yang dihindari untuk pengaplikasian makanan, dikarenakan mudah larut dan tercampur dengan makanan, dan berbahaya untuk pengaplikasian pada pemanasan, karena mudah rusak dan pada kesehatan akan berisiko kanker, masalah reproduksi dan gangguan hormon. PA lebih banyak digunakan untuk penggunaan sebagai senar pancing, jaring, pakaian, alat elektronik, kacamata, benang dll.

Polimer Nylon (*Polyamide*) diketahui dapat menimbulkan iritasi pada mata dan saluran pernapasan apabila terpapar dalam bentuk partikel halus atau serat mikro. Kehadiran mikroplastik berbahan Nylon di lingkungan perairan menimbulkan potensi risiko bagi kesehatan manusia, karena partikel tersebut dapat terakumulasi dalam jaringan organisme laut, termasuk ikan yang dikonsumsi manusia. Dengan demikian, paparan tidak langsung melalui rantai makanan menjadi salah satu jalur potensial masuknya polimer Nylon ke dalam tubuh manusia. (Manalu, 2017). Sumber mikroplastik jenis Nylon yaitu dari pakaian sintesis, ketika pakaian berbahan nilon dicuci, serat mikro yang sangat kecil dapat terlepas ke air. Mikroplastik nylon juga bisa berasal dari aktifitas nelayan misalkan sampah jaring dan tali yang terdegradasi dan paparan lingkungan menyebabkan serpihan nilon terlepas sehingga terbawa oleh air kemudian sampai ke perairan (Sarasita, 2020).

Plastik yang terbuang ke lingkungan laut umumnya akan mengapung di permukaan perairan akibat densitasnya yang rendah. Material ini kemudian terdispersi dan berpindah mengikuti pola arus laut serta pergerakan angin permukaan. Selama berada di laut, plastik mengalami proses degradasi fotokimia akibat paparan sinar ultraviolet dari matahari, yang secara bertahap menyebabkan perubahan struktur molekul dan fragmentasi menjadi partikel berukuran lebih kecil seperti mikroplastik (Wright, 2013). Sampah plastik yang memasuki ekosistem laut dapat berpindah ke perairan yang lebih jauh, termasuk perairan lepas dan kawasan kepulauan, melalui pergerakan arus laut dan hembusan angin permukaan. Mekanisme transportasi ini menyebabkan distribusi spasial plastik menjadi luas dan tidak merata, sehingga partikel plastik dapat ditemukan bahkan di wilayah laut dalam dan ekosistem terencil (Dwiyitno, 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Jung et al. (2017), proses identifikasi jenis polimer plastik pada suatu sampel menggunakan spektroskopi FTIR memerlukan pencocokan minimal empat bilangan gelombang utama yang sesuai atau mendekati puncak serapan karakteristik dari polimer acuan. Kesesuaian empat bilangan gelombang ini digunakan sebagai indikator validitas identifikasi, memastikan bahwa spektrum yang diperoleh benar-benar merepresentasikan jenis polimer spesifik yang terdapat dalam sampel.

Terdapat 1 jenis mikroplastik yang terdapat pada daging Ikan Tongkol yaitu jenis *Polyamides* (PA) atau *Nylon* (Tabel 4), dengan bilangan gelombang dan gugus fungsi berturut-turut 3279,71 cm^{-1} , 2923,25 cm^{-1} , 2852,62 cm^{-1} , 1628,17 cm^{-1} , 1402,97 cm^{-1} , 699,17 cm^{-1} . Serta bilangan gelombang dan gugus fungsi pada saluran pencernaan ikan tongkol. Tabel 5 juga berturut-turut merujuk pada jenis PA yaitu dengan nilai serapan daerah frekuensi 3280,29 cm^{-1} , 2923,96 cm^{-1} , 2852,88 cm^{-1} , 1628,97 cm^{-1} , 1552,00 cm^{-1} , 1407,70 cm^{-1} , 1228,51 cm^{-1} dan 720, cm^{-1} .

Jenis mikroplastik yang ditemukan dalam penelitian ini mengandung gugus fungsi atau ikatan senyawa kimia pada daging yaitu O-H, C-H, C-H, C=O, C-H dan C-H, sesuai dengan pernyataan Pasieczna-Patkowska (2025). Gugus C-H menunjukkan keberadaan struktur kimia alkana, sedangkan O-H berasal dari air (akuades) yang digunakan dalam proses pembersihan sampel. Adapun gugus C=O merepresentasikan struktur karbonil yang umumnya terbentuk akibat proses oksidasi polimer.

Penelitian mengenai mikroplastik masih tergolong terbatas, namun beberapa studi menunjukkan bahwa partikel ini dapat mengganggu kehidupan biota laut dengan merusak saluran pencernaan, menurunkan aktivitas enzim, mengurangi kadar hormon steroid, dan menghambat reproduksi. Biota yang telah terkontaminasi mikroplastik sebaiknya tidak dikonsumsi, karena berpotensi membahayakan kesehatan manusia.

4. Kesimpulan

Jenis mikroplastik yang ditemukan pada ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) hasil tangkapan nelayan di PPI Ujong Baroh terdiri atas lima jenis, yaitu fiber, fragmen, film, pellet, dan foam. Jenis fiber merupakan bentuk yang paling dominan ditemukan baik pada daging maupun saluran pencernaan, dengan rata-rata

kelimpahan masing-masing 73,05 partikel/gram pada daging dan 42,83 partikel/gram pada saluran pencernaan. Kelimpahan mikroplastik lebih tinggi pada daging dibandingkan saluran pencernaan. Hasil analisis FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) menunjukkan bahwa jenis polimer dominan adalah *Polyamide* (*Nylon*), dengan gugus fungsi khas seperti O–H, C–H, C=O, dan N–H pada rentang serapan ~3200–2800 cm^{-1} dan ~1600–700 cm^{-1} . Langkah strategis berupa pemantauan kualitas perairan secara periodik di wilayah Aceh Barat guna mengawasi tren polusi mikroplastik yang terus meningkat. Mengingat akumulasi partikel yang signifikan ditemukan pada jaringan otot ikan tongkol (*Euthynnus affinis*), studi lanjutan mengenai aspek keamanan pangan dan risiko toksikologi bagi masyarakat lokal menjadi sangat krusial untuk dilakukan. Selain itu, pemerintah daerah dan instansi terkait diharapkan dapat memperkuat regulasi pengelolaan limbah plastik di area pesisir untuk meminimalisasi masuknya berbagai jenis mikroplastik ke ekosistem laut. Penelitian mendatang juga disarankan untuk memperluas cakupan variabel, baik melalui penambahan variasi tingkat trofik biota maupun pengamatan pengaruh musim, guna memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dinamika kontaminasi mikroplastik di perairan tersebut.

5. Ucapan Terima Kasih

Peneliti menyampaikan terima kasih kepada, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Teuku Umar yang telah memberikan dukungan fasilitas untuk pelaksanaan penelitian ini; Pengelola Pelabuhan Perikanan Pantai (PPI) Ujong Baroh, Aceh Barat, yang telah memberikan izin dan akses selama pengambilan sampel di lapangan; dan Laboratorium MIPA Terpadu dan Laboratorium Bioteknologi Perikanan atas bantuan teknis selama proses analisis sampel.

Daftar Pustaka

- Akhbarizadeh, R., Moore, F., & Keshavarzi, B. (2018). Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from Northeast of Persian Gulf. *Environmental Pollution*, 232, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.028>
- Andoh, C. N., Attiogbe, F., Ackerson, N. O. B., Antwi, M., & Adu-Boahen, K. (2024). Fourier transform infrared spectroscopy: An analytical technique for microplastic identification and quantification. *Infrared Physics & Technology*, 136, Article 105070. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2023.105070>
- Babkiewicz, E., Nowakowska, J., Zebrowski, M. L., Kunijappan, S., Jarosińska, K., Maciaszek, R., Zebrowski, J., Jurek, K., & Maszczyk, P. (2025). Microplastic passage through the fish and crayfish digestive tract alters particle surface properties. *Environmental Science & Technology*, 59(11), 5693–5703. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c08909>
- Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R. B. O., Lundebye, A. K., & Guilhermino, L. (2020). 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. *Science of the Total Environment*, 717, 134625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625>
- Caban, R., & Gnatowski, A. (2023). Structural and thermal examinations of polyamide modified with fly ash from biomass combustion. *Materials*, 16(15), 5277. <https://doi.org/10.3390/ma16155277>
- Cañón-Bastidas, J., Molina, A., & Duque, G. (2025). Impact of microplastic ingestion on commercial fish: A trophic-level analysis. *International Journal of Environmental Research*, 19, 142. <https://doi.org/10.1007/s41742-025-00798-4>
- Chan, H. S. H., Dingle, C., & Not, C. (2019). Evidence for non-selective ingestion of microplastic in demersal fish. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110523. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110523>
- Conger, E., Dziobak, M., Berens McCabe, E. J., Curtin, T., Gaur, A., Wells, R. S., Weinstein, J. E., & Hart, L. B. (2024). An analysis of suspected microplastics in the muscle and gastrointestinal tissues of fish from Sarasota Bay, FL: Exposure and implications for apex predators and seafood consumers. *Environments*, 11(9), 185. <https://doi.org/10.3390/environments11090185>
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). The biological impacts and effects of contaminated microplastics. Dalam *Microplastic pollutants* (hlm. 159–178). Elsevier.
- Di Giacinto, F., Di Renzo, L., Mascilongo, G., Notarstefano, V., Gioacchini, G., Giorgini, E., & Berti, M. (2023). Detection of microplastics, polymers and additives in edible muscle of swordfish (*Xiphias gladius*) and bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught in the Mediterranean Sea. *Journal of Sea Research*, 192, 102359. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.102359>
- Dwiyitno, D. (2021). *Cemaran Sampah Laut di Teluk Jakarta: Dampak dan Strategi pengendaliannya* (hlm. 7–24). IPB Press, Bogor

- Export Center Indonesia. (2024). *Potensi ekspor komoditas perikanan Indonesia*. <https://exportcenter.id/artikel/fish>
- Foekema, E. M., De Gruijter, C., Mergia, M. T., Van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013). Plastic in North Sea fish. *Environmental Science & Technology*, 47(15), 8818–8824. <https://doi.org/10.1021/es400931b>
- Gamarro, E., Ryder, J., Elvevoll, E., & Olsen, R. (2020). Microplastics in fish and shellfish – A threat to seafood safety?. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29, 1–9. <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1739793>
- Giurginca, M., Popa, L., & Zaharescu, T. (2003). Thermo-oxidative degradation and radio-processing of ethylene vinyl acetate elastomers. *Polymer Degradation and Stability*, 82(3), 463–466. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00200-3](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00200-3)
- Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., & Kideys, A. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental Pollution*, 223, 286–294. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.025>
- Hastuti, A. R., Utami, M. Y., & Dewi, S. (2019). The presence of microplastics in the digestive tract of commercial fishes off Pantai Indah Kapuk coast, Jakarta, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(5), 1233–1242. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200513>
- Hossain, M. B., Pingki, F. H., Azad, M. A. S., Nur, A. A. U., Banik, P., Paray, B. A., Arai, T., & Yu, J. (2023). Microplastics in different tissues of a commonly consumed fish, *Scomberomorus guttatus*, from a large subtropical estuary: Accumulation, characterization, and contamination assessment. *Biology*, 12(11), 1422. <https://doi.org/10.3390/biology12111422>
- Hu, K., Brambilla, L., & Castiglioni, C. (2025). IR spectroscopy as a diagnostic tool in the recycling process and evaluation of recycled polymeric materials. *Sensors*, 25, 6205. <https://doi.org/10.3390/s25196205>
- Jamal, N., Islam, M. R., Sultana, S., Banik, P., Nur, A. A., Albeshr, M., Arai, T., & Hossain, M. B. (2024). Microplastic contamination in some popular seafood fish species from the Northern Bay of Bengal and possible consumer risk assessment. *Food Control*, 171, 111114. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.111114>
- Jiang, C., Yin, L., Wen, X., Du, C., Wu, L., Long, Y., Liu, Y., Ma, Y., Yin, Q., Zhou, Z., & Pan, H. (2018). Microplastics in sediment and surface water of West Dongting Lake and South Dongting Lake: Abundance, source and composition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2164. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102164>
- Johnson, M. G., & Tamatamah, A. R. (2013). Length frequency distribution, mortality rate and reproductive biology of kawakawa (*Euthynnus affinis* (Cantor, 1849)) in the coastal waters of Tanzania. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16, 1270–1278.
- Jung, M., Horgen, D., Orski, S., Viviana, C., Beers, K., Balazs, G., Jones, T., Work, T., Brignac, K., Royer, S. J., Hyrenbach, D., Jensen, B., & Lynch, J. (2017). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 704–716. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>
- Koongolla, J. B., Lin, L., Pan, Y. F., Yang, C. P., Liu, S., Xu, X. R., Maharana, D., & Lam, P. K. S. (2020). Occurrence of microplastics in gastrointestinal tracts and gills of fish from Beibu Gulf, South China Sea. *Environmental Pollution*, 258, 113734. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113734>
- Kusumawati, I., Nasution, M. A., & Alamsyah. (2019). Distribusi dan komposisi sampah laut pesisir di Kecamatan Kuala Pesisir Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 1(1), 1-15. 10.35308/jlaot.v1i1.1073
- Laila, N., Dewi, R., & Hartati, S. (2020). Kelimpahan mikroplastik pada sedimen di Desa Mangunharjo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 4(1), 28–35.
- Manalu, R. (2017). *Kelimpahan Mikroplastik di Teluk Jakarta* [Tesis, Institut Pertanian Bogor].
- Marmara, D., Katsanevakis, S., Brundo, M. V., Tiralongo, F., Ignoto, S., & Krasakopoulou, E. (2023). Microplastics ingestion by marine fauna with a particular focus on commercial species: A systematic review. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1240969. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1240969>
- Melantina, D., Swastawati, F., & Syakur, A. (2022). Aplikasi teknologi ionisasi tegangan tinggi untuk pengawet ikan tongkol (*Euthynnus affinis*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 4(1), 9–14.
- Pasieczna-Patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy in characterization of green synthesized nanoparticles. *Molecules*, 30(3), 684. <https://doi.org/10.3390/molecules30030684>

- Pitt, J. A., Gallager, S. M., & Youngs, S. (2024). The abundance and localization of environmental microplastics in gastrointestinal tract and muscle of Atlantic killifish (*Fundulus heteroclitus*): A pilot study. *Microplastics & Nanoplastics*, 4, 23. <https://doi.org/10.1186/s43591-024-00101-w>
- Sami Abdalla, M. (2025). Microplastics in fish: A comprehensive review. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 29, 2987–3007. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2025.449308>
- Samat, N., Sulaiman, M., Ahmad, Z., & Anuar, H. (2021). A comparative study on the desiccant effect of polypropylene and polylactic acid composites reinforced with different lignocellulosic fibres. *Journal of Applied Science and Engineering*, 24(2), 223–231. [https://doi.org/10.6180/jase.202104_24\(2\).0011](https://doi.org/10.6180/jase.202104_24(2).0011)
- Sarasita, D., Yunanto, A., & Yona, D. (2020). Microplastics abundance in four different species of commercial fishes in Bali Strait. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 20(1), 1–12. <https://doi.org/10.32491/jii.v20i1.508>
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Data Capaian Pengelolaan Sampah*. Diakses dari <https://sipsn.menlhk.go.id/>
- Spanou, A., Lagkouvardou, C., Vogianou, P., Korka, V., Maurizzi, E., Athanasoulia, I., Ladakis, D., Pulvirenti, A., Panagou, E., Briassoulis, D., Koutinas, A., & Tsironi, T. (2026). Argon cold plasma modification of polyethylene films to tailor surface and barrier properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 143. <https://doi.org/10.1002/app.70533>
- Supit, A., Tompodung, L., & Kumaat, S. (2022). Mikroplastik sebagai kontaminan anyar dan efek toksiknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan*, 13(1), 199–208. <https://doi.org/10.26630/jk.v13i1.2511>
- Villegas-Camacho, O., Francisco-Valencia, I., Alejo-Eleuterio, R., Granda-Gutiérrez, E. E., Martínez-Gallegos, S., & Villanueva-Vásquez, D. (2025). FTIR-Based Microplastic Classification: A Comprehensive Study on Normalization and ML Techniques. *Recycling*, 10(2), 46. <https://doi.org/10.3390/recycling10020046>
- Wright, S., Thompson, R., & Galloway, T. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Yudhantari, C., Hendrawan, I., & Puspitha, N. (2019). Kandungan mikroplastik pada saluran pencernaan ikan lemuru protolan (*Sardinella lemuru*) hasil tangkapan di Selat Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 2(2), 48–52. <https://doi.org/10.24843/JMRT.2019.v02.i02.p10>