



KONTAMINASI MIKROPLASTIK PADA EKOSISTEM LAMUN DI PULAU AMBON, MALUKU

JEAN CLAUDIA DE SOYSA



**PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Kontaminasi Mikroplastik pada Ekosistem Lamun di Pulau Ambon, Maluku” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Jean Claudia De Soysa
C5501231004

RINGKASAN

JEAN CLAUDIA DE SOYSA. Kontaminasi Mikroplastik pada Ekosistem Lamun di Pulau Ambon, Maluku. Dibimbing oleh NEVIATY PUTRI ZAMANI, NYOMAN METTA NYANAKUMARA NATIH dan MUHAMMAD REZA CORDOVA.

Pulau Ambon yang berada di Indonesia Timur memiliki dua teluk utama dengan karakteristik berbeda, yaitu Teluk Ambon Dalam dan Teluk Baguala. Teluk Ambon Dalam, khususnya pada lokasi Poka dengan kondisi teluk semi tertutup yang menerima tekanan antropogenik yang tinggi dari berbagai aktivitas masyarakat seperti pendidikan, transportasi laut, perikanan, pertanian, pembangunan infrastruktur pesisir hingga pembuangan limbah PLTU. Tekanan lingkungan di teluk ini juga diperkuat oleh masukan dari enam sungai besar yang bermuara di sini, sehingga tekanan antropogenik ke ekosistem lamun cenderung tinggi. Sebaliknya, Teluk Baguala di kawasan Suli bersifat semi terbuka dan terkoneksi dengan laut lepas. Aktivitas antropogenik di teluk ini berasal dari kegiatan perikanan dan pariwisata, serta beban masukan dari delapan sungai. Padang lamun yang ditemukan relatif luas dan sehat, serta padang lamun menjadi lokasi strategis pemanfaatan oleh masyarakat saat air laut surut untuk memperoleh biota ekonomis penting sebagai sumber protein. Perbedaan karakteristik dan aktivitas antropogenik pada kedua teluk ini menjadikan padang lamun berpotensi sebagai salah satu ekosistem pesisir yang dapat mengakumulasi polutan, khususnya mikroplastik.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi karakteristik sampah laut di pesisir Poka dan Suli Pulau Ambon, (2) mengidentifikasi karakteristik mikroplastik dari segi fisik (bentuk, ukuran dan warna) dan segi kimia (komposisi polimer plastik) yang ditemukan pada ekosistem lamun dan (3) menganalisis asosiasi antara kelimpahan sampah laut di pesisir dan kelimpahan mikroplastik pada kompartemen ekosistem lamun.

Pengambilan sampel dilakukan pada bulan September 2024 di wilayah pantai dan ekosistem lamun Poka dan Suli, Pulau Ambon, sementara analisis laboratorium berlangsung hingga November 2025. Pengamatan sampah laut dilakukan menggunakan metode transek garis dan sampah yang ditemukan dikelompokkan ke dalam tujuh kategori, data ini selanjutnya digunakan untuk menghitung *Clean Coast Index* (CCI), *Hazardous Item Index* (HII) dan *Beach Grade Index* (BGI). Pengambilan sampel mikroplastik dilakukan pada habitat bervegetasi dan tanpa vegetasi lamun meliputi kompartemen daun lamun, biota asosiasi, air laut dan sedimen. Secara keseluruhan penelitian ini menganalisis 141 sampel. Identifikasi visual mikroplastik dilakukan di Laboratorium Dinamika Laut Dalam BRIN Ambon, sedangkan identifikasi jenis polimer dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) di Pusat Riset Lingkungan BRIN Jakarta. Data selanjutnya dianalisis menggunakan uji Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, regresi linier sederhana dan korelasi Pearson.

Kepadatan sampah laut di Suli lebih tinggi dibandingkan Poka, sedangkan bobot total sampah relatif berbeda di kedua lokasi. Sampah plastik merupakan kategori dominan dengan proporsi lebih dari 60% dari total sampah laut pada kedua lokasi. Berdasarkan bobot, sampah di Poka didominasi oleh kayu olahan sedangkan

di Suli tetap didominasi oleh sampah plastik. Nilai CCI mengategorikan kedua lokasi dalam tingkat kebersihan sedang, sedangkan HII dan BGI masing-masing menunjukkan kelas II dan kategori D. Analisis polimer menunjukkan bahwa sampah plastik didominasi oleh PET, diikuti PVC, PP dan PE. Kelimpahan mikroplastik tertinggi ditemukan pada sampel air laut, diikuti sedimen, daun lamun dan bulu babi. Seluruh kompartemen didominasi oleh mikroplastik berbentuk fiber berwarna putih. Mikroplastik pada daun lamun, bulu babi dan sedimen didominasi oleh ukuran $< 300 \mu\text{m}$, sementara pada air laut didominasi oleh ukuran $> 1000 \mu\text{m}$. Analisis FTIR menunjukkan bahwa polimer dominan adalah EPPs (35,09%) dan EPDM (24.56%). Analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa asosiasi antara kepadatan sampah plastik di pesisir dan kelimpahan mikroplastik paling tinggi ditemukan pada sedimen, diikuti oleh air laut, sedangkan hubungan pada daun lamun dan bulu babi relatif lemah. Analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa parameter morfometri daun lamun dan bulu babi tidak berkorelasi signifikan dengan kelimpahan mikroplastik.

Temuan ini menjadi indikasi awal perlunya penerapan tata kelola sampah yang baik di kawasan pesisir. Selain itu, perlu upaya khusus dari pemerintah daerah untuk melakukan edukasi lingkungan sejak dini, hal ini dapat dilakukan dengan cara integrasi mata Pelajaran khusus bagi anak-anak pesisir mengenai bahaya plastik terhadap lingkungan laut. Penemuan mikroplastik pada ekosistem lamun menunjukkan urgensi untuk dilakukan pengujian toksisitas terhadap biota laut ekonomis penting lainnya yang dimanfaatkan masyarakat. Langkah ini diperlukan guna menjaga keamanan pangan masyarakat pesisir dalam jangka panjang.

Kata kunci: Daun lamun, mikroplastik, plastik, Pulau Ambon

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

JEAN CLAUDIA DE SOYSA. Microplastic Contamination in the Seagrass Ecosystem of Ambon Island, Maluku. Supervised by NEVIATY PUTRI ZAMANI, NYOMAN METTA NYANAKUMARA NATIH and MUHAMMAD REZA CORDOVA.

Ambon Island, located in eastern Indonesia, comprises two central bays with distinct environmental characteristics: Inner Ambon Bay (Teluk Ambon Dalam) and Baguala Bay (Teluk Baguala). Inner Ambon Bay, particularly the Poka area, represents a semi-enclosed system that experiences intense anthropogenic pressure from various human activities, including education, marine transportation, fisheries, agriculture, coastal infrastructure development, and waste discharge from a coal-fired power plant. Environmental stress in this bay is further exacerbated by inputs from six major rivers that discharge into the area, resulting in a high level of anthropogenic influence on the seagrass ecosystem. In contrast, Baguala Bay, located in the Suli region, is a semi-open system connected to the open sea. Anthropogenic activities in this bay primarily stem from fisheries and tourism, as well as inputs from eight rivers. The seagrass meadows in this area are relatively extensive and healthy, serving as strategic sites for local communities to collect economically critical marine organisms during low tide as a protein source. The contrasting hydrological features and human activities in these two bays underscore the potential role of seagrass meadows as coastal ecosystems that can accumulate pollutants, particularly microplastics.

This research aims to (1) identify the characteristics of marine debris on the shores of Poka and Suli, Ambon Island, (2) identify the characteristics of microplastics in terms of physical aspects (shape, size, and colour) and chemical aspects (plastic polymer composition) found in seagrass ecosystems, and (3) analyse the association between the abundance of marine debris on the shores and the abundance of microplastics in the compartments of the seagrass ecosystem.

Sampling was conducted in September 2024 in the coastal areas and seagrass ecosystems of Poka and Suli, Ambon Island, while laboratory analysis continued until November 2025. Marine debris observation was conducted using the line transect method, and the debris found was categorised into seven categories. This data was subsequently used to calculate the Clean Coast Index (CCI), Hazardous Item Index (HII), and Beach Grade Index (BGI). Microplastic sampling was conducted in seagrass habitats with and without vegetation, including seagrass leaf compartments, associated biota, seawater, and sediment. Overall, this study analysed 141 samples. Visual identification of microplastics was conducted at the Deep-Sea Dynamics Laboratory of BRIN Ambon, while polymer type identification was performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) at the BRIN Jakarta Environmental Research Center. The data were subsequently analysed using the Kruskal-Wallis's test, Mann-Whitney test, simple linear regression, and Pearson correlation.

The density of marine debris in Suli is higher compared to Poka, while the total weight of the debris is relatively different at both locations. Plastic waste is the dominant category, accounting for more than 60% of the total marine debris at both locations. Based on weight, the waste in Poka is dominated by processed wood,

while in Suli, it remains dominated by plastic waste. The CCI value categorises both locations as having a moderate level of cleanliness, while the HII and BGI indicate Class II and Category D, respectively. Polymer analysis shows that plastic waste is dominated by PET, followed by PVC, PP, and PE. The highest abundance of microplastics was found in seawater samples, followed by sediment, seagrass leaves, and sea urchins. All compartments were dominated by white fibers shaped microplastics. Microplastics in seagrass leaves, sea urchins, and sediments are dominated by sizes $< 300 \mu\text{m}$, while in seawater, they are dominated by sizes $> 1000 \mu\text{m}$. FTIR analysis shows that the dominant polymers are EPPs (35.09%) and EPDM (24.56%). Simple linear regression analysis shows that the association between plastic waste density on the coast and microplastic abundance is highest in sediments, followed by seawater, while the relationship with seagrass leaves and sea urchins is relatively weak. Pearson correlation analysis shows that the morphometric parameters of seagrass leaves, and sea urchins are not significantly correlated with microplastic abundance.

These findings provide preliminary evidence highlighting the need for improved waste management practices in coastal areas. Furthermore, local government initiatives are crucial in promoting early environmental education, which can be effectively implemented through the integration of specialized learning modules for coastal children that focus on the impacts of plastic pollution on marine environments. The detection of microplastic within seagrass ecosystems also underscores the urgency of conducting toxicity assessments on other economically critical marine organisms utilized by local communities. Such actions are necessary to ensure the long-term food safety and sustainability of coastal populations.

Keywords: *Seagrass leaves, microplastics, plastic pollution, Ambon Island*



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KONTAMINASI MIKROPLASTIK PADA EKOSISTEM LAMUN DI PULAU AMBON, MALUKU

JEAN CLAUDIA DE SOYSA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Magister pada
Program Studi Ilmu Kelautan

**PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
1. Dr. Adriani, S.Pi., M.Si
2. Dr. Rastina, S.T., MT



IPB University
— Bogor Indonesia —

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis

: Kontaminasi Mikroplastik pada Ekosistem Lamun di Pulau
Ambon, Maluku

Nama

: Jean Claudia De Soysa

NIM

: C5501231004

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh:

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Neviaty Putri Zamani, M. Sc

Pembimbing 2:

Dr. Ir. Nyoman Metta N Natih, M.Si

Pembimbing 3:

Prof. Muhammad Reza Cordova, M.Si., Ph.D

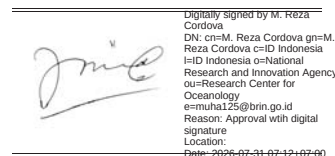
Diketahui oleh:

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Neviaty Putri Zamani, M. Sc
NIP 196410141988032001

Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:

Dr. Beginer Subhan, S.Pi., M. Si
NIP 198001182005011003



Tanggal Ujian: 08 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga tesis dengan judul “Kontaminasi Mikroplastik pada Ekosistem Lamun di Pulau Ambon, Maluku” dapat diselesaikan dengan baik.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing Prof. Dr. Ir. Neviaty Putri Zamani, M.Sc, Dr. Ir. Nyoman Metta Natih, M.Si, dan Prof. (Riset) Muhammad Reza Cordova, M.Si., Ph.D yang telah membimbing, memberikan saran dan arahan dalam penyelesaian tesis ini. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada (Alm) Papa, Mama, Usi Navia dan Adik Barak serta teman-teman yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya kepada penulis.

Semoga tesis ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Jean Claudia De Soysa



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
II KARAKTERISTIK SAMPAH LAUT DI PESISIR POKA DAN SULI, PULAU AMBON, MALUKU	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Tujuan Penelitian	6
2.3 Metode Penelitian	6
2.4 Hasil Penelitian	9
2.5 Pembahasan	13
2.6 Kesimpulan	16
III KONTAMINASI MIKROPLASTIK PADA DAUN LAMUN, BIOTA, AIR DAN SEDIMEN DI POKA DAN SULI	17
3.1 Pendahuluan	17
3.2 Tujuan Penelitian	18
3.3 Metode Penelitian	18
3.4 Hasil Penelitian	23
3.5 Pembahasan	29
3.6 Kesimpulan	34
IV HUBUNGAN ANTARA KELIMPAHAN SAMPAH LAUT DAN MIKROPLASTIK PADA EKOSISTEM LAMUN DI PULAU AMBON, MALUKU	35
4.1 Pendahuluan	35
4.2 Tujuan Penelitian	36
4.3 Metode Penelitian	36
4.4 Hasil Penelitian	37
4.5 Pembahasan	39
4.6 Kesimpulan	40
V PEMBAHASAN UMUM	41
VI KESIMPULAN DAN SARAN	45
6.1 Kesimpulan	45
6.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47

LAMPIRAN
RIWAYAT HIDUP

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





DAFTAR GAMBAR

1	Lokasi Penelitian dan Stasiun Sampah Laut di Pulau Ambon	8
2	Persentase Kategori Sampah di Poka dan Suli	10
3	Spektrum FTIR yang menunjukkan Polimer <i>Polyethylene terephthalate</i> (A), <i>Polyvinyl Chloride</i> (B) dan <i>Polyethylene</i> (C).	10
4	Peta Lokasi Penelitian Mikroplastik pada Ekosistem Lamun di Pulau Ambon	22
5	Persentase mikroplastik dari berbagai warna pada lokasi Poka (kiri) dan Suli (kanan) dalam ekosistem lamun di Pulau Ambon	24
6	Persentase mikroplastik dari berbagai ukuran pada lokasi Poka (kiri) dan Suli (kanan) dalam ekosistem lamun di Pulau Ambon	25
7	Persentase mikroplastik dari berbagai bentuk pada lokasi Poka (kiri) dan Suli (kanan) dalam ekosistem lamun di Pulau Ambon	25
8	Polimer Kimia pada Ekosistem Lamun dengan pendekatan <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	27
9	Contoh Identifikasi Polimer EPPs berdasarkan kecocokan spektrum FTIR dengan Pustaka referensi	32

DAFTAR TABEL

1	Kelompok Nilai CCI (Alkalay <i>et al.</i> 2007)	7
2	Kelompok Nilai HII (Rangel-Buitrago <i>et al.</i> 2019)	8
3	Indeks kualitas pantai di Suli dan Poka	10
4	Kelimpahan Kepadatan sampah laut di Poka dan Suli pada Musim Peralihan II	11
5	Kelimpahan Bobot sampah laut di Poka dan Suli pada Musim Peralihan II	11
6	Komposisi Polimer sampah laut dari Poka dan Suli pada Musim Peralihan II	12
7	Perbandingan Penelitian sampah laut dengan lokasi lainnya	15
8	Kelimpahan Mikroplastik pada setiap Kompartemen	23
9	Kelimpahan Mikroplastik berdasarkan habitat lamun	23
10	Komposisi Polimer di Ekosistem Lamun Pulau Ambon	28
11	Perbandingan komposisi polimer dengan lokasi lainnya	33
12	Hubungan antara kelimpahan sampah laut dan Mikroplastik pada Daun Lamun, Biota, Air dan Sedimen	37
13	Korelasi Pearson antara panjang, lebar daun lamun serta diameter cangkang bulu babi dengan kelimpahan mikroplastik	38

DAFTAR LAMPIRAN

1	Sampah laut di Suli dan Poka, Pulau Ambon	59
2	Ragam bentuk mikroplastik pada sampel dari ekosistem lamun	59
3	Sampel di Laboratorium	60

4 Grafik Regresi Linier Sederhana antara Sampah Plastik dan 60 Mikroplastik

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan aktivitas manusia di wilayah pesisir menyebabkan masukan berbagai jenis limbah di lingkungan laut, sehingga pencemaran pesisir dan laut menjadi salah satu tantangan lingkungan global yang terus mendapat perhatian. Salah satu bentuk pencemaran yang mendapat perhatian luas adalah masalah sampah laut (*marine debris*), yang dikenal sebagai material padat bersifat persisten, diproduksi atau diproses oleh manusia, selanjutnya dibuang, dilepaskan dan ditinggalkan di lingkungan laut dan pesisir (UNEP, 2009). Diantara berbagai jenis sampah laut, plastik ditemukan sebagai salah satu fraksi utama sampah laut.

Plastik merupakan material yang mudah ditemukan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat modern, dengan tingkat pemanfaatan yang luas pada berbagai produk, seperti kemasan makanan, botol, kantong belanja, peralatan elektronik, mainan anak-anak, peralatan medis, komponen otomotif, material konstruksi, tekstil, hingga kebutuhan rumah tangga. Pada mulanya dikembangkan sebagai alternatif pengganti berbagai bahan alami, seperti kayu, gading, dan karet, karena memiliki sifat yang lebih fleksibel, ringan, tahan lama, serta lebih efisien untuk berbagai kebutuhan industri (Oghabi & Khoshvatan, 2020; Cordova *et al.* 2021; Vieyra *et al.* 2022).

Produksi plastik yang terus mengalami peningkatan tidak sejalan dengan kemampuan teknologi daur ulang yang tersedia. Akibatnya, limbah plastik sekali pakai menjadi salah satu jenis sampah yang mudah dijumpai di lingkungan. Secara global, kemasan sekali pakai menyumbang sekitar 47% dari total konsumsi plastik, diikuti oleh sektor konstruksi dan otomotif. Dengan keberhasilan daur ulang plastik sekali pakai hanya mencapai 9%, sementara sekitar 50% limbah berakhir di tempat pembuangan akhir dan 22% dilepaskan langsung ke lingkungan (Geyer *et al.* 2017; Kalali *et al.* 2023).

Limbah plastik yang terbuang begitu saja ke lingkungan mengalami proses fragmentasi secara alami menjadi partikel berukuran lebih kecil akibat paparan sinar ultraviolet, fluktuasi suhu, proses oksidasi, degradasi material dan tekanan fisik. Partikel berukuran kecil ini dikenal sebagai mikroplastik, yang telah terdeteksi secara luas pada berbagai ekosistem global, seperti kawasan kutub, daratan, atmosfer hingga sedimen laut dalam (Purwiyanto *et al.* 2022a; Citterich *et al.* 2023; Manullang *et al.* 2024; Kholis *et al.* 2025). Mikroplastik memiliki ukuran kurang dari 5 mm (Lippiatt *et al.* 2013), sehingga sulit dideteksi secara visual.

Dalam kondisi tertentu, organisme laut tidak mampu membedakan mikroplastik dari sumber makanannya. Pada manusia, partikel ini dapat masuk ke dalam tubuh melalui beberapa jalur, seperti inhalasi udara yang terkontaminasi, konsumsi biota laut tercemar dan kontak dermal (Y. Li *et al.* 2023). Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik berdampak buruk terhadap biota laut, termaksud dapat menyebabkan kerusakan genetik, gangguan reproduksi dan penurunan fungsi sistem imun (Murano *et al.* 2020; Rios-Fuster *et al.* 2023). Selain itu, mikroplastik berperan sebagai vektor bagi *polutan organik persisten* (POPs), hidrokarbon aromatik polisiklik dan logam berat (Siwach *et al.* 2024; Huvet *et al.* 2025; Nair *et al.* 2025), yang pada akhirnya berimplikasi terhadap kesehatan manusia melalui rantai makanan.

pemahaman mengenai distribusi mikroplastik antar kompartemen dalam satu ekosistem lamun serta keterkaitannya dengan karakteristik sampah laut di kawasan pesisir masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji hubungan antar karakteristik sampah laut di pesisir dengan distribusi mikroplastik pada berbagai kompartemen ekosistem lamun, meliputi daun lamun, air laut, sedimen dan biota asosiasi masih sangat terbatas khususnya di wilayah Indonesia Timur.

Pulau Ambon terletak di kawasan Indonesia Timur, masuk dalam kategori pulau kecil dengan morfologi unik karena di dalamnya terdapat dua teluk dengan karakteristik oseanografi, ekologi dan antropogenik yang berbeda. Teluk Ambon Dalam, yang diwakili oleh wilayah Poka dengan karakteristik sebagai teluk semi-tertutup, mendapat tekanan antropogenik signifikan, tercermin lewat pembangunan infrastruktur, aktivitas Pendidikan, kegiatan budidaya, transportasi laut, hingga aktivitas komersial seperti pusat perbelanjaan. Sementara, Teluk Baguala dengan representasi wilayah Suli ditandai oleh karakteristik teluk terbuka dengan intensitas aktivitas masyarakat yang tinggi, terutama pada sektor pariwisata dan perikanan. Pada kedua wilayah ini ditemukan ekosistem lamun tumbuh dengan sehat, namun tingginya tekanan antropogenik menyebabkan tingkat penutupan lamun di Poka lebih rendah dibandingkan Suli.

Perbedaan karakteristik oseanografi dan tingkat aktivitas antropogenik antara Teluk Ambon Dalam (Poka) dan Teluk Baguala (Suli) memberikan dugaan awal bahwa pola distribusi mikroplastik pada kedua wilayah dapat berbeda. Perbedaan tersebut diperkirakan memengaruhi proses akumulasi dan distribusi mikroplastik pada berbagai kompartemen di ekosistem lamun, meskipun mekanisme hidrodinamikanya tidak dievaluasi secara langsung dalam penelitian ini. Dugaan tersebut menjadi salah satu dasar dalam mengevaluasi perbedaan distribusi mikroplastik pada daun lamun, sedimen, air laut dan biota asosiasi di kedua lokasi penelitian. Selain karakteristik lingkungan, kebiasaan masyarakat pesisir di kedua wilayah dalam memanfaatkan biota potensial dari ekosistem lamun menjadi salah satu pertimbangan penting dilakukannya penelitian ini, mengingat dalam beberapa tahun ke depan kondisi ini berpotensi memengaruhi keamanan pangan dan kesehatan masyarakat pesisir.

1.2 Rumusan Masalah

Pulau Ambon memiliki dua teluk utama, yaitu Teluk Ambon Dalam dan Teluk Baguala, dengan karakteristik pesisir dan tingkat aktivitas antropogenik yang berbeda. Teluk Ambon Dalam, yang diwakili oleh lokasi Poka, merupakan perairan semi tertutup dengan aktivitas antropogenik yang tinggi meliputi kegiatan Pendidikan, pelayaran, budidaya dan permukiman. Sebaliknya, Teluk Baguala yang diwakili oleh lokasi Suli didominasi oleh aktivitas pariwisata dan perikanan dengan tipe teluk semi terbuka. Perbedaan karakteristik tersebut juga tercermin pada kondisi ekosistem lamun, dimana tutupan lamun di Suli lebih tinggi dibandingkan di Poka.

Perbedaan karakteristik perairan, aktivitas antropogenik dan kondisi ekosistem lamun tersebut diduga memengaruhi distribusi sampah laut dan akumulasi mikroplastik. Ekosistem lamun diketahui mampu memerangkap mikroplastik melalui kanopi, epifit, akar, rimpang (*rhizome*) dan sedimen sehingga berpotensi menjadi lokasi akumulasi mikroplastik di wilayah pesisir.



Meskipun demikian, informasi mengenai kondisi sampah laut, karakteristik mikroplastik dan hubungan keduanya pada ekosistem lamun di Teluk Ambon Dalam dan Teluk Baguala masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kondisi sampah laut dan kontaminasi mikroplastik pada ekosistem lamun di kedua lokasi tersebut.

Berdasarkan pada uraian latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi sampah laut yang berada pada kawasan pesisir di Poka dan Suli Pulau Ambon?
2. Bagaimana status kontaminasi mikroplastik ditinjau dari karakteristik fisik (bentuk, ukuran dan warna) dan kimia (komposisi kimia) yang ditemukan pada ekosistem lamun?
3. Bagaimana hubungan awal antara sampah laut pada wilayah pesisir dengan mikroplastik pada padang lamun?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu:

1. Mengidentifikasi karakteristik sampah laut pada musim Peralihan II di pesisir Poka dan Suli Pulau Ambon.
2. Mengidentifikasi karakteristik mikroplastik dari segi fisik (bentuk, ukuran dan warna) dan segi kimia (komposisi polimer plastik) yang ditemukan pada ekosistem lamun.
3. Menganalisis asosiasi antara kelimpahan sampah laut di pesisir dan kelimpahan mikroplastik pada kompartemen ekosistem lamun.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat:

1. Sebagai data dasar untuk pemantauan mikroplastik dan identifikasi potensi resiko terhadap ekosistem lamun di Poka dan Suli, Pulau Ambon.
2. Sebagai data dasar bagi Pemerintah Provinsi Maluku dalam mendukung pengelolaan sampah pesisir, pemantauan ekosistem lamun dan penyusunan program edukasi bagi masyarakat pesisir.

II KARAKTERISTIK SAMPAH LAUT DI PESISIR POKA DAN SULI, PULAU AMBON, MALUKU

2.1 Pendahuluan

Sampah laut dikenal sebagai material padat yang bersifat persisten, diproduksi atau diproses oleh manusia, selanjutnya dibuang, dilepaskan atau ditinggalkan di lingkungan laut dan pesisir (UNEP, 2009). Keberadaan sampah laut telah menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang paling serius dan dihadapi oleh berbagai negara di dunia, persoalan ini juga dihadapi oleh Indonesia. Pemerintah Indonesia cukup serius dalam menangani persoalan ini, hal ini tertuang dalam Rencana Aksi Nasional (RAN) untuk pengurangan sampah plastik ke laut sebesar 70% sampai pada tahun 2025 (PP17, 2018). Hal ini dapat diwujudkan dengan usaha dari berbagai pihak seperti regulasi dari pemerintah pusat dan daerah, swasta, peneliti dan masyarakat. Namun, kondisi Indonesia yang masih menjadi negara berkembang, menjadikan pengelolaan sampah tidak efisien pada berbagai daerah lebih khusus daerah pesisir. Sampah laut pada daerah pesisir bersumber dari daratan dan lautan sebagai akibat dari aktivitas rumah tangga, industri dan perikanan (Li *et al.* 2016; Thushari & Senevirathna, 2020). Sampah laut dapat membahayakan kesehatan manusia lewat konsumsi biota laut yang telah terkontaminasi. Jaringan tiram yang diteliti dari Kepulauan Mergui di Myanmar mengandung 51% dari patogen bakteri yang merugikan kesehatan manusia, serta terkonfirmasi 1.225 partikel mikrodebris dengan 48% polimer dari jaringan tiram (Littman *et al.* 2020). Selain itu, sampah plastik dapat menyebabkan kematian hewan laut seperti ikan pari *Pristis pectinata*, Penyu, burung laut (Good *et al.* 2020; AlMusallami *et al.* 2024; Yakich *et al.* 2024), mengancam pariwisata dan mata pencaharian lokal (Suhardono *et al.* 2024) dan mengganggu ekosistem pesisir seperti lamun (Bonanno & Orlando-Bonaca, 2020).

Secara nasional, berdasarkan pada data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2025), sumber utama sampah di Indonesia didominasi oleh aktivitas rumah tangga (53,77%). Berdasarkan hasil tabulasi, sampah plastik secara nasional menempati urutan kedua setelah sampah sisa makanan dengan persentase sebesar 19,71%. Penelitian tentang sampah plastik di Teluk Ambon pertama kali dilaporkan pada tahun 1995 (Uneputti & Evans, 1997; Purba *et al.* 2019), dan dalam beberapa tahun terakhir kajian serupa kembali dilakukan pada beberapa daerah di Pulau Ambon diantaranya Teluk Ambon (Manullang, 2019; Noya & Tuahatu, 2021; Tuahatu, 2022), Pantai Utara Pulau Ambon (Manullang *et al.* 2023) dan Pantai Pintu Kota (Kubangun *et al.* 2024). dari ulasan penelitian sebelumnya, terlihat bahwa konsentrasi kajian hanya difokuskan pada salah satu teluk saja yaitu Teluk Ambon. Padahal, Teluk Baguala memiliki karakteristik yang lebih spesifik, khususnya di kawasan suli yang kaya akan sumber daya alam yaitu ekosistem tropis potensial seperti mangrove, terumbu karang dan padang lamun (Luhulima *et al.* 2020; Tuapattinaya *et al.* 2021). Selain itu, kawasan ini juga dikenal sebagai salah satu destinasi wisata unggulan di Maluku. Berbagai aktivitas tersebut berpotensi menjadi sumber masuknya polutan plastik ke lingkungan perairan.

Pulau Ambon adalah pulau kecil yang memiliki dua Teluk terkenal yaitu Teluk Ambon dan Teluk Baguala. Teluk Ambon terbagi atas dua bagian yaitu Teluk Ambon Luar dan Teluk Ambon Dalam. Karakteristik Teluk Ambon Dalam sangat

unik yaitu teluk semi tertutup serta terhubung dengan laut dalam melalui ambang yang dangkal. Daerah Teluk Ambon Dalam diwakili oleh Poka yang merupakan daerah padat penduduk dengan tingkat aktivitas masyarakat yang tinggi seperti pusat pendidikan, budidaya dan pembangunan infrastruktur. Dilain sisi, Teluk Baguala diwakili oleh Suli dengan karakteristik Teluk Terbuka, serta memiliki tingkat aktivitas masyarakat yang tinggi pada sektor pariwisata dan perikanan. Padatnya aktivitas masyarakat di wilayah pesisir akan berkontribusi pada peningkatan konsumsi sampah plastik. Perbedaan karakteristik geomorfologi teluk dan aktivitas antropogenik pada kedua wilayah tersebut diduga memengaruhi distribusi sampah laut. Namun, informasi mengenai karakteristik sampah laut masih terbatas serta terfokus pada satu teluk. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik sampah laut pada dua teluk dengan karakteristik yang berbeda di Pulau Ambon.

2.2 Tujuan Penelitian

Sasaran dari penelitian ini untuk mengidentifikasi karakteristik sampah laut di pesisir Poka dan Suli Pulau Ambon. Selain itu, data yang dikumpulkan dapat memberikan gambaran awal untuk menilai kemungkinan keterkaitan antara sampah laut di pesisir dan keberadaan mikroplastik pada ekosistem lamun.

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Pengumpulan sampel sampah laut di pesisir

Penelitian ini dilakukan di Pulau Ambon provinsi Maluku pada Bulan September 2024 di lokasi Poka dan Suli (Gambar 1). Pengambilan data sampah laut mengacu pada NOAA (Lippiatt *et al.* 2013), sampel dikumpulkan pada awal bulan sebanyak satu kali dari setiap lokasi penelitian. Garis transek dipasang pada daerah yang tidak tergenang air laut saat pasang maksimum, dengan panjang 150 m dan lebar 8 m, sehingga total area pengamatan mencapai 1.200 m². Area ini selanjutnya dibagi menjadi tiga kuadrat, masing-masing seluas 400 m² guna memudahkan dalam pengamatan dan pencatatan data. Lokasi transek dipilih pada area yang berdekatan dengan ekosistem pesisir yaitu padang lamun. Komponen sampah yang ditemukan dalam kuadrat pengamatan dikumpulkan untuk dipilah sesuai dengan kategori yang telah ditentukan. Sampah dikategorikan dengan sedikit modifikasi dari (Lippiatt *et al.* 2013; Cordova *et al.* 2022) yaitu sampah plastik, kayu olahan, karet, kain, logam, kaca dan lain-lain.

Sampah yang telah dikumpulkan dari lapangan selanjutnya dibersihkan dari kotoran yang menempel dan dibiarkan hingga benar-benar kering. Sampah disortir berdasarkan kategori selanjutnya dihitung jumlah dan ditimbang berat dengan menggunakan timbangan digital (Harnic Heles HL – 4350) dengan kapasitas maksimum 5000 g dan akurasi 0.1 g. Hal ini dilakukan di Pusat Riset Laut Dalam Ambon – Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) pada Laboratorium Dinamika Laut Dalam. Dari setiap kuadrat pengamatan diambil 8 - 10 sampel plastik untuk dilakukan uji polimer kimia penyusun plastik, dengan jumlah 55 sampel.

2.3.2 Kepadatan sampah dan indeks kualitas pantai

Data sampah yang telah dikumpulkan dan disortir berdasarkan kategori, data tersebut selanjutnya digunakan untuk menganalisis kepadatan sampah pada lokasi penelitian dengan menggunakan rumus berikut:

$$D = \frac{n}{\omega \times l}$$

Keterangan: D = kepadatan sampah laut; n = jumlah atau bobot sampah laut yang teramati; ω = lebar garis transek (m); l = panjang garis transek (m).

Indeks kualitas Pantai dianalisis dengan pendekatan dari nilai indeks kebersihan pantai (CCI), indeks barang berbahaya (HII) dan indeks kualitas Pantai (BGI) dengan berpedoman pada (Alkalay *et al.* 2007; Rangel-Buitrago *et al.* 2019a; 2019b; Cordova *et al.* 2022). Nilai CCI merupakan akumulasi dari semua jenis sampah laut per meter persegi, yang ditemukan pada lokasi penelitian. Konstanta k ditetapkan sebesar 20 untuk menghindari hasil perhitungan berada dalam kisaran 0-1. Nilai yang diperoleh dikelompokkan menjadi lima kategori (Tabel 1) serta perhitungan matematis menggunakan rumus dibawah ini:

$$CCI = \frac{\sum MD \text{ items}}{Area (m^2)} \times 20$$

Keterangan: CCI = Clean Coast Index; $\sum MD$ = jumlah total items *marine debris*; A = luas area pengamatan (m^2); 20 = konstanta indeks

Tabel 1 Kelompok Nilai CCI (Alkalay *et al.* 2007)

Nilai CCI	Kategori CCI	Deskripsi
0-2	Sangat bersih	Tidak ada sampah yang terlihat
2-5	Bersih	Tidak ada sampah terlihat pada area yang luas
5-10	Sedang	Beberapa sampah dapat terdeteksi
10-20	Kotor	Banyak sampah di pantai
>20	Sangat kotor	Sebagian besar pantai ditutupi dengan sampah

Nilai HII merepresentasikan jumlah benda berbahaya per meter persegi dengan pertimbangan hubungan logaritmik terhadap total benda yang ditemukan dalam area penelitian. Sampah berbahaya dikategorikan dalam jenis material beracun (puntung rokok dan limbah sanitasi) dan benda tajam (logam, kaca dan kayu). Berdasarkan pada kuantitas dari material berbahaya tersebut maka dikelompokkan berdasarkan lima tingkat yaitu (I-V) (Tabel 2).

$$HII = \frac{\frac{\sum Hazardous MD \text{ items}}{\log_{10} \sum total MD \text{ items}}}{Area (m^2)} \times 20$$

Keterangan: HII = Hazardous Items Index; $\sum HMD$ = jumlah item *hazardous marine debris*; $\sum MD$ = jumlah total item *marine debris* A = luas area pengamatan (m^2); $\log_{10}$ = logaritma basis 10; 20 = konstanta indeks



Nilai BGI didapatkan dengan kompilasi semua data sampah yang diperoleh pada area penelitian, pendekatan nilai ini mengkategorikan pantai pada empat grade yaitu (A hingga D) (Somerville *et al.* 2003; Cordova *et al.* 2022).

Tabel 2 Kelompok Nilai HII (Rangel-Buitrago *et al.* 2019)

Nilai HII	Kelas HII	Deskripsi
0	I	Tidak ada sampah berbahaya
0.1–1	II	Ada sampah berbahaya dalam area yang luas
1.1–4	III	Sejumlah besar sampah berbahaya ditemukan
4.1–8	IV	Banyak sampah berbahaya yang dapat diamati
>8	V	Sebagian besar area ditutupi sampah berbahaya

2.3.3 Analisis polimer plastik

Proses menguji polimer plastik dilakukan dengan pendekatan *Fourier transform infrared* (FTIR) dibantu oleh instrument Agilent Cary 630 FTIR dengan analisis data menggunakan perangkat lunak Microlab 1.0. Spektroskopi FTIR dilakukan pendekatan resolusi 4 cm^{-1} dengan rata-rata hasil dari 32 pemindaian panjang spektrum 650 hingga 3000 cm^{-1} (Cordova *et al.* 2022).

2.3.4 Analisis statistik

Data yang diperoleh dianalisis secara statistika dengan menggunakan Microsoft Excel dan PAST (*Paleontological Statistics*) versi 5.1 (Brinkgreve & Kumarswamy, 2008). Data disajikan dalam bentuk nilai rata-rata dan standar deviasi. Uji Kruskal-Wallis dan uji Mann-Whitney Pairwise dilakukan untuk melihat perbedaan signifikan antara kategori dari setiap sampah, kepadatan dan bobot sampah pada kedua lokasi penelitian. Hasil uji dinyatakan dalam nilai signifikan secara statistik dengan nilai ($p < 0,05$).



Gambar 1 Lokasi penelitian dan stasiun sampah laut di Pulau Ambon

2.4 Hasil Penelitian

2.4.1 Kelimpahan dan bobot sampah laut pada Poka dan Suli pulau Ambon

Pulau Ambon khususnya pada lokasi penelitian Poka dan Suli mempunyai total kepadatan dan bobot sampah sebesar $0,25 \pm 0,03$ item/m² dan $6,20 \pm 2,17$ g/m², untuk lokasi suli sebesar $0,45 \pm 0,28$ item/m² dan $4,72 \pm 2,69$ g/m². Secara statistik dilakukan uji Kruskal-Wallis antara kepadatan total dan bobot total sampah pada kedua lokasi penelitian tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan nilai ($p = 0,51$ dan $p = 0,82$).

Sampah laut yang ditemukan pada lokasi penelitian dikelompokkan atas tujuh kategori dengan Persentase tertinggi yaitu plastik sebesar $> 60\%$ dan terendah $< 1\%$ kategori karet (Gambar 2 Kiri). Kepadatan sampah pada lokasi Poka berturut-turut dari tertinggi ke terendah yaitu plastik $0,16 \pm 0,02$ item/m², Kayu olahan $0,03 \pm 0,01$ item/m², kaca $0,03 \pm 0,03$ item/m², lain-lain $0,02 \pm 0,01$ item/m² (Tabel 4). Uji Kruskal-Wallis tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kategori kepadatan jenis sampah di Poka dan Suli ($p = 0,11$ dan $p = 0,06$). Lokasi Suli kepadatan plastik $0,37 \pm 0,22$ item/m², lain – lain $0,05 \pm 0,04$ item/m², kain $0,02 \pm 0,01$ item/m², logam dan kaca $0,01 \pm 0,01$ item/m² (Tabel 4).

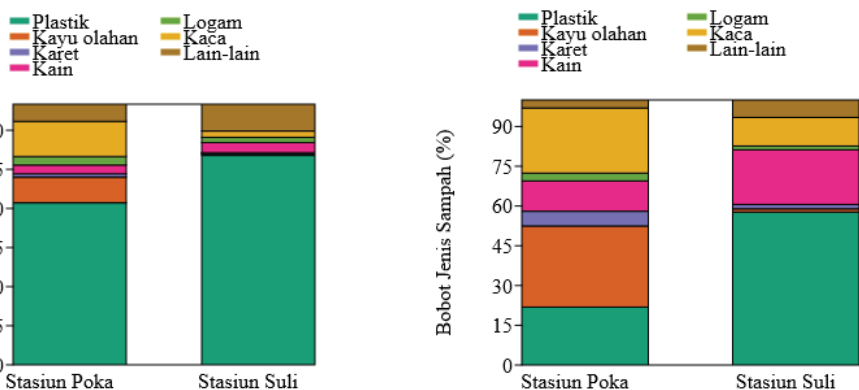
Bobot sampah pada lokasi poka dengan Persentase tertinggi dimiliki oleh kayu olahan sebesar $30,60\%$ dan terendah logam sebesar $2,95\%$ (Gambar 2 Kanan). Kepadatan Bobot pada masing-masing kategori di Poka dari tertinggi ke terendah yaitu kayu olahan $1,90 \pm 1,73$ g/m², plastik $1,36 \pm 0,58$ g/m², kain $0,71 \pm 0,31$ g/m², kaca $0,57 \pm 0,83$ g/m², karet $0,34 \pm 0,30$ g/m², lain-lain $0,19 \pm 0,16$ g/m² dan logam $0,18 \pm 0,16$ g/m² (Tabel 5). Uji Kruskal-Wallis tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara bobot kategori sampah pada lokasi Poka dan Suli ($p = 0,07$ dan $p = 0,05$). Suli Persentase bobot tertinggi yaitu plastik $57,72\%$ (Gambar 2 Kanan) dengan bobot $2,73 \pm 2,04$ g/m² (Tabel 5) dan terendah yaitu kayu olahan $1,2\%$ dengan bobot $0,06 \pm 0,06$ g/m².

2.4.2 Kelimpahan Polimer Plastik pada Poka dan Suli Pulau Ambon

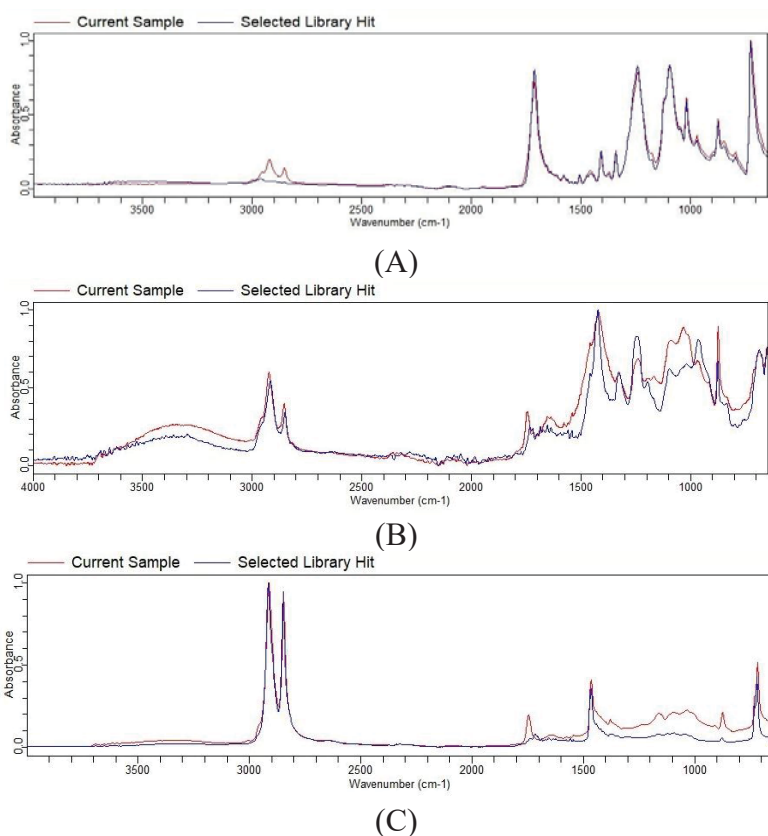
Komposisi polimer yang ditemukan pada lokasi penelitian yaitu 11 jenis polimer sintetik penyusun plastik (Tabel 6). Persentase tertinggi ke terendah polimer kimia dominan ditemukan *Polyethylene terephthalate* ($23,64\%$), *Polyvinyl Chloride* dan *Polypropylene* ($14,55\%$), *Polyethylene* ($12,73\%$), Ethylene propylene dan Low density *Polyethylene* ($9,09\%$), Polyamide ($7,27\%$), Natural latex rubber ($3,64\%$), Hydrogenated nitrile butadiene rubber, Polystyrene dan Polyester fiber ($1,82\%$). Dengan spektrum bilangan gelombang untuk tiga kategori polimer dominan yaitu *Polyethylene terephthalate* 715 cm^{-1} , 1240 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} , dan 1700 cm^{-1} , *Polyethylene* 1463 cm^{-1} , 1472 cm^{-1} , 2915 cm^{-1} , dan 2849 cm^{-1} dan *Polyvinyl Chloride* 2900 cm^{-1} , 2856 cm^{-1} dan 610 cm^{-1} (Gambar 3).

2.4.3 Indeks Kualitas Pantai Poka dan Suli Pulau Ambon

Berdasarkan hasil perhitungan, indeks kualitas pantai ditinjau dari nilai Clean Coast Index (CCI), Hazardous Item Index (HII) dan Beach Grade Index (BGI) pada lokasi Poka nilai CCI masuk kategori pantai bersih ($5,06$) dan Suli kategori sedang ($9,06$), nilai HII masuk kategori kelas II (Poka $0,54$ dan $0,15$) dan Nilai BGI Kategori D (Poka $0,25$ dan Suli $0,45$) (Tabel 3).



Gambar 2 Persentase Kategori Sampah di Poka dan Suli



Gambar 3 Spektrum FTIR yang menunjukan Polimer *Polyethylene terephthalate* (A), *Polyvinyl Chloride* (B) dan *Polyethylene* (C).

Tabel 3 Indeks kualitas pantai di Poka dan Suli

Lokasi	Indeks kualitas pantai		
	CCI	HII	BGI
Poka	Sedang (5.06)	Kelas II (0.54)	D (0.25)
Suli	Sedang (9.06)	Kelas II (0.15)	D (0.45)

Tabel 4 Kelimpahan Kepadatan Sampah Laut di Poka dan Suli pada Musim Peralihan II

Nilai Statistik	Plastik		Kayu olahan		Karet		Kain		Logam		Kaca		Lain-lain	
	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli
Kuadrat1	0,18	0,59	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,08
Kuadrat2	0,14	0,37	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,01	0,06
Kuadrat3	0,16	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07	0,01	0,03	0,01
Rata-rata	0,16	0,37	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,05
Simpangan baku	0,02	0,22	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,04

Tabel 5 Kelimpahan Bobot Sampah Laut di Poka dan Suli pada Musim Peralihan II

Nilai Statistik	Plastik		Kayu olahan		Karet		Kain		Logam		Kaca		Lain-lain	
	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli	Poka	Suli
Kuadrat1	1,96	4,88	3,60	0,00	0,53	0,24	0,80	1,94	0,23	0,12	0,18	0,33	0,15	0,25
Kuadrat2	0,80	2,47	0,14	0,05	0,51	0,00	0,37	0,27	0,31	0,01	1,52	0,35	0,06	0,68
Kuadrat3	1,31	0,83	1,95	0,12	0,00	0,00	0,97	0,72	0,01	0,08	0,00	0,84	0,36	0,01
Rata-rata	1,36	2,73	1,90	0,06	0,34	0,06	0,71	0,97	0,18	0,07	0,57	0,51	0,19	0,31
Simpangan baku	0,58	2,04	1,73	0,06	0,30	0,14	0,31	0,86	0,16	0,06	0,83	0,29	0,16	0,34

Tabel 6 Komposisi Polimer Sampah Laut dari Poka dan Suli pada Musim Peralihan II

Komposisi polimer	Poka			Suli			Total	%
	PSL1	PSL2	PSL3	SSL1	SSL2	SSL3		
<i>Polyethylene</i>	3		2	1	1		7	12,73
<i>Polyethylene terephthalate</i>	3	2	2	2		4	13	23,64
<i>Ethylene propylene</i>	3	1			1		5	9,09
<i>Polyvinyl chloride</i>	1	1	1	2	2	1	8	14,55
<i>Low density Polyethylene</i>		2		1	1	1	5	9,09
<i>Hydrogenated nitrile butadiene rubber</i>		1					1	1,82
<i>Polystyrene</i>			1				1	1,82
<i>Polypropylene</i>			2	1	2	3	8	14,55
<i>Polyamide</i>				2	1	1	4	7,27
<i>Polyester fiber</i>						1	1	1,82
<i>Natural latex rubber</i>					2		2	3,64
Total	10	7	8	9	10	11	55	100
%	18,18	12,73	14,55	16,36	18,18	20	100	

Keterangan: PSL1 = Poka sampah laut kuadrat 1; PSL2 = Poka sampah laut kuadrat 2; PSL3; Poka sampah laut kuadrat 3; SSL1 = Suli sampah laut kuadrat 1; SSL2 = Suli sampah laut kuadrat 2; SSL3 = Suli sampah laut kuadrat 3.

2.5 Pembahasan

Sampah laut yang ditemukan mendominasi pantai Poka dan Suli dari jenis plastik dengan Persentase lebih besar dari 60%, hal ini sesuai dengan dugaan awal mengenai tingginya aktivitas antropogenik dapat turut berkontribusi pada akumulasi sampah di daerah pesisir pantai. Sampah plastik ditemukan dalam persentase yang tinggi, disebabkan sampah jenis ini membutuhkan waktu yang lama untuk dapat terdegradasi dilingkungan. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan Key *et al.* (2024) pada botol plastik dengan polimer *polyethylene terephthalate* relatif stabil hingga 15 tahun di dasar laut sebelum akhirnya terlihat perubahan pada gugus fungsi asli dan membentuk gugus fungsi baru. Kecepatan degradasi suatu polimer juga ditentukan oleh pigmen pewarna yang terkandung dalam plastik tersebut, hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ioakeimidis *et al.* (2016) pigmen warna hitam, putih dan perak dapat menyerap dan memantulkan radiasi ultraviolet sehingga memperlambat degradasi, sementara warna merah, hijau dan biru memberikan perlindungan yang lebih rendah terhadap ultraviolet sehingga degradasi menjadi mikroplastik berlangsung lebih cepat. Analisis berdasarkan karakteristik warna sampah plastik yang ditemukan di lokasi penelitian menunjukkan bahwa distribusi warna dominan dari plastik berwarna putih, khususnya yang berasal dari botol dan kemasan makanan (Lampiran 1).

Kepadatan sampah pada kedua lokasi menunjukkan distribusi yang berbeda, pada pantai Poka lebih banyak ditemukan kayu olahan sebesar 30,60% dan Suli jenis plastik 57,72%. Dari hasil ini diduga bahwa pembangunan infrastruktur pesisir dan bangunan yang terjadi di Poka lebih tinggi dari di Suli. Selain itu, kondisi teluk diduga mempengaruhi hal ini, pada pesisir Poka dengan keadaan teluk semi tertutup menyebabkan sirkulasi air berjalan lebih lambat serta intensitas energi gelombang pada lokasi ini lebih rendah. Pola sirkulasi massa air di Poka dibantu oleh arus pasang surut, yang mana pada saat air pasang terjadi pergerakan massa air dari Teluk Ambon Luar bergerak menuju Teluk Ambon Dalam dan begitu sebaliknya (Salamena *et al.* 2021). Dilain sisi, kondisi oseanografi perairan akan mempengaruhi pergerakan sampah jenis ini. Poka berada pada daerah Teluk Ambon dalam yang mempunyai kemampuan *flushing time* selama 14 hari (Pello *et al.* 2014; Salamena *et al.* 2021; Salamena *et al.* 2023). Hal ini diduga menjadi faktor penentu sampah dapat tinggal serta digerakan oleh arus menjauh dari pantai. Bobot kayu olahan yang jauh lebih berat dibandingkan sampah jenis lain, sehingga dibutuhkan energi gelombang dan arus yang besar untuk dapat menggerakan sampah jenis ini menjauh dari pantai.

Hal berbeda terjadi pada pantai di Suli dimana ditemukan kepadatan bobot plastik tetap tertinggi. Pertama, posisi Suli berada pada teluk terbuka serta terhubung ke laut dan arus utama. Kondisi ini, mendukung lokasi penelitian untuk dapat terkoneksi dengan energi gelombang yang besar, sehingga berpotensi sebagai lokasi untuk menampung sampah yang terbawah dari berbagai lokasi. Selain itu, Pantai suli yang merupakan daerah pariwisata turut berkontribusi dalam akumulasi sampah plastik di wilayah pesisir. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilaporkan oleh Guittard *et al.* (2023) yang menemukan bahwa sampah dari aktivitas pariwisata di pulau kecil turut berkontribusi terhadap akumulasi sampah plastik sekali pakai di wilayah pesisir.

Berdasarkan tinjauan dari beberapa penelitian terdahulu, sebagian besar menemukan bahwa komponen utama dari sampah laut yang ditemukan pada daerah pesisir adalah dari jenis sampah plastik (Tabel 7). Selain itu, 7 dari 10 penelitian terdahulu melaporkan bahwa kontribusi terbesar sampah plastik pada daerah pesisir bersumber dari kegiatan antropogenik (Loulad *et al.* 2019; Nachite *et al.* 2019; Pieper *et al.* 2019; Hoare *et al.* 2022; Cordova *et al.* 2022; Rahman *et al.* 2024; Suteja *et al.* 2025) diikuti oleh kegiatan pariwisata (Asensio-Montesinos *et al.* 2019; de Melo Nobre *et al.* 2021) dan terakhir adalah kegiatan perikanan (Kaviarasan *et al.* 2020). Nilai kelimpahan dan kepadatan sampah yang ditemukan pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian oleh (Cordova *et al.* 2022; Rahman *et al.* 2024; Suteja *et al.* 2025) yang dilakukan pada beberapa pantai di Indonesia. Perbedaan tersebut diduga berkaitan dengan perbedaan karakteristik lokasi penelitian maupun pendekatan metodologis. Penelitian ini dilakukan di Pulau Ambon yang memiliki karakteristik wilayah dan kepadatan penduduk yang berbeda dibandingkan dengan lokasi penelitian lain. Selain itu, pengambilan sampel hanya dilakukan pada satu musim dengan cakupan area sampling yang relatif kecil dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu (Tabel 7).

Komposisi polimer tertinggi yaitu dari jenis PET, PE dan PVC. Kelimpahan tertinggi jenis *Polyethylene terephthalate* (PET) bersumber dari botol plastik, kemasan plastik, wadah mika dan kemasan sachet, PE bersumber dari kantong atau film plastik dan PVC bersumber dari pipa atau material konstruksi (Lampiran 1). Ketiga polimer diatas diuji dengan FTIR memperlihatkan puncak serapan bilangan yang tinggi pada daerah bilangan gelombang tertentu, yang menunjukkan karaktersitik khas dari masing-masing polimer. Hasil ini menguatkan bahwa sumber utama sampah yang berada di kawasan pesisir berasal dari kegiatan antropogenik dan pariwisata. Hal ini sejalan dengan review yang dilakukan oleh Vriend *et al.* (2021) yang menemukan bahwa di Indonesia polimer yang sering ditemukan dalam pencemaran makro dan mikroplastik yaitu Polipropilena (PP) dan Polietilena (PE, HDPE, LDPE). Akan tetapi, penelitian di Pulau Jawa menemukan bahwa polimer dominan yang ditemukan pada sampel sedimen di Mangrove Muara Angke dan sampel air laut dari Surabaya yaitu jenis Polystrene, *Polypropylene* dan *Polyethylene* (Cordova *et al.* 2019; Cordova *et al.* 2021), yang bersumber dari sampah plastik kemasan makanan seperti styrofoam, botol plastik dan peralatan perikanan. Variasi jenis polimer yang teridentifikasi kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan preferensi penggunaan material kemasan makanan pada tiap wilayah. Di Ambon, pelaku Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM) lebih memilih menggunakan mika plastik sebagai tempat pengemasan, sedangkan di Pulau Jawa penggunaan Styrofoam lebih banyak dijumpai.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 7 Perbandingan Penelitian Sampah Laut dengan lokasi lainnya

Daerah Observasi	Negara	Karakteristik Perairan	Kelimpahan (item/m ²)	Kepadatan (g/m ²)	Dominan sampah laut	Referensi
Pantai Poka, Ambon	Indonesia	Teluk semi tertutup	0,11 ± 0,16	2,25 ± 1,94	Plastik (61%)	Studi ini
Pantai Suli, Ambon	Indonesia	Teluk terbuka	0,19 ± 0,4	2,02 ± 2,89	Plastik (72%)	Studi ini
Pantai Selatan Sergipe	Brasil	Laut terbuka	0,1 dan 9,2	-	Plastik (>70%)	(de Melo Nobre <i>et al.</i> 2021)
Pantai Maroko	Afrika Utara	Laut Terbuka	0,054 ± 0,036	-	Plastik (68,7%)	(Nachite <i>et al.</i> 2019)
Pantai	Indonesia	-	2,69 ± 1,31	166,09 ± 75,55	Plastik (46,38%)	(Cordova, <i>et al.</i> 2022)
Pantai Kadmat, Suheli Par, dan Minicoy di Lakshadweep	India	Laut terbuka	193 ± 97, 154 ± 31 dan 63 ± 49	-	Plastik (87%)	(Kaviarasan <i>et al.</i> 2020)
Dasar laut Maroko	Afrika Utara	Laut terbuka	-	26 ± 68 hingga 80 ± 133	Plastik (73%)	(Loulad <i>et al.</i> 2019)
Pantai	Spanyol	Laut Terbuka	Desa (0,046), Perkotaan (0,054) dan Alami (0,085)	-	Plastik (82,6%)	(Asensio-Montesinos <i>et al.</i> 2019)
Pantai Pulau Chagos	British Indian Ocean Territory (BIOT)	Daerah pesisir dan laut terbuka	Pesisir (3328 fragmen/100 m ²) dan pantai terbuka (106 fragmen/100 m ²)	-	Plastik (>60%)	(Hoare <i>et al.</i> 2022)
Pantai kepulaun Azores	Portugas	Laut terbuka	116,649	-	Plastik (95,35%)	(Pieper <i>et al.</i> 2019)
Pantai Padang	Padang, Indonesia	Laut terbuka	3,37 ± 2,52	80,81 ± 99,82	Plastik/rubber (66,88%)	(Suteja <i>et al.</i> 2025)
Pantai dan Mangrove	Pulau Rambut, Indonesia	Laut terbuka-semi terlindung	1,82 ± 0,76	34,81 ± 10,34	Styrofoam dan 63%)	(37 (Rahman <i>et al.</i> 2024)

Nilai indeks kualitas pantai dapat digunakan untuk penilaian awal tentang kebersihan pantai dan dampak ekologi pada ekosistem pesisir. Berdasarkan pada hasil penelitian diperoleh nilai CCI pada pantai Poka dan Suli berada dalam kategori sedang, tingkat kebersihan pantai sebagai patokan dalam menarik jumlah pengunjung untuk dapat datang berekreasi. Pantai Suli yang merupakan salah satu destinasi wisata, secara berkala akan dibersihkan oleh masyarakat setempat ketika terjadi akumulasi sampah dalam jumlah yang besar di pesisir baik yang berasal dari kegiatan rekreasi, antropogenik dan perikanan. Hal ini sejalan dengan penelitian Suteja *et al.* (2025) yang menemukan bahwa tingkat kepuasan wisatawan dipengaruhi oleh kebersihan pantai, wisatawan lebih tertarik untuk memilih pantai dengan kategori bersih. Berdasarkan hasil perhitungan indeks sampah berbahaya (HII), kondisi lingkungan pada pantai Poka dan Suli masih tergolong aman untuk dikunjungi oleh wisatawan lokal maupun mancanegara. Sumber utama bahan berbahaya di lokasi penelitian berasal dari aktivitas antropogenik masyarakat sekitar. Nilai BGI dalam penelitian ini berada pada kelas D sejalan dengan temuan Cordova *et al.* (2022) pada beberapa pantai di Indonesia.

Data yang terkumpul dalam penelitian ini berasal dari satu musim yaitu Musim Peralihan II dan belum dapat menggambarkan variasi tahunan. Temuan ini dapat dijadikan indikasi awal dalam menilai kondisi ekosistem pesisir terhadap paparan sampah plastik, sehingga kedepannya dapat ditentukan upaya yang signifikan dari pemerintah untuk pengelolaan sampah yang lebih efektif. Upaya ini dapat diwujudkan melalui integrasi mata pelajaran berbasis kearifan lokal pada setiap jenjang pendidikan yang membahas secara khusus tentang dampak negatif sampah plastik bagi lingkungan dan kehidupan biota dilaut. Dengan demikian, sejak usia dini masyarakat telah dibekali pemahaman dan kepedulian yang memadai terhadap permasalahan ini. Hasil pengujian terhadap polimer plastik dengan ditemukannya kehadiran PET, PE dan PVC yang dominan menjadi indikasi kedua tentang keberadaan partikel mikroplastik, sehingga monitoring lanjutan terhadap biota yang dikonsumsi masyarakat perlu untuk dilakukan guna menilai resiko transfer polutan jenis ini di Pulau Ambon. Fakta ini diperkuat oleh kondisi lapangan saat pengambilan data yang bertepatan dengan musim kemarau, yang dicirikan oleh kondisi intensitas paparan sinar matahari yang relatif tinggi. Faktor ini turut berpotensi mempercepat proses degradasi plastik menjadi mikroplastik melalui proses fotodegradasi (Jansen *et al.* 2024).

2.6 Kesimpulan

Penelitian ini menemukan bahwa komposisi sampah laut pada daerah pesisir di Poka dan Suli Pulau Ambon didominasi oleh plastik dengan Persentase lebih dari 60% pada kedua lokasi, sedangkan berdasarkan bobot, Poka didominasi oleh kayu olahan dan Suli oleh Plastik. Polimer dominan yang ditemukan yaitu dari jenis PET yang bersumber dari botol plastik. Berdasarkan pada penilaian indeks kualitas pantai, kondisi pantai pada kedua lokasi berada dalam kategori “sedang” berdasarkan nilai CCI, kelas II berdasarkan nilai HII, dan kelas D berdasarkan nilai BGI.

III KONTAMINASI MIKROPLASTIK PADA DAUN LAMUN, BIOTA, AIR DAN SEDIMEN DI POKA DAN SULI

3.1 Pendahuluan

Mikroplastik adalah pecahan plastik besar menjadi ukuran < 5 mm (Lippiatt *et al.* 2013; Qi *et al.* 2020), kini dikategorikan sebagai *emerging pollutant* yang tersebar secara luas pada berbagai kompartemen lingkungan. Keberadaannya telah terdeteksi tidak hanya pada wilayah dengan aktivitas antropogenik tinggi, tetapi juga di kawasan terpencil yang hampir tidak memiliki aktivitas manusia. Temuan terbaru bahkan melaporkan akumulasi mikroplastik pada system air tawar di wilayah kutub, sedimen laut dalam dan pada organ vital dalam tubuh manusia (Citterich *et al.* 2023; Barceló *et al.* 2023; Kholis *et al.* 2025). Hal ini menegaskan sifat mikroplastik yang dapat ditemui dimana-mana (ubiquitous), sekaligus potensi dampak bahaya pada kesehatan manusia dan ekosistem. Dalam konteks ekosistem tropis, padang lamun memiliki kerentanan yang tinggi terhadap polutan ini, mengingat posisinya yang berada di wilayah pesisir dengan tekanan antropogenik intens setiap waktu.

Penelitian terbaru di Bintan, Indonesia, melaporkan bahwa paparan mikroplastik terhadap benih lamun *Enhalus acoroides* berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman (Nugraha *et al.* 2025). Selain itu, dengan sistem perakaran lamun yang kompleks berperan penting dalam mengikat mikroplastik pada sedimen, sehingga partikel tersebut sulit untuk terlepas kembali ke kolom air (Jones *et al.* 2020). Akumulasi mikroplastik juga telah dilaporkan pada permukaan daun lamun, yang menjadi indikasi bahwa potensi kontaminasi dapat terjadi pada semua bagian tanaman ini (Datu *et al.* 2019; Jones *et al.* 2020; Huang *et al.* 2020; Wright *et al.* 2023; Celmar *et al.* 2024). Temuan-temuan ini menegaskan bahwa apabila kontaminasi mikroplastik telah terjadi pada semua kompartemen lingkungan di ekosistem lamun, maka partikel berpotensi untuk masuk ke rantai makanan dan ditransfer ke tingkat trofik lebih tinggi. Pada akhirnya berimplikasi pada kesehatan manusia yang mengonsumsi biota laut dari ekosistem lamun tersebut.

Ekosistem lamun di Indonesia umumnya tumbuh subur pada wilayah pulau-pulau kecil, meskipun banyak tekanan dari aktivitas manusia. Di kawasan Indonesia timur tercatat 10 dari 12 jenis lamun yang dapat ditemukan di Indonesia dalam kondisi sehat (Supriyadi, 2019). Pulau ambon merupakan salah satu pulau kecil di Provinsi Maluku dengan jumlah penduduk sebanyak 366,301 jiwa (BPS, 2025), dan ditemukan keberadaan ekosistem lamun disana. Masyarakat pesisir di Pulau Ambon memanfaatkan ekosistem lamun disaat surut yang biasa disebut kegiatan *bameti*, di mana masyarakat mengumpulkan biota laut bernilai ekonomis penting baik untuk konsumsi rumah tangga maupun untuk memenuhi kebutuhan ekonomi dengan cara dijual. Kondisi ini menegaskan ketergantungan masyarakat pada ekosistem lamun, pada saat bersamaan membuka potensi paparan mikroplastik ketika ekosistem tersebut mengalami kontaminasi. Hingga kini, penelitian mengenai kontaminasi mikroplastik pada ekosistem lamun wilayah tropis, khususnya di pulau-pulau kecil masih terbatas pada satu atau dua kompartemen lingkungan, kajian menyeluruh pada semua kompartemen masih sangat jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji empat kompartemen utama dalam ekosistem lamun, yaitu daun lamun, biota asosiasi, air laut dan sedimen. Masing-masing kompartemen

merepresentasikan komponen ekosistem yang berbeda, dimana daun lamun sebagai permukaan vegetasi, air laut sebagai media transportasi mikroplastik, sedimen sebagai media akumulasi (*sink*) dan bulu babi sebagai biota asosiasi yang berpotensi sebagai jalur perpindahan polutan melalui tingkat trofik. Dengan demikian, kajian mengenai mikroplastik pada ekosistem lamun di Pulau Ambon menjadi penting untuk dilakukan guna mengisi kesenjangan pengetahuan sekaligus memberikan dasar ilmiah bagi upaya pengelolaan pesisir yang berkelanjutan.

2.2 Tujuan Penelitian

Sasaran dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi kelimpahan dan karakteristik mikroplastik secara fisik dan kimia pada daun lamun, biota bulu babi, air laut dan sedimen di ekosistem lamun Poka dan Suli.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Waktu dan tempat penelitian

Pengambilan data lapangan dilaksanakan pada bulan September 2024 di perairan Poka dan Suli dan analisis laboratorium berlangsung sampai November 2025. Kegiatan awal yang akan dilaksanakan yaitu mengidentifikasi kondisi kepadatan ekosistem lamun secara visual pada kedua lokasi penelitian untuk menentukan titik stasiun pengambilan data. Penentuan titik stasiun pengambilan data ditentukan berdasarkan daerah terdapat ekosistem lamun dan daerah tanpa ekosistem lamun (Gambar 4). Proses analisis laboratorium meliputi tahap ekstraksi dan identifikasi terhadap sampel dilakukan pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN Ambon), pengujian sampel untuk mengetahui komposisi kimia polimer penyusun mikroplastik dilakukan pada Laboratorium Kimia Lingkungan, Pusat Riset Osenografi, BRIN.

Sampel penelitian diambil dari ekosistem lamun di Poka yang diwakili oleh dua stasiun yang terdiri atas empat transek penelitian, tiga transek pada daerah ekosistem lamun dan satu transek pada daerah tanpa ekosistem lamun, hal yang sama juga berlaku untuk lokasi Suli. Pulau Ambon pada umumnya mengalami pasang surut campuran condong harian ganda (Ondara *et al.* 2017), memiliki iklim tropis yang dipengaruhi oleh dua musim utama yaitu musim hujan dan musim kemarau serta dipisahkan oleh dua masa transisi yaitu musim Peralihan I dan musim Peralihan II. Proses pengambilan data terjadi pada musim Peralihan II sebagai masa transisi dari musim hujan ke musim kemarau, pemilihan waktu ini sebagai asumsi bahwa faktor antropogenik dari daratan sekitar mempunyai pengaruh yang kecil.

3.3.2 Pengumpulan sampel mikroplastik pada daun lamun, biota, air dan sedimen

Seperti yang sudah dijelaskan diatas pada tiap lokasi memiliki empat transek dengan tiap transek dilakukan tiga kali ulangan pada 0, 50 dan 100 m, jarak transek terakhir pada lokasi vegetasi lamun ke daerah tanpa vegetasi lamun yaitu 200 m. Transek di vegetasi lamun ditarik tegak lurus garis Pantai mulai dari daerah ditemukan vegetasi lamun sepanjang 100 m, dengan jarak antar transek yaitu 10 m. Kuadrat pengamatan digunakan untuk melihat tutupan vegetasi lamun, kuadrat yang digunakan yaitu 50 cm × 50 cm diletakan pada 0, 50, dan 100 m. Suli memiliki tutupan lamun sebesar 100% campuran antara spesies *Enhalus acoroides* dan

Thalassia hemprichi, Poka tutupan lamun homo spesies yaitu *Enhalus acoroides* 50-70%. Pengambilan data lapangan dilakukan pada saat air laut bergerak surut, dengan asumsi kondisi lamun masih seluruhnya terendam dan perairan tenang. Langkah yang sama dilakukan pada transek tanpa vegetasi lamun di kedua lokasi.

Pengambilan sampel daun lamun diadaptasi dari metode (Jones *et al.* 2020; Huang *et al.* 2020; Wright *et al.* 2023) sampel daun lamun dipotong dengan gunting stainless steel diatas rhizome. Sampel daun diambil dari Tengah kuadrat, diambil daun yang terlihat sangat kotor dan disimpan dalam ziplock aluminium foil untuk dianalisis lebih lanjut. Total daun lamun dari lokasi penelitian yaitu 81 helai daun dari spesies *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*. Biota bulu babi dari spesies *Diadema setosum* dan *Echinometra mathaei* diambil secara random dari ekosistem lamun sebanyak 10 individu tiap lokasi, kemudian disimpan dalam ziplock aluminium foil untuk analisis lebih lanjut. Sampel sedimen diambil dari lokasi vegetasi lamun dan tanpa vegetasi lamun. Sedimen diambil dengan berpatokan pada metode (Kreitsberg *et al.* 2021; Cordova *et al.* 2024) yang mana sedimen diambil dengan menggunakan stainless steel spatula sampai pada kedalaman 10 cm, kemudian sampel dimasukan dalam ziplock aluminium foil untuk analisis selanjutnya. Sampel sedimen diambil tiap transek sebanyak dua kali ulangan pada panjang transek 0 dan 100 m, sehingga secara keseluruhan sampel sedimen berjumlah 16 sampel. Sampel air laut disaring dengan menggunakan net plankton berukuran 200 μm (Cordova *et al.* 2024), sebanyak 20 liter disaring pada tiap titik kuadrat (total sampel 24) pengamatan dengan menggunakan ember stainless steel. Sampel yang telah tersaring sebanyak 300 ml dari setiap transek selanjutnya dimasukan dalam botol sampel kaca untuk dianalisis lanjut.

3.3.3 Ekstraksi sampel mikroplastik pada daun lamun, biota, air dan sedimen

Ekstraksi mikroplastik dari sampel daun lamun diadaptasi dari metode (Jones *et al.* 2020) dengan sedikit modifikasi, hal ini dimulai dari sampel daun lamun yang telah diambil dari lapangan diukur panjang dan lebar daun lamun dengan menggunakan jangka sorong. Setelah itu, permukaan daun lamun dikerat dengan menggunakan pisau bedah yang tumpul. Permukaan pisau bedah dan permukaan daun lamun kemudian dibilas dengan aquades yang telah disaring, hasilnya ditampung dalam gelas beaker ukuran 50 ml. H₂O₂ (30% Merck Millipore, Emprove® Essential Medical) ditambahkan sebanyak 2-5 ml sampai seluruh sampel terendam dan ditutup dengan aluminium foil, sampel dibiarkan pada suhu ruangan hingga menjadi jernih (48-72 jam). Penambahan H₂O₂ bertujuan untuk mendegradasi bahan organik dan mempertahankan mikroplastik. Sampel yang telah jernih kemudian disaring dengan kertas saring (Kertas saring selulosa nitrat Merck Whatman™ 47 mm, ukuran pori 0,45 μm). Kertas saring yang telah berisi sampel selanjutnya disimpan dalam cawan petri steril setelah itu disegel dengan parafilm® sealing film, cawan petri dimasukan dalam heating drying oven untuk dikeringkan selama 24 jam pada suhu 40 °C.

Ekstraksi mikroplastik dari sampel biota yaitu bulu babi berpedoman pada metode yang dilaporkan oleh (Lusher *et al.* 2017; Cordova *et al.* 2020; Feng *et al.* 2020; Murano *et al.* 2020). Prosedur identifikasi biota didasarkan pada karakter morfologi yaitu bentuk dan warna dengan acuan pada World Register of Marine Species (WoRMS) melalui situs (www.marinespecies.org) sebagai sumber referensi taksonomi utama. Berdasarkan pada pendekatan ini didapatkan bahwa jenis bulu babi di kedua lokasi berbeda, Poka *Diadema setosum* sedangkan Suli *Echinometra mathaei*. Bulu babi sebelum dibedah diukur diameter dari masing-masing biota bulu babi menggunakan jangka sorong, kemudian berat tubuh ditimbangan dengan timbangan digital ketelitian 0,01 mg. Proses pembedahan dilakukan dalam wadah logam menggunakan pisau bedah, pembedahan dimulai dari bagian mulut bulu babi. Dinding luar cangkang dipotong dengan hati-hati menggunakan pinset dan gunting untuk menghindari kerusakan jaringan dalam. Setelah cangkang terbuka, setiap organ dalam dari tubuh bulu babi dipisahkan yaitu cairan selom, gonad serta usus dipisahkan. Organ yang digunakan hanya saluran pencernaan bulu babi, saluran pencernaan kemudian ditimbang berat basahanya dan disimpan dalam aluminium foil untuk selanjutnya dikeringkan pada heating drying oven dengan suhu 40 °C selama 72-96 jam untuk mencegah kerusakan polimer plastik tertentu (Cordova *et al.* 2024). Pada saat sampel telah kering, ditimbang berat kering sampel kemudian sampel diletakan dalam gelas beaker 50 ml dan dilakukan penambahan H₂O₂ (30% Merck Millipore, Emprove® Essential Medical) sebanyak 3-5 ml. Degradasi bahan organik dengan larutan ini disarankan untuk organisme laut lebih khususnya bulu babi (Hennicke *et al.* 2021). Kemudian sampel dibiarkan pada suhu ruangan hingga sampel menjadi jernih. Sampel yang telah jernih selanjutnya disaring dengan kertas saring (Kertas saring selulosa nitrat Merck Whatman™ 47 mm, ukuran pori 0,45 µm) dengan bantuan pompa vacum (Vacuubrand ME 4C NT). Sampel yang telah tersaring selanjutnya diletakan dalam cawan petri steril disegel dengan parafilm® sealing film dan dikeringkan selama 24 jam pada suhu 40 °C sebelum dilakukan analisis mikroplastik.

Proses ekstraksi mikroplastik dari sampel air laut dilakukan dengan mengacu pada metode yang telah dilaporkan sebelumnya oleh (Frère *et al.* 2017). Sampel air laut disaring tanpa penambahan reagen H₂O₂ (30% Merck Millipore, Emprove® Essential Medical) dengan bantuan pompa vacum (Vacuubrand ME 4C NT). Sampel kemudian dipindahkan ke dalam cawan petri steril dan disegel rapat menggunakan parafilm sealing film guna mencegah kontaminasi. Selanjutnya sampel dikeringkan selama 24 jam pada suhu konstan 40 °C sebelum dilakukan analisis mikroplastik.

Ekstraksi mikroplastik pada tahap awal dan pemisahan berdasarkan densitas berpedoman pada Cordova *et al.* (2024) Pertama, sampel sedimen dikeringkan pada suhu 40 °C selama 72-96 jam hingga kadar air menurun secara signifikan dan mencapai titik kelembapan tertentu untuk memudahkan pemisahan antara bahan organik seperti akar lamun. Suhu ini dipilih karena telah teruji dalam mempertahankan polimer mikroplastik agar tidak hancur selama proses ekstraksi. Setelah sampel kering, kotaran dari ekosistem lamun yang terbawah dalam sampel dibersihkan dan sebanyak 50 g sedimen ditimbang untuk diproses lebih lanjut. Kedua, dilakukan pemisahan berdasarkan densitas (density separation) dengan menambahkan larutan ZnCl₂ ($\rho = 1,5$ g/ml, Merck Millipore EMSURE®, ACS, ISO, Reag. Ph Eur) dan diaduk ringan selama satu menit, selanjutnya larutan

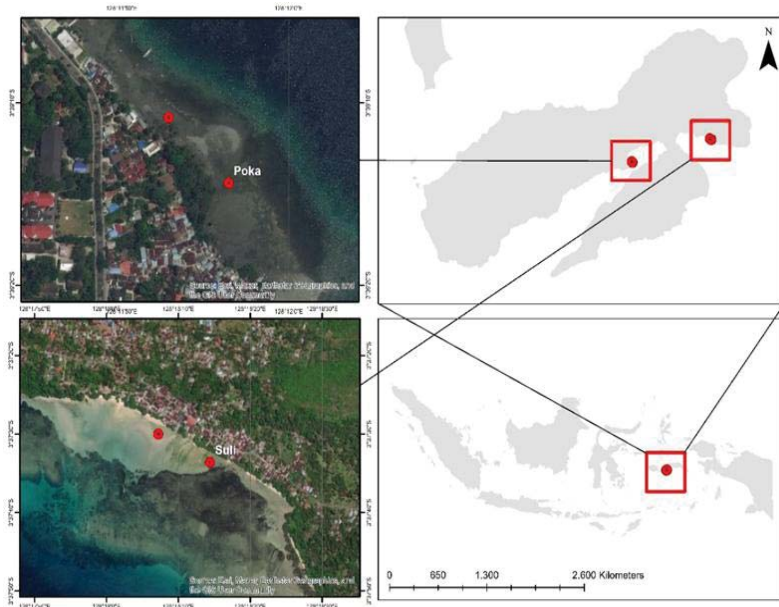
didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang agar partikel mikroplastik terpisah dari bahan organik, partikel mikroplastik yang memiliki densitas lebih tinggi akan mengapung dan terpisah dari sedimen. Ketiga, fase flotasi selesai, supernatan yang terbentuk kemudian disaring dengan bantuan pompa vacuum (Vacuubrand ME 4C NT), kertas saring berisi sampel dibilas dengan aquades hingga bersih. Cairan dari kertas saring ditampung dalam gelas beaker kecil (50 ml) dan diberikan perlakuan oksidatif menggunakan larutan H₂O₂ (30% Merck Millipore, Emprove® Essential Medical) sebanyak 5-10 ml selanjutnya ditutup dengan aluminium foil untuk mencegah kontaminasi (Cordova *et al.* 2020; Hennicke *et al.* 2021). Penambahan larutan dengan tujuan untuk mempercepat proses degradasi bahan organik. Sampel dibiarkan pada suhu ruang hingga menjadi jernih, setelah sampel jernih dilakukan filtrasi ulang dengan bantuan pompa vacuum. Kertas saring (Kertas saring selulosa nitrat Merck Whatman™ 47 mm, ukuran pori 0,45 µm) yang telah berisi sampel sedimen disimpan dalam cawan petri steril yang disegel dengan parafilm® sealing film guna menghindari kontaminasi silang. Pada tahap terakhir sebelum diidentifikasi mikroplastik, sampel terlebih dahulu dikeringkan lagi pada suhu 40 °C selama 24 jam.

3.3.4 Analisis statistik

Analisis statistik menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan PAST (*Paleontological Statistics*) versi 5.1 (Brinkgreve & Kumarswamy, 2008). Data dinyatakan dalam nilai rata-rata serta standard deviasi. Uji statistik non-parametrik yaitu pengujian Kruskal-Wallis diikuti oleh uji Post Hoc Mann-Whitney berpasangan digunakan untuk membandingkan median kelimpahan mikroplastik dari lokasi pengambilan sampel terdiri atas bentuk, warna, ukuran serta polimer pada tiap lokasi dan objek penelitian. Hasil uji dinyatakan signifikan secara statistik apabila nilai ($p < 0,05$).

3.3.5 Identifikasi karakteristik mikroplastik secara fisik dan kimia

Sampel yang telah selesai diekstraksi kandungan mikroplastik selanjutnya dilakukan analisis warna, ukuran, bentuk dan polimer. Identifikasi warna, bentuk dan ukuran menggunakan mikroskop stereo (Nikon SMZ645) dengan berpedoman pada prosedur yang diberikan oleh (Cordova *et al.* 2019). Proses klasifikasi sampel berdasarkan pada bentuk fragment, fiber, film, foam, dan granul dengan ukuran yang bervariasi yaitu $<300\text{ }\mu\text{m}$, $300\text{--}500\text{ }\mu\text{m}$, $500\text{--}1000\text{ }\mu\text{m}$, dan $>1000\text{ }\mu\text{m}$ (Cordova *et al.* 2019; Cordova *et al.* 2020; Lusher *et al.* 2020; Nurhasanah *et al.* 2021). Selain itu, identifikasi visual warna mikroplastik dikelompokkan dalam kategori sekunder yaitu warna merah, orange, kuning, hijau, biru, ungu serta warna dasar seperti hitam, putih dan transparan (Lusher *et al.* 2020). Polimer kimia penyusun mikroplastik diidentifikasi melalui spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) menggunakan instrument Agilent Cary 630 FTIR, dengan analisis data dijalankan menggunakan perangkat lunak Microlab 1.0. Spektrum FTIR direkam pada resolusi resolusi 4 cm^{-1} dengan rata-rata hasil dari 32 pemindaian (scans), meliputi rentang spektrum antara $650\text{ hingga }3000\text{ cm}^{-1}$ (Tagg *et al.* 2015; Cordova *et al.* 2022; Cordova *et al.* 2024).



Gambar 4 Peta Lokasi Penelitian Mikroplastik di Pulau Ambon

3.3.6 Prosedur *Quality assurance* (QA) dan *Quality control* (QC)

Peralatan sampling untuk pengambilan data lapangan mulai dari gunting stainless-stell, spatula stainless-stell, ember stainless-stell dan botol sampel sebelum digunakan dicuci dahulu dengan aquades yang telah disaring dengan kertas saring (Kertas saring selulosa nitrat Merck Whatman™ 47 mm, ukuran pori 0,45 μm). Semua sampel penelitian yang telah diambil dan selesai diekstraksi segera dibungkus dengan aluminium foil. Semua peralatan laboratorium yang terbuat dari kaca dibilas dahulu sebelum digunakan serta sebisa mungkin mengurangi penggunaan bahan plastik, bahan kimia yang digunakan terlebih dahulu disaring dengan kertas saring steril (Prata *et al.* 2021). Selain itu, selama pengambilan data lapangan serta analisis laboratorium menggunakan pakaian berbahan cotton. Untuk mengetahui kontaminasi dari udara selama proses pengambilan data lapangan dan analisis laboratorium digunakan prosedur blanko yang mengacu pada (Lusher *et al.* 2017). Dari hasil blanko lapangan tidak terdapat kontaminasi ($N = 0$) dan analisis laboratorium ($N = 5$) dengan bentuk fragment 4 dan fiber 1, dominan berwarna putih bening dengan ukuran $>1000 \mu\text{m}$. Prosedur blanko laboratorium untuk tiap sampel penelitian digunakan satu blanko yang berbeda, kegunaan prosedur blanko yaitu dapat digunakan untuk cross cek silang terkait kontaminasi dari udara pada tiap sampel yang dianalisis. Kelimpahan mikroplastik pada setiap sampel dikoreksi dengan hasil blanko, prosedur ini dilakukan dengan cara mengurangi jumlah partikel yang memiliki karakteristik yang sama (misalnya bentuk, ukuran dan warna) dengan partikel yang teridentifikasi pada setiap blanko untuk meminimalkan potensi kontaminasi selama proses penelitian.

3.4 Hasil Penelitian

3.4.1 Kelimpahan mikroplastik pada ekosistem lamun di Pulau Ambon

Hasil uji keberadaan mikroplastik pada berbagai kompartemen di ekosistem lamun menghasilkan kelimpahan yang beragam. Kelimpahan mikroplastik tertinggi pada kompartemen air laut ditemukan di Suli $48,3 \pm 33,85$ partikel L^{-1} . Hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara kelimpahan mikroplastik pada air laut yang berasal dari kedua lokasi ini (Tabel 8). Sementara itu, uji statistik untuk kompartemen lainnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Tabel 8 Kelimpahan Mikroplastik pada setiap Kompartemen

Kompartemen	Poka	Suli	Total	p-value
Daun lamun	-	-	$10,7 \pm 8,23$	-
Bulu babi	-	-	$8,5 \pm 5,96$	-
Air laut	$20 \pm 12,63$	$48,3 \pm 33,85$	$34,16 \pm 28,87$	0,002
Sedimen	$29,87 \pm 14,32$	$18,37 \pm 13,12$	$24,12 \pm 14,54$	0,206

Keterangan: Data disajikan sebagai rata-rata $\pm$ SD. Kelimpahan mikroplastik pada biota dinyatakan dalam partikel per individu, daun lamun dalam partikel per helai, air laut dalam partikel L^{-1} dan sedimen dalam partikel kg^{-1} sedimen kering. Nilai $p < 0,05$ menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kelompok.

Analisis kelimpahan mikroplastik berdasarkan habitat lamun, yaitu pada daerah bervegetasi dan tanpa vegetasi lamun, menunjukkan pola yang sejalan dengan kelimpahan mikroplastik secara keseluruhan. Pada kompartemen air laut, baik di habitat bervegetasi maupun tanpa vegetasi lamun, kelimpahan mikroplastik tetap lebih tinggi di Suli dibandingkan Poka. Namun, hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa perbedaan tersebut tidak signifikan ($p > 0,05$) (Tabel 9). Sebaliknya, pada kompartemen sedimen, daun lamun dan biota kelimpahan cenderung lebih tinggi di Poka dibandingkan Suli.

Tabel 9 Kelimpahan Mikroplastik berdasarkan Habitat Lamun

Kompartemen	Habitat	Poka	Suli	Lokasi tertinggi	p-value
Bulu Babi	Bervegetasi	$9,5 \pm 4,06$	$7,6 \pm 7,53$	Poka	0,20
Daun lamun	Bervegetasi	$14,4 \pm 12,1$	$9,6 \pm 6,06$ dan $8,2 \pm 3,59$	Poka	0,25
Air laut	Bervegetasi	$20,8 \pm 14,08$	$39,1 \pm 16,92$	Suli	0,93
Air laut	Tanpa vegetasi	$17,3 \pm 8,38$	$76 \pm 60,22$	Suli	0,19
Sedimen	Bervegetasi	$28,16 \pm 8,93$	$21,33 \pm 13,29$	Poka	0,74
Sedimen	Tanpa vegetasi	$35 \pm 31,11$	$9,5 \pm 10,6$	Poka	0,24

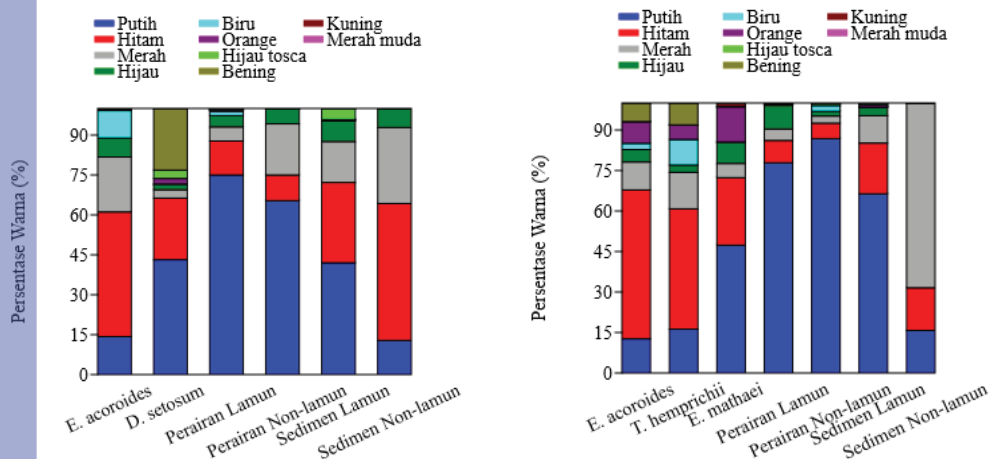
Keterangan: Data disajikan sebagai rata-rata $\pm$ SD. Kelimpahan mikroplastik pada biota dinyatakan dalam partikel per individu, daun lamun dalam partikel per helai, air laut dalam partikel L^{-1} dan sedimen dalam partikel kg^{-1} sedimen kering. Nilai $p < 0,05$ menunjukkan perbedaan yang signifikan antar kelompok. Data kelimpahan mikroplastik pada daun lamun di Suli berasal dari dua spesies, yaitu *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*.

3.4.2 Karakteristik mikroplastik secara fisik (bentuk, ukuran dan warna)

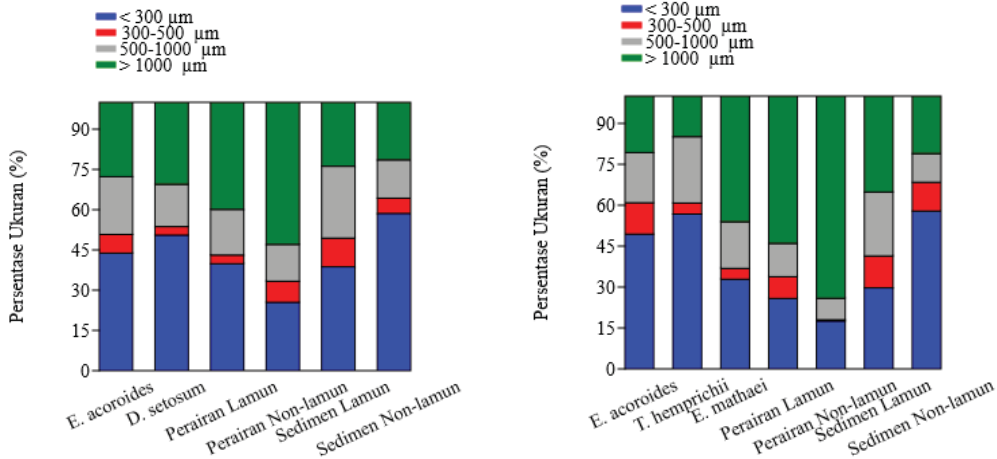
Penelitian ini mengidentifikasi sepuluh warna dominan, empat kategori ukuran serta lima bentuk mikroplastik pada lokasi penelitian (Gambar 5). Warna mikroplastik di Poka berturut-turut yaitu putih (44,85%), hitam (28,14%), merah (13,57%), hijau (5,71%), bening (3,14%), biru (2,42%), hijau toska (1,57%), orange (0,57%), kuning dan merah muda (0%). Suli warna mikroplastik yang dominan yaitu putih (64,24%), hitam (17,51%), merah (7,25%), hijau (5,28%), orange (2,27%), biru (1,55%), bening (1,24%), hijau toska (0,31%), kuning (0,2%) dan merah muda (0,1%). Ukuran mikroplastik di Poka yaitu < 300 μm (42,59%), 300-500 μm (6,26%), 500-1000 μm (19,51%) dan > 1000 μm (31,62%). Pada lokasi Suli < 300 μm (30,08%), 300-500 μm (6,43%), 500-1000 μm (14,52%) dan > 1000 μm (48,96%) (Gambar 6). Bentuk mikroplastik di Poka berturut-turut yaitu fiber (64,91%), fragment (25,99%), granull (5,39%), film (2,98%) dan foam (0,71%), sedangkan di Suli dominan ditemukan bentuk fiber (74,68%), fragment (16,70%), film (5,08%), granull (3,21%) dan foam (0,31%) (Gambar 7).

3.4.3 Karakteristik Mikroplastik secara kimia (komposisi polimer plastik)

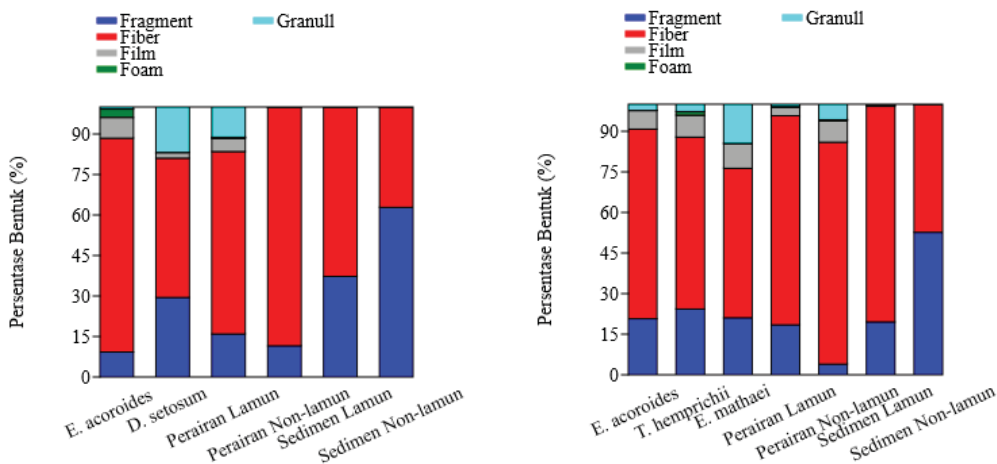
Pada lokasi penelitian, ditemukan 12 jenis polimer kimia yang berhasil diidentifikasi dengan metode FTIR (Tabel 8). Polimer terbanyak yaitu Ethylene Propylene Polymers (EPPs) (35,09%; 20 sampel), diikuti oleh Getah Ethylene Propylene Terpolymer (EPMD) (24,56%; 14 sampel). Dilain sisi, beberapa polimer lainnya ditemukan dengan persentase dibawah (20%). Hasil analisis terhadap 57 sampel mikroplastik dari ekosistem lamun menunjukkan spektrum panjang gelombang tertentu yang menjadi ciri khas dari masing-masing jenis penyusun plastik (Gambar 8).



Gambar 5 Persentase mikroplastik dari berbagai warna pada lokasi Poka (kiri) dan Suli (kanan) dalam ekosistem lamun di Pulau Ambon.

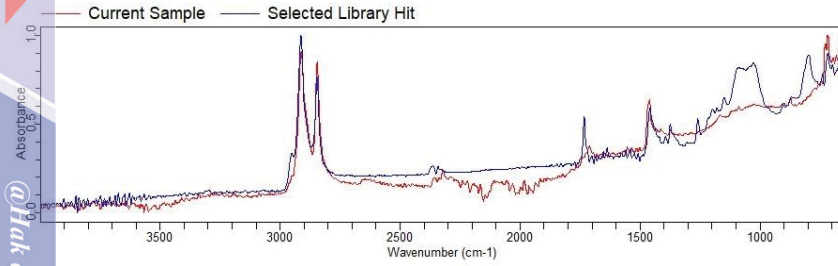


Gambar 6 Persentase mikroplastik dari berbagai ukuran pada lokasi Poka (kiri) dan Suli (kanan) dalam ekosistem lamun di Pulau Ambon.

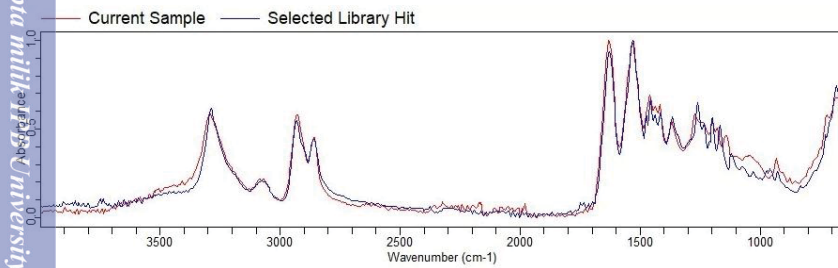


Gambar 7 Persentase mikroplastik dari berbagai bentuk pada lokasi Poka (kiri) dan Suli (kanan) dalam ekosistem lamun di Pulau Ambon.

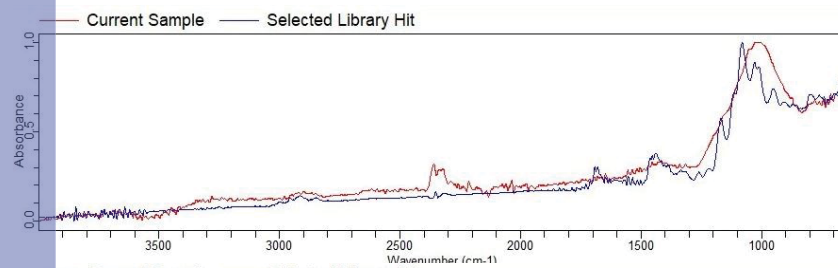
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



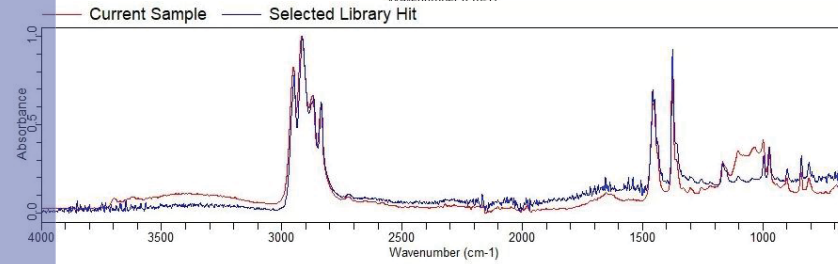
*Ethylene
Propylene
Terpolymer
(EPDM)*



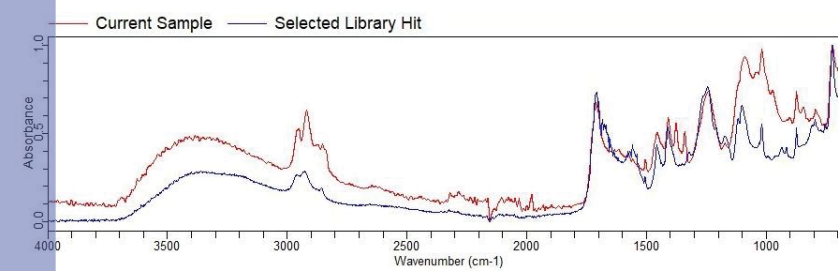
*Polyimide
(PA)*



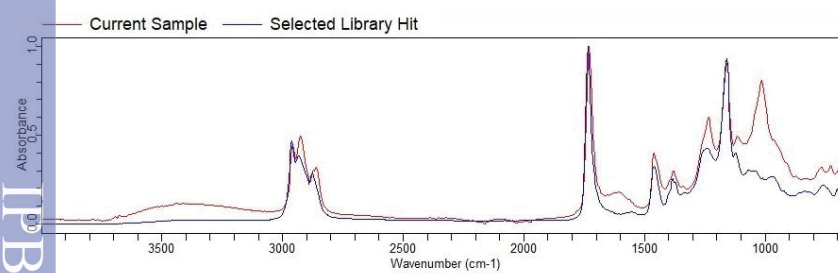
*Ethylene
Propylene
Polymers
(EPPs)*



*Polipropilena
(PP)*

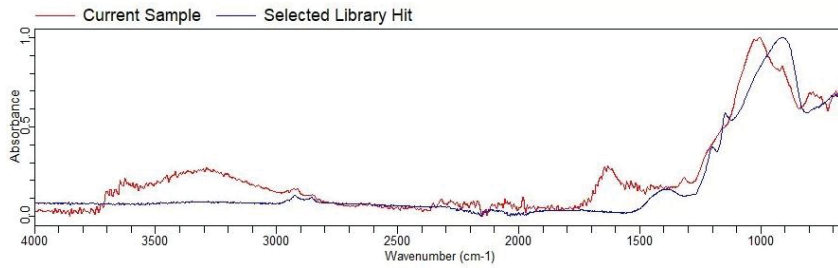


*Polybutylene
Terephthalate
(PBT)*

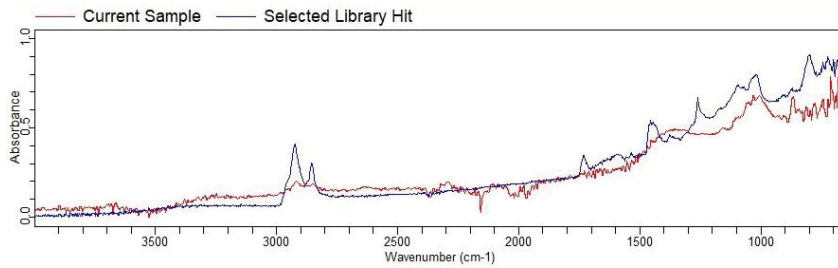


*Polyvinyl
Chloride
(PVC)*

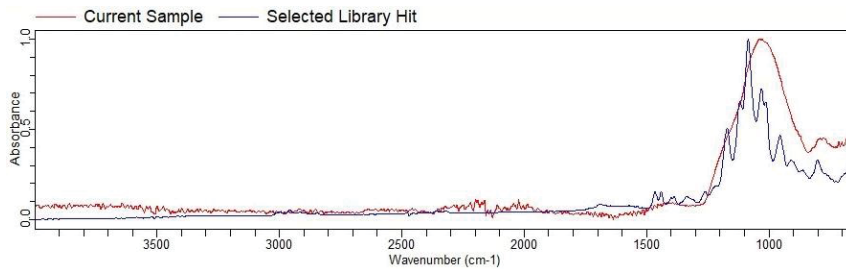
Fiberglass



*Hypalon
Goodyear
(CSM)*



FEPM



Gambar 8 Polimer Kimia pada Ekosistem Lamun dengan pendekatan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 8 Komposisi Polimer mikroplastik yang ditemukan pada Ekosistem Lamun di Poka dan Suli, Pulau Ambon

Komposisi polimer	Daun lamun	Biota	Air	Sedimen	Total	%
<i>Fiberglass (GF)</i>	1	1			2	3,51
<i>Ethylene Propylene Polymers (EPPs)</i>	2	6	4	8	20	35,09
<i>Ethylene Propylene Terpolymer (EPDM)</i>	6	2	5	1	14	24,56
<i>Chlorobutyl rubber (CIIR)</i>	1				1	1,75
<i>Polypropylene (PP)</i>	1		3		4	7,02
<i>Polyamide (PA)</i>			2		2	3,51
<i>Tetrafluoroethylene Propylene (FEPM)</i>			3		3	5,26
<i>Polyethylene terephthalate (PET)</i>			3		3	5,26
<i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>				1	1	1,75
<i>Polybutylene Terephthalate (PBT)</i>				3	3	5,26
<i>Polychloroprene (CR)</i>	1				1	1,75
<i>Hypalon Goodyear (CSM)</i>		2	1		3	5,26
Total	12	11	21	13	57	100
%	21,05	19,30	36,84	22,81	100	

3.5 Pembahasan

Kelimpahan mikroplastik antara kedua lokasi penelitian menunjukkan hasil bervariasi, dengan kelimpahan tertinggi ditemukan pada ekosistem lamun di Poka dan terendah di Suli. Kelimpahan mikroplastik tertinggi ke terendah pada objek penelitian dimulai dari air laut, sedimen, daun lamun dan biota bulu babi. Pola distribusi kelimpahan ini mengindikasikan bahwa media utama sebagai transport polutan mikroplastik adalah kondisi hidrologi perairan. Selain itu, dengan ditemukannya mikroplastik pada biota uji menjadi indikasi telah terjadi potensi transfer mikroplastik ke dalam rantai makanan.

Mikroplastik tertinggi ditemukan dalam sampel air laut yang berasal dari Suli ($48,3 \pm 33,85$ partikel L^{-1}) dan terendah di Poka ($20 \pm 12,63$ partikel L^{-1}). Hal ini, diperkuat oleh uji Kruskal-Wallis dan Mann-Whitney pairwise ($p < 0.05$) yang menunjukkan perbedaan signifikan kelimpahan mikroplastik antar lokasi. Perbedaan ini dijelaskan oleh kondisi hidrologi lokal, yang mana di Poka, karakteristik teluk semi tertutup menyebabkan pertukaran massa air berlangsung lebih lambat sehingga polutan cenderung terperangkap lebih lama, hal yang berbeda terjadi di lokasi Suli dengan kondisi teluk terbuka sirkulasi air lebih cepat kondisi ini memungkinkan masukan polutan dari berbagai lokasi, sehingga meningkatkan potensi akumulasi di ekosistem lamun. Hasil studi ini juga diperkuat oleh kondisi saat pengambilan data yang berlangsung pada musim Peralihan II, pada kondisi ini perairan lokal berada di musim kemarau sehingga masukan polutan dari daratan relatif berkurang dan transport polutan dari laut lebih dominan. Dengan demikian, faktor musim diduga berperan dalam menentukan dominasi sumber polutan ke perairan laut. Temuan penelitian ini, menunjukkan kelimpahan mikroplastik yang lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian serupa pada ekosistem lamun *Zostera marina* di Laut Baltik, di mana kelimpahan mikroplastik dalam air laut dilaporkan berkisar antara 0,04–1,2 partikel L^{-1} dengan nilai median 0,14 partikel L^{-1} (Kreitsberg *et al.* 2021). Jika dibandingkan dengan lokasi penelitian, Laut Baltik memiliki karakteristik yang sama sebagai perairan semi-tertutup. Namun, pada musim kemarau sirkulasi massa air Laut Baltik lebih stagnan sehingga masukan polutan dari laut hampir tidak terjadi. Suplai daratan yang rendah, diduga berpengaruh pada kelimpahan mikroplastik di Laut Baltik lebih rendah dari Pulau Ambon.

Analisis terhadap 16 sampel sedimen dari ekosistem lamun di Pulau Ambon menunjukkan kelimpahan mikroplastik sebesar $24,12 \pm 14,54$ partikel kg^{-1} sedimen kering. Kelimpahan mikroplastik pada sedimen di lokasi penelitian menunjukkan variasi bila dibandingkan dengan beberapa penelitian pada ekosistem lamun di berbagai wilayah. Seperti, Sawalman *et al.* (2021) melaporkan kelimpahan mikroplastik sebesar $195 \pm 66,98$ partikel kg^{-1} sedimen kering pada sedimen dari lamun spesies *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii* di Pulau Baranglombo, Makassar. Selain itu, kelimpahan mikroplastik juga dilaporkan dari lamun *Enhalus acoroides* di pesisir China yang berkisar antara 80,0 hingga 884,5 partikel/kg (Huang *et al.* 2020). Perbedaan kelimpahan yang dilaporkan antarpelitian menunjukkan bahwa akumulasi mikroplastik pada sedimen lamun dapat bervariasi antarwilayah, kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lokal pada setiap lokasi penelitian. Pertama, perbedaan tekstur sedimen kemungkinan memainkan peran krusial dalam akumulasi mikroplastik. Sedimen halus di Poka (lanau dan lempung)

dengan porositas rendah lebih efektif menjebak partikel dibandingkan sedimen berpasir di Suli. Temuan ini konsisten dengan Greenshields *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa sedimen halus menahan lebih banyak mikroplastik di lapisan permukaan, sedangkan sedimen berpasir memungkinkan partikel menembus ke lapisan yang lebih dalam. Kedua, sebagian besar penelitian mikroplastik pada lamun dilakukan di perairan semi-tertutup yang tidak mendapatkan suplai massa air secara rutin atau jika ada diduga hanya terjadi pada musim-musim tertentu. Contohnya adalah di Laut Baltik, Teluk Xincun dan Teluk Li'an di China. Kondisi ini diduga menjadi faktor perbedaan konsentrasi mikroplastik antar lokasi. Pada wilayah dengan beban antropogenik tinggi namun tidak ditopang oleh sirkulasi massa air yang memadai, maka polutan cenderung terperangkap dan terendapkan dalam sedimen dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Teluk Ambon Dalam dikonfirmasi dari penelitian Pello *et al.* (2014) dan Salamena *et al.* (2023) memiliki *flushing time* sekitar 14 hari, sedangkan untuk Teluk Baguala belum terdapat kajian tentang hal ini. Dengan demikian, meskipun tekanan antropogenik di lokasi penelitian cukup tinggi, namun pada waktu tertentu polutan dapat tertransport ke lokasi lain melalui proses pertukaran massa air.

Konsentrasi rata-rata mikroplastik pada daun lamun yang ditemukan di Pulau Ambon dengan penelitian lainnya memiliki keterbatasan karena adanya perbedaan pada satuan yang digunakan untuk menunjukkan kelimpahan mikroplastik. Dalam penelitian ini, kelimpahan dinyatakan dalam jumlah partikel per helai daun, sedangkan sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan satuan partikel per sentimeter persegi (partikel cm²), seperti Buru-un, Iligan City dan Tubajon, Laguindingan, Misamis Oriental, Filipina, di mana *Thalassia hemprichii* $0,151 \pm 0,137$ n/cm² dan *Enhalus acoroides* $0,240 \pm 0,266$ n/cm² (Celmar *et al.* 2024), serta di Pulau Barangglompo, Makassar, Indonesia, dengan *Enhalus acoroides* $0,10 \pm 0,02$ items/cm² dan *Thalassia hemprichii* $0,24 \pm 0,05$ items/cm² (Sawalman *et al.* 2021). Perbedaan satuan ini memungkinkan nilai kelimpahan pada penelitian ini berpotensi tampak lebih tinggi bila dibandingkan dengan penelitian lainnya meskipun tidak selalu mencerminkan perbedaan akumulasi mikroplastik yang sebenarnya. Selain itu, analisis menunjukkan bahwa variasi akumulasi mikroplastik pada daun lamun dipengaruhi oleh panjang daun antar spesies di tiap lokasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Sawalman *et al.* (2021) yang melaporkan spesies lamun dengan daun lebih kecil cenderung mengakumulasi lebih banyak mikroplastik, meskipun Jones *et al.* (2020) tidak menemukan korelasi signifikan antar keduanya. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pada daun lamun spesies daun besar, partikel mikroplastik cenderung menempel sementara. Pada kondisi hidrologi lokal, seperti arus pasang surut partikel mikroplastik dapat tergoncang sehingga berpotensi terlepas ke perairan dan mengendap di sedimen, terutama jika belum terikat dengan kuat pada epifit di daun.

Analisis terhadap 20 individu biota bulu babi dari ekosistem lamun di Pulau Ambon menunjukkan kelimpahan mikroplastik yang bervariasi antara tiap lokasi. Total konsentrasi mikroplastik pada *Diadema setosum* di lokasi penelitian menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan beberapa lokasi di Indonesia, seperti Pulau Barangglompo (Sawalman *et al.* 2021). Sebaliknya nilai yang ditemukan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lokasi Pulau Pari, Pulau Harapan dan Pulau Tidung (Sulistiowati *et al.* 2023; Rahmawati *et al.* 2023). Hasil penelitian ini, menjadi indikasi awal bahwa keberadaan mikroplastik di saluran pencernaan bulu babi

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

berpotensi ditransfer ke tingkat trofik yang lebih tinggi melalui mekanisme interaksi dalam rantai makanan. Seperti diketahui masyarakat pesisir di Maluku biasanya melakukan kegiatan “bameti” yaitu kegiatan memanfaatkan sumberdaya hayati dari ekosistem lamun, mangrove dan terumbu karang pada saat air laut surut (Ely *et al.* 2021), hal yang sama juga dilakukan di Poka dan Suli. Bulu babi menjadi salah satu sumber protein hayati yang dikonsumsi masyarakat pesisir, sehingga keberadaan mikroplastik pada organisme laut berpotensi meningkatkan resiko transfer polutan ke dalam tubuh manusia. Hal ini diperkuat oleh temuan lapangan, dimana sebagian masyarakat pesisir seperti ibu dan anak yang teramati saat kegiatan bameti, mengonsumsi bulu babi secara langsung tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu.

Bentuk mikroplastik dominan yang ditemukan pada lokasi penelitian adalah dari jenis fiber dan fragment. Hasil ini sejalan dengan penemuan dari penelitian pada beberapa negara yaitu Singapore, Pulau Mallorca, Philippines, Laut China Selatan, England dan Wales, Portugal serta Indonesia yang melaporkan bentuk mikroplastik dominan yang ditemukan pada ekosistem lamun yaitu jenis fiber dan fragment (Datu *et al.* 2019; (Cozzolino *et al.* 2020; Sawalman *et al.* 2021; Huang *et al.* 2021; Unsworth *et al.* 2021; Sanchez-Vidal *et al.* 2021; Ledet *et al.* 2024; Celmar *et al.* 2024). Bentuk ini dikategorikan sebagai plastik sekunder dan diduga bersumber dari hasil degradasi limbah plastik akibat aktivitas masyarakat di sekitar lokasi penelitian, hal ini sejalan dengan aktivitas perikanan yang tinggi menjadi salah satu sumber bentuk fiber dominan.

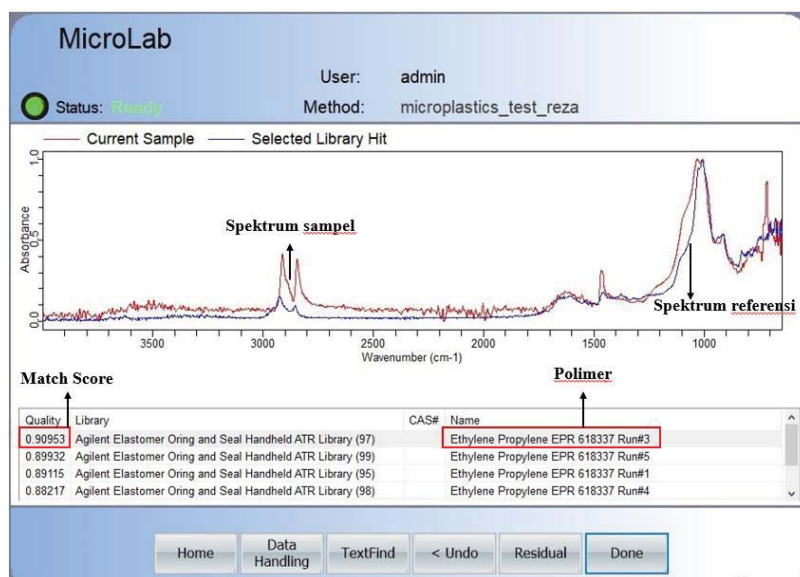
Ukuran dominan mikroplastik di Poka yaitu $< 300 \mu\text{m}$ (42,59%) dan Suli $> 1000 \mu\text{m}$ (48,96%). Kondisi ini menggambarkan adanya perbedaan tingkat degradasi mikroplastik pada kedua wilayah penelitian. Di perairan Poka, yang cenderung tenang, ditemukan partikel mikroplastik berukuran lebih kecil dibandingkan dengan yang teridentifikasi di perairan Suli, yang memiliki karakteristik gelombang kuat. Hal ini menjadi salah satu indikasi bahwa proses degradasi plastik menjadi mikroplastik dapat dibantu oleh kondisi hidrologi perairan lokal. Sejalan dengan penelitian yang dilaporkan oleh Critchell & Lambrechts, (2016) bahwa degradasi dan transport mikroplastik dibantu oleh kondisi oseanografi perairan seperti kecepatan angin, gelombang dan kondisi hidrodinamika. Selain itu, distribusi ukuran mikroplastik dalam penelitian ini dipengaruhi oleh penggunaan jaring plankton berukuran mesh $200 \mu\text{m}$ pada saat pengambilan sampel air laut. Penggunaan ukuran mesh tersebut dapat mengurangi efisiensi penangkapan partikel berukuran sangat kecil, sehingga fraksi mikroplastik berukuran $< 200 \mu\text{m}$ berpotensi untuk tidak tertangkap dengan baik. Meskipun demikian, penelitian ini masih menunjukkan dominasi mikroplastik pada ukuran $< 300 \mu\text{m}$ mengindikasikan bahwa partikel berukuran kecil masih tetap dapat tertangkap selama proses penyaringan.

Warna mikroplastik dominan pada kedua lokasi penelitian yaitu putih, hitam dan merah. Hal ini sesuai dengan penelitian pada ekosistem lamun di Pulau Barrang Caddi di Makasar, Pulau Hainan dan Singapore (Datu *et al.* 2019; Huang *et al.* 2020; Ledet *et al.* 2024). Akan tetapi, dominasi kehadiran tertinggi yaitu berwarna putih sebagai indikasi bahwa material plastik tersebut telah mengalami proses degradasi dalam jangka waktu yang relatif lama. Mekanisme degradasi ini terutama dipengaruhi oleh fotodegradasi dibantu paparan sinar ultraviolet serta aksi mekanik gelombang laut, yang secara kumulatif menyebabkan hilangnya pigmen pewarna



asli pada plastik dan menghasilkan mikroplastik berwarna putih. Selain itu, lokasi penelitian yang berada di wilayah tropis dengan intensitas cahaya matahari tinggi sepanjang tahun memberikan kontribusi signifikan terhadap percepatan proses fotodegradasi plastik. Kondisi ini memperbesar kemungkinan hilangnya pigmen pewarna dan fragmentasi material, sehingga meningkatkan dominasi mikroplastik berwarna putih pada sampel yang ditemukan.

Dari ulasan terhadap beberapa penelitian terdahulu, sebagian besar polimer yang ditemukan pada ekosistem tropis adalah polistirena, polietilena dan poliamida yang sebagian besar bersumber dari aktivitas antropogenik dan perikanan (Tabel 9). Akan tetapi, dalam penelitian ini ditemukan polimer dominan pada ekosistem lamun berbeda dengan ekosistem tropis lainnya yaitu jenis Ethylene Propylene Polymers (EPPs) (35,09%), Ethylene Propylene Terpolymer (EPDM) (24,56%), Polipropilena (7,02%) dan polimer lainnya (33,33%). Identifikasi polimer dilakukan berdasarkan kecocokan spektrum FTIR dengan pustaka referensi (Gambar 9). Polimer dominan seperti EPPs dan EPMD bersumber dari karet sintetis yang diaplikasikan pada berbagai produk seperti otomotif, pelapis atap, pelapis kabel, zat aditif pada oli pelumas, peralatan medis dan mainan anak-anak (Shara *et al.* 2018; El Nashar *et al.* 2021).



Gambar 9 Contoh Identifikasi Polimer EPPs berdasarkan kecocokan spektrum FTIR dengan Pustaka referensi.

Terdapat beberapa dugaan faktor potensial yang menjelaskan dominasi EPPs dan EPMD pada lokasi penelitian. Pertama, jarak lokasi penelitian yang berdekatan dengan area transportasi laut berpotensi menyebabkan masukan partikel ini ke ekosistem lamun, terutama melalui pelepasan serat akibat gesekan ban yang digunakan sebagai penyangga antara badan kapal dengan dramaga. Kedua, pada lokasi penelitian di Suli yang merupakan kawasan pariwisata, masyarakat setempat memanfaatkan ban dalam bekas sebagai bantal renang, sehingga memungkinkan pelepasan material serat sebagai sumber tambahan. Ketiga, pengambilan data dilakukan pada periode musim Peralihan II yang ditandai oleh kondisi kering, sehingga beban masukan dari daratan sekitar menjadi kecil. Hal ini memungkinkan

polimer jenis ini dapat berasal dari aktivitas antropogenik di wilayah lain, kemudian terbawah oleh arus dan gelombang sebelum terendapkan di ekosistem lamun.

Tabel 9 Perbandingan Komposisi Polimer dengan Lokasi lainnya

Ekosistem Tropis	Negara	Polimer dominan	Aktivitas utama masyarakat	Referensi
Mangrove	Muara Angke, Indonesia	Polipropilena dan polietilena	Aktivitas antropogenik	(Cordova <i>et al.</i> 2021)
Lamun	Tuticorin, India	Polietilena, polipropilena, poliamida dan polistirena	Aktivitas masyarakat di pesisir	(Esmeralda & Patterson, 2025)
Terumbu karang	Sri Lanka	LDPE (Low Density <i>Polyethylene</i>)	-	(Hansani <i>et al.</i> 2023)
Lamun	Mindanao, Filipina	Poly methyl methacrylate (PMMA), polyester, <i>Polypropylene</i> , acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	Perikanan tradisional, pariwisata dan Pelabuhan pengiriman kargo	(Celmar <i>et al.</i> 2024)
Lamun	Makassar, Indonesia	Polystyrene dan Nylon	-	(Datu <i>et al.</i> 2019)
Terumbu karang	Sekotong Lombok, Indonesia	Polistirena, polietilena dan polipropilena	Styrofoam, kemasan makanan dan minuman, perikanan	(Cordova <i>et al.</i> 2018)
Lamun	Pulau Hainan, Republik Rakyat Tiongkok	<i>Polyethylene</i> , <i>Polypropylene</i> , polyamide, polystyrena	Pariwisata dan budidaya	(Huang <i>et al.</i> 2020)
Mangrove	Teluk Shenzhen, Tiongkok Selatan	PET, PP, PS dan PA	Pusat kegiatan ekonomi dan padat penduduk	(Duan <i>et al.</i> 2021)
Lamun	Swan-Canning Estuary, Australia Barat	Polietilena, polipropilena dan plastik azlon	Rekreasi perkotaan, drainase, dan pelabuhan perahu	(Wright <i>et al.</i> 2023)
Mangrove	India Barat Daya	PP, PET, HDPE, LDPE, PS dan PVC	Aktivitas antropogenik seperti budidaya, perikanan, industri kelautan dan pertanian serta pariwisata	(Valsan <i>et al.</i> 2024)

3.6 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan adanya kontaminasi mikroplastik pada ekosistem lamun di Poka dan Suli, Pulau Ambon, Maluku. Hal ini, dibuktikan dengan ditemukan mikroplastik pada seluruh objek penelitian yaitu daun lamun, biota bulu babi, air laut dan sedimen. Kelimpahan mikroplastik tertinggi ditemukan pada kompartemen air laut yang berasal dari Suli ($48,3 \pm 33,85$ partikel L^{-1}), sedangkan pada sedimen ($29,87 \pm 14,32$ partikel kg^{-1} sedimen kering), daun lamun spesies *Enhalus acoroides* ($14,4 \pm 12,1$ partikel per helai), dan biota bulu babi dari spesies *Diadema setosum* ($9,5 \pm 4,06$ partikel per individu) kelimpahan tertinggi ditemukan di Poka. Karakteristik mikroplastik pada kedua lokasi didominasi oleh bentuk fiber berwarna putih, dengan ukuran dominan yang berbeda, dimana di Poka ($<300 \mu m$) dan Suli ($>1000 \mu m$). Hasil identifikasi polimer dengan metode FTIR menunjukkan bahwa dominan berasal dari karet sintetis yaitu EPPs dan EPDM. Temuan ini memberikan dokumentasi awal mengenai paparan mikroplastik pada ekosistem lamun tropis di wilayah Indonesia Timur, lebih khususnya Pulau Ambon. Kondisi ini menunjukkan perlunya kajian lanjutan terhadap potensi paparan melalui biota yang dimanfaatkan masyarakat pesisir.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IV HUBUNGAN ANTARA SAMPAH LAUT DI PESISIR DAN MIKROPLASTIK PADA EKOSISTEM LAMUN DI PULAU AMBON, MALUKU

4.1 Pendahuluan

Isu lingkungan, khususnya permasalahan sampah telah menjadi perhatian serius dalam beberapa dekade terakhir. Dari beragam jenis sampah yang dihasilkan oleh manusia sampah plastik menempati posisi yang paling krusial. Hal ini karena sifat plastik yang sulit terurai, bobot ringan dan biaya produksi rendah (Cordova *et al.* 2021), sehingga diproduksi secara berlebihan tanpa memikirkan alternatif pengelolaannya. Keberadaan sampah plastik pada lingkungan pesisir tidak hanya menurunkan kualitas estetika dan ekosistem, tetapi dapat menimbulkan ancaman bagi organisme laut melalui interaksi langsung maupun tidak langsung. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sampah plastik berdampak langsung kepada biota laut, selain itu plastik ditemukan dalam saluran pencernaan biota laut seperti penyu (Moon *et al.* 2023; Purnama *et al.* 2025). Dengan berjalannya waktu, plastik yang terdapat di lingkungan akan mengalami proses fragmentasi akibat proses fisik, kimia dan biologis sehingga membentuk partikel berukuran kecil yang umum dikenal sebagai mikroplastik (Cavalcante *et al.* 2025; Liu & Zheng, 2025), Mikroplastik sendiri adalah partikel berukuran (<5 mm) (Hartmann *et al.* 2019; Allen *et al.* 2022). Paparan mikroplastik pada biota laut dapat memberikan kerusakan genetik, gangguan reproduksi, penurunan system imun (Murano *et al.* 2020), media menempel *polutan organik persisten* (POPs), logam berat dan residu obat (Tumwesigye *et al.* 2023; Zambrano-Pinto *et al.* 2024).

Di antara tiga ekosistem tropis utama, yaitu mangrove, lamun dan terumbu karang, padang lamun adalah salah satu yang rentan terhadap akumulasi mikroplastik. Kerentanan tersebut berkaitan dengan posisinya di wilayah pesisir dangkal yang umumnya berada pada zona transisi antara daratan dan laut (Apostoloumi *et al.* 2021), sehingga berpotensi menerima beban masukan material dari kedua arah. Selain itu, karakteristik morfologi lamun berupa kanopi daun yang mampu memperlambat arus serta sistem akar dan rimpang yang dapat menstabilkan sedimen meningkatkan peluang partikel tersuspensi, termasuk mikroplastik untuk tertahan dan terakumulasi pada daun lamun dan sedimen. Padang lamun memiliki peran ekologis yang penting sebagai penyedia jasa ekosistem (Apostoloumi *et al.* 2021), seperti penyimpanan karbon (Gullström *et al.* 2018), penyediaan habitat bagi berbagai biota laut (McKenzie *et al.* 2020), peningkatan kualitas perairan, pemerangkap sedimen, peredam arus dan gelombang serta perlindungan pantai dari erosi (James *et al.* 2021). Karakteristik tersebut menyebabkan padang lamun berpotensi mengakumulasi mikroplastik, sehingga ekosistem ini menjadi salah satu fokus penelitian mengenai kontaminasi mikroplastik di wilayah pesisir.

Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa mikroplastik dapat ditemukan pada semua kompartemen di ekosistem lamun diantaranya sedimen (Cozzolino *et al.* 2020; Kreitsberg *et al.* 2021; Navarrete-Fernández *et al.* 2022; Wright *et al.* 2023; Esmeralda & Patterson, 2025), air laut (Kreitsberg *et al.*, 2021), biota dan daun lamun (Datu *et al.* 2019; Sawalman *et al.* 2021; Wright *et al.* 2023; Celmar *et al.* 2024). Namun, penelitian ini hanya melaporkan keberadaan mikroplastik pada ekosistem lamun tanpa mempertimbangkan hubungan kuantitatif

dengan kelimpahan sampah pada wilayah pesisir. Padahal, sebagian besar publikasi menegaskan bahwa sumber utama mikroplastik adalah kegiatan antropogenik di wilayah pesisir.

Teluk Ambon Dalam di kawasan Poka dan Teluk Baguala di kawasan Suli merupakan lokasi strategis untuk kajian ini, disebabkan keduanya memiliki ekosistem lamun dan tingkat aktivitas antropogenik yang berbeda. Poka aktivitas antropogenik sangat tinggi seperti pembangunan infrastruktur, perikanan, pertanian, lalu lintas kapal dan buangan air limbah panas PLTU. Bila dibandingkan dengan Suli aktivitas antropogenik dominan yaitu pariwisata dan perikanan. Kompleksitas aktivitas tersebut menjadikan kedua wilayah ini rawan terhadap polutan lebih khususnya polutan plastik dan mikroplastik. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mendokumentasikan keberadaan mikroplastik pada ekosistem lamun, tetapi juga menganalisis asosiasi antara kelimpahan plastik di wilayah pesisir dan kontaminasi pada berbagai kompartemen di ekosistem lamun. Penelitian ini diharapkan memberikan bukti awal mengenai keterkaitan kedua komponen tersebut. Akan tetapi, hasil penelitian ini masih terbatas pada dua lokasi pengamatan yang dilakukan dalam satu musim pengambilan data (musim Peralihan II), sehingga diperlukan penelitian lanjutan dengan cakupan ruang dan waktu yang lebih luas untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif.

4.2 Tujuan Penelitian

Sasaran dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis asosiasi antara kelimpahan sampah plastik di pesisir dan kelimpahan mikroplastik pada daun lamun, biota, air laut dan sedimen ekosistem lamun. Akan tetapi, hubungan yang diujikan dalam sub bab ini terbatas pada hubungan statistik sederhana.

4.3 Metode Penelitian

Data kelimpahan sampah plastik dan mikroplastik dalam penelitian ini selanjutnya digunakan untuk menganalisis asosiasi keduanya melalui regresi linier. Analisis dilakukan menggunakan data kelimpahan rata-rata mikroplastik pada setiap transek di wilayah yang ditumbuhi vegetasi lamun, yang meliputi kompartemen daun lamun dari spesies *Enhalus acoroides*, biota, air laut dan sedimen. Sementara itu, variabel bebas yang digunakan yaitu data kelimpahan sampah laut pada kategori sampah plastik di setiap kuadrat. Data kelimpahan mikroplastik pada daun lamun spesies *Thalassia hemprichii* tidak diikutsertakan dalam analisis regresi karena spesies tersebut hanya ditemukan pada satu lokasi penelitian yaitu pada lokasi Suli, sehingga data tidak mencukupi untuk dilakukan perbandingan yang setara antar tiap lokasi. Data morfometri berupa panjang dan lebar daun lamun serta panjang dan lebar cangkang bulu babi dianalisis untuk menguji hubungan keduanya dengan kelimpahan mikroplastik pada daun lamun dan biota menggunakan uji korelasi Pearson (*The Pearson Correlation Test*). Analisis ini dipilih karena data telah memenuhi asumsi normalitas berdasarkan uji Shapiro-Wilk, sehingga memenuhi persyaratan penggunaan uji korelasi Pearson. Uji ini dilakukan pada perangkat lunak PAST (*Paleontological Statistics*) versi 5.1 (Brinkgreve & Kumarswamy, 2008) dan Microsoft Excel.

4.4 Hasil Penelitian

Hasil analisis regresi antara sampah plastik dan mikroplastik menunjukkan nilai R^2 dengan proporsi variasi yang lemah pada biota (0,050) dan daun lamun (0,125), kuat pada sedimen (0,892), dan sedang pada air laut (0,653), tetapi belum membuktikan hubungan sebab-akibat (Tabel 12 dan Lampiran 4). Di lain sisi, untuk hasil uji korelasi Pearson antara kelimpahan mikroplastik dengan parameter morfometri (panjang dan lebar daun lamun, serta panjang dan lebar cangkang bulu babi) menunjukkan hasil bahwa hubungan yang terbentuk antara keduanya bersifat lemah dan tidak signifikan (Tabel 13).

Tabel 12 Hubungan antara kelimpahan sampah plastik dengan Mikroplastik pada daun lamun spesies *Enhalus acoroides*, Biota, Air dan Sedimen

Kompartemen	Jumlah sampel (n)	R^2	p-value	Keterangan
Daun lamun	6	0,125	0,492	Lemah
Biota	6	0,050	0,670	Lemah
Air laut	6	0,653	0,052	Sedang
Sedimen	6	0,892	0,004	Kuat

Korelasi Pearson bernilai positif hanya didapatkan dari panjang *Thalassia hemprichii* dan lebar cangkang *Diadema setosum* terhadap kelimpahan mikroplastik, dengan nilai masing – masing 0,25 dan 0,01 (Tabel 13). Namun, hubungan yang terbentuk tergolong lemah dan tidak signifikan secara statistik, sementara variable lainnya menunjukkan korelasi negatif yang juga lemah dan tidak signifikan.

Tabel 13 Korelasi Pearson antara panjang, lebar daun lamun serta diameter cangkang bulu babi dengan kelimpahan mikroplastik

Variabel X	Variabel Y	r (Pearson)	R ²	p-value	Keterangan
Panjang daun Lamun EA Suli	Mikroplastik daun lamun	-0,08	0,01	0,84	Korelasi lemah, tidak signifikan
Panjang daun Lamun TH Suli	Mikroplastik daun lamun	0,25	0,06	0,5	Korelasi lemah, tidak signifikan
Panjang daun Lamun EA Poka	Mikroplastik daun lamun	-0,22	0,05	0,56	Korelasi lemah, tidak signifikan
Lebar daun Lamun EA Suli	Mikroplastik daun lamun	-0,24	0,06	0,53	Korelasi lemah, tidak signifikan
Lebar daun Lamun TH Suli	Mikroplastik daun lamun	-0,14	0,02	0,7	Korelasi lemah, tidak signifikan
Lebar daun Lamun EA Poka	Mikroplastik daun lamun	-0,46	0,22	0,21	Korelasi lemah, tidak signifikan
Panjang cangkang EM Suli	Mikroplastik biota	-0,41	0,17	0,24	Korelasi lemah, tidak signifikan
Panjang cangkang DS Poka	Mikroplastik biota	-0,18	0,03	0,61	Korelasi lemah, tidak signifikan
Lebar cangkang EM Suli	Mikroplastik biota	-0,26	0,07	0,46	Korelasi lemah, tidak signifikan
Lebar cangkang DS Poka	Mikroplastik biota	0,01	0,00	0,97	Korelasi lemah, tidak signifikan

Keterangan: EA = *Enhalus acoroides*; TH = *Thalassia hemprichii*; EM = *Echinometra mathaei*; DS = *Diadema setosum*

4.5 Pembahasan

Secara keseluruhan analisis regresi membuktikan bahwa kelimpahan sampah plastik di pesisir berasosiasi dengan kelimpahan mikroplastik pada ekosistem lamun, dimana asosiasi kuat pada sedimen, sedang di air laut dan lemah pada biota dan daun lamun species *Enhalus acoroides*. Daun lamun berfungsi sebagai perangkap alami bagi partikel mikroplastik yang tersuspensi di kolom perairan (Datu *et al.* 2019; Jones *et al.* 2020a; Wright *et al.* 2023). Mekanisme dapat dijelaskan sebagai berikut mikroplastik yang menempel pada daun lamun dapat tertutup oleh biofilm yang berasosiasi dengan beraneka ragam material organik, sehingga membentuk agregat flok berwarna putih menyerupai *marine snow*, agregat ini meningkatkan densitas partikel tersuspensi, sehingga dapat mengendap di sedimen lamun (Zhao *et al.* 2022). Hal ini sejalan dengan fungsi sedimen lamun sebagai sink utama mikroplastik. Sebaliknya, hasil uji regresi pada air laut, biota dan daun lamun dari ekosistem ini, memiliki hubungan yang sedang hingga lemah dengan kelimpahan sampah plastik. Hasil membuktikan bahwa kelimpahan mikroplastik pada biota dan daun lamun lebih dipengaruhi oleh faktor biologis (perilaku makan, morfologi daun, preferensi makanan, ukuran tubuh, perbedaan spesies dan habitat) dan faktor hidrodinamika perairan lebih berpengaruh pada kelimpahan di air laut (gelombang, arus pasang surut, dan *runoff* dari sungai).

Temuan mengindikasikan bahwa kontribusi sampah plastik terhadap kelimpahan mikroplastik pada ekosistem lamun dipengaruhi secara signifikan oleh karakteristik kompartemen yang diuji, seperti daun lamun akan lebih dipengaruhi oleh morfologi daun tersebut. Sedimen merupakan kompartemen uji yang bersifat stabil dan tidak mengalami pergerakan aktif sehingga berkorelasi kuat dengan kelimpahan sampah plastik di pesisir. Hal sebaliknya pada kompartemen uji yang bersifat dinamis seperti biota, air laut dan daun lamun menunjukkan pola yang lebih rumit dan dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal perairan seperti kondisi hidrologi lokal dan aspek biologisnya. Di Poka, teluk yang bersifat semi tertutup menyebabkan pertukaran massa air berlangsung lebih lambat sehingga polutan terperangkap lebih lama. Sebaliknya, di pesisir Suli berada pada teluk terbuka, sirkulasi air lebih efektif dan memungkinkan masukan polutan dari berbagai lokasi, sehingga meningkatkan potensi akumulasi yang berdampak pada hasil regresi bernilai sedang pada kolom perairan. Dengan demikian, lemahnya hasil regresi antara kelimpahan mikroplastik pada biota dan daun lamun dengan kelimpahan sampah plastik di lokasi penelitian diduga salah satunya dipengaruhi oleh faktor ini.

Hasil uji korelasi Pearson menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang signifikan antara kelimpahan mikroplastik pada biota dan daun lamun dengan parameter morfometri (panjang dan lebar daun lamun serta panjang dan lebar cangkang bulu babi). Hal ini membuktikan bahwa morfometri bukan merupakan prediktor utama yang mengontrol kelimpahan mikroplastik, akan tetapi lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan perilaku ekologis.

Penelitian terdahulu melaporkan bahwa spesies lamun kecil mampu mengakumulasi mikroplastik yang lebih tinggi pada permukaan daun (Sawalman *et al.* 2021), akan tetapi penelitian lainnya melaporkan bahwa panjang daun lamun tidak berkorelasi terhadap kelimpahan mikroplastik (Jones *et al.* 2020). Bila dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada lokasi penelitian tidak terdapat hubungan linier yang signifikan secara statistik. Akan tetapi, jika kelimpahan

mikroplastik dihitung berdasarkan satuan helai daun, maka akan terlihat kecenderungan spesies lamun berdaun besar seperti *Enhalus acoroides* mampu mengakumulasi mikroplastik lebih tinggi dari spesies lamun *Thalassia hemprichii*. Temuan ini menyajikan bahwa hubungan linier yang tidak terkonfirmasi secara statistik, dan variasi morfologi antar spesies berpotensi mempengaruhi kapasitas akumulasi mikroplastik pada daun. Pengaruh utama dalam mengontrol mekanisme non-linier adalah dari faktor ekologi seperti kerapatan tegakan, keberadaan epifit, sumber polutan dan hidrodinamika lokal.

Jika ditinjau dari kondisi lokal pada lokasi penelitian, beberapa faktor utama yang berpotensi mempengaruhi pola akumulasi mikroplastik pada biota dan daun lamun adalah dinamika hidrodinamika perairan, sumber polutan dan zonasi pertumbuhan lamun. Pertama, pengambilan data lapangan terjadi pada musim Peralihan II, musim ini wilayah pulau Ambon berada pada musim kemarau. Periode ini intensitas aliran sungai dan input dari daratan relatif rendah bila dibandingkan musim hujan. Selain itu, arus pasang surut yang secara dominan menjadi pergerakan transport polutan, dengan intensitas gelombang laut rendah di Teluk Ambon maupun Teluk Baguala. Kedua, pola zonasi pertumbuhan lamun yang ditemukan di lokasi penelitian sejalan dengan pola umum zona lamun tropis, di mana spesies lamun kecil seperti *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulate*, *Halodule*, *Halophila* berada di daerah intertidal (umumnya berada di daerah intertidal dekat mangrove), sementara spesies lamun besar seperti *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides* berada pada daerah yang lebih dalam dan jauh dari daratan (Zurba, 2018). Dengan demikian, sumber bahan polutan dari darat diindikasikan lebih mudah terakumulasi pada spesies lamun kecil, sementara jika bahan polutan bersumber dari lokasi lain dibawah oleh arus dan gelombang maka akan lebih mudah terakumulasi pada spesies lamun besar. Hal ini menjadi indikasi kelemahan korelasi morfometri dengan kelimpahan mikroplastik, sehingga diduga yang menjadi faktor utama paling berpengaruh di lokasi penelitian adalah lingkungan abiotik (arus, musim dan masukan antropogenik).

4.6 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan adanya asosiasi antara kelimpahan sampah laut kategori plastik di pesisir dengan mikroplastik pada kompartemen di ekosistem lamun. Hasil analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa asosiasi tersebut tergolong kuat pada sedimen, sedang pada air laut dan lemah pada daun lamun serta biota.

V PEMBAHASAN UMUM

Pulau Ambon memiliki karakteristik pesisir yang unik, ditandai oleh keberadaan perairan teluk yang bersifat semi tertutup di wilayah Teluk Ambon Dalam, serta perairan yang terbuka dan terhubung langsung dengan Laut Banda di Teluk Ambon Luar dan Teluk Baguala. Perbedaan morfologi ini menyebabkan variasi dalam dinamika oseanografi seperti arus, gelombang, dan pertukaran massa air. Penelitian ini dilaksanakan pada musim Peralihan II, yang umumnya berada pada periode kemarau dengan perairan relatif lebih tenang dibandingkan musim lainnya. Teluk Ambon Dalam memiliki periode pertukaran massa air (*flushing time*) sekitar 14 hari (Pello *et al.* 2014; Salamena *et al.* 2021; Salamena *et al.* 2023), yang menunjukkan bahwa proses pembilasan air berlangsung relatif lambat. Sebaliknya, hingga saat ini belum terdapat laporan penelitian yang spesifik mengenai *flushing time* di Teluk Baguala, meskipun secara morfologi wilayah ini lebih terbuka terhadap laut lepas. Oleh karena itu, informasi mengenai karakteristik oseanografi pada kedua wilayah dalam penelitian ini digunakan sebagai konteks berdasarkan hasil penelitian terdahulu untuk membantu menginterpretasikan pola distribusi mikroplastik di pesisir.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kelimpahan mikroplastik tertinggi pada kompartemen sedimen, biota dan daun lamun ditemukan pada Teluk Ambon Dalam, dengan kelimpahan mikroplastik pada kolom air relatif lebih tinggi di Teluk Baguala. Pola tersebut sejalan dengan karakteristik oseanografi Teluk Ambon Dalam yang dilaporkan memiliki *flushing time* relatif panjang, sehingga diduga meningkatkan retensi material di dalam teluk dan memberikan peluang lebih besar bagi mikroplastik untuk mengendap pada sedimen maupun berinteraksi dengan organisme bentik. Sebaliknya, karakteristik Teluk Baguala yang lebih terbuka diduga memungkinkan mikroplastik tetap terdistribusi pada kolom air sebelum mengalami pengendapan. Namun demikian, penelitian ini terbatas dan tidak melakukan pengukuran langsung terhadap arus, gelombang, dan *flushing time* sehingga peran faktor hidrodinamika dalam mempengaruhi distribusi mikroplastik pada lokasi penelitian belum dapat dipastikan dan masih memerlukan kajian lebih lanjut.

Faktor oseanografi lokal yang berkerja di kedua wilayah penelitian membentuk karakteristik komposisi sampah laut yang berbeda di masing-masing pesisir teluk. Di wilayah Poka, yang berada di Teluk Ambon Dalam, ditemukan densitas bobot sampah yang relatif tinggi terutama dari jenis sampah gasket, kayu olahan, pipa PVC, serta berbagai komponen karet ban (Lampiran 1). Sampah jenis ini memiliki densitas material yang relatif besar, sehingga membutuhkan energi gelombang dan arus yang lebih kuat untuk dapat terdistribusi menjauh dari sumbernya. Temuan ini sejalan dengan Greenshields *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa perbedaan densitas partikel mempengaruhi jarak transportasi, material berdensitas tinggi cenderung bertahan di sekitar sumber sementara material yang lebih ringan lebih mudah terbawah arus jauh dari sumber polutannya. Dalam kondisi hidrodinamika yang cenderung lemah pada musim pengambilan data, menyebabkan sampah jenis ini berpotensi tertahan dan terakumulasi lebih lama di wilayah pesisir Poka. Sebaliknya komposisi jenis sampah di Suli lebih didominasi oleh material plastik ringan, yang berasal dari mika plastik, botol, gelas minuman kemasan, kemasan sacset serta berbagai jenis tali plastik yang umumnya digunakan

dalam aktivitas perikanan (Lampiran 1). Dominasi material berdensitas lebih ringan memungkinkan distribusi yang lebih dinamis mengikuti arus dan gelombang, sehingga pola sebarannya berbeda dibandingkan Teluk Ambon Dalam. Perbedaan komposisi sampah laut juga berimplikasi pada karakteristik mikroplastik pada ekosistem lamun di masing-masing wilayah.

Tutupan vegetasi lamun di kedua wilayah penelitian menunjukkan perbedaan yang cukup kontras. Teluk Baguala memiliki persentase tutupan yang lebih tinggi dibandingkan Teluk Ambon Dalam. Secara umum, berbagai penelitian menyatakan bahwa semakin tinggi tutupan lamun, semakin besar potensi akumulasi mikroplastik akibat meningkatnya kemampuan vegetasi dalam memperlambat arus dan menjebak partikel tersuspensi (Huang *et al.* 2020; Jones *et al.* 2020; Kreitsberg *et al.* 2021; Esmeralda *et al.* 2025; Greenshields *et al.* 2025). Namun, temuan dalam penelitian ini menunjukkan pola yang berbeda, dimana lokasi dengan tutupan lamun yang tidak mencapai 100% justru ditemukan akumulasi mikroplastik yang lebih tinggi. Pola ini sejalan dengan temuan Cousins *et al.* (2025), menemukan bahwa tingkat penutupan lamun yang relatif rendah justru lebih efektif dalam mengakumulasi mikroplastik. Salah satu kemungkinan yang dapat menjelaskan pola ini adalah adanya perbedaan karakteristik struktur padang lamun yang memengaruhi proses transportasi dan deposisi partikel mikroplastik. Namun, penelitian ini tidak mengukur kecepatan arus di dalam kanopi, kerapatan tegakanm biomassa lamun dan tekstur sedimen secara rinci. Oleh karena itu, mekanisme yang mendasari hubungan antara tutupan lamun dan akumulasi mikroplastik dalam penelitian ini masih bersifat hipotesis dan perlu untuk diuji melalui penelitian lanjutan.

Bentuk, ukuran dan warna mikroplastik yang ditemukan pada kedua lokasi di ekosistem lamun secara umum konsisten dengan karakteristik mikroplastik yang dilaporkan pada berbagai ekosistem lamun di tingkat global (Huang *et al.* 2020; Cozzolino *et al.* 2020; Sanchez-Vidal *et al.* 2021; Unsworth *et al.* 2021; Celmar *et al.* 2024; Ledet *et al.* 2024). Temuan ini menunjukkan bahwa pola kontaminasi yang terjadi di lokasi penelitian tidak berdiri sendiri, melainkan bagian dari fenomena yang lebih luas pada lingkungan pesisir. Analisis komposisi sampah laut di lokasi penelitian juga memperlihatkan adanya keterkaitan antara sumber antropogenik lokal, sumber eksternal dan dominasi bentuk mikroplastik fiber berwarna putih/bening. Wilayah penelitian yang berada dekat permukiman penduduk, kawasan pariwisata, aktivitas perikanan serta pelabuhan antar kabupaten diduga menjadi salah satu sumber utama masuknya mikroplastik bentuk fiber. Selain itu, kemungkinan berasal dari limbah domestik seperti serat pakaian yang terlepas pada proses pencucian dan masuk ke perairan melalui aliran limbah. Dilain sisi, sebagian besar perlengkapan perikanan menggunakan tali plastik berbahan sintesis yang dalam jangka waktu tertentu dapat terdegradasi menjadi serat mikro. Keberadaan pelabuhan di sekitar lokasi penelitian juga berpotensi menjadi sumber tambahan bentuk fiber. Gesekan ban bekas yang digunakan sebagai penyangga kapal secara terus menerus dapat melepaskan partikel serat ke lingkungan perairan. Kombinasi aktivitas daratan dan aktivitas maritim ini memperkuat dugaan bahwa dominasi fiber di lokasi penelitian tidak terjadi secara kebetulan, melainkan berkaitan dengan karakteristik pemanfaatan ruang pesisir di wilayah tersebut.

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, perbedaan aktivitas di kedua lokasi penelitian menjadi parameter penting dalam mengidentifikasi sumber utama

(source point) mikroplastik pada padang lamun. Untuk menelusuri asal muasal partikel tersebut, dilakukan analisis polimer menggunakan metode FTIR sebagai pendekatan kimia. Tahap awal dilakukan dengan membandingkan komposisi polimer yang ditemukan di kawasan pesisir dan di ekosistem lamun, hasilnya menunjukkan ada perbedaan yang cukup jelas antara kedua wilayah ini. Kawasan pesisir, polimer yang teridentifikasi didominasi oleh *polyethylene terephthalate* (PET), *polyvinyl chloride* (PVC), *polypropylene* (PP), dan *polyethylene* (PE). Jenis-jenis ini umumnya berkaitan dengan aktivitas domestik dan perikanan, mengingat penggunaannya yang luas dalam kemasan, peralatan rumah tangga, serta perlengkapan tangkap. Berbeda dengan kawasan pesisir, komposisi polimer pada padang lamun menunjukkan dominasi *ethylene propylene polymers* (EPPs), *ethylene propylene terpolymer* (EPDM) dan *polypropylene* (PP). Namun, ketika dianalisis kembali secara lebih rinci dari polimer sampah laut di pesisir, ditemukan keberadaan *ethylene propylene* di kawasan Poka (4 sampel) dan Suli (1 sampel) dengan jumlah Persentase 9.09% yang relatif kecil bila dibandingkan polimer lainnya. Sehingga diduga adanya sumber lain seperti seleksi retensi oleh sedimen dan lamun, perbedaan densitas polimer atau ketidakpastian identifikasi dengan metode FTIR.

Temuan ini menunjukkan bahwa polimer yang dominan di padang lamun bukan berasal dari fraksi polimer yang dominan di pesisir, melainkan dari jenis polimer secara kuantitatif lebih sedikit di perairan pesisir. Kondisi ini mengindikasikan adanya proses seleksi dan retensi di ekosistem lamun, dimana polimer dengan karakteristik sifat fisik tertentu seperti densitas, bentuk, biofouling dan weathering dapat memengaruhi retensi partikel. Jika dibandingkan dengan polimer lainnya, karet sintesis seperti EPDM memiliki densitas yang relatif lebih padat daripada air laut (Greenshields *et al.* 2025). Secara teoritis, karakteristik ini memungkinkan partikel lebih mudah mengalami pengendapan dan terakumulasi di sekitar sumber polutan. Kondisi ini dapat menjelaskan kelimpahan polimer dapat ditemukan dominan di lokasi penelitian. Selain itu, sedimen dasar yang mendominasi turut memperkuat akumulasi jenis polimer tersebut meskipun secara umum tidak mendominasi di kawasan pesisir. Penelitian yang dilaporkan oleh Greenshields *et al.* (2025) menemukan bahwa karakteristik sedimen berpengaruh terhadap pola akumulasi mikroplastik, di mana sedimen berbutir halus cenderung menahan partikel pada lapisan 0-2 cm, sedangkan sedimen dengan butiran lebih besar memungkinkan terakumulasi jauh lebih dalam. Struktur sedimen yang ada di Poka dan Suli berperan sebagai media akumulasi yang efektif, sehingga memungkinkan polimer jenis ini terperangkap dan bertahan dalam jumlah yang relatif besar di sedimen dasar lokasi penelitian.

Masyarakat pesisir Pulau Ambon, khususnya di Poka dan Suli memanfaatkan padang lamun saat air laut surut sebagai lokasi untuk mencari biota laut yang bernilai gizi tinggi. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh kompartemen di ekosistem lamun telah terkontaminasi mikroplastik, mulai dari daun lamun, biota asosiasi seperti bulu babi, air laut dan sedimen. Kondisi ini mengindikasikan adanya paparan yang bersifat menyeluruh dalam sistem ekologi yang secara langsung berinteraksi dengan aktivitas pemanfaatan oleh masyarakat pesisir. Keberadaan mikroplastik berpotensi mengganggu fungsi ekologis lamun, termasuk pertumbuhan bibit *Enhalus acoroides* yang diketahui mendominasi kawasan tropis (Nugraha *et al.* 2025). Di sisi lain, akumulasi mikroplastik dalam tubuh biota seperti

bulu babi yang dikonsumsi secara langsung membuka peluang terjadinya transfer partikel ke tingkat trofik yang lebih tinggi, termasuk manusia. Mekanisme ini menunjukkan bahwa kontaminasi tidak berhenti pada level ekosistem, tetapi dapat berlanjut dalam rantai makanan.

Dengan demikian, temuan penelitian ini tidak hanya mencerminkan adanya pencemaran mikroplastik pada ekosistem lamun, tetapi memberikan indikasi awal mengenai potensi paparan mikroplastik melalui komponen biota yang dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sumber pangan. Temuan ini menunjukkan pentingnya upaya pengelolaan sampah plastik di wilayah pesisir melalui keterlibatan pemerintah daerah, sektor swasta dan masyarakat pesisir guna mengurangi masukan sampah ke lingkungan laut. Namun, penelitian ini belum mengevaluasi toksisitas, analisis aditif, logam berat, POPs dan estimasi konsumsi biota oleh masyarakat, sehingga implikasi terhadap kesehatan manusia dan keamanan pangan belum dapat disimpulkan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengkaji lebih dalam terkait dengan analisis kontaminan, bioavailabilitas serta penilaian resiko kesehatan diperlukan untuk dapat memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif.

@HakCiptaIPBUniversity

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil melaporkan bahwa pada musim Peralihan II di Poka dan Suli, Pulau Ambon, Maluku, ditemukan jenis sampah laut dominan pada pesisir yaitu plastik dengan persentase lebih dari 60%, yang menunjukkan bahwa plastik merupakan fraksi utama sampah laut di wilayah pesisir yang diteliti. Analisis polimer menunjukkan bahwa polimer dominan yang ditemukan pada sampah plastik terdiri atas *polietilen tereftalat* (PET), *polietilen* (PE), dan *polivinil klorida* (PVC).

Pada ekosistem lamun, mikroplastik ditemukan pada masing-masing kompartemen dengan kelimpahan rata-rata pada daun lamun ($10,7 \pm 8,23$ partikel per helai), biota ($8,5 \pm 5,96$ partikel per individu), air laut ($34,16 \pm 28,87$ partikel L^{-1}) dan sedimen ($24,12 \pm 14,54$ partikel kg^{-1} sedimen kering). Karakteristik mikroplastik pada lokasi penelitian didominasi oleh bentuk fiber dan warna putih, dengan ukuran dominan $<300 \mu m$ di Poka dan $>1000 \mu m$ di Suli. Polimer yang paling sering ditemukan pada mikroplastik di lamun adalah *Ethylene Propylene Polymers* (EPPs) dan *Ethylene Propylene Polymers* (EPDM), diduga berkaitan dengan aktivitas perikanan, transportasi, dan material karet sintetis di sekitar kawasan pesisir.

Lebih lanjut, analisis regresi linier menunjukkan bahwa besarnya hubungan antara kelimpahan sampah laut dengan mikroplastik berbeda pada setiap kompartemen di ekosistem lamun, dengan nilai koefisien determinasi tertinggi pada sedimen ($R^2 = 0,892$), diikuti air laut ($R^2 = 0,653$) sedangkan nilai pada biota ($R^2 = 0,050$) dan daun lamun dari spesies *Enhalus acoroides* ($R^2 = 0,125$) relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa respons setiap kompartemen terhadap akumulasi mikroplastik tidak sama.

6.2 Saran

Penelitian ini berhasil memberikan gambaran awal mengenai kondisi eksisting kontaminasi mikroplastik pada ekosistem lamun di Poka dan Suli, Pulau Ambon, Maluku. Kendati demikian, data yang diperoleh terbatas pada satu musim, yaitu musim Peralihan II, sehingga belum mampu menggambarkan dinamika kontaminasi mikroplastik sepanjang tahun. Variasi musim berpotensi memengaruhi pola distribusi, transportasi dan akumulasi mikroplastik di perairan pesisir. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan pemantauan pada musim hujan, musim kemarau dan musim peralihan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai dinamika kontaminasi mikroplastik. Penelitian perlu dilengkapi dengan pengukuran parameter oseanografi dan lingkungan seperti arus, gelombang, pasang surut, curah hujan dan masukan dari sungai, sehingga faktor-faktor yang memengaruhi distribusi dan akumulasi mikroplastik di perairan pesisir dapat dianalisis secara lebih menyeluruh.

Selain itu, mengingat masyarakat pesisir pada lokasi penelitian memiliki pola konsumsi sehari-hari yang sangat bergantung pada biota laut sebagai sumber protein hewani utama, maka rekomendasi kedua yang dapat diberikan yaitu penelitian lanjutan tetap mempertimbangkan aspek bioakumulasi mikroplastik pada organisme laut yang dikonsumsi masyarakat dari padang lamun, misalnya bulu

babi, kerang, gastropoda, ikan kecil dan teripang. Analisis sebaiknya mencakup bagian tubuh organisme yang dikonsumsi oleh masyarakat. Upaya ini dapat memperkaya pemahaman ekologi tentang interaksi mikroplastik dengan ekosistem lamun, tetapi juga memberikan kontribusi penting terhadap aspek kesehatan masyarakat, lingkungan dan ketahanan pangan lokal di wilayah pesisir.

Penelitian selanjutnya disarankan melakukan penyempurnaan metode analisis mikroplastik melalui standarisasi prosedur penelitian. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan meliputi normalisasi kelimpahan mikroplastik pada daun lamun berdasarkan luas permukaan daun, analisis *recovery rate*, penerapan koreksi blanko, serta peningkatan proporsi partikel yang dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk meningkatkan akurasi hasil penelitian.

Identifikasi sumber polimer mikroplastik masih perlu dikaji lebih mendalam karena komposisi polimer mikroplastik yang ditemukan pada ekosistem lamun tidak sepenuhnya sama dengan polimer penyusun sampah laut di wilayah pesisir. Penelitian lanjutan perlu diarahkan pada penelusuran sumber spesifik polimer mikroplastik seperti limbah domestik, aktivitas perikanan dan alat tangkap, abrasi ban kendaraan, aktivitas pelabuhan, dan material yang berasal dari kegiatan pariwisata.

@HakCiptaIPBUniversity

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, M. P., Hovey, R. K., Hipsey, M. R., Bruce, L. C., Ghisalberti, M., Lowe, R. J., Gruber, R. K., Ruiz-Montoya, L., Maxwell, P. S., Callaghan, D. P., Kendrick, G. A., & O'Brien, K. R. (2016). Feedback between sediment and light for seagrass: Where is it important? *Limnology and Oceanography*, 61(6), 1937–1955. <https://doi.org/10.1002/lno.10319>
- Alkalay, R., Pasternak, G., & Zask, A. (2007). Clean-coast index-A new approach for beach cleanliness assessment. *Ocean and Coastal Management*, 50(5–6), 352–362. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2006.10.002>
- Allen, S., Allen, D., Karbalaie, S., Maselli, V., & Walker, T. R. (2022). Micro(nano)plastics sources, fate, and effects: What we know after ten years of research. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 6, 100057. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100057>
- AlMusallami, M., Al Ali, A., Aljaberi, S., Das, H., Pavlopoulos, K., & Muzaffar, S. Bin. (2024). Ingestion of marine debris in juvenile sea turtles in Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Marine Pollution Bulletin*, 209(PA), 117029. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117029>
- Apostoloumi, C., Malea, P., & Kevrekidis, T. (2021a). Principles and concepts about seagrasses: Towards a sustainable future for seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112936>
- Asensio-Montesinos, F., Anfuso, G., & Williams, A. T. (2019). Beach litter distribution along the western Mediterranean coast of Spain. *Marine Pollution Bulletin*, 141(November 2018), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.031>
- Atmaja, P. S. P., Putra Suardana, A. A. M. A., Krisna Laharjana, I. K. A., Suteja, Y., & Purwiyanto, A. I. S. (2025). Macro debris accumulation in seagrass meadows along varying levels of tourism pressure in Bali, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 90(May), 104482. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104482>
- Barceló, D., Picó, Y., & Alfathan, A. H. (2023). Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 101(March). <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104204>
- Bonanno, G., & Orlando-Bonaca, M. (2020). Marine plastics: What risks and policies exist for seagrass ecosystems in the Plasticene? *Marine Pollution Bulletin*, 158(June), 111425. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111425>
- Brinkgreve, R. B. J., & Kumarswamy, S. (2008). Reference Manual Reference Manual. *Technology*, 1(November), 720–766.
- Cavalcante, A. L. G., Dari, D. N., de Morais Silva, M. F., da Silva Vieira, R., da Silva Aires, F. I., de Sousa, P. G., dos Santos, K. M., & dos Santos, J. C. S. (2025). Advances in enzymatic degradation of microplastics: Mechanisms, optimization strategies, and future directions. *Molecular Catalysis*, 585. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2025.115392>

- Celmar, J. M., Gabriel, A. D., Hung, C. C., & Bacosa, H. P. (2024). Microplastic pollution on seagrass blades in two coastal bays in Northern Mindanao, Philippines. *Regional Studies in Marine Science*, 77(June), 103636. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103636>
- Citterich, F., Lo Giudice, A., & Azzaro, M. (2023). A plastic world: A review of microplastic pollution in the freshwaters of the Earth's poles. *Science of the Total Environment*, 869(January), 161847. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161847>
- Cordova, M. R., Hadi, T. A., & Prayudha, B. (2018). Occurrence and abundance of microplastics in coral reef sediment : a case study in Sekotong , Lombok-Indonesia. *Advances in Environmental Sciences Bioflux*, 10(1), 23–29. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1297719>
- Cordova, M. R., Ihya, Y., Purbonegoro, T., Puspitasari, R., Rositasari, R., Yogaswara, D., Taufik, M., Prasetyo, S., Wibowo, A., Subandi, R., Yuniar, S., Sulistiowati, S., Kusumastuti, I., Rahman, L., Al, S., Aprilani, T., Muhtadi, A., Puspa, S., & Cragg, S. M. (2024). Chemosphere Abundance and characterization of microplastic pollution in the wildlife reserve , Ramsar site , recreational areas , and national park in northern Jakarta and Kepulauan Seribu , Indonesia. *Chemosphere*, 348(February 2023), 140761. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140761>
- Cordova, M. R., Iskandar, M. R., Muhtadi, A., Nurhasanah, Saville, R., & Riani, E. (2022). Spatio-temporal variation and seasonal dynamics of stranded beach anthropogenic debris on Indonesian beach from the results of nationwide monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 182(April), 114035. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114035>
- Cordova, M. R., Purwiyanto, A. I. S., & Suteja, Y. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in the northern coastal waters of Surabaya, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 142(October 2018), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.040>
- Cordova, M. R., Riani, E., & Shiomoto, A. (2020). Microplastics ingestion by blue panchax fish (*Aplocheilus* sp.) from Ciliwung Estuary, Jakarta, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 161(PB), 111763. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111763>
- Cordova, M. R., Ulumuddin, Y. I., Purbonegoro, T., Puspitasari, R., Afianti, N. F., Rositasari, R., Yogaswara, D., Hafizt, M., Iswari, M. Y., Fitriya, N., Widyastuti, E., Harmesa, Lestari, Kampono, I., Kaisupy, M. T., Wibowo, S. P. A., Subandi, R., Sani, S. Y., Sulistyowati, L., ... Cragg, S. M. (2022). Seasonal heterogeneity and a link to precipitation in the release of microplastic during COVID-19 outbreak from the Greater Jakarta area to Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 181(July), 113926. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113926>
- Cordova, M. R., Ulumuddin, Y. I., Purbonegoro, T., & Shiomoto, A. (2021). Characterization of microplastics in mangrove sediment of Muara Angke Wildlife Reserve, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 163(December 2020), 112012. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112012>

- Cousins, A., Dunn, C., Aberg, D., Smyth, A. J., Williams, M., Green, J. A. M., & Kurr, M. (2025). Evaluating microplastic trapping efficiency in seagrass meadows using hydraulic flume simulations. *Marine Pollution Bulletin*, 213, 117660. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117660>
- Cozzolino, L., Nicastro, K. R., Zardi, G. I., & de los Santos, C. B. (2020). Species-specific plastic accumulation in the sediment and canopy of coastal vegetated habitats. *Science of the Total Environment*, 723, 138018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138018>
- Critchell, K., & Lambrechts, J. (2016). Modelling accumulation of marine plastics in the coastal zone; what are the dominant physical processes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 171, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.036>
- Datu, S. S., Supriadi, S., & Tahir, A. (2019). Microplastic in Cymodocea rotundata Seagrass Blades. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 4(6), 1758–1761. <https://doi.org/10.22161/ijeab.46.21>
- de Melo Nobre, F. S., Santos, A. A., & Nilin, J. (2021). Records of marine litter contamination in tropical beaches (Sergipe, Brazil) with different uses. *Marine Pollution Bulletin*, 170(December 2020), 112532. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112532>
- Duan, J., Han, J., Cheung, S. G., Chong, R. K. Y., Lo, C. M., Lee, F. W. F., Xu, S. J. L., Yang, Y., Tam, N. F. yee, & Zhou, H. C. (2021). How mangrove plants affect microplastic distribution in sediments of coastal wetlands: Case study in Shenzhen Bay, South China. *Science of the Total Environment*, 767, 144695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144695>
- El Nashar, D. E., Helaly, F. M., Khalaf, A. I., Rozik, N. N., Kandil, H., Koriem, A. A., & Soliman, A. M. (2021). Production of safe and antimicrobial ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber vulcanizates for toys and medical applications. *Egyptian Journal of Chemistry*, 64(5), 2557–2566. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021.47986.2982>
- Ely, A. J., Tuhumena, L., Sopaheluwakan, J., & Pattinaja, Y. (2021). Strategi Pengelolaan Ekosistem Hutan Mangrove Di Negeri Amahai. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 17(1), 57–67. <https://doi.org/10.30598/tritonvol17issue1page57-67>
- Esmeralda, G., & Patterson, J. (2025). Accumulation of microplastics in relation to the sediment grain size distribution in seagrass meadows in the coastal areas of Tuticorin, southeast coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 212(September 2024), 117557. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117557>
- Feng, Z., Wang, R., Zhang, T., Wang, J., Huang, W., Li, J., Xu, J., & Gao, G. (2020). Microplastics in specific tissues of wild sea urchins along the coastal areas of northern China. *Science of the Total Environment*, 728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138660>

- Frère, L., Paul-Pont, I., Rinnert, E., Petton, S., Jaffré, J., Bihannic, I., Soudant, P., Lambert, C., & Huvet, A. (2017). Influence of environmental and anthropogenic factors on the composition, concentration and spatial distribution of microplastics: A case study of the Bay of Brest (Brittany, France). *Environmental Pollution*, 225, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.023>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Good, T. P., Samhouri, J. F., Feist, B. E., Wilcox, C., & Jahncke, J. (2020). Plastics in the Pacific: Assessing risk from ocean debris for marine birds in the California Current Large Marine Ecosystem. *Biological Conservation*, 250(July), 108743. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108743>
- Greenshields, J., Irving, A. D., Anastasi, A., & Capper, A. (2025). Sediment composition influences microplastic trapping in seagrass meadows. *Environmental Pollution*, 373(February), 126090. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126090>
- Guittard, A., Akinsete, E., Demian, E., Koundouri, P., Papadaki, L., & Tombrou, X. (2023). Tackling Single-Use-Plastic in small touristic islands to reduce marine litter: co-identifying the best mix of policy interventions. *Frontiers in Environmental Economics*, 2(July), 1–13. <https://doi.org/10.3389/frevc.2023.1145640>
- Gullström, M., Lyimo, L. D., Dahl, M., Samuelsson, G. S., Eggertsen, M., Anderberg, E., Rasmusson, L. M., Linderholm, H. W., Knudby, A., Bandeira, S., Nordlund, L. M., & Björk, M. (2018). Blue Carbon Storage in Tropical Seagrass Meadows Relates to Carbonate Stock Dynamics, Plant–Sediment Processes, and Landscape Context: Insights from the Western Indian Ocean. *Ecosystems*, 21(3), 551–566. <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0170-8>
- Hansani, K. U. D. N., Thilakarathne, E. P. D. N., Koongolla, J. B., Gunathilaka, W. G. I. T., Perera, B. G. D. O., Weerasingha, W. M. P. U., & Egodaunya, K. P. U. T. (2023). Contamination of microplastics in tropical coral reef ecosystems of Sri Lanka. *Marine Pollution Bulletin*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115299>
- Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L., & Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science and Technology*, 53(3), 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
- Hennicke, A., Macrina, L., Malcolm-Mckay, A., & Miliou, A. (2021). Assessment of microplastic accumulation in wild *Paracentrotus lividus*, a commercially important sea urchin species, in the Eastern Aegean Sea, Greece. *Regional Studies in Marine Science*, 45, 101855. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101855>

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Hoare, V., Atchison Balmond, N., Hays, G. C., Jones, R., Koldewey, H., Laloë, J. O., Levy, E., Llewellyn, F., Morrall, H., & Esteban, N. (2022). Spatial variation of plastic debris on important turtle nesting beaches of the remote Chagos Archipelago, Indian Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 181(July). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113868>
- Huang, Y., Xiao, X., Effiong, K., Xu, C., Su, Z., Hu, J., Jiao, S., & Holmer, M. (2021). New Insights into the Microplastic Enrichment in the Blue Carbon Ecosystem: Evidence from Seagrass Meadows and Mangrove Forests in Coastal South China Sea. *Environmental Science and Technology*, 55(8), 4804–4812. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07289>
- Huang, Y., Xiao, X., Xu, C., Perianen, Y. D., Hu, J., & Holmer, M. (2020). Seagrass beds acting as a trap of microplastics - Emerging hotspot in the coastal region? *Environmental Pollution*, 257, 113450. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113450>
- Huvet, A., Frère, L., Lacroix, C., Rinnert, E., Lambert, C., & Paul-Pont. (2025). Microplastics as sorption materials of herbicides, persistent organic pollutants (POPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a coastal bay. *Regional Studies in Marine Science*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104279>
- Ioakeimidis, C., Fotopoulou, K. N., Karapanagioti, H. K., Geraga, M., Zeri, C., Papathanassiou, E., Galgani, F., & Papatheodorou, G. (2016). The degradation potential of PET bottles in the marine environment: An ATR-FTIR based approach. *Scientific Reports*, 6(March), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep23501>
- James, R. K., Lynch, A., Herman, P. M. J., van Katwijk, M. M., van Tussenbroek, B. I., Dijkstra, H. A., van Westen, R. M., van der Boog, C. G., Klees, R., Pietrzak, J. D., Slobbe, C., & Bouma, T. J. (2021). Tropical Biogeomorphic Seagrass Landscapes for Coastal Protection: Persistence and Wave Attenuation During Major Storms Events. *Ecosystems*, 24(2), 301–318. <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00519-2>
- Jansen, M. A. K., Andrady, A. L., Bornman, J. F., Aucamp, P. J., Bais, A. F., Banaszak, A. T., Barnes, P. W., Bernhard, G. H., Bruckman, L. S., Busquets, R., Häder, D. P., Hanson, M. L., Heikkilä, A. M., Hylander, S., Lucas, R. M., Mackenzie, R., Madronich, S., Neale, P. J., Neale, R. E., ... Zhu, L. (2024). Plastics in the environment in the context of UV radiation, climate change and the Montreal Protocol: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2023. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 23(4), 629–650. <https://doi.org/10.1007/s43630-024-00552-3>
- Jones, K. L., Hartl, M. G. J., Bell, M. C., & Capper, A. (2020). Microplastic accumulation in a *Zostera marina* L. bed at Deerness Sound, Orkney, Scotland. *Marine Pollution Bulletin*, 152(September 2019), 110883. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110883>
- Kaviarasan, T., Naik, S., Sivadas, S. K., Dhineka, K., Sambandam, M., Sivyer, D., Mishra, P., & Ramana Murthy, M. V. (2020). Assessment of litter in the remote beaches of Lakshadweep Islands, Arabian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 161(PB), 111760. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111760>
- Kehutanan, K. L. H. dan. (2025). *Sumber Sampah*. <https://sipsn.kemenlh.go.id/sipsn/public/data/sumber>



- Key, S., Ryan, P. G., Gabbott, S. E., Allen, J., & Abbott, A. P. (2024). Influence of colourants on environmental degradation of plastic litter. *Environmental Pollution*, 347(January), 123701. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123701>
- Kholis, N., Manullang, C. Y., Anuar, S. T., Atmadipoera, A. S., Zuraida, R., & Patria, M. P. (2025). Microplastic occurrence in the deep-sea sediment of the Indonesian Throughflow, Banggai Sea. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 19(May), 100780. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100780>
- Kreitsberg, R., Raudna-Kristoffersen, M., Heinlaan, M., Ward, R., Visnapuu, M., Kisand, V., Meitern, R., Kotta, J., & Tuvikene, A. (2021). Seagrass beds reveal high abundance of microplastic in sediments: A case study in the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112417>
- Kubangun, M. T., Rabiyaniti, I., Wahyudi, A., & Mewar, K. (2024). Identifikasi Sampah Laut (Marine Debris) Di Pantai Pintu Kota Dan Pantai Air Louw, Kota Ambon. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 15(2), 115–125. <https://doi.org/10.24319/jtpk.15.115-125>
- Ledet, J., Tan, C., Guan, X. H., Yong, C. L. X., Ying, L., & Todd, P. (2024). Trapping of microplastics and other anthropogenic particles in seagrass beds: Ubiquity across a vertical and horizontal sampling gradient. *Marine Environmental Research*, 197(January), 106487. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106487>
- Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment*, 566–567, 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., & Song, M. (2023). Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. *Environment and Health*, 1(4), 249–257. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>
- Lippiatt, S., Sarah, O., & Courtney, A. (2013). NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Marine Debris Monitoring and Assessment: Recommendations for Monitoring Debris Trends in the Marine Environment. *NOAA Tech. Memo*, November, 1–88.
- Littman, R. A., Fiorenza, E. A., Wenger, A. S., Berry, K. L. E., van de Water, J. A. J. M., Nguyen, L., Aung, S. T., Parker, D. M., Rader, D. N., Harvell, C. D., & Lamb, J. B. (2020). Coastal urbanization influences human pathogens and microdebris contamination in seafood. *Science of the Total Environment*, 736, 139081. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139081>
- Liu, J., & Zheng, L. (2025). Microplastic migration and transformation pathways and exposure health risks. *Environmental Pollution*, 368(January), 125700. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125700>
- Loulad, S., Houssa, R., Ouamari, N. EL, & Rhinane, H. (2019). Quantity and spatial distribution of seafloor marine debris in the Moroccan Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 139(December 2018), 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.036>

- Luhulima, Y., Zamani, N. P., & Bengen, D. G. (2020). KEPADATAN DAN POLA PERTUMBUHAN TERIPANG *Holothuria scabra*, *Holothuria atra* dan *Bohadchia marmorata* SERTA ASOSIASINYA DENGAN LAMUN DI PESISIR PULAU AMBON, SAPARUA, OSI DAN MARSEGU, PROVINSI MALUKU. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 543–556. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.23454>
- Lusher, A. L., Brâte, I. L. N., Munno, K., Hurley, R. R., & Welden, N. A. (2020). Is It or Isn't It: The Importance of Visual Classification in Microplastic Characterization. In *Applied Spectroscopy* (Vol. 74, Issue 9). <https://doi.org/10.1177/0003702820930733>
- Lusher, A. L., Welden, N. A., Sobral, P., & Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods*, 9(9), 1346–1360. <https://doi.org/10.1039/c6ay02415g>
- Manullang, C. Y. (2019). The abundance of Plastic Marine Debris on Beaches in Ambon Bay. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 253(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/253/1/012037>
- Manullang, C. Y., Patria, M. P., Haryono, A., Anuar, S. T., Fadli, M., Susanto, R. D., & Wei, Z. (2024). Vertical distribution of microplastic along the main gate of Indonesian Throughflow pathways. *Marine Pollution Bulletin*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115954>
- Manullang, C. Y., Soamole, A., Rehalat, I., Barends, W., & Sudin, A. M. (2023). Debris from plastic products in the beaches around Northern Ambon Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1163(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1163/1/012006>
- McKenzie, L. J., Nordlund, L. M., Jones, B. L., Cullen-Unsworth, L. C., Roelfsema, C., & Unsworth, R. K. F. (2020). The global distribution of seagrass meadows. *Environmental Research Letters*, 15(7). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7d06>
- Moon, Y., Shim, W. J., & Hong, S. H. (2023). Characteristics of Plastic Debris Ingested by Sea Turtles: A Comprehensive Review. *Ocean Science Journal*, 58(4), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12601-023-00124-z>
- Murano, C., Agnisola, C., Caramiello, D., Castellano, I., Casotti, R., Corsi, I., & Palumbo, A. (2020). How sea urchins face microplastics: Uptake, tissue distribution and immune system response. *Environmental Pollution*, 264, 114685. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114685>
- Nachite, D., Maziane, F., Anfuso, G., & Williams, A. T. (2019). Spatial and temporal variations of litter at the Mediterranean beaches of Morocco mainly due to beach users. *Ocean and Coastal Management*, 179(April), 104846. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104846>
- Naderi Kalali, E., Lotfian, S., Entezar Shabestari, M., Khayatzaadeh, S., Zhao, C., & Yazdani Nezhad, H. (2023). A critical review of the current progress of plastic waste recycling technology in structural materials. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100763>
- Nair, H. T., Sivaraman, R., Ponnusamy, S., Palanisamy, R., & Perumal, S. (2025). Microplastic particles as a vector for toxic-heavy metals: A study on selective aquatic and terrestrial ecosystems. *Sustainable Chemistry One World*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.scowo.2025.100097>

- Navarrete-Fernández, T., Bermejo, R., Hernández, I., Deidun, A., Andreu-Cazenave, M., & Cózar, A. (2022). The role of seagrass meadows in the coastal trapping of litter. *Marine Pollution Bulletin*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113299>
- Noya, Y. A., & Tuahatu, J. W. (2021). Kepadatan dan pola transport sampah laut terapung di pesisir barat perairan Teluk Ambon Luar. *Jurnal Penelitian Sains*, 23(1), 19. <https://doi.org/10.56064/jps.v23i1.594>
- Nugraha, A. H., Idris, F., Apriadi, T., Dhevanda, C., Azis, M. Y., & Hafsar, K. (2025). Impact of microplastic exposure on the health of tropical seagrass (*Enhalus acoroides*) seedlings. *Marine Pollution Bulletin*, 213(January), 117617. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117617>
- Nurhasanah, Cordova, M. R., & Riani, E. (2021). Micro- and mesoplastics release from the Indonesian municipal solid waste landfill leachate to the aquatic environment: Case study in Galuga Landfill Area, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 163(December 2020), 111986. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111986>
- Oghabi, M., & Khoshvatan, M. (2020). The Laboratory Experiment of the Effect of Quantity and Length of Plastic Fiber on Compressive Strength and Tensile Resistance of Self-Compacting Concrete. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(8), 2477–2484. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1578-9>
- Ondara, K., Rahmawan, G. A., & Wishu, U. J. (2017). Karakteristik Hidrodinamika Di Perairan Teluk Ambon Untuk Mendukung Wisata Selam. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 10(1), 67. <https://doi.org/10.21107/jk.v10i1.2170>
- Pello, F. S., Adiwilaga, E. M., Huliselan, N. V., & Damar, D. A. (2014). Effect of Seasonal on Nutrient Load Input The Inner Ambon Bay. *Jurnal Bumi Lestari*, 14(1), 63–73.
- Pieper, C., Amaral-Zettler, L., Law, K. L., Loureiro, C. M., & Martins, A. (2019). Application of Matrix Scoring Techniques to evaluate marine debris sources in the remote islands of the Azores Archipelago. *Environmental Pollution*, 249, 666–675. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.084>
- PP17. (2018). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 83 Tahun 2018 Tentang Penanganan Sampah Laut. *Demographic Research*, 4–7.
- Prata, J. C., Reis, V., da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2021). Contamination issues as a challenge in quality control and quality assurance in microplastics analytics. *Journal of Hazardous Materials*, 403(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123660>
- Purba, N. P., Handyman, D. I. W., Pribadi, T. D., Syakti, A. D., Pranowo, W. S., Harvey, A., & Ihsan, Y. N. (2019). Marine debris in Indonesia: A review of research and status. *Marine Pollution Bulletin*, 146(May), 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.057>
- Purnama, D., Zamani, N. P., Bengen, D. G., & Cordova, M. R. (2025). Study on Plastic Ingestion in Carcasses Sea Turtles on Enggano Island, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 29(1), 27–53. <https://doi.org/10.21608/ebabf.2025.402747>

@Hak Cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Purwiyanto, A. I. S., Prartono, T., Riani, E., Naulita, Y., Cordova, M. R., & Koropitan, A. F. (2022). The deposition of atmospheric microplastics in Jakarta-Indonesia: The coastal urban area. *Marine Pollution Bulletin*, 174(June 2021), 113195. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113195>
- Qi, R., Jones, D. L., Li, Z., Liu, Q., & Yan, C. (2020). Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review. *Science of the Total Environment*, 703, 134722. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134722>
- Rahman, L., Zamani, N. P., Ismet, M. S., & Cordova, M. R. (2024). Effects of seasonal variation on the characteristics of stranded marine debris within Rambut Island Wildlife Reserve, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(1), 129–138. <https://doi.org/10.14710/jkt.v27i1.20655>
- Rahmawati, Krisanti, M., Riani, E., & Cordova, M. R. (2023). Microplastic contamination in the digestive tract of sea urchins (Echinodermata: Echinoidea) in Kepulauan Seribu, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11655-2>
- Rangel-Buitrago, N., Gracia C., A., Velez-Mendoza, A., Carvajal-Florián, A., Mojica-Martinez, L., & Neal, W. J. (2019). Where did this refuse come from? Marine anthropogenic litter on a remote island of the Colombian Caribbean sea. *Marine Pollution Bulletin*, 149(September), 110611. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110611>
- Rangel-Buitrago, N., Vergara-Cortés, H., Barriá-Herrera, J., Contreras-López, M., & Agredano, R. (2019). Marine debris occurrence along Las Salinas beach, Viña Del Mar (Chile): Magnitudes, impacts and management. *Ocean and Coastal Management*, 178(April), 104842. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104842>
- Rios-Fuster, B., Alomar, C., & Deudero, S. (2023). Elucidating the consequences of the co-exposure of microplastics jointly to other pollutants in bivalves: A review. *Environmental Research*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114560>
- Salamena, G. G., Heron, S. F., Ridd, P. V., & Whinney, J. C. (2023). A risk assessment of marine plastics in coastal waters of a small island: Lessons from Ambon Island, eastern Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103086>
- Salamena, G. G., Whinney, J. C., Heron, S. F., & Ridd, P. V. (2021). Internal tidal waves and deep-water renewal in a tropical fjord: Lessons from Ambon Bay, eastern Indonesia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 253(February). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107291>
- Sanchez-Vidal, A., Canals, M., de Haan, W. P., Romero, J., & Veny, M. (2021). Seagrasses provide a novel ecosystem service by trapping marine plastics. *Scientific Reports*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79370-3>
- Sawalman, R., Werorilangi, S., Ukkas, M., Mashoreng, S., Yasir, I., & Tahir, A. (2021). Microplastic abundance in sea urchins (*Diadema setosum*) from seagrass beds of Barranglompo Island, Makassar, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 763(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/763/1/012057>

- Shara, S. I., Eissa, E. A., & Basta, J. S. (2018). Polymers additive for improving the flow properties of lubricating oil. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 795–799. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.12.001>
- Siwach, S., Bharti, M., Yadav, S., Dolkar, P., Modeel, S., Yadav, P., Negi, T., & Negi, R. K. (2024). Unveiling the ecotoxicological impact of microplastics on organisms - the persistent organic pollutant (POP): A comprehensive review. *Journal of Contaminant Hydrology*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104397>
- Somerville, S. E., Miller, K. L., & Mair, J. M. (2003). Assessment of the aesthetic quality of a selection of beaches in the Firth of Forth, Scotland. *Marine Pollution Bulletin*, 46(9), 1184–1190. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00126-7)
- Suhardono, S., Lee, C. H., & Suryawan, I. W. K. (2024). Trends in citizen influencing willingness to participate in marine debris management and social well-being in Bali metropolitan, Indonesia. *Urban Governance*, 4(4), 362–373. <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2024.12.005>
- Sulistiowati, Zamani, N. P., Bengen, D. G., Lim, C. L., & Cordova, M. R. (2023). Characteristic of Microplastic on Coral Reef Sediment and Sea Urchin (*Diadema* sp.) in Tidung Island, Jakarta Bay, Indonesia. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 28(4), 289–300. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.28.4.289-300>
- Supriyadi, I. H. (2019). Kondisi Padang Lamun Di Perairan Timur Indonesia (the Condition of Seagrass Meadow in the Waters of Eastern Indonesia). *Jurnal Segara*, 14(3), 169–177. <https://doi.org/10.15578/segara.v14i3.6887>
- Suteja, Y., Parwati, E., Budhiman, S., Radjawane, I. M., Hartuti, M., Afgatiani, P. M., Ulfa, A., Rahmadi, Dewi, E. K., & Purwiyanto, A. I. S. (2025). Spatial patterns and types of marine anthropogenic debris on touristic beaches along the Eastern Indian Ocean: A preliminary study from Southern Sumatera Island, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 81(December 2024), 103970. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103970>
- Suyadi, & Manullang, C. Y. (2020). Distribution of plastic debris pollution and it is implications on mangrove vegetation. *Marine Pollution Bulletin*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111642>
- Tagg, A. S., Sapp, M., Harrison, J. P., & Ojeda, J. J. (2015). Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging. *Analytical Chemistry*, 87(12), 6032–6040. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b00495>
- Thushari, G. G. N., & Senevirathna, J. D. M. (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6(8), e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>
- Tuahatu, J. (2022). Sampah Laut Yang Terdampar Di Pesisir Pantai Hative Besar Pada Musim Peralihan 1 (Marine Debris Stranded on The Hative Besar Beach During Transitional Season 1). *Jurnal TRITON*, 18(April), 47–54.
- Tuapattinaya, P. M. J., Kurnia, T. S., Lattupeiirissa, L., Studi, P., & Biologi, P. (2021). Kondisi dan Keragaman Jenis Lamun di Perairan Pantai Pulau Ambon. *Biologi, Pendidikan Dan Terapan*, 7, 95–101.

- Tumwesigye, E., Felicitas Nnadozie, C., C Akamagwuna, F., Siwe Noundou, X., William Nyakairu, G., & Odume, O. N. (2023). Microplastics as vectors of chemical contaminants and biological agents in freshwater ecosystems: Current knowledge status and future perspectives. *Environmental Pollution*, 330. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121829>
- UNEP. (2009). Marine Litter : A Global Challenge Marine Litter : A Global Challenge. In *Unep 2009*.
- Uneputty, P., & Evans, S. M. (1997). The impact of plastic debris on the biota of tidal flats in Ambon Bay (Eastern Indonesia). *Marine Environmental Research*, 44(3), 233–242. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(97\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(97)00002-0)
- Unsworth, R. K. F., Higgs, A., Walter, B., Cullen-Unsworth, L. C., Inman, I., & Jones, B. L. (2021). Canopy Accumulation: Are Seagrass Meadows a Sink of Microplastics? *Oceans*, 2(1), 162–178. <https://doi.org/10.3390/oceans2010010>
- Valsan, G., Warriar, A. K., Anusree, S., Tamrakar, A., Khaleel, R., & Rangel-Buitrago, N. (2024). Seasonal variation of microplastics in tropical mangrove waters of South-western India. *Regional Studies in Marine Science*, 69(September 2023), 103323. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103323>
- Vieyra, H., Molina-Romero, J. M., Calderón-Nájera, J. de D., & Santana-Díaz, A. (2022). Engineering, Recyclable, and Biodegradable Plastics in the Automotive Industry: A Review. *Polymers*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/polym14163412>
- Vriend, P., Hidayat, H., van Leeuwen, J., Cordova, M. R., Purba, N. P., Löhr, A. J., Faizal, I., Ningsih, N. S., Agustina, K., Husrin, S., Suryono, D. D., Hantoro, I., Widianarko, B., Lestari, P., Vermeulen, B., & van Emmerik, T. (2021). Plastic Pollution Research in Indonesia: State of Science and Future Research Directions to Reduce Impacts. *Frontiers in Environmental Science*, 9(June), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.692907>
- Wright, J., Hovey, R. K., Paterson, H., Stead, J., & Cundy, A. (2023). Microplastic accumulation in *Halophila ovalis* beds in the Swan-Canning Estuary, Western Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 187(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114480>
- Yakich, D. M., Wooley, A. K., Heath, L. B., & Poulakis, G. R. (2024). Effects of marine debris and human interactions on the smalltooth sawfish (*Pristis pectinata*). *Marine Pollution Bulletin*, 206(March), 116606. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116606>
- Zambrano-Pinto, M. V., Tinizaray-Castillo, R., Riera, M. A., Maddela, N. R., Luque, R., & Díaz, J. M. R. (2024). Microplastics as vectors of other contaminants: Analytical determination techniques and remediation methods. *Science of the Total Environment*, 908. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168244>
- Zhao L, Ru S, He J, Zhang Z, Song X, Wang D, Wang J. 2022. Eelgrass (*Zosterat marina*) and its epiphytic bacteria facilitate the sinking of microplastics in the seawater. *Environmental Pollution*. 292: 118337. [doi:10.1016/j.envpol.2021.118337](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118337).
- Zurba N. 2018. Pengenal Padang Lamun Suatu Ekosistem Yang Terlupakan. Unimal Press.