

# Konsentrasi Mikroplastik Pada Makroalga Di Zona Intertidal, Pulau Karimunjawa

Yulius Deni Kurnianto<sup>1</sup>, Suwarno Hadisusanto<sup>2\*</sup>, Andhika Puspito Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Biologi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Laboratorium Ekologi, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada

Jl. Teknika Selatan, Sinduadi, Mlati, Sleman Yogyakarta 55281 Indonesia

Email: suwarnohs@mail.ugm.ac.id

## Abstract

### **Microplastic concentration in macroalga on intertidal zone, Karimunjawa island**

Distribution of microplastics is still difficult to predict then driven these particles could be found in various marine organisms including macroalgae. This study aimed to understand of shape, colors, size and polymer of microplastics especially found in macroalgae. Hydrogen peroxide (30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) was used as oxidation solvent and Zinc Chloride (ZnCl<sub>2</sub>) was used as separation solution. Statistic analysis was performed by Anova to determine comparison of microplastic between morphological. This result suggested that found five shapes of microplastics (fiber, fragment, film, foam and pellet) with 7 colors and transparent. Fiber was type found predominantly (>80%), while black, blue and red were predominant in colors (88,82%). This study, however, exhibited no interaction between morphological feature and location aspect that suggested microplastic contamination was not affected by both aspects. Microplastic were categorized into three different sizes in range, these were >1000 µm (36%), 500-1000 µm (30%) and 100-500 µm (34%). Allegedly, local source of microplastic originated from net, plastic single used, rope, float and fishing equipment including paint boats. Polymer was identified including PE, PP, PS and PA (all nylon). Therefore, macroalga have a potential to trap microplastic.

**Keywords:** Distribution, polymer, beach, fibre.

## Abstrak

Distribusi mikroplastik di perairan sulit diprediksi sehingga partikel tersebut dapat ditemukan pada berbagai organisme laut termasuk makroalga. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik mikroplastik berdasarkan jenis, warna, ukuran dan tipe polimer mikroplastik pada makroalga. Metode *oxidation* menggunakan larutan *Hydrogen peroxide* 30% (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) dan *Zinc Chloride* (ZnCl<sub>2</sub>) sebagai larutan densitas. Uji Anova untuk menentukan perbandingan kontaminasi mikroplastik berdasarkan fitur morfologi. Hasil penelitian menunjukkan terdapat lima jenis kontaminasi mikroplastik (fiber, fragment, film, foam dan pellet) dalam variasi 7 warna dan transparan pada makroalga. Fiber merupakan jenis mikroplastik paling banyak ditemukan dibandingkan jenis lainnya (>80%), sedangkan aspek warna didominasi oleh warna hitam, biru, dan merah (88,82%). Meskipun demikian, tidak terdapat interaksi fitur morfologi dan lokasi dalam menentukan kontaminasi mikroplastik pada makroalga. Terdapat tiga kategori ukuran mikroplastik yaitu >1000 µm (36%), 100-500 µm (34%) dan 500-1000 µm (30%). Sumber mikroplastik lokal diduga berasal dari fragmentasi jaring tambak, sampah plastik, pelampung dan peralatan tangkap ikan termasuk cat kapal. Jenis polimer yang teridentifikasi yaitu PP, PE, PS dan PA (nylon). Dengan demikian, makroalga sebagai agen hayati dalam menjebak mikroplastik di perairan.

**Kata kunci:** Distribusi, polimer, pantai, fiber.

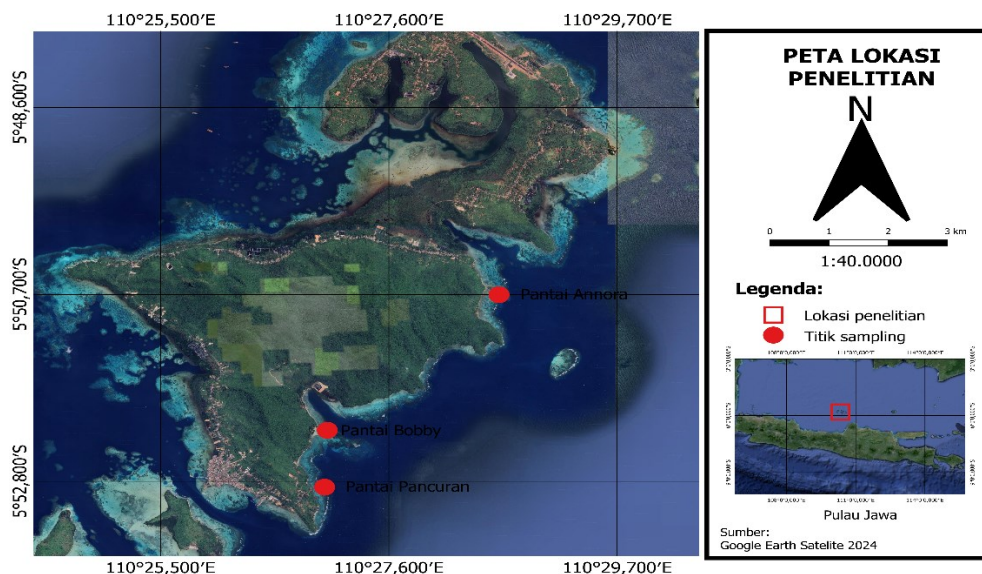
## PENDAHULUAN

Sumber mikroplastik dikategorikan menjadi *primary* berupa partikel kecil seperti pada campuran *scrubber* produk perawatan tubuh dan *secondary* berupa pecahan dari makroplastik secara progresif (GESAMP, 2016; Campanale *et al.* 2023). Berdasarkan laporan IUCN (2021) lebih dari 400 juta ton plastik diproduksi di seluruh dunia setiap tahun dan sekitar 4,5% telah mencemari kawasan laut. Limbah plastik masuk ke laut melalui berbagai cara seperti sungai, saluran pembuangan bahkan terbawa oleh angin pada tempat pembuangan sampah disekitar pantai tanpa sekat (Bullard *et al.* 2021). Ketika sampah plastik masuk ke dalam ekosistem laut, material ini akan terus bergerak terombang-ambing mengikuti dinamika arus laut, terdampar atau bahkan tersangkut pada permukaan suatu substratum (Zhang, 2017). Plastik yang terombang-ambing kemudian terekspos sinar ultraviolet dari matahari seiring waktu menyebabkan permukaan menjadi

kasar dan rapuh sehingga mudah terpecah-pecah oleh gelombang (GESAMP, 2016; De Haan *et al.* 2019; Bajt, 2021; Campanale *et al.* 2023). Proses fragmentasi mikroplastik menyebabkan perubahan ukuran material menjadi lebih kecil hingga ukuran tertentu (<5mm) disebut mikroplastik (GESAMP, 2015). Menurut (Zhou *et al.* 2018) ukuran mikroplastik yang kecil menyebabkan organisme salah mengira keberadaan partikel tersebut sebagai mangsanya. Beberapa laporan sebelumnya pernah menunjukkan organisme hidup yang bergerak dapat menjadi perantara mikroplastik bergerak secara horizontal melalui aktivitas rantai makanan (Cole *et al.* 2013; Rodrigues, 2020; Fathoniah & Patria, 2021). Mikroplastik yang masuk ke dalam pencernaan organisme motil dapat dieksresikan sehingga mikroplastik dapat keluar kembali melalui feses (Cole *et al.* 2013). Feces organisme dapat tergerus menyebabkan mikroplastik terlepas kembali di perairan. Pada laporan Marganita *et al.* (2022) menunjukkan perkiraan pergerakan mikroplastik di perairan Pulau Sintok Karimunjawa berasal dari arah barat yang bergerak ke timur pada periode angin muson barat. Hal ini menunjukkan pola distribusi mikroplastik oleh vektor angin di perairan. Dengan demikian, faktor abiotik seperti angin, gelombang, arus laut hingga pengaruh pasang surut dan faktor biotik yaitu fauna laut berkontribusi dalam distribusi mikroplastik di laut (Cole *et al.* 2013; Zhang, 2017; Rodrigues, 2020; Veerasingam *et al.* 2022). Selain itu, distribusi mikroplastik juga didorong oleh karakteristik densitas yang berbeda sehingga dapat mengapung, melayang dan tenggelam di perairan (GESAMP 2015; Lambert & Wagner, 2018; Veerasingam *et al.* 2021). Pada penelitian yang dilaporkan Lenaker *et al.* (2019) menunjukkan bahwa jenis mikroplastik dengan densitas yang lebih ringan lebih banyak ditemukan mengapung (*floating*) di permukaan air hingga kolom air (*drifting*), sedangkan densitas yang lebih berat tenggelam menuju sedimen. Hal ini juga dipengaruhi oleh gradien salinitas sehingga mendorong daya apung mikroplastik (Lenaker *et al.* 2019). Dengan demikian, mikroplastik memiliki kemampuan distribusi vertikal dan horizontal secara pasif. Pergerakan mikroplastik sulit diprediksi dan bersifat dinamis pada perairan. Keberadaan mikroplastik dilaporkan semakin tinggi menuju pada lokasi zona dekat pantai atau area intertidal (Feng *et al.* 2020a; Marganita *et al.* 2022; Zhang *et al.* 2022). Menurut Zhang (2017) keberadaan mikroplastik pada zona pantai dipengaruhi oleh angin dari lepas pantai sehingga menimbulkan turbulensi gelombang dan arus yang membawa mikroplastik menuju pantai. Ketika mikroplastik mengalami turbulensi partikel tersebut dapat tersangkut atau terjebak pada suatu struktur seperti makroalga. Pada laporan Feng *et al.* (2020a) menunjukkan mikroplastik dapat terjebak pada talus makroalga melalui mekanisme membelit, menempel, melekat dan membungkus. Makroalga merupakan organisme sessile yang umumnya hidup dengan menempel pada suatu substratum. Lokasi intertidal merupakan tempat tumbuh ideal bagi makroalga karena kebutuhan suhu, penetrasi cahaya dan nutrisi untuk proses fotosintesis. Oleh karena itu, makroalga memiliki potensi sebagai bioindikator mikroplastik di perairan (Gao *et al.* 2020; Feng *et al.* 2020b; Sfriso *et al.* 2021). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui konsentrasi mikroplastik pada air laut dan kontaminasi mikroplastik pada makroalga di tiga lokasi yaitu Pantai Annora, Pantai Bobby, dan Pantai Pancuran, Pulau Karimunjawa. Parameter yang diukur meliputi jenis, warna, ukuran dan tipe polimer mikroplastik.

## MATERI DAN METODE

Sampel dikumpulkan dari tiga pantai di Pulau Karimunjawa dengan garis transek (Gambar 1; Rahmawati *et al.* 2017). Kegiatan penelitian dilakukan dari bulan November 2023 hingga bulan April 2024. Identifikasi mikroplastik dilakukan dalam 4 tahap yaitu *sample preparation*, *extraction*, *purification* dan *analysis* (Constant *et al.* 2021). Prosedur identifikasi mikroplastik pada makroalga dilakukan dengan pembilasan dan degradasi sampel. Larutan pembilas ditampung untuk disaring pada tahap selanjutnya. Deradasi makroalga (30g) dilakukan dengan metode oksidasi pada suhu 70°C-90°C pada kecepatan 90-120 rpm. Pada identifikasi mikroplastik di perairan, sampel air dibawa dalam wadah 500 ml setiap lokasi, agar mudah dibawa ke laboratorium untuk identifikasi. Menurut Cutroneo *et al.* (2020) ekstraksi mikroplastik pada sampel air laut dapat melalui satu atau beberapa tahapan pemisahan terintegrasi yaitu *density separation*, *filtration* dan *sieving*. Eliminasi residu >5mm pada air laut dengan saringan kemudian ditambahkan sekitar 50 ml larutan 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Penambahan larutan densitas pada tahap selanjutnya untuk memisahkan mikroplastik terhadap sisa pasir dalam sampel. Penyaringan menggunakan kertas saring whatman No. 41. Konsentrasi mikroplastik di sampel air mengadaptasi formula dari rekomendasi NOAA (Masura *et al.* 2015). Uji Anova dilakukan untuk mengetahui perbandingan kontaminasi mikroplastik pada makroalga.



Gambar 1. Peta lokasi Pengambilan Sampel

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk mikroplastik meliputi fiber, fragmen, film, foam dan pelet. Fiber memiliki bentuk seperti filamen tipis dengan densitas ringan hingga sedang sehingga menyebabkan partikel ini mampu terdistribusi secara vertikal di dalam air. Fragmen mempunyai bentuk yang tidak beraturan dengan tepi tajam dan solid sehingga terlihat bergerigi atau sudut tajam. Selain itu, fragmen memiliki densitas sedang hingga berat menyebabkan partikel tersebut terdistribusi secara vertikal (Fathoniah & Patria, 2021). Film mempunyai penampakan yang mirip dengan fragmen tetapi lebih ringan, tipis dan transparan. Foam memiliki karakteristik penampakan seperti spons, warna putih dan ringan. Partikel-partikel ini berasal dari kantong plastik, styrofoam atau sisa pelampung. Film dan busa memiliki kepadatan yang lebih ringan dibandingkan air laut menyebabkan partikel-partikel ini sering ditemukan mengambang di permukaan air (Lenaker *et al.* 2019; Rifandi & Ratnasari, 2023). Pelet digambarkan berbentuk bulat atau spherical, bertekstur keras, dan berwarna hitam. Pelet diduga berasal dari industri manufaktur sebagai mikroplastik primer.

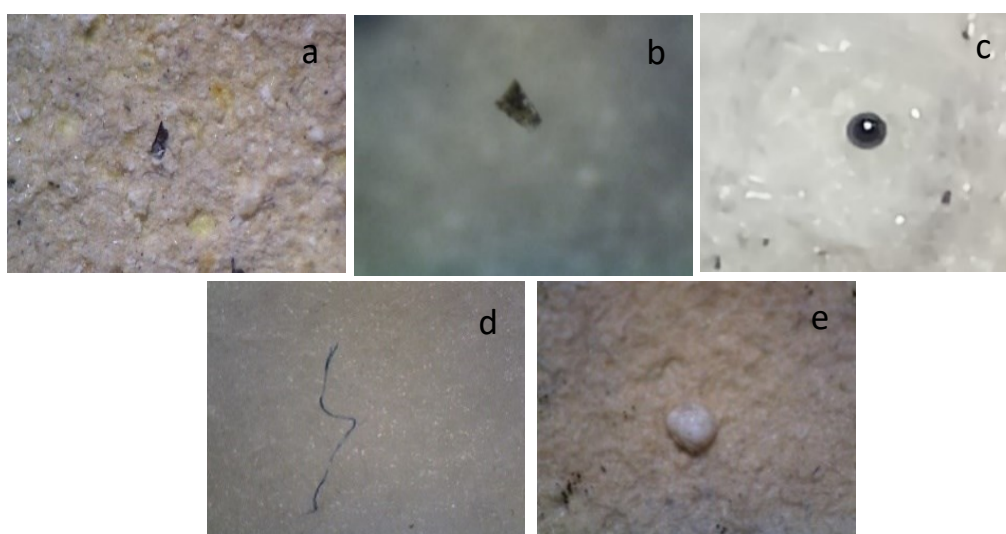
Pellet memiliki karakteristik bulat, terlihat solid dan berwarna hitam. Pellet diduga berasal dari barang pribadi seperti kosmetik dan scrub pada pasta gigi serta sabun (GESAMP, 2016; Zhou *et al.* 2018). Jenis scrub dapat ditemukan sebagai campuran pada produk eksfoliasi (*facial wash*), pasta gigi bahkan detergen yang umum ditemukan dalam produk rumah tangga. Partikel tersebut diduga masuk melalui saluran pembuangan atau drainase kemudian menuju ke laut. Meskipun terdapat *obstacle* seperti pasir dan material organik lainnya yang mungkin menutup pada saluran pembuangan, beberapa pelet masih tetap lolos dan masuk ke laut (Zhou *et al.* 2018). Ukuran pelet yang kecil mendorong mekanisme *escape*. Jenis mikroplastik lainnya diduga berasal dari budidaya perikanan dan aktivitas tangkap ikan. Menurut Diskominfo Jepara keberadaan tambak di pulau karimunjawa sudah sejak tahun 2016, seperti tambak udang. Sarana aktivitas perikanan seperti tali penambat kapal, benang pancing dan jaring merupakan sumber mikroplastik di perairan (Fan *et al.* 2022).

Alat pancing dan jaring tambak yang terbuat dari bahan sintesis dapat mengalami pelapukan dan terkikis seiring waktu. Menurut Wei *et al.* (2022) konsentrasi mikroplastik lebih banyak pada musim penghujan karena faktor angin dan hujan mendorong laju pengikisan material sintesis. Fragmen dan film berasal dari fragmentasi material lebih besar seperti gelas plastik, botol plastik, kantong plastik, kemasan makanan ringan dan plastik sekali pakai yang juga ditemukan terkubur di dalam sedimen dan mengapung di air (Zhou *et al.* 2018; Raintung, 2021). Material tersebut dibawa oleh wisatawan

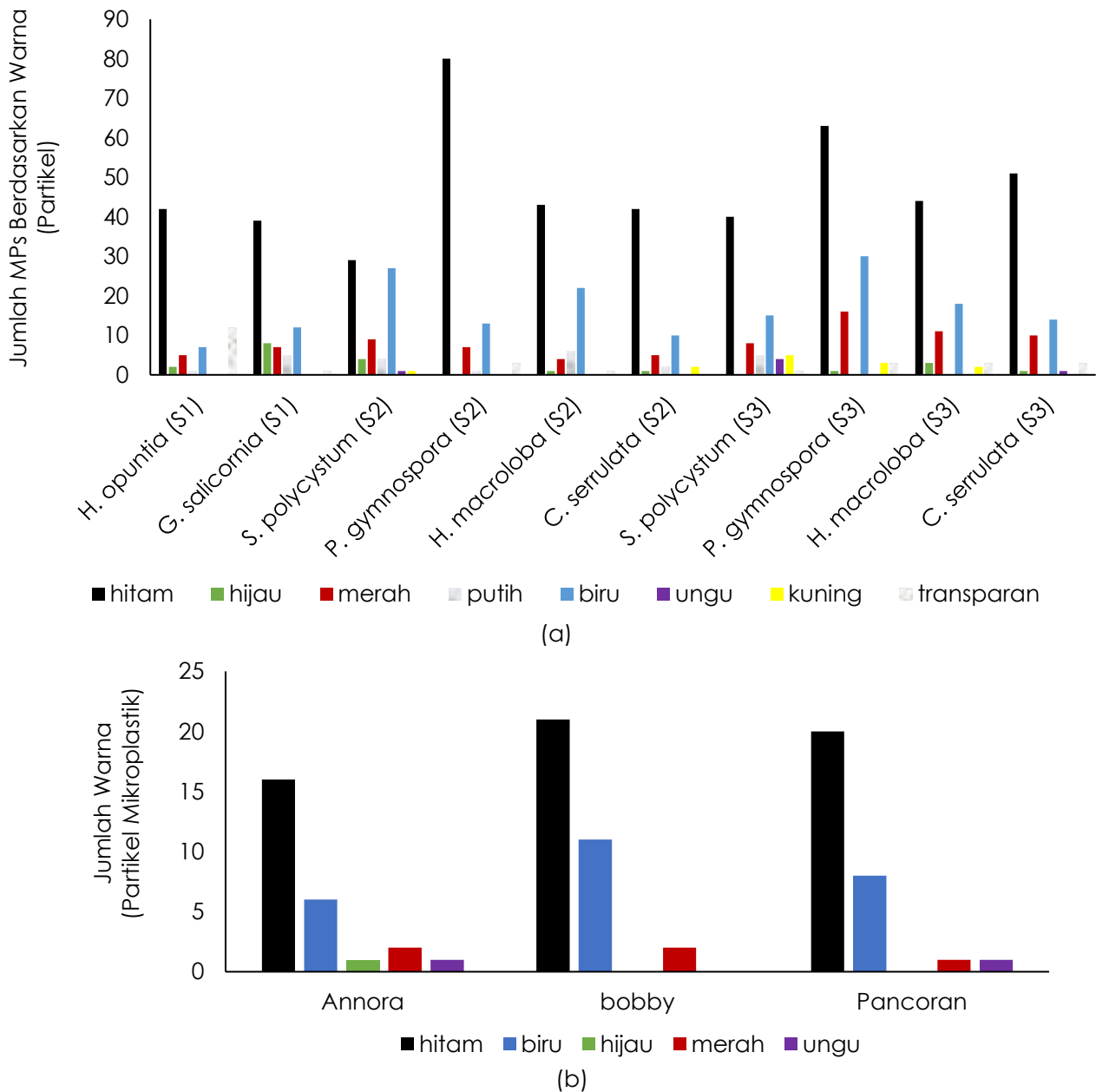
sebagai kebutuhan selama berwisata sehingga memungkinkan aktivitas pariwisata sebagai salah satu faktor keberadaan mikroplastik di suatu wilayah (GESAMP, 2016). Foam diduga berasal dari aktivitas penangkapan ikan, kemungkinan berasal dari styrofoam dan *fishing bobbers* karena mayoritas masyarakat lokal berprofesi sebagai nelayan (Laksono & Mussadun, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa beberapa bentuk mikroplastik berkaitan dengan aktivitas dan mata pencaharian tertentu.

Warna mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini didominasi oleh warna hitam, biru, dan merah (88,82%) sedangkan pada metode degradasi hitam terbanyak (98,1%). Warna primer tersebut juga disebutkan dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Montoto *et al.* (2020) yang menunjukkan identifikasi tiga warna primer tersebut dilaporkan lebih melimpah di wilayah pesisir. Temuan ini juga mendukung beberapa penelitian sebelumnya yang melaporkan warna-warna tersebut ditemukan pada organisme laut (Steer *et al.* 2017; Mercogliano *et al.* 2021; Reinold *et al.* 2021). Selain itu, variasi warna tersebut terkait dengan produk antropogenik seperti biru tua, hijau, transparan berasal dari jaring ikan, tali, botol plastik dan wadah plastik serta kain yang memiliki warna beragam (Reinold *et al.* 2021; Wei *et al.* 2022). Warna mikroplastik dapat memudar seiring waktu dan kemudian menjadi seperti *striped* (Gambar 2d). Fotooksidasi yang berasal dari paparan sinar UV dalam jangka waktu lama menyebabkan partikel tersebut memudar dan mengalami fragmentasi (GESAMP, 2016). Fragmentasi juga menyebabkan mikroplastik dapat ditemukan dalam berbagai ukuran yang berbeda-beda.

Fragmentasi terjadi secara alami melalui paparan UV dan mekanisme mekanik ombak serta arus laut (GESAMP, 2016; De Haan *et al.* 2019; Campanale *et al.* 2023). Berdasarkan hasil identifikasi mikroplastik, ukuran >1mm merupakan kategori yang paling banyak dibandingkan ukuran lainnya, tetapi tidak terdapat perbedaan signifikan ( $p=0,317$ ). Mikroplastik dikategorikan menjadi tiga ukuran yaitu (36%) 1000  $\mu\text{m}$ , 100-500  $\mu\text{m}$  (34%) dan 501-1000  $\mu\text{m}$  (30%) dengan jumlah 814 partikel (Gambar 4a). Penelitian sebelumnya juga melaporkan bahwa sebagian besar mikroplastik yang ditemukan pada makroalga berukuran >1mm (Gao *et al.* 2020). Jumlah partikel semakin bertambah seiring dengan fragmentasi ukuran menjadi kecil. Pada sampel degradasi menunjukkan jumlah mikroplastik dengan ukuran <80  $\mu\text{m}$  lebih banyak (94%) dari ukuran >100  $\mu\text{m}$  (6%) dengan jumlah 158 partikel (Gambar 4b). Dengan demikian, fragmentasi menghasilkan beberapa partikel dengan ukuran lebih sedikit dari partikel yang lebih besar.



**Gambar 2.** Identifikasi jenis mikroplastik (a. fragment; b. film; c. pellet; d.fiber; e. foam)



**Gambar 3.** Jumlah warna dominan mikroplastik (a) makroalga; (b) sampel air laut

Hasil identifikasi menunjukkan fiber merupakan jenis mikroplastik yang paling banyak pada permukaan makroalga yaitu 88,6%, sedangkan sisanya gabungan fragmen, film, foam dan pellet (11,4%). Pada penelitian yang dilaporkan oleh Lie *et al.* (2018) menunjukkan fiber merupakan jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan di perairan Karimunjawa. Penelitian Rapp *et al.* (2020) juga pernah melaporkan bahwa hanya jenis mikroplastik fiber yang ditemukan pada pesisir pantai dengan variasi 0,01mm-1mm. Beberapa penelitian juga melaporkan konsentrasi fiber paling banyak dari jenis lainnya (Lenaker *et al.* 2019; Mauludy 2019; Li *et al.* 2020; Zhang *et al.* 2022). Hal ini menunjukkan bahwa fiber merupakan jenis mikroplastik yang paling banyak teridentifikasi di zona intertidal. Pengaruh densitas dan jumlah konsentrasi diduga menyebabkan jenis mikroplastik fiber paling banyak terjebak pada talus makroalga. Fiber memiliki densitas sedang dari jenis mikroplastik lainnya sehingga memungkinkan terdistribusi secara vertikal dengan melayang pada kolom air (Lenaker *et al.* 2019; Rifandi & Ratnasari, 2023).

Mikroplastik dapat terjerat secara kontinu pada makroalga ketika melayang pada kolom air, tidak hanya menadah partikel tetapi juga memerangkap mikroplastik sehingga partikel saling tumpang tindih (Lambert & Wagner, 2018; Feng *et al.* 2020a). Makroalga dengan bilah yang lebih lebar mampu memerangkap lebih banyak mikroplastik seperti *P.gymnospora* (>100 partikel). Pada uji *post hoc* menunjukkan perbedaan signifikan bentuk talus flabelliform dan filamentous (sig. 0,039). Kontaminasi mikroplastik lebih tinggi pada makroalga dengan kategori bentuk talus flabelliform (46,4%). Kategori bentuk talus dapat dilihat pada tabel 1. Meskipun terdapat perbedaan jumlah kontaminasi mikroplastik, tetapi kategori bentuk tidak menentukan kontaminasi mikroplastik pada makroalga secara signifikan ( $p = 0,126$ ). Faktor lain seperti luas permukaan dan kerapatan tutupan diduga memengaruhi jumlah dan jenis mikroplastik. Pada penelitian Feng *et al.* (2020b) makroalga dengan bentuk yang lebar efektif memerangkap mikroplastik di perairan, sedangkan pada laporan Ng *et al.* (2022) menunjukkan struktur makroalga memungkinkan celah yang kecil sehingga mikroplastik dapat terjebak pada talusnya. Selain itu, penelitian Zhang *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa struktur talus berperan sebagai *obstacle* yang menjerat mikroplastik seperti filamen terhadap fiber. Dengan demikian, kerapatan tutupan makroalga mengurangi celah sehingga partikel yang melaluinya akan tersaring dan terjebak.

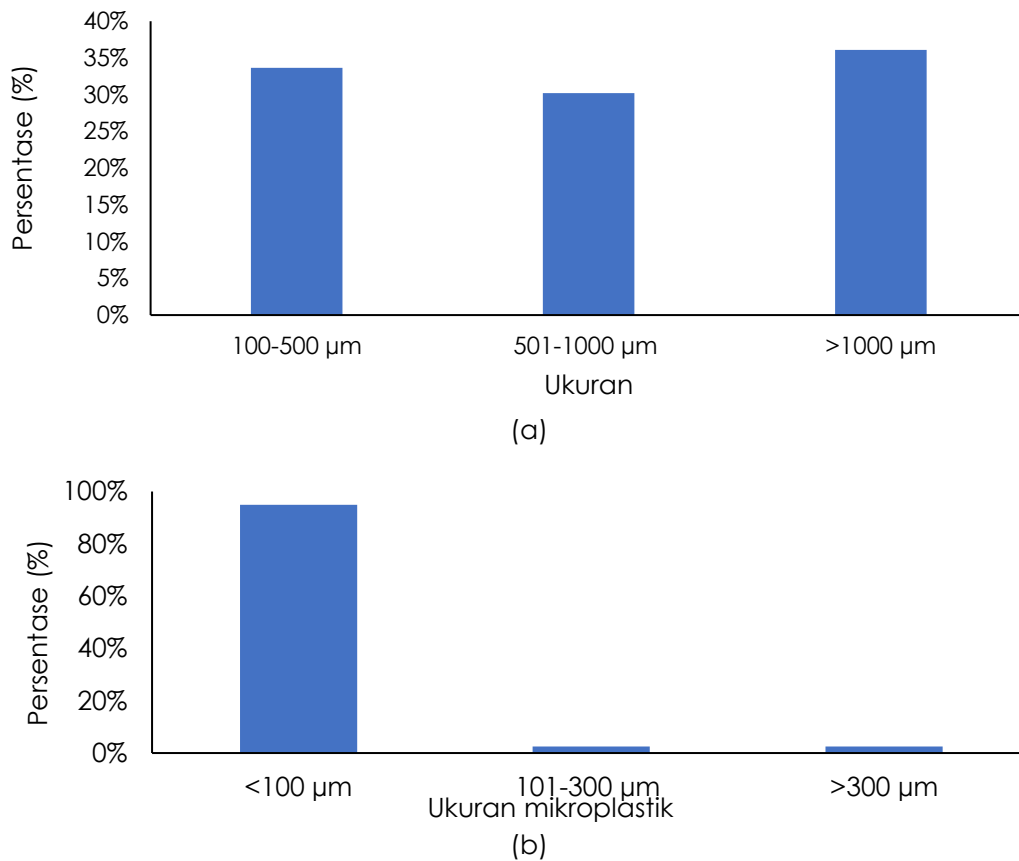
Analisis kontaminasi mikroplastik pada makroalga berdasarkan lokasi menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan ( $p = 0,627$ ). Hal ini terkait dengan konsentrasi mikroplastik di perairan pada setiap lokasi sampling tidak berbeda jauh. Konsentrasi mikroplastik yang ditemukan pada masing masing lokasi yaitu 5 partikel/L di pantai Annora, 7 partikel/L di pantai Bobby dan 6 partikel/L di pantai Pancuran (Gambar 5a). Jenis mikroplastik fiber pada tiga sampel air laut menunjukkan jumlah partikel yang paling tinggi (85,7%) dari pada jenis lainnya (14,3%). Pada penelitian ini jumlah kontaminasi fiber pada setiap spesies makroalga yaitu >80% dari jenis mikroplastik lainnya (Gambar 5b). Kuantifikasi mikroplastik pada sampel air laut menggunakan satuan partikel/liter sedangkan pada sampel makroalga dalam satuan partikel yang menjadi limitasi pada penelitian ini sebagai pembanding keduanya.

Kuantifikasi fragmen pada sampel makroalga memiliki persentase 5,5%. Jenis mikroplastik fragmen pada tiga sampel air laut menunjukkan jumlah rata-rata 9,9%. Dengan demikian, fragmen sebagai partikel terbanyak kedua. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wei *et al.* 2022 menunjukkan fragmen sebagai jenis mikroplastik terbanyak setelah fiber. Konsentrasi mikroplastik jenis film pada sampel makroalga yaitu 4,1% dari total kontaminasi mikroplastik pada makroalga. Jumlah rata-rata partikel film di perairan 3,3%. Dengan demikian, film merupakan mikroplastik terbanyak setelah fragmen di perairan dan makroalga. Film memiliki karakteristik tipis, bentuk tidak beraturan dan umumnya transparan sehingga faktor *human error* memungkinkan bias. Oleh karena itu, pada sampel air laut pantai Bobby partikel film tidak teridentifikasi namun teridentifikasi pada sampel makroalga.

Mikroplastik jenis foam tidak teridentifikasi pada sampel air sedangkan terdapat partikel foam pada sampel makroalga. Hal ini diduga turbulensi menyebabkan mikroplastik jenis foam tenggelam menuju sedimen. Faktor angin berperan dalam mekanisme turbulensi (Zhang, 2017). Foam memiliki kepadatan yang lebih ringan dibandingkan air laut sehingga dapat mengambang (Lenaker *et al.*

**Tabel 1.** Kategori morfologi makroalga

Spesies	Kategori bentuk
<i>H. opuntia</i>	Complex-flat
<i>G. salicornia</i>	Cylindrical
<i>S. polycystum</i>	Complex-flat
<i>P. gymnospora</i>	Flabelliform
<i>H. macroloba</i>	Flabelliform
<i>C. serrulata</i>	Cylindrical

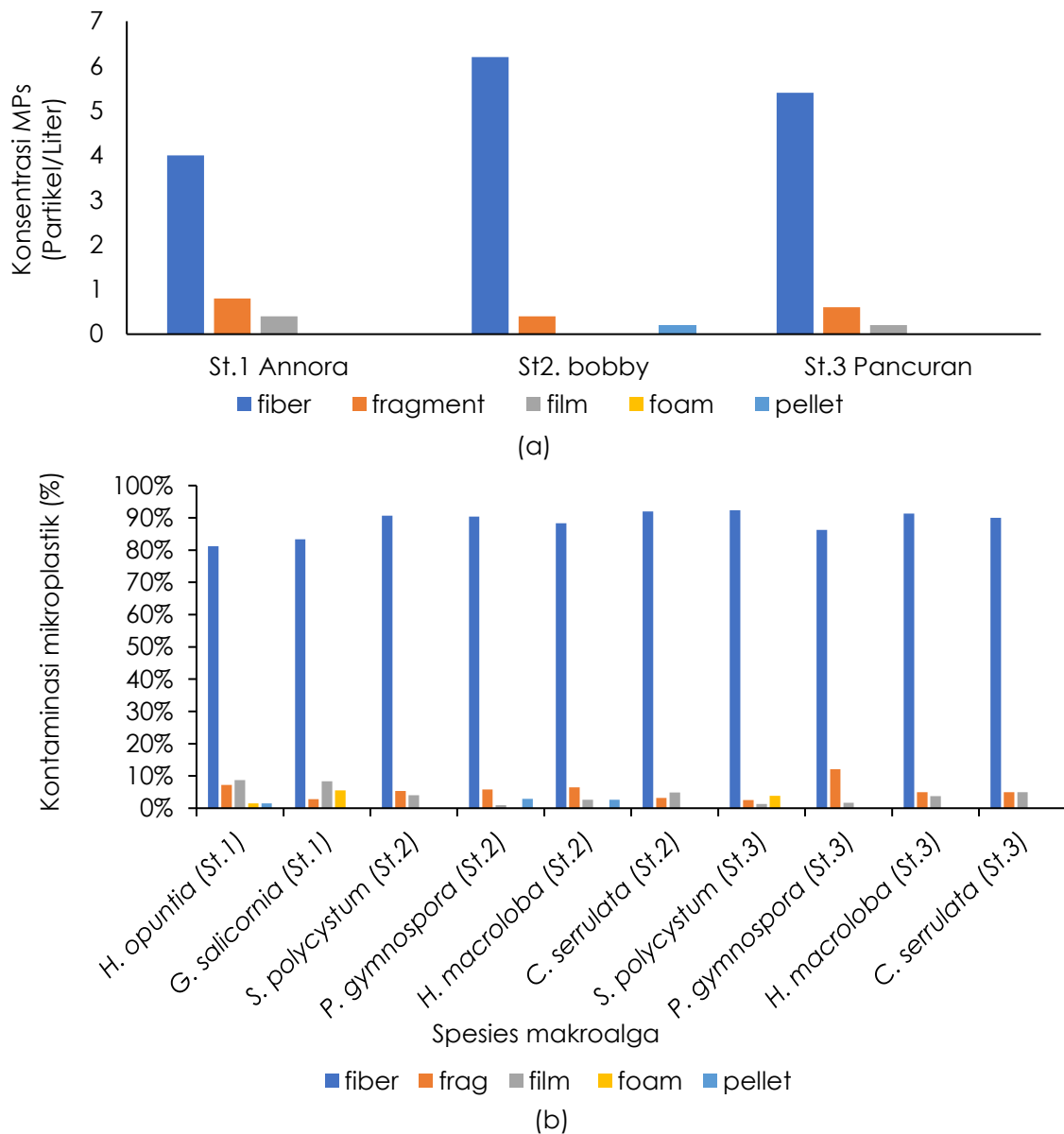


**Gambar 4.** Karakteristik mikroplastik berdasarkan ukuran (a) metode pembilasan; (b) metode oksidasi

2019; Rifandi & Ratnasari, 2023). Kontaminasi rata-rata pelet di perairan 1,1% sedangkan pada makroalga 0,7%. Walaupun jumlahnya paling sedikit diantara jenis mikroplastik lainnya, laporan ini menunjukkan terdapat jenis pellet yang tidak teridentifikasi pada laporan sebelumnya (Lie *et al.* 2018). Pada penelitian Wei *et al.* (2022) juga dilaporkan bahwa pellet merupakan jenis mikroplastik paling sedikit di perairan (0,1%) dari pada jenis mikroplastik lainnya. Pelet digolongkan ke dalam jenis mikroplastik primer sehingga memungkinkan jumlahnya tidak sebanyak jenis mikroplastik lainnya yang berasal dari fragmentasi material plastik yang lebih besar.

Penelitian ini menunjukkan kontaminasi mikroplastik pada makroalga terjadi melalui mekanisme melilit, menempel dan menancap seperti pada penelitian sebelumnya (Feng *et al.* 2020a). Produksi mucus pada memfasilitasi mikroplastik untuk menempel termasuk pasir dan detritus lain. Menurut Ghazali *et al.* (2022) makroalga memproduksi *mucus* atau lendir pada permukaannya sebagai adaptasi fisiologis sebagai sistem pertahanan karena stress lingkungan. Pada lokasi pengambilan sampel diduga mengalami pencemaran limbah yang diduga berasal dari aktivitas tambak seperti tambak udang. Sedimen berwarna hitam dan berbau menyengat. Menurut Diskominfo Jepara tambak udang sudah berada di pulau karimunjawa sejak tahun 2016. Faktor tersebut diduga mendorong mekanisme penempelan mucus pada makroalga terhadap mikroplastik karena respon lingkungan.

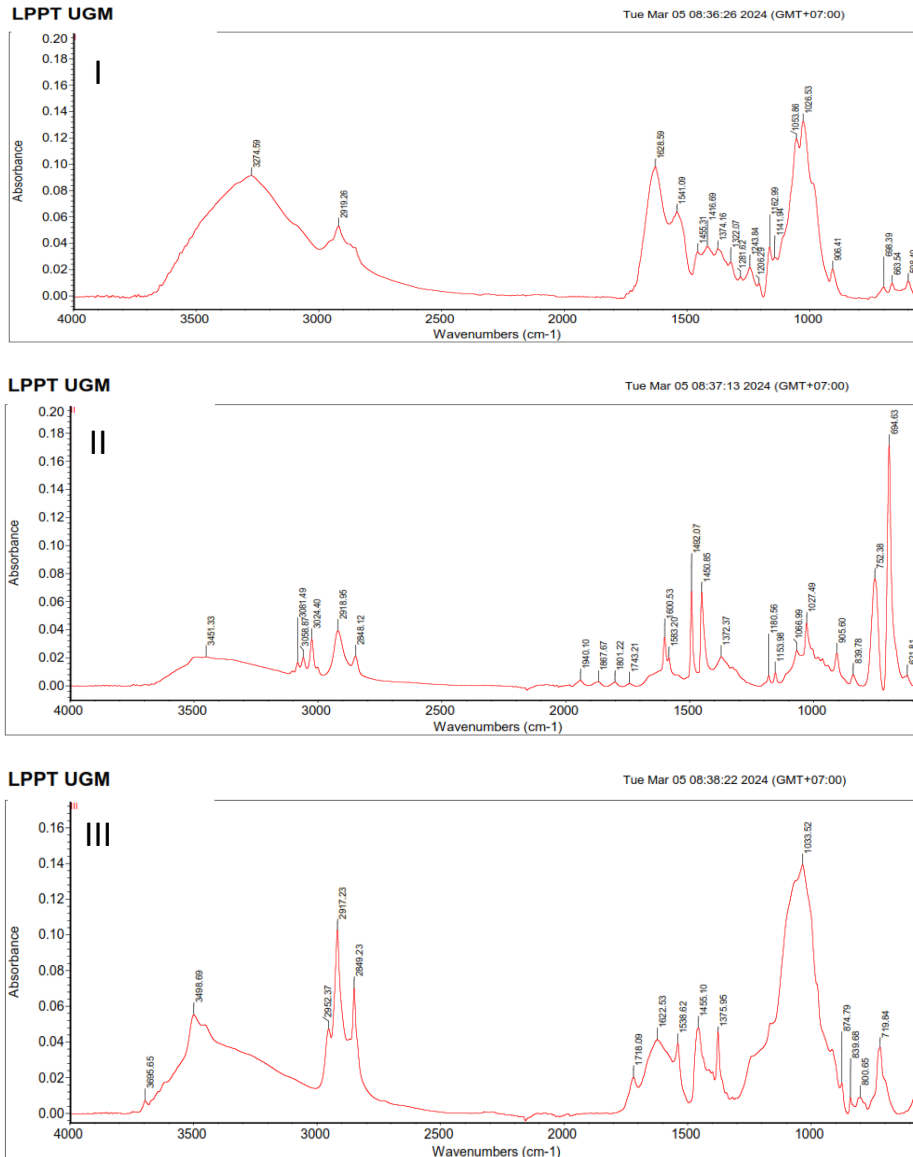
Interpretasi sinyal bilangan spektra pada pengujian dengan metode FTIR dilakukan untuk mengetahui komposisi atau jenis polimer mikroplastik. Identifikasi sinyal spektra polimer mikroplastik disajikan ke dalam tiga grafik sesuai dengan titik sampling yaitu di Pantai Annora, Pantai Bobby dan Pantai Pancuran (Gambar 6). Jenis polimer teridentifikasi yaitu PP (Polypropylene), PE (Polyethylene), PS (Polystyrene) dan Nylon (all polyamide).



**Gambar 5.** Kontaminasi mikroplastik (a) sampel air; (b) makroalga

Identifikasi karakteristik bilangan spektra dapat dilihat pada tabel 1. Sinyal gelombang spektra dapat saling tumpang tindih sehingga menyebabkan intensitas sinyal lebih tinggi atau heterogen (Fan *et al.* 2021; Campanale *et al.* 2023). Pada gelombang 2919  $\text{cm}^{-1}$ , 2918  $\text{cm}^{-1}$ , dan 2917  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan intensitas spektra tinggi yang diduga sebagai indikasi sinyal polimer PE dan PP. Pada bilangan gelombang 1375  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan intensitas sinyal yang tajam sebagai dugaan beberapa polimer (PE, PP, NY) dengan karakteristik jarak horizontal sinyal berdekatan (Jung *et al.* 2018; Fan *et al.* 2021). Selain itu, pada bilangan gelombang dengan grafik luas (*broad*) juga mengindikasikan adanya beberapa sinyal polimer yang terekam seperti bilangan gelombang 1033  $\text{cm}^{-1}$  (PE, PS) dan 3274  $\text{cm}^{-1}$  (NY,PS). Bilangan sinyal pada area double bond (1600  $\text{cm}^{-1}$ ) mengindikasikan adanya cincin benzena yang menjadi karakteristik polimer PS (Campanale *et al.* 2023). Pada area fingerprint intensitas dan jarak peak beragam yang diduga dipengaruhi oleh beragam material menempel atau menempel pada sampel sehingga memungkinkan vibrasi terekam dan tidak terekam (Campanale *et al.* 2023).





**Gambar 6.** Grafik sinyal bilangan absorpsi pada uji FTIR

Keberadaan polimer PS, PE dan PP diduga berasal dari serpihan cat kapal yang terkikis oleh gelombang karena mendorong daya apung sehingga cocok sebagai bahan resin cat kapal atau jaring (Mercogliano *et al.* 2019; De Haan *et al.* 2019). Oleh karena itu, pada penelitian ini polimer PP dan PE dapat ditemukan pada jenis mikroplastik fiber dan fragmen (GESAMP, 2016; Uurasjärvi *et al.* 2019). Selain itu, sumber lain seperti plastik sekali pakai, wadah makanan dan minuman yang dibawa oleh wisatawan serta material foam pada pelampung jaring terdapat polimer PS (De Haan *et al.* 2019). Jenis polimer nylon diduga berasal dari material tambak dan jaring nelayan sebagai sumber sekitar. Nylon polyamides (PA) juga teridentifikasi pada spektra FTIR, dalam industri perikanan material ini dapat sebagai campuran untuk tali pancing dan jaring untuk menjala ikan atau budidaya perikanan (Fan *et al.* 2021). Material tersebut bersifat resisten dan kuat sehingga waktu pemakaian lama untuk industri perikanan dan aktivitas aquakultur (Reinold *et al.* 2021). Walaupun demikian, paparan sinar UV yang bersifat berkelanjutan menyebabkan material rapuh dan mengalami fragmentasi pada aktivitas mekanik (GESAMP, 2016). Intensitas dan variabilitas puncak pada fingerprint area menunjukkan adanya kemungkinan material organik dan anorganik dari lingkungan yang menempel pada sampel polimer (Campanale *et al.* 2023).

**Tabel 2.** Hasil identifikasi bilangan absorbansi polimer mikroplastik

Tipe polimer	Gugus fungsi	Bilangan absorbansi (cm <sup>-1</sup> )	Referensi
PE	CH <sub>2</sub> stretch	2918	2918 (Miloloza et al. 2021)
	CH <sub>2</sub> stretch	2848	2847 (Campanale et al. 2023)
	CH <sub>2</sub> twist	1053	1050 (Miloloza et al. 2021)
	CH <sub>2</sub> rock	719	719 (Campanale et al. 2023)
	CH <sub>2</sub> bend	1455	1455 (Campanale et al. 2023)
PP	CH <sub>3</sub> bend	1375	1375 (Campanale et al. 2023)
	CH bend; CH <sub>3</sub> rock; C-C stretch	1162	1166 (Jung et al. 2018)
	CH <sub>2</sub> rock; C-C stretch	839	840 (Jung et al. 2018)
	C-H stretch	2849	2847 (Jung et al. 2018)
PS	-C=C aromatic stretch	1600	1601 (Jung et al. 2018)
	aromatic ring stretch	1492	1492 (Miloloza et al. 2021)
	aromatic CH bend	1026	1027 (Miloloza et al. 2021)
	C-H out-of-plane band	694	698 (Campanale et al. 2023)
Nylon (NY)	N-H stretch	3274	3298 (Jung et al. 2018)
	NH bend, C-N stretch	1538	1537 (Fan et al. 2021)
	CH <sub>2</sub> bend	1372	1372 (Jung et al. 2018)
	CH <sub>2</sub> bend	1206	1200 (Fan et al. 2021)

## KESIMPULAN

Fiber merupakan jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan pada sampel air dan makroalga. Dengan demikian, terdapat pengaruh konsentrasi jenis mikroplastik di perairan terhadap jenis mikroplastik yang mengontaminasi makroalga. Makroalga dengan bentuk talus flabeliform atau *blade* lebih lebar dapat memerangkap partikel mikroplastik di perairan lebih banyak dari bentuk lainnya. Analisis bentuk talus dan lokasi menunjukkan tidak adanya interaksi yang menentukan jumlah kontaminasi mikroplastik pada makroalga.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bajt, O. (2021). From plastics to microplastics and organisms. *Febs Open Bio*, 11, 954-966. doi: 10.1002/2211-5463.13120. 4.
- Balai Taman Nasional Karimunjawa. (2022). Statistik Balai Taman Nasional Karimunjawa (Jenis makroalga), (e-book) <https://tnkarimunjawa.id/publikasi/dokumen>.
- Bullard, J.E., Ockelford, A., O'Brien, P., & McKenna Neuman, C. (2021). Preferential transport of microplastics by wind. *Atmospheric Environment*, 245, 118038. doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.118038
- Campanale, C., Savino, I., Massarelli, C., & Urcchio, V.F. (2023). Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Assess the Degree of Alteration of Artificially Aged and Environmentally Weathered Microplastics. *Polymers*, 15(4),1-15. doi: 10.3390/polym15040911
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environmental Science & Technology*, 47(12), 6650–6655. doi: 10.1021/es400663f.
- Constant, M., Billon, G., Breton, N., & Alary, C. (2021). Extraction of microplastics from sediment matrices: Experimental comparative analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 1-4.
- Cutroneo, L., Reboa, A., Besio, G., Borgogno, F., Canesi, L., Canuto, S., Dara, M., Enrile, F., Forioso, I., Greco, G., Lenoble, V., Malatesta, A., Mounier, S., Petrillo, M., Rovetta, R., Stocchino, A., Tesan, J., & Vagge, G. (2020). Microplastics in seawater: sampling strategies, laboratory methodologies, and identification techniques applied to Port environment. *Environmental Science and Pollution*, 27,8938-8952. doi: 10.1007/s11356-020-07783-8 .

- De Haan, W.P., Sanchez-V, A., & Canals, M. (2019). Floating microplastics and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 523–535. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.01.053
- Diskominfo Jepara. (2023). Tambak Udang Karimunjawa Segera Ditutup, (<https://jatengprov.go.id/beritadaerah/tambak-udang-karimunjawa-segera-ditutup/>). Diakses April 2024
- Fan, C., Huang, Y.Z., Lin, J.N & Lin, J. (2021). Microplastic constituent identification from admixtures by Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy: The use of polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC) and nylon (NY) as the model constituents. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 1-9. doi: 10.1016/j.eti.2021.101798.
- Fathoniah, I. & Patria, I.I. (2021). Abundance of microplastic in green mussel *Perna viridis*, water, and sediment in Kamal Muara, Jakarta Bay. *Journal of Physics: Conference Series*, 1725,1-5. doi: 10.1088/1742-6596/1725/1/012042.
- Feng, Z., Zhang, T., Shi, H., Gao, K., Huang, W., Xu, J., Wang, J., Wang, R., Li, J., & Gao, G. (2020a). Microplastics in bloom-forming macroalgae: distribution, characteristics and impacts. *Journal of Hazardous Materials*, 397, 2-11. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122752.
- Feng, Z., Zhang, T., Wang, J., Huang, W., Wang, R., Xu, J., Fu, G., & Gao, G. (2020b). Spatio-temporal features of microplastics pollution in macroalgae growing in an important mariculture area, China. *Science of The Total Environment*, 719, 1-9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137490
- Gao, F., Li, J., Hu, J., Li, X., & Sun, C. (2020). Occurrence of microplastics carried on *Ulva prolifera* from the Yellow Sea, China. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2(16), 1-5. doi: 10.1016/j.cscee.2020.100054.
- Ghazali, M., Husni, A., Majid, F.A.A., Syahfitri, R., Wahyuni, S & Hidayat, D. (2023). Macroepiphyte biodiversity on *Kappaphycus alvarezii* surface and its interaction with environment in cultivation centers on Lombok Island, Indonesia, *Biodiversitas*, 23(12), 6284-6292. doi: 10.13057/biodiv/d231224.
- GESAMP. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep.Stud. GESAMP No. 93, 220 p
- IUCN. (2021). Issue Brief: Marine Plastic Pollution, IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). <https://www.iucn.org/>
- Jung, M., Orski, S., Horgen, D., Rodriguez, V.C., Beers, K.L., Balazs, G.H., Jones, T.T., Work, T.M., Brignac, K.C., Royer, S.J., Hyrenbach, K.D., Jensen, B.A., & Lynch, J.M. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymer of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 704-716. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.12.061.
- Laksono, A.N., & Mussano. (2014). Dampak Aktivitas Ekowisata di Pulau Karimunjawa Berdasarkan Persepsi Masyarakat. *Jurnal Teknik PWK*, 3(2), 262-273.
- Lambert, S. & Wagner, M. (2018). Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview. Pp. 1-23. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-61615-5\_1
- Lenaker, P.L., Baldwin, A.K., Corsi, S.R., Mason, S.A., Reneau, P.C., & Scott, J.W. (2019). Vertical Distribution of Microplastics in the Water Column and Surficial Sediment from the Milwaukee River Basin to Lake Michigan. *Environmental Science and Technology*, 53(21), 12227–12237. doi: 10.1021/acs.est.9b03850.
- Li, Q., Feng, Z., Zhang, T., Ma, C., & Shi, H. (2020). Microplastics in the commercial seaweed nori. *Journal of hazardous materials*, 388, 1-7. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122060.
- Lie, S., Ahmad, S., Aulia, R.E., Benarifo, A., Herdi, W.A., Istria, R.S., Ni-Putu, A.N.A., Najlala, I.H., Nurulita, R., & Akbar, R. (2018). Measurement Of Microplastic Density in The Karimunjawa National Park, Central Java, Indonesia, *Indo Pacific Journal of Ocean Life*, 2(2), 54-58. doi: 10.13057/oceanlife/o20203.
- Marganita, D., Jarot, W., & Rikha, W. (2022). Kajian Pergerakan Mikroplastik dengan Parcels di Perairan Pulau Sintok, Kepulauan Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(2), 22-28. doi: 10.14710/ijoce.v4i2.14177.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C & Herring, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

- Mauludy, M.S., Agung, Y., & Defri, Y. (2019). Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Pantai Wisata Kabupaten Badung, Bali. *Jurnal Perikanan UGM*, 21(2), 73-78. doi: 10.14710/ijocce.v4i2.14177.
- Mercogliano, R., Santonicola, S., Raimo, G., Gasperi, M., & Colavita, G. (2021). Extraction and identification of microplastics from mussels: Method development and preliminary results. *Italian Journal of Food Safety*, 10(1), 1-2. doi: 10.4081/ijfs.2021.9264
- Miloloza, M., Grgic, D.K., Bolanca, T., Ukić, S., Cvetnić, M., Bulatović, V.O., Dionysiou, D.D., & Kušić H. (2021). Ecotoxicological Assessment of Microplastics in Freshwater Sources—A Review. *Water*, 13(56), 1-25. doi: 10.3390/w13010056.
- Montoto, M. T., Hernández-Brito, J.J., & Gelado-Caballero, M.D. (2020). Pump-underway ship intake: An unexploited opportunity for Marine Strategy Framework Directive (MSFD) microplastic monitoring needs on coastal and oceanic waters. *PLoS ONE*, 15(5), 1-14. doi: 10.1371/journal.pone.0232744.
- Ng, K.L., Suk, K.F., Cheung, K.W., Shek, R.H.T., Chan, S.M.N., Tam, M.F.Y., Cheung, S.G., Fang, J.K.H., & Lo, H.S. (2022). Macroalgal morphology mediates microplastic accumulation on thallus and in sediments. *Science of the Total Environment*, 825, 1-7. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153987.
- Rahmawati, Susi., Irawan, A., & Indarto, H.S. (2017) Panduan Pemantauan Penilaian Kondisi Padang Lamun. Edisi 2. COREMAP CTI LIPI, Jakarta.
- Raintung, F.A., I Gede, H., & Widiastuti. (2021). Rasio Jumlah Mikroplastik dan Plankton di Kawasan Perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 4(2), 8-15. doi: 10.24843/JMRT.2021.v04.i02.p02.
- Rapp, J., Herrera, A., Martínez, I., Raymond, E., Santana, A., & Gomez, M. (2020). Study of plastic pollution and its potential sources on Gran Canaria Island beaches (Canary Islands, Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 153, 1-9. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.110967.
- Reinold, S., Saliu, F., Herrera, A., & Hernandez, G.C. (2021). Evidence of Microplastic Ingestion by Cultured European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). *Marine Pollution Bulletin*, 168, 1-10. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112450.
- Rifandi, R. A & Ratnasari, A. V. (2023). Abundance of Microplastics and Hazard to the Environment in Estuary Water in Pemalang, Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1211(1),1-5. doi: 10.1088/1755-1315/1211/1/012012.
- Rodrigues, D. D., Antunes, J. C., Otero, V., Sobral, P., & Costa, M.H. (2020). Distribution Patterns of Microplastics in Seawater Surface at a Portuguese Estuary and Marine Park. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 2-11. doi: 10.3389/fenvs.2020.582217
- Sfriso, A.A., Tomio, Y., Juhmani, A.S., Sfriso, A., Munari, C., & Mistri, M. (2021). Macrophytes: A Temporary Sink for Microplastics in Transitional Water Systems. *Water*, 13, p.3032. doi: 10.3390/w13213032
- Steer, M., Cole, M., Thompson, R.C., & Lindeque, P.K. (2017). Microplastic ingestion in fish larvae in the western English Channel. *Environmental Pollution*, 226, 250–259. doi: 10.1016/j.envpol.2017.03.062.
- Uurasjärvi, E., Hartikainen, S., Setälä, O., Lehtiniemi, M., & Koistinen, A. (2020). Microplastic concentrations, size distribution, and polymer types in the surface waters of a northern European lake. *Water Environment Research*, 92(1),149–156. doi: 10.1002/wer.1229.
- Veerasingam, S., Vethamony, P., Aboobacker, V.M., Giraldes, A. E., Dib, S., & Al-Khayat, J.A. (2021). Factors influencing the vertical distribution of microplastics in the beach sediments around the Ras Rakan Island, Qatar. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(26): 34259–34268. doi: 10.1007/s11356-020-12100-4.
- Wei, Y., Wengang, M., Qiang, X., Chunyang, S., Xinyuan, W., & Fei, G. (2022). Microplastic Distribution and Influence Factor Analysis of Seawater and Surface Sediments in a Typical Bay with Diverse Functional Areas: A Case Study in Xincun Lagoon, China. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1-11. doi: 10.3389/fenvs.2022.829942.
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74–86. doi: 10.1016/j.ecss.2017.09.032
- Zhang, T., Wang, J., Liu, D., Sun, Z., Tang, R., Ma, X., & Feng, Z. (2022). Loading of microplastics by two related macroalgae in a sea area where gold and green tides occur simultaneously. *The Science of the Total Environment*, 814, 1-8. doi: 10.1016/j.scitotenv .2021.152809.
- Zhou, Q., Zhang, H., Fu, C., Zhou, Y., Dai, Z., Li, Y., Tu, C., Luo, Y. (2018). The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Geoderma*, 322, 201–208. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.02.015.