

INTISARI

IDENTIFIKASI MIKROPLASTIK PADA CUMI–CUMI (*Loligo sp.*) YANG DIPASARKAN DI KOTA KUPANG

Anastasya Maria Novi Soliwoa Pay

Pencemaran mikroplastik di lingkungan laut menjadi ancaman bagi biota laut dan kesehatan manusia. Cumi–cumi (*Loligo sp.*) sebagai salah satu komoditas perikanan berpotensi terkontaminasi mikroplastik melalui lingkungan perairan dan rantai makanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan, karakteristik bentuk dan warna, serta kelimpahan mikroplastik pada daging dan saluran pencernaan cumi–cumi (*Loligo sp.*) yang dipasarkan di Kota Kupang, guna menyediakan informasi dan referensi ilmiah mengenai keamanan pangan hasil perikanan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2026. Sampel diambil dari tiga pasar di Kota Kupang, yaitu Pasar Oesapa, Pasar Oeba, dan Pasar Inpres. Sampel dikumpulkan dari 30 ekor cumi–cumi dengan jumlah 60 sampel, yang terdiri atas 30 sampel daging dan 30 sampel saluran pencernaan. Setiap sampel diekstraksi menggunakan larutan KOH 10% selama 48 jam pada suhu 40°C. Setelah proses digesti, sampel disaring menggunakan saringan biasa, dilanjutkan sentrifugasi, kemudian disaring kembali menggunakan sieve mesh 250µm. Identifikasi karakteristik visual dilakukan menggunakan mikroskop cahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh sampel cumi–cumi (100%) positif mengandung mikroplastik. Bentuk mikroplastik yang ditemukan pada daging dan saluran pencernaan meliputi *fiber*, *fragment*, *film*, dan *pellet*, dengan *fiber* sebagai bentuk yang paling dominan, sedangkan warna yang paling banyak ditemukan adalah transparan. Total mikroplastik yang teridentifikasi sebanyak 272 partikel, terdiri atas 126 partikel pada daging dan 146 partikel pada saluran pencernaan. Kelimpahan mikroplastik pada daging sebesar 4,2 MP/organ, sedangkan pada saluran pencernaan sebesar 4,9 MP/organ. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan antara berat cumi–cumi dan kelimpahan mikroplastik ($p > 0,05$).

Kata kunci: Mikroplastik, *Loligo sp.*, cumi–cumi, kelimpahan, Kota Kupang.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF MICROPLASTIC IN SQUID (*Loligo sp.*) MARKETED IN KUPANG CITY

Anastasya Maria Novi Soliwoa Pay

Microplastic pollution in marine environments has become a threat to marine organisms and human health. Squid (*Loligo sp.*), as one of the important fishery commodities, is susceptible to microplastic contamination through the aquatic environment and the food chain. This study aimed to determine the presence, characteristics based on shape and color, and abundance of microplastics in the muscle and digestive tract of squid (*Loligo sp.*) marketed in Kupang City, in order to provide scientific information and references regarding the food safety of fishery products. This study was conducted in February 2026. Samples were collected from three traditional markets in Kupang City, namely Oesapa Market, Oeba Market, and Inpres Market. A total of 30 squid specimens were collected, comprising 60 samples consisting of 30 muscle samples and 30 digestive tract samples. Each sample was digested using 10% KOH solution for 48 hours at 40°C. After the digestion process, the samples were filtered using a regular sieve, followed by centrifugation, and then filtered again using a 250µm stainless steel sieve mesh. Visual characterization was carried out using a light microscope. The results showed that all squid samples (100%) were positive for microplastics. The microplastics identified in both the muscle and digestive tract consisted of *fibers*, *fragments*, *films*, and *pellets*, with *fibers* being the predominant type, while transparent particles were the most dominant color. A total of 272 microplastic particles were identified, comprising 126 particles in the muscle and 146 particles in the digestive tract. The abundance of microplastics was 4.2 MP/organ in the muscle and 4.9 MP/organ in the digestive tract. The study also showed that there was no significant relationship between squid weight and microplastic abundance ($p > 0.05$).

Key words: *microplastics, Loligo sp., squid, food safety, Kupang City.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Kupang merupakan ibu kota Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), yang merupakan salah satu daerah pesisir strategis di Indonesia yang memegang peranan penting dalam sektor kelautan dan perikanan. Perairan di sekitar kota Kupang, termasuk Laut Timor, memiliki tingkat produktivitas biota laut yang tinggi. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) NTT tahun 2022, kota Kupang menghasilkan produk perikanan laut sebesar 3942 ton. Salah satu biota laut yang menjadi produk hasil laut dengan nilai ekonomis adalah cumi-cumi. Hasil tangkapan cumi-cumi umumnya banyak dimanfaatkan untuk konsumsi pangan dalam negeri maupun diekspor ke luar negeri (Burhanuddin & Nessa, 2018). Namun, seiring meningkatnya aktivitas industri kelautan dan perikanan, penggunaan plastik juga ikut meningkat terutama untuk penggunaan plastik sekali pakai.

Menurut penelitian Jambeck *et al.*, (2015), lautan dunia menerima sekitar 8 juta ton sampah plastik setiap tahunnya, di mana hal ini menyebabkan gangguan ekosistem, merusak biota laut, dan bahkan mengancam kesehatan manusia. Kondisi serupa juga terjadi di NTT, di mana berdasarkan laporan dari BPS, provinsi NTT menyumbang sampah sebesar 80 ribu hingga 160 ribu ton dalam 3 tahun terakhir, dengan 43,57 % sampahnya berasal dari limbah rumah tangga (BPS, 2023). Komposisi sampah terbesar di NTT adalah sampah plastik dan sampah sisa makanan yang masing-masing mencapai 24,07 %. Hal tersebut

serupa dengan kondisi yang terjadi di kota kupang yang berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kupang, jumlah sampah di tahun 2022 sebanyak 83 ribu ton dan hanya 58 ribu ton sampah yang dibuang ke pembuangan akhir, sehingga sisa dari yang tidak terbangun menjadi timbunan sampah (Rosary, 2023). Timbunan sampah yang tidak tertangani dengan baik dapat berpotensi terdegradasi menjadi struktur yang lebih kecil seperti mikroplastik (MP) yang dapat mencemari perairan setempat.

Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran sangat kecil, berkisar antara 1 mikrometer (μm) hingga 5 milimeter (mm) (Lai *et al.*, 2021). Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Kasmuri *et al.*, 2022), MP dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu primer dan sekunder. Mikroplastik primer sengaja diproduksi dalam ukuran mikro untuk keperluan tertentu, seperti butiran mikro yang ditemukan dalam produk perawatan kulit dan kosmetik. Sementara itu, MP sekunder terbentuk akibat proses degradasi plastik berukuran besar (makroplastik) yang mengalami kerusakan karena paparan faktor lingkungan ekstrem, seperti suhu tinggi, radiasi sinar matahari, atau gesekan angin berkecepatan tinggi (Pourebrahimi & Pirooz, 2023). Pencemaran MP pada ekosistem laut umumnya menjadi ancaman yang serius, terutama bagi hewan laut itu sendiri. Menurut (Yona *et al.*, 2020) MP terakumulasi pada biota laut seperti cumi–cumi dengan dua mekanisme, yang pertama adalah dengan menelan MP secara langsung dan kedua melalui rantai makanan. Pola makan cumi–cumi diduga menjadi salah satu jalur masuknya kontaminan ke dalam saluran pencernaan, termasuk MP (Makrима *et al.*, 2022).

Cumi–cumi adalah salah satu sumber daya hayati laut yang bernilai ekonomis penting, komoditi ekspor, serta memiliki daging yang gurih dan lezat. Hampir 80% bagian tubuh cumi–cumi merupakan bagian yang dapat dimakan (Aras & Hasmawati, 2016). Sebagai predator yang aktif, cumi–cumi beresiko tinggi terpapar MP baik melalui mangsa yang sudah terkontaminasi maupun melalui penyerapan langsung dari lingkungan perairan. Penumpukan MP dalam tubuh cumi–cumi tidak hanya mengancam kelangsungan hidup spesies tersebut, tetapi juga berpotensi membahayakan kesehatan manusia sebagai konsumen puncak. Berbagai penelitian, termasuk studi Rochman *et al.*, (2013), mengungkapkan bahwa MP dapat memicu gangguan sistem pencernaan, stres oksidatif, serta menjadi media pembawa zat beracun seperti logam berat dan senyawa organik persisten.

Beberapa jenis cumi–cumi pelagis, termasuk *Loligo* dan *Dosidicus gigas*, telah ditemukan mengandung MP di berbagai organ tubuhnya, seperti saluran pencernaan, insang, dan kantung tinta. Menurut penelitian (Wang *et al.*, 2022), diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa lebih dari 90% partikel MP yang ditemukan pada beberapa jenis cumi–cumi pelagis, seperti *Loligo* dan *Dosidicus gigas*, merupakan partikel berbentuk *fiber* dan terdeteksi pada berbagai organ seperti saluran pencernaan, insang, dan kantung tinta.

Temuan MP dalam tubuh cumi–cumi tidak hanya mencerminkan adanya kontaminasi langsung, tetapi juga berpotensi menjadi media pembawa senyawa berbahaya seperti *Phthalic Acid Esters* (PAE) yang dapat teradsorpsi pada

permukaan partikel plastik. Hal ini didukung oleh penelitian (Guzzetti *et al.*, 2018), yang menunjukkan adanya hubungan signifikan antara konsentrasi MP dan akumulasi PAE pada organisme laut. Lebih lanjut, penelitian ini mengindikasikan bahwa MP berbentuk serat berwarna gelap (biru atau hitam) cenderung terdistribusi ke berbagai organ internal, serta mampu memicu respons inflamasi dan stres oksidatif yang secara signifikan mengancam kelangsungan hidup biota laut (Guzzetti *et al.*, 2018).

Segala temuan ini mengindikasikan pentingnya untuk mengetahui tentang keberadaan MP pada hasil laut, yang salah satunya adalah cumi–cumi. Hal inilah yang menjadi dasar pemikiran peneliti untuk melakukan penelitian dengan judul **"Identifikasi Mikroplastik Pada Cumi–Cumi (*Loligo sp.*) Yang Dipasarkan Di Kota Kupang"**. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi mengenai tingkat pencemaran MP serta akibatnya terhadap biota perairan di wilayah Kota Kupang, sehingga meminimalisir dampak negatif yang dapat timbul bagi masyarakat Kota Kupang.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah terdapat MP yang terkandung dalam tubuh cumi–cumi (*Loligo sp.*) yang dipasarkan di Kota Kupang?
2. Bagaimana karakteristik MP yang terkandung dalam tubuh cumi–cumi (*Loligo sp.*) yang dipasarkan di Kota Kupang?
3. Berapa nilai kelimpahan MP yang terkandung dalam tubuh cumi–cumi (*Loligo sp.*) yang dipasarkan di Kota Kupang?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui keberadaan MP pada tubuh cumi–cumi (*Loligo sp.*) yang dipasarkan di Kota Kupang
2. Untuk mengetahui karakteristik MP yang ada dalam tubuh cumi–cumi (*Loligo sp.*) yang dipasarkan di Kota Kupang.
3. Mengetahui nilai kelimpahan MP dalam tubuh cumi–cumi (*Loligo sp.*) yang dipasarkan di Kota Kupang.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi Akademis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di Program Studi Kedokteran Hewan Universitas Nusa Cendana dan menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan melakukan penelitian dalam bidang yang terkait.

2. Bagi Pemerintah

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan pemerintah agar lebih tegas dalam membuat peraturan larangan untuk membuang sampah di laut.

3. Bagi Masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tambahan bagi masyarakat terkait kandungan MP yang ada pada cumi–cumi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik merupakan istilah umum untuk menyebut polimer, yaitu material yang tersusun dari rantai panjang karbon yang berikatan dengan elemen lain, seperti oksigen, nitrogen, klorin atau belerang yang mudah dibuat menjadi berbagai bentuk dan ukuran (Suryono, 2019). Plastik terbentuk dari ikatan polimer organik maupun anorganik, dengan unsur penyusun utama seperti karbon, silikon, hidrogen, oksigen dan klorida (Shah *et al.*, 2008). Berdasarkan jenis produknya, terdapat 6 jenis plastik yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS). (Hartulistiyoso *et al.*, 2014). Umumnya sampah plastik memiliki komposisi 46% *Polyethylene* (HDPE dan LDPE), 16% *Polypropylene* (PP), 16% *Polystyrene* (PS), 7% *Polyvinyl Chloride* (PVC), 5% *Polyethylene Terephthalate* (PET), 5% *Acrylonitrile–Butadiene–Styrene* (ABS) dan polimer–polimer lainnya (Tabel 1). Lebih dari 70% plastik yang dihasilkan saat ini adalah *Polyethylene* (PE), *Polpropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Polyvinyl Chloride* (PVC) sehingga sebagian besar studi yang dilakukan berhubungan dengan keempat jenis polimer tersebut. Data tersebut mengindikasikan bahwa lebih dari 70% produksi plastik saat ini didominasi oleh 4 jenis polimer yaitu, *Polyethylene* (PE), *Polpropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Polyvinyl Chloride* (PVC). Tingginya proporsi keempat jenis polimer tersebut terhadap total volume sampah plastik yang dihasilkan secara global

menjadikannya fokus utama dalam berbagai penelitian terdahulu, khususnya dalam kajian mengenai karakteristik, degradasi, maupun potensi daur ulangnya (Praputri *et al.*, 2016 dalam Wahyudi *et al.*, 2018).

Tabel 1. Tipe plastik

Kode	Tipe Plastik	Beberapa penggunaan plastik
 PETE	PET atau PETE	Botol minuman ringan dan air mineral, bahan pengisi kantong tidur dan serat tekstil
 HDPE	HDPE	Kantong belanja, kantong freezer, botol susu dan krim, botol sampo dan pembersih
 V	PVC atau V	Botol juice, kotak pupuk, pipa saluran
 LDPE	LDPE	Kotak ice cream, kantong sampah, lembar plastik hitam
 PP	PP	Kotak ice cream, kantong kentang goreng, sedotan, kotak makanan
 PS	PS	Kotak yoghurt, plastik meja, cangkir minuman panas, wadah makanan siap saji, baki kemasan
 OTHER	OTHER	Botol minum olahraga, acrylic dan nylon

Plastik sendiri merupakan salah satu jenis sampah yang dapat menyebabkan pencemaran dan menjadi salah satu masalah lingkungan global yang mengancam ekosistem perairan di seluruh dunia (Hardesty *et al.*, 2017). Setiap tahunnya, diperkirakan sebanyak 4,8 hingga 12,7 juta metrik ton (MMT) sampah plastik mencemari lautan (Jambeck *et al.*, 2015). Karena sifat plastik memiliki ketahanan dan persisten, produksi sampah terus meningkat serta tingkat pemulihan yang

rendah menyebabkan akumulasi (Sandra & Radityaningrum, 2021) serpihan plastik di sepanjang garis pantai, permukaan perairan, berbagai kedalaman perairan, dan sedimen (Barnes *et al.*, 2009). Distribusi sampah plastik di laut banyak dijumpai dengan perbedaan kelimpahan pada permukaan, tengah dan dasar laut (Firdaus *et al.*, 2019) dengan total sampah secara keseluruhan pantai (32–90%), air muka laut (86%), dan dasar laut (47–85%) (Suryono, 2019). Kelimpahannya juga dipengaruhi oleh kepadatan jenis plastik, yang menentukan sebaran vertikalnya (Cauwenberghe *et al.*, 2013). Sumber utama polusi ini berasal dari aktivitas rumah tangga dan industri (Jambeck *et al.*, 2015), hal diperparah lagi karena buruknya sistem pengelolaan sampah (Sandra & Radityaningrum, 2021).

2.1.1 Sampah plastik di laut

Laut merupakan salah satu ekosistem terpenting di bumi yang menopang kehidupan secara global. Sebagai hamparan perairan yang luas, laut menjadi habitat penting bagi keanekaragaman hayati, mulai dari mikroorganisme seperti plankton hingga predator puncak. Dalam ekosistem ini, terjadi interaksi dinamis antara komponen biotik (organisme hidup) dan abiotik (fisik–kimiawi), termasuk salinitas, suhu, intensitas cahaya, serta arus laut. Lebih dari sekadar tempat hidup, laut berfungsi sebagai penyeimbang alam menyerap emisi karbon, menghasilkan 50% oksigen dunia melalui fitoplankton, dan berperan sebagai termostat global yang mengatur iklim.

Laut dapat berperan sebagai tempat penumpukan polutan yang berasal dari aktivitas antropogenik. Hal yang lebih memprihatinkan adalah banyak orang yang masih beranggapan bahwa membuang sampah ke laut merupakan tindakan yang aman. Namun kenyataannya, akumulasi pencemaran ini telah banyak menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem laut dan keanekaragaman hayatinya. Menurut Ningsih (2020) sampah laut terdiri dari material organik maupun anorganik yang padat dan tidak mudah terurai yang dibuang dan menumpuk serta menyebar di permukaan laut dan pantai. Sampah laut khususnya sampah jenis anorganik (*undergradable*) merupakan permasalahan yang sangat penting, dikarenakan dampak yang ditimbulkan oleh sampah jenis ini dapat mengancam kelangsungan dan keberlanjutan hidup biota yang terdapat di perairan.

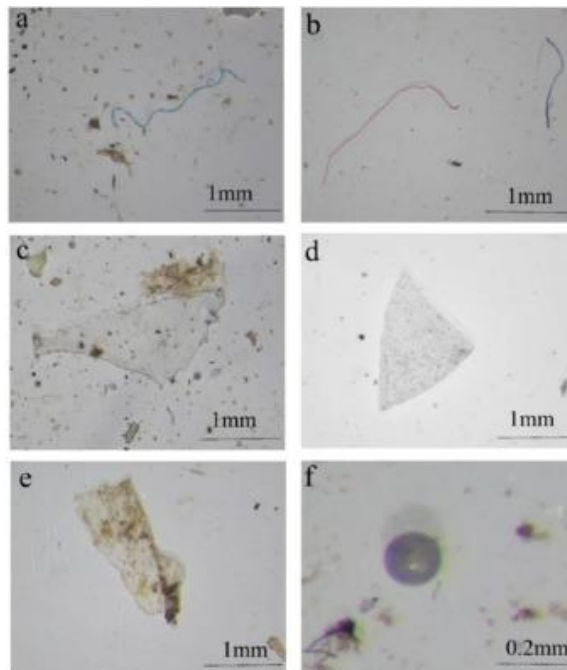
Sampah laut (*marine debris*) merupakan ancaman langsung terhadap habitat laut, kesehatan manusia, dan keselamatan navigasi, sehingga mengakibatkan kerugian aspek sosioekonomi yang serius. Penyebaran sampah laut sangat memprihatinkan yaitu 14 miliar ton sampah dibuang setiap tahun di lautan (Hetherington *et al.*, 2005). Selanjutnya, karena perkembangan pencemaran sampah yang begitu pesat, Indonesia merupakan negara kedua terbesar penyumbang sampah, 3,2 juta ton.

Menurut *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (2013), sampah laut atau *marine debris* merupakan benda padat yang memiliki sifat persisten, yang diproduksi atau diproses oleh manusia secara langsung atau tidak langsung, dengan sengaja atau tidak sengaja dibuang atau ditinggalkan di dalam lingkungan laut. Sampah laut terdiri berbagai jenis plastik, kain, busa, *styrofoam*, kaca, keramik, logam, kertas, karet, dan kayu. Beberapa ukuran yang digunakan untuk mengklasifikasikan *marine debris*, yaitu megadebris (>100mm), makrodebris (>20–100mm), mesodebris (>5–20mm), dan mikrodebris (0.3–5mm) (Suryono, 2025). Sampah laut juga dapat berasal dari aktivitas manusia di darat yang langsung maupun tidak langsung dibuang ke laut dan dapat menimbulkan kerusakan ekologi di laut seperti tingkat derajat keasaman meningkat, pemutihan karang dan kerusakan-kerusakan ekologi lainnya di laut (CBD, 2012).

2.1.2 Mikroplastik

Mikroplastik merupakan polimer plastik yang ukurannya kurang dari 5mm. Berdasarkan klasifikasinya, MP terbagi dalam 2 macam ukuran yakni *Large Microplastik* (LMP) yang berukuran 1—5mm dan *Small Microplastik* (SMP) yang berukuran kurang dari 1mm (Lestari *et al.*, 2020 dalam Pradiptaadi & Fallahian, 2022). Sedangkan berdasarkan bentuknya, MP terbagi menjadi 4 jenis, yakni *Fiber*, *Film*, *Fragment*, dan *Pellet*, (Jiang *et al.*, 2018)

sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1. Mikroplastik terbentuk akibat perombakan plastik secara struktur secara fisik atau kimia oleh radiasi matahari, proses dari oksidasi termal, atau dari mikroorganisme (Fachrul & Rinanti, 2018). Penyebaran MP ke berbagai bagian lingkungan menimbulkan potensi ancaman serius terhadap keseimbangan ekosistem. Hal ini disebabkan oleh sifat plastik yang sulit terurai (persisten) dan kemampuannya untuk mengikat berbagai zat pencemar berbahaya. Selain itu, MP mengandung senyawa kimia yang beracun dan bersifat karsinogenik, yang jika terlepas ke dalam lingkungan perairan dapat merusak kualitas habitat dan membahayakan organisme akuatik yang hidup di sekitarnya (Wicaksono *et al.*, 2021).



Gambar 1. Tipe mikroplastik (a,b) *Fiber*, (c,d) *Fragment*, (e) *Film*, (f) *Pellet* (Sumber : Jiang *et al.*, 2018).

1. Fiber

Fiber merupakan salah satu jenis MP yang memiliki bentuk menyerupai serat atau benang halus dengan ukuran yang relatif panjang. Mikroplastik ini umumnya terbentuk dari proses peluruhan atau fragmentasi material sintetis yang digunakan dalam berbagai produk, seperti jaring monofilamen untuk menangkap ikan, tali-temali, tekstil pakaian, karpet, selimut, serta berbagai perlengkapan rumah tangga berbahan plastik (Faustina *et al.*, 2024). Selain itu, aktivitas nelayan yang menggunakan peralatan berbahan sintetis juga turut berkontribusi terhadap pelepasan fiber ke lingkungan perairan (Wahdani *et al.*, 2020).

2. Film

Mikroplastik tipe film memiliki karakteristik fisik berupa lembaran tipis dan fleksibel yang umumnya berasal dari proses degradasi plastik sekali pakai. Keberadaan MP film berkaitan dengan akumulasi sampah kantong plastik dan kemasan makanan yang mengendap di sedimen (Dewi *et al.*, 2015 dalam Cesilia *et al.*, 2025). Jenis MP film termasuk ke dalam kelompok MP sekunder yang terbentuk melalui proses fragmentasi kantong plastik atau plastik kemasan, serta memiliki kepadatan rendah sehingga mudah terbawa dan terdistribusi oleh pergerakan air di lingkungan perairan (Kingfisher, 2011 dalam Cesilia *et al.*, 2025).

3. Fragment

Fragment merupakan jenis MP yang terbentuk dari pecahan plastik berstruktur keras, terutama yang memiliki kandungan polimer sintesis dengan daya tahan yang tinggi terhadap proses degradasi alami. Karakteristik fisik bentuk fragment umumnya memiliki bentuk tidak beraturan dengan permukaan yang tajam. Jenis MP ini umumnya berasal dari aktivitas manusia, seperti penggunaan dan pembuangan produk plastik, serta kontribusi aliran sungai yang membawa limbah plastik ke lingkungan perairan (Dewi *et al.*, 2015 dalam Cahayani *et al.*, 2024). Di samping itu, fragment juga dapat terbentuk akibat proses fragmentasi produk plastik yang berukuran besar, misalnya botol minuman dan kantong belanja, yang mengalami degenerasi akibat paparan sinar ultraviolet serta pergerakan arus air dalam jangka waktu lama (McEachern *et al.*, 2019).

4. Pellet

Pellet merupakan jenis MP primer yang menjadi bahan baku pembuatan plastik yang diproduksi langsung oleh pabrik plastik (Almahdahulhizah, 2021). Selain itu, pellet tergolong sebagai MP primer yang secara langsung dihasilkan oleh industri sebagai bahan dasar utama dalam proses pembuatan berbagai produk berbahan plastik (Yunanto *et al.*, 2021). Jalur paling jelas yang memungkinkan pellet mencemari lingkungan perairan adalah

melalui pembuangan limbah cair dari fasilitas produksi plastik atau pabrik daur ulang plastik. Limbah tersebut kemudian mengalir ke sistem sungai dan berakhir di wilayah muara, menyebabkan kontaminasi MP di ekosistem akuatik (Claessens *et al.*, 2011).

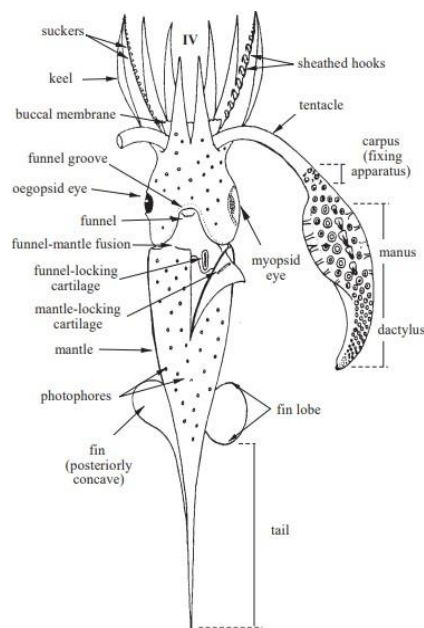
2.2 Cumi – Cumi (*Loligo sp.*)

Cumi–cumi (*Loligo sp.*) merupakan salah satu hewan *Cephalopoda* (Wulandari, 2018). Genus *Loligo* sendiri memiliki keragaman yang cukup tinggi, dengan terdapat sekitar 47 spesies yang telah teridentifikasi (Granados-Amores *et al.*, 2014). Cumi–cumi merupakan hewan invertebrata yang hidupnya dalam perairan menyebar dapat hidup di daerah terumbu karang, perairan hangat, dan dapat hidup di perairan dangkal (Jamal *et al.*, 2017). Cumi–cumi memakan biota laut lainnya yang lebih kecil daripada ukurannya. Perlindungan diri cumi–cumi menggunakan tinta (Granados-Amores *et al.*, 2014). Di Indonesia hingga Atlantik Tengah cumi–cumi termasuk salah satu jenis sumber daya ikan ekonomis penting (Sudjoko, 1988). Cumi–cumi umumnya dimanfaatkan sebagai bahan makanan (Sudjoko, 1988; Boyle & Rodhouse, 2005). Selain karena kandungan gizinya yakni selenium, riboflavin, dan vitamin B12 (Sudjoko, 1988), melanoprotein tinta pada cumi–cumi mengandung asam amino esensial dominan, yakni lisin, leusin, arginin dan fenilalanin yang baik bagi tubuh (Kurniawan *et al.*, 2012 dalam Susiana & Rochmady, 2018).

2.2.1 Klasifikasi dan morfologi

Menurut Suriawiria dalam Lindawati (2017), klasifikasi cumi–cumi adalah sebagai berikut :

Kingdom : Animalia
Filum : Mollusca
Class : *Cephalopoda*
Ordo : Teuthoidae
Famili : Loligonidae
Genus : *Loligo*
Spesies : *Loligo sp.*



Gambar 2. Anatomi cumi–cumi (Roper *et al.*, 1984)

Cumi–cumi memiliki struktur kepala yang unik, dilengkapi mulut dengan 10 lengan penangkap berbentuk silindris. Setiap

lengan tersebut dilengkapi penghisap berbentuk lingkaran yang tersusun rapi. Seluruh organ tubuhnya terlindungi oleh lapisan mantel yang membungkus tubuh, dengan ukuran lebar mantel bervariasi antara 2 hingga 90cm (Roper *et al.*, 1984). Salah satu adaptasi pertahanan yang paling khas pada cumi–cumi adalah kemampuan menghasilkan tinta. Organ penghasil tinta terletak di bagian dorsal usus besar, dengan saluran pembuangan yang bermuara di daerah anal. Ketika menghadapi ancaman predator, kantung tinta ini akan berkontraksi secara refleks melalui saluran khusus, menyemburkan tinta pekat ke lingkungan sekitarnya (Roper *et al.*, 1984). Mekanisme ini menciptakan efek visual seperti awan hitam di perairan, berfungsi sebagai kamuflase sekaligus pengalih perhatian yang memungkinkan cumi–cumi meloloskan diri dari pemangsa (Roper *et al.*, 1984).

2.2.2 Habitat dan kebiasaan makan

Cumi–cumi dapat hidup baik dalam kelompok maupun secara soliter (Goldman *et al.*, 1975 dalam Susiana & Rochmady, 2018). Pola migrasi dari cumi–cumi ditandai dengan pergerakan diurnal, di mana mereka berkumpul di dekat dasar perairan pada siang hari dan akan menyebar pada malam hari (Araujo & Gasalla, 2018). Mereka juga menunjukkan sifat fototaksis positif, yaitu tertarik pada cahaya (Mulyawan *et al.*, 2015), sehingga penggunaan alat bantu cahaya efektif dalam penangkapan mereka (Jackson *et al.*,

1997). Perilaku fototaksis dan pergerakan harian ini menjadi indikator migrasi mereka. Namun, tidak semua spesies cumi–cumi melakukan migrasi musiman (Arkhipkin *et al.*, 2015).

Migrasi cumi–cumi terutama dipicu oleh perubahan suhu (Prasetyo *et al.*, 2014), khususnya di wilayah sub–tropis (Susiloningtyas *et al.*, 2014). Saat musim dingin, mereka cenderung berada di perairan lepas pantai yang lebih dalam (Wahyudin, 2011; Roper *et al.*, 2015). Secara umum, cumi–cumi bermigrasi menuju pantai berdasarkan kelompok ukuran (Chiang *et al.*, 2020). Individu berukuran besar biasanya bermigrasi lebih awal, yaitu pada awal musim semi, sementara yang berukuran lebih kecil menyusul pada musim panas (Triharyuni & Puspasari, 2016). Ketika musim gugur tiba, cumi–cumi akan kembali ke perairan yang lebih dalam (Susiloningtyas *et al.*, 2014).

Berdasarkan pola makan, cumi–cumi termasuk dalam kelompok karnivora yang memangsa organisme yang berukuran lebih kecil. cumi–cumi menggunakan tentakelnya untuk menangkap dan menghisap mangsa sebelum dibawa ke mulut. Di dalam rongga cumi–cumi, terdapat struktur gigi yang berfungsi untuk merobek–robek mangsa. Jenis mangsa utama cumi–cumi meliputi copepoda, amphipoda, berbagai spesies udang, kepiting merah (*Pleuroncodes planipes*), moluska heteropoda, serta beberapa jenis ikan (Nigmatullin *et al.*, 2001).

2.3 Keberadaan Mikroplastik

Menurut Makrma *et al.*, (2022), hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis kandungan MP pada cumi–cumi dari TPI Tambak Lorok Semarang menunjukkan perbedaan signifikan antara organ pencernaan dan tentakel. Jumlah partikel MP yang terdeteksi pada saluran pencernaan mencapai 343 partikel, sementara pada tentakel hanya ditemukan 212 partikel. Hasil ini mengindikasikan bahwa akumulasi MP lebih tinggi pada sistem pencernaan cumi–cumi (343 partikel) dibandingkan pada tentakelnya (212 partikel). Bentuk MP yang ditemukan pada cumi–cumi berbentuk *fiber*, *pelet*, *film*, dan *fragment*. Dari hasil analisis histogram menunjukkan keberagaman warna MP yang terkandung dalam sampel cumi–cumi dari TPI Tambak Lorok Semarang. Partikel MP yang teridentifikasi terdiri atas tujuh variasi warna: hitam, merah, biru, kuning, coklat, oranye, dan putih. Dari seluruh spektrum warna tersebut, hitam merupakan warna yang paling dominan dengan jumlah partikel mencapai 432. Secara berurutan, distribusi warna berdasarkan frekuensinya adalah hitam > biru > merah > coklat > putih > kuning dan oranye. Warna kuning dan oranye mencatat jumlah partikel terendah, masing–masing hanya 1 partikel.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Suprijanto *et al.*, 2021), hasil uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) pada sampel cumi–cumi ditemukan polimer MP berjenis *nylon* dan *nitrile*. Berdasarkan hasil uji FTIR pada sampel cumi–cumi, ditemukan puncak serapan pada rentang 1620–1680 cm^{-1} . Rentang ini menunjukkan adanya ikatan rangkap dua karbon–karbon ($\text{C}=\text{C}$ *stretching*), yang mengindikasikan keberadaan senyawa plastik jenis *nitrile*.

Selain itu, terdeteksi pula puncak serapan pada angka $3448,91\text{ cm}^{-1}$, yang mengarah pada adanya gugus N-H *stretching*. Ciri ini menunjukkan bahwa senyawa tersebut merupakan bagian dari struktur polimer *nylon*.

Kemunculan polimer jenis *nitrile* dan *nylon* dalam tubuh cumi–cumi kemungkinan besar disebabkan oleh kontaminasi MP. Mikroplastik yang mengandung senyawa dengan ikatan C=C *stretching* yang merupakan ciri khas dari plastik jenis *nitrile* kemungkinan berasal dari peluruhan sarung tangan *nitrile*. Sarung tangan ini umumnya digunakan dalam aktivitas industri maupun medis, seperti di rumah sakit dan pabrik. Limbah dari aktivitas tersebut berpotensi dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai, lalu terbawa ke perairan laut, yang merupakan habitat alami cumi–cumi. Dengan demikian, pencemaran laut oleh limbah plastik dari kegiatan manusia menjadi salah satu sumber utama keberadaan MP dalam organisme laut seperti cumi–cumi.

2.4 Gambaran Perairan Kota Kupang

Kota Kupang merupakan ibu kota Provinsi NTT yang terletak di bagian barat Pulau Timor dan berbatasan langsung dengan perairan Laut Sawu. Kawasan pesisir Kupang memiliki garis pantai sepanjang kurang lebih 96km dan mencakup berbagai ekosistem pesisir seperti terumbu karang, padang lamun, dan *mangrove* yang menjadi habitat penting bagi berbagai spesies laut. Perairan Kota Kupang juga berperan sebagai jalur transportasi laut serta menjadi sumber utama mata pencaharian masyarakat melalui sektor perikanan dan pariwisata bahari. Namun, perkembangan urbanisasi yang pesat dan kurangnya pengelolaan limbah menyebabkan tekanan lingkungan yang signifikan terhadap ekosistem pesisir.

Berdasarkan penelitian (Fernandez *et al.*,2023), diketahui bahwa nilai parameter kualitas air di perairan pesisir Kota Kupang menunjukkan adanya pencemaran yang signifikan. Nilai *Total Suspended Solid* (TSS) tertinggi tercatat di Pantai Oesapa sebesar 48,0mg/L, melebihi ambang batas baku mutu. Kandungan fosfat tertinggi ditemukan di Pelabuhan Tenau dengan nilai mencapai 0,613mg/L, sedangkan konsentrasi nitrat tertinggi terdeteksi di Pantai Oeba sebesar 0,067mg/L. Adapun kadar klorin tertinggi berada di Pantai Paradiso dengan nilai 0,24mg/L, yang seluruhnya melebihi standar kualitas air laut yang ditetapkan. Indeks pencemaran tertinggi tercatat di Pelabuhan Tenau, baik pada saat pasang (6,68) maupun surut (6,61), yang dikategorikan sebagai perairan tercemar sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa aktivitas manusia di wilayah pesisir memberikan tekanan yang tinggi terhadap kualitas perairan. Dalam konteks ini, penelitian mengenai keberadaan MP pada cumi–cumi *Loligo sp.* di perairan Kota Kupang menjadi sangat penting untuk mengidentifikasi dampak pencemaran terhadap biota laut.

2.5 Bahaya Mikroplastik Bagi Manusia

Mikroplastik yang tersebar di lingkungan laut, termasuk di kawasan perairan Kota Kupang, menjadi perhatian serius karena partikel ini mampu masuk ke dalam rantai makanan dan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan bagi manusia. Ketika manusia mengonsumsi biota laut seperti cumi–cumi yang telah terkontaminasi, partikel MP tersebut dapat terakumulasi dalam saluran pencernaan, memicu iritasi, mengganggu keseimbangan mikrobiota usus, serta menyebabkan proses peradangan berkepanjangan yang pada akhirnya dapat melemahkan sistem

kekebalan tubuh (Smith *et al.*, 2018). Penelitian terbaru melaporkan keberadaan MP dalam komponen biologis manusia, termasuk darah, jaringan paru-paru, serta plasenta. Temuan ini menunjukkan bahwa partikel MP mampu menembus sistem sirkulasi dan berpindah antar jaringan, sehingga berpotensi menimbulkan disfungsi pada organ–organ penting seperti jantung, hati, dan ginjal melalui pemicu stres oksidatif dan proses akumulasi zat berbahaya (Leslie *et al.*, 2022).

Secara fisik, MP dan nanoplastik dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui tiga jalur utama, yaitu inhalasi, konsumsi makanan dan minuman yang terkontaminasi, serta kontak kulit (Yang *et al.*, 2022). Partikel yang terhirup dapat terakumulasi di paru-paru, terutama pada bagian bawah paru, sehingga berpotensi mengganggu fungsi respirasi (Jenner *et al.*, 2022). Melalui konsumsi, MP dapat tertelan bersama bahan pangan laut dan air, kemudian terakumulasi dalam saluran pencernaan dan menyebabkan gangguan mekanis seperti iritasi, obstruksi usus, pembentukan kista, hingga kerusakan jaringan. Beberapa penelitian pada hewan coba menunjukkan bahwa paparan jenis polimer tertentu seperti *polietilen tereftalat* (PET) dan *polietilen* densitas rendah (LDPE) dapat menyebabkan penurunan berat badan, penyumbatan usus, kerusakan organ, bahkan kematian dalam persentase tertentu (Bhuyan, 2022). Selain itu, MP yang berhasil memasuki aliran darah dapat menyebar ke berbagai organ tubuh dan menyebabkan gangguan struktural, termasuk hemolisis (kerusakan sel darah merah) akibat paparan polistiren dalam konsentrasi tinggi (Turroni *et al.*, 2021). Mikroplastik juga terdeteksi dalam plasenta manusia, yang mengindikasikan kemampuannya menembus penghalang biologis dan berpotensi mengganggu proses metabolisme serta reproduksi (Ragusa

et al., 2021). Dengan demikian, secara fisik MP bertindak sebagai partikel asing yang dapat menyebabkan kerusakan jaringan, penyumbatan, dan gangguan fungsi organ.

Mikroplastik juga menimbulkan bahaya kimia yang signifikan. Partikel plastik mengandung berbagai komponen kimia berbahaya serta berperan sebagai pembawa (*carrier*) bahan kimia beracun dari lingkungan. Ketika MP masuk ke dalam tubuh, zat aditif maupun polutan yang teradsorpsi dapat terlepas dan meningkatkan paparan toksik internal. Paparan ini berisiko menimbulkan stres oksidatif, sitotoksitas, genotoksitas, neurotoksisitas, hepatotoksitas, serta gangguan kardiovaskular (Yuan *et al.*, 2022). Pada penelitian hewan coba, peningkatan kadar MP dalam darah dikaitkan dengan meningkatnya ekspresi malondialdehida (MDA) dan metabolit 8-OHdG pada neuron hippocampus, yang menunjukkan terjadinya kerusakan membran sel dan DNA (Bhuyan, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa MP tidak hanya berdampak secara struktural, tetapi juga memicu proses biokimia yang merusak sel dan jaringan. Akumulasi jangka panjang berpotensi menyebabkan toksisitas kronis, terutama jika paparan terjadi secara terus-menerus dalam jumlah besar.

Mikroplastik merupakan partikel padat berukuran kecil yang dapat menjadi tempat melekatnya bakteri, virus, serta biomolekul seperti lipopolisakarida (LPS), alergen, dan antibiotik. Luas permukaannya yang relatif besar dibandingkan volumenya menyebabkan MP mudah mengadsorpsi berbagai agen biologis, sehingga terbentuk kompleks antara partikel dan mikroorganisme yang berpotensi memengaruhi sifat serta perilaku patogen (Puckowski *et al.*, 2021). Tingkat

kolonisasi dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimia partikel, seperti ukuran, bentuk, komposisi, dan muatan permukaan, serta kondisi lingkungan di sekitarnya. Mikroorganisme yang menempel dapat membentuk biofilm pada permukaan MP, suatu struktur pelindung yang meningkatkan ketahanan terhadap respons imun, termasuk mekanisme komplemen dan proses fagositosis, sehingga memungkinkan patogen bertahan lebih lama di dalam tubuh (Tu *et al.*, 2020).

Keberadaan kompleks MP–mikroorganisme dapat mengubah pola interaksi antara patogen dan sel inang. Virus yang teradsorpsi pada MP dilaporkan lebih mudah masuk ke dalam sel melalui jalur endosom–lisosom, sebagaimana ditunjukkan pada SARS-CoV-2, yang berimplikasi pada peningkatan potensi infeksi (Zhang *et al.*, 2022). Paparan MP juga dikaitkan dengan gangguan integritas barrier epitel pada saluran cerna, paru, dan kulit, kondisi yang dapat mempermudah perpindahan mikroorganisme ke jaringan yang lebih dalam serta memperkuat respons inflamasi (Lu *et al.*, 2022). LPS yang terikat pada permukaan MP berpotensi meningkatkan aktivasi reseptor imun dan produksi mediator proinflamasi, sedangkan agregasi partikel dapat merangsang pembentukan *neutrophil extracellular traps* (NETs) yang, apabila berlebihan, berkontribusi pada kerusakan jaringan (Branzk *et al.*, 2014).

Partikel berukuran mikro hingga nano memiliki kemampuan lebih besar untuk menembus lapisan jaringan dan terakumulasi pada organ seperti usus, ginjal, dan hati, sehingga meningkatkan risiko dampak sistemik (Deng *et al.*, 2017). MP yang membawa antibiotik juga dilaporkan dapat memengaruhi komposisi gen resistensi antibiotik dalam mikrobiota usus serta mengubah karakteristik

farmakokinetik obat, yang pada akhirnya berpotensi mempercepat penyebaran resistensi antimikroba (Liu *et al.*, 2022). Secara keseluruhan, bahaya biologis MP tidak hanya berkaitan dengan keberadaan partikelnya, tetapi juga dengan kemampuannya bertindak sebagai pembawa mikroorganisme dan molekul aktif yang dapat meningkatkan infektivitas, memperpanjang persistensi patogen, mengganggu fungsi perlindungan jaringan, serta memicu respons inflamasi yang bersifat merugikan bagi kesehatan manusia.

2.6 Metode Identifikasi Mikroplastik

Analisis MP merupakan tahapan krusial dalam penelitian pencemaran lingkungan karena bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik fisik, komposisi kimia, serta konsentrasi partikel MP. Berdasarkan jurnal yang menjadi referensi dalam penelitian ini, analisis MP secara umum mencakup tiga aspek utama, yaitu karakterisasi fisik, penggabungan komposisi kimia, dan analisis kuantitatif. Ketiga aspek tersebut saling melengkapi dalam memberikan informasi menyeluruh mengenai keberadaan dan sifat MP di lingkungan (Huang *et al.*, 2023). Berbagai metode telah dikembangkan mulai dari pengamatan visual hingga teknik instrumentasi canggih seperti FTIR (*Fourier Transformasi Infra-red*), spektroskopi Raman, SEM-EDX (*Scanning electron microscope-energy-dispersive X-ray*), dan Pyrolysis-GC/MS (*pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry*), untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pemeriksaan MP. Tahap awal identifikasi dilakukan melalui mikroskop visual menggunakan mikroskop stereo atau mikroskop cahaya. Metode ini digunakan untuk mengklasifikasikan partikel berdasarkan bentuk (*fiber, fragment, film, pellet*), warna, dan ukuran. Menurut

(Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012), identifikasi visual merupakan metode dasar yang banyak diterapkan dalam studi MP, terutama untuk klasifikasi awal. Hal ini diperkuat oleh penelitian (Cauwenberghe *et al.*, 2013) yang menggunakan metode visual dalam kuantifikasi MP pada sedimen laut sebagai tahap awal sebelum analisis lanjutan.

Metode visual memiliki keterbatasan dalam mengidentifikasi jenis polimer secara spesifik sehingga teknik analisis lanjutan perlu untuk dilakukan. Teknik spektroskopi seperti FTIR banyak digunakan untuk pemeriksaan lanjutan terutama dalam verifikasi kimia polimer. Penelitian oleh (Käppler *et al.*, 2015) menunjukkan bahwa FTIR efektif untuk identifikasi partikel MP berukuran lebih dari 20µm berdasarkan spektrum inframerahnya. Pada penelitian (Primpke *et al.*, 2018) juga mengembangkan pendekatan yang sama dengan metode imaging FTIR namun terdapat peningkatan pada akurasi dan identifikasi polimer. Untuk pemeriksaan partikel di bawah 20µm, spektroskopi raman dapat menjadi alternatif karena memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi (Araujo *et al.*, 2018). Pada pemeriksaan jenis polimer dan estimasi massa MP metode analisis termal seperti Pyrolysis-GC/MS dapat diterapkan terutama pada sampel yang kompleks (sampel sedimen dan jaringan biota) karena langsung mengidentifikasi pola degradasi dari material plastik yang biasa berbeda dari material non-plastik (Fischer & Scholz-Böttcher, 2017).

Keakuratan identifikasi MP sangat ditentukan oleh keberhasilan proses pemisahan partikel dari matriks biologis sebelum tahap analisis lanjutan dilakukan. Prosedur analisis pada biota laut secara umum meliputi digesti jaringan, pemisahan

densitas, filtrasi, dan sentrifugasi sebagai rangkaian isolasi partikel sebelum tahap identifikasi (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012; Karami *et al.*, 2017).

Digesti jaringan merupakan tahap awal yang berfungsi melarutkan bahan organik tanpa merusak struktur polimer plastik. Mikroplastik pada organisme laut umumnya terperangkap dalam saluran pencernaan, insang, maupun jaringan lunak sehingga diperlukan proses degradasi jaringan untuk membebaskan partikel. Larutan kimia yang umum digunakan meliputi kalium hidroksida (KOH), hidrogen peroksida (H_2O_2), natrium hidroksida (NaOH), serta larutan enzimatik. Penggunaan KOH dilaporkan efektif melarutkan jaringan biologis sekaligus mempertahankan integritas MP sehingga banyak diaplikasikan dalam penelitian biota laut (Dehaut *et al.*, 2016; Karami *et al.*, 2017). Tahap digesti bersifat esensial karena tanpa proses ini partikel MP sulit diisolasi dari jaringan organisme (Karami *et al.*, 2017).

Pemisahan densitas merupakan teknik yang paling luas digunakan dalam isolasi MP dari sampel lingkungan maupun biota laut dan diakui sebagai gold standard pada tahap pemisahan partikel. Prinsip metode ini didasarkan pada perbedaan berat jenis antara partikel plastik dan residu non-plastik. Partikel berdensitas rendah akan mengapung, sedangkan sedimen dan sisa jaringan akan mengendap sehingga memudahkan pemisahan (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012). Larutan yang umum digunakan meliputi NaCl jenuh, $ZnCl_2$, dan NaI. Larutan berdensitas tinggi seperti $ZnCl_2$ dan NaI mampu mengapungkan polimer berdensitas tinggi seperti *polyethylene terephthalate* (PET) dan *polyvinyl chloride* (PVC) sehingga meningkatkan efisiensi recovery partikel (Imhof *et al.*, 2012; Karami *et al.*, 2017).

Filtrasi merupakan tahapan lanjutan setelah digesti dan pemisahan densitas yang bertujuan menangkap partikel MP pada media penyaring. Media filtrasi yang digunakan antara lain kertas saring Whatman, membran filter berbahan nilon atau polikarbonat, serta saringan *stainless steel* dengan ukuran *mesh* tertentu sesuai ukuran partikel target. Proses filtrasi memungkinkan partikel terkonsentrasi pada permukaan filter sehingga mempermudah pengamatan menggunakan mikroskop (Lusher *et al.*, 2013; Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012).

Sentrifugasi merupakan teknik pemisahan berbasis gaya sentrifugal yang digunakan untuk mempercepat isolasi MP dari residu jaringan. Prinsip metode ini memanfaatkan perbedaan densitas dan ukuran partikel melalui putaran berkecepatan tinggi sehingga fraksi supernatan yang mengandung MP dapat dipisahkan dari endapan sisa jaringan. Penggunaan sentrifugasi meningkatkan efisiensi pemisahan serta mempercepat proses preparasi sebelum tahap filtrasi dan identifikasi morfologi Adawiyah *et al.*, (2024).

Metode berbasis instrumen khusus meningkatkan akurasi identifikasi jenis polimer, namun tidak selalu diperlukan pada penelitian yang hanya berfokus pada deteksi keberadaan MP karena biaya dan kebutuhan fasilitas yang tinggi. Pengamatan visual sudah memadai untuk mengidentifikasi partikel berukuran relatif besar yang terfragmentasi dengan baik. Efektivitasnya didukung oleh proses pemisahan menggunakan sentrifugasi, yang mempercepat isolasi partikel berdasarkan perbedaan densitas dan ukuran sehingga menghasilkan sampel lebih bersih. Kombinasi kedua metode ini dinilai efisien secara biaya dan waktu tanpa mengurangi ketepatan dalam mendeteksi keberadaan MP.