

**TESIS**

**KONTAMINASI MIKROPLASTIK PADA PRODUK GARAM  
DI KABUPATEN KEBUMEN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**MOH ADE MUDHOFAR**

**23927005**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN PROGRAM MAGISTER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2025**

TESIS

**KONTAMINASI MIKROPLASTIK PADA PRODUK GARAM  
DI KABUPATEN KEBUMEN**


**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**MOH ADE MUDHOFAR  
23927005**

Disetujui,  
Dosen Pembimbing:

  
(Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.)  
**NIK. 155131313**  
Tanggal: 26 Agustus 2025

  
(Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.)  
**NIK. 155130112**  
Tanggal: 26 Agustus 2025

Mengetahui,  
Ketua Prodi Magister Teknik Lingkungan FTSP UII

  
Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.  
**NIK. 025100407**  
Tanggal: 26 Agustus 2025

**HALAMAN PENGESAHAN**

**KONTAMINASI MIKROPLASTIK PADA PRODUK GARAM  
DI KABUPATEN KEBUMEN**

**Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji**

**Hari : Rabu  
Tanggal : 20 Agustus 2025**

**Disusun Oleh:**




**MOH ADE MUDHOFAR  
23927005**

**Tim Penguji :**

**Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.**

**Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.**

**Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.**

 26/8/25  
(  
 26/8/25  
(  
 26/8/2025  
(

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



**Moh Ade Mudhofar**

NIM: 23927005

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Kontaminasi Mikroplastik pada Produk Garam di Kabupaten Kebumen” dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Magister, serta sebagai wujud kontribusi ilmiah dalam kajian lingkungan khususnya terkait pencemaran mikroplastik pada produk pangan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini tidak akan terselesaikan tanpa dukungan, arahan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku Pembimbing I, dan Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Pembimbing II, yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, motivasi, dan koreksi yang sangat berarti selama proses penelitian hingga penulisan tesis ini.
2. Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku penguji yang telah memberikan masukan konstruktif demi penyempurnaan karya ilmiah ini.
3. Drs. H. Sobari dan Dra. Hj. Ayah Aliyah, M.Pd.I., orang tua tercinta, atas doa, dukungan moral, dan kasih sayang yang tiada henti sejak awal perjalanan akademik penulis hingga saat ini.
4. Syifa Fauziah, S.Pi., M.Sc. selaku support sistem yang senantiasa memberikan semangat, bantuan, dan dukungan emosional selama proses penelitian dan penulisan tesis ini.
5. Ni`matul Dinawisda, S.Psi., M.Pd., dan Bahrul Ilmi, S.Pd., beserta keluarga, selaku kakak tercinta, atas doa, dukungan, dan motivasi yang selalu menguatkan penulis.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan doa dalam berbagai bentuk.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi

pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang lingkungan dan keamanan pangan, serta menjadi salah satu referensi dalam upaya pengendalian kontaminasi mikroplastik di Indonesia.

## ABSTRAK

Mikroplastik merupakan kontaminan yang tersebar luas di lingkungan perairan dan berpotensi mencemari produk turunan laut seperti garam. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kelimpahan dan karakteristik mikroplastik pada sampel air laut sebagai bahan baku serta produk garam tradisional di Kabupaten Kebumen, sekaligus memetakan distribusi spasial kontaminasinya. Sampel air laut dan garam diambil dari empat stasiun pengamatan menggunakan metode *grab sampling*. Kelimpahan mikroplastik dianalisis dengan mikroskop stereo, sedangkan karakteristiknya (bentuk, ukuran, warna) diukur menggunakan Image Raster 3. Pemetaan spasial dilakukan dengan metode interpolasi IDW pada ArcGIS Pro, dan estimasi paparan dihitung menggunakan rumus *Estimated Daily Intake* (EDI) dan *Estimated Annual Intake* (EAI). Hasil menunjukkan air laut bahan baku garam telah terkontaminasi mikroplastik dengan kelimpahan 100–280 partikel/L, sedangkan pada garam mencapai 240–2640 partikel/kg. Proses produksi metode *tunnel* berkontribusi pada akumulasi mikroplastik akibat ketiadaan filtrasi efektif. Mikroplastik pada garam memiliki variasi bentuk, ukuran, dan warna lebih beragam dibandingkan pada air laut, dengan ukuran <50 µm mendominasi seluruh media. Bentuk fragmen paling banyak ditemukan pada garam (65,93%), sedangkan bentuk *fiber* lebih dominan pada air laut (59,52%) dan air muara (66,67%). Warna dominan pada garam adalah hitam (52,59%), sementara pada air laut adalah bening (40,48%). Karakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR mengindikasikan bahwa polimer yang terkandung dalam sampel garam adalah nylon dan polyethylene terephthalate (PET). Pemetaan distribusi mengindikasikan zona kelimpahan tinggi di sekitar muara dan wilayah dengan aktivitas antropogenik intensif. Nilai EDI mencapai 3,76 partikel/kapita/hari dan EAI 1373,48 partikel/kapita/tahun, menunjukkan potensi jalur paparan jangka panjang mikroplastik melalui konsumsi garam. Temuan ini menegaskan perlunya pengawasan kualitas garam terkait kandungan mikroplastik yang belum diatur dalam standar SNI. Rekomendasi mitigasi meliputi peningkatan teknik filtrasi pada proses produksi dan penetapan zona aman pengambilan air laut untuk mengurangi risiko paparan harian.

**Kata kunci:** Air laut, Air Muara, Garam, Kontaminasi Mikroplastik, Sistem Tunnel, *Estimated Daily Intake* (EDI).

## ABSTRACT

*Microplastics have become widespread contaminants in aquatic environments and have the potential to contaminate marine-derived products such as salt. This study aims to identify the abundance and characteristics of microplastics in salt and seawater samples used as the main raw materials for salt production, as well as to analyze the spatial distribution of microplastic contamination in seawater used as raw material for traditional salt products in Kebumen Regency. Seawater and estuary water samples were taken from four observation stations using the grab sampling method. Salt samples were taken from the salt storage warehouse. Microplastic abundance was analyzed using a stereo microscope. Microplastic characteristics (shape, size, and color) were carried out using Image Raster 3. Spatial mapping was carried out using the IDW interpolation method in ArcGIS Pro software, while the estimation of human microplastic intake was calculated based on the Estimated Daily Intake (EDI) and Estimated Annual Intake (EAI) formulas. The results showed that seawater as a raw material for salt production in Kebumen Regency has been contaminated with microplastics. The abundance of microplastics in seawater samples ranged from 100–280 MPs/L, while in salt samples it reached 240–2640 MPs/kg. The tunnel salt production process accumulates microplastics in the salt. The lack of effective filtration techniques for microplastic particles during the salt production process results in the accumulation of microplastics deposited in the tunnels. Microplastics in salt are more varied in size, shape, and color than in water. Microplastics <50 µm dominated all media, and fragmented forms were most commonly found in salt samples (65.93%), while fiber forms were more dominant in seawater (59.52%) and estuarine water (66.67%). The most common color of microplastics in salt was black (52.59%) and in seawater was clear (40.48%). Characterization using FTIR spectroscopy showed that the polymers contained in the salt samples were nylon and polyethylene terephthalate (PET). Distribution mapping showed zones with high abundance in areas adjacent to estuaries and intensive anthropogenic activities. The estimated daily intake (EDI) of microplastics consumed by the community reached 3.76 particles/capita/day. The Estimated Annual Intake (EAI) of microplastics consumed through salt consumption reached 1,373.48 particles/capita/year, indicating that consuming salt contaminated with microplastics could be a potential route of long-term human exposure to plastic contaminants. This study emphasizes the need for monitoring the quality of salt products, particularly regarding microplastic content, which is not yet regulated by the Indonesian National Standard (SNI). Mitigation recommendations include improving filtration during production and establishing safe zones for seawater intake to reduce the risk of microplastic exposure through daily consumption.*

*Keywords: Seawater, Estuary Water, Salt Samples, Microplastic Contamination, Tunnel System.*

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL.....   | i    |
| HALAMAN PENGESAHAN.....  | 3    |
| PERNYATAAN.....  | iv   |
| KATA PENGANTAR .....   | v    |
| ABSTRAK .....  | vii  |
| ABSTRACT.....  | viii |
| DAFTAR ISI.....  | ix   |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xi   |
| DAFTAR TABEL.....  | xii  |
| BAB I PENDAHULUAN.....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                       | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                      | 3    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                     | 3    |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                                    | 3    |
| 1.5 Ruang Lingkup .....  | 3    |
| 1.6 Kerangka Berpikir Penelitian .....                         | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                                   | 6    |
| 2.1 Mikroplastik .....   | 6    |
| 2.2 Jenis-Jenis Mikroplastik .....                             | 7    |
| 2.3 Sumber Mikroplastik.....                                   | 8    |
| 2.4 Dampak Mikroplastik.....                                   | 9    |
| 2.5 Proses Produksi Garam di Indonesia.....                    | 10   |
| 2.6 Studi Literatur .....                                      | 12   |
| BAB III METODE PENELITIAN .....                                | 14   |
| 3.1 Lokasi dan Waktu Pengambilan Sampel.....                   | 14   |
| 3.2 Alat dan Bahan .....                                       | 15   |
| 3.3 Prosedur Pengambilan Sampel .....                          | 15   |
| 3.4 Prosedur Penyimpanan Sampel .....                          | 16   |
| 3.5 Prosedur Analisis Mikroplastik.....                        | 16   |
| 3.6 Prosedur Pengujian Polimer Mikroplastik .....              | 18   |
| 3.7 Prosedur Pemetaan Mikroplastik .....                       | 19   |
| 3.8 Perhitungan Etimasi Asupan Harian dan Asupan Tahunan ..... | 19   |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                              | 21   |
| 4.1 Proses Pembuatan Garam Sistem Tunnel.....                  | 21   |
| 4.2 Kelimpahan Mikroplastik.....                               | 24   |
| 4.3 Karakteristik Mikroplastik pada Sampel engamatan.....      | 31   |
| 4.3.1 Ukuran Mikroplastik .....                                | 31   |

|                                 |  |    |
|---------------------------------|--|----|
| 4.3.2                           | Bentuk Mikroplastik.....   | 33 |
| 4.3.3                           | Warna Mikroplastik.....  | 38 |
| 4.3.4                           | Perbandingan Karakteristik Mikroplastik berdasarkan Stasiun<br>Pengamatan..... | 42 |
| 4.4                             | Hasil FTIR .....   | 45 |
| 4.5                             | Etimasi Asupan Harian dan Asupan Tahunan.....                                  | 47 |
| 4.6                             | Pemetaan Mikroplastik.....   | 49 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... |  | 53 |
| DAFTAR PUSTAKA .....            |  | 54 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Kerangka berpikir penelitian.....                                  | 5  |
| Gambar 2.1 Perubahan produksi plastik global dengan jumlah penduduk.....       | 8  |
| Gambar 2.2 Metode-metode pembuatan garam di Indonesia .....                    | 12 |
| Gambar 3. 1 Peta lokasi penelitian.....  | 14 |
| Gambar 4.1 Tunnel garam.....   | 21 |
| Gambar 4.2 Skema tunnel .....  | 22 |
| Gambar 4.3 Skema Pengambilan air laut.....                                     | 23 |
| Gambar 4.4 Kelimpahan mikroplastik pada sampel air dan garam .....             | 24 |
| Gambar 4.5 Ukuran mikroplastik.....  | 31 |
| Gambar 4.6 Persentase ukuran mikroplastik pada sampel pengamatan.....          | 32 |
| Gambar 4.7 Bentuk mikroplastik .....   | 33 |
| Gambar 4.8 Persentase bentuk mikroplastik pada sampel pengamatan.....          | 34 |
| Gambar 4.9 Bentuk mikroplastik pada sampel air berdasarkan kategori ukuran .   | 35 |
| Gambar 4.10 Bentuk mikroplastik sampel garam berdasarkan kategori ukuran ..    | 36 |
| Gambar 4.11 Warna mikroplastik .....   | 38 |
| Gambar 4.12 Persentase warna mikroplastik pada sampel pengamatan.....          | 39 |
| Gambar 4.13 Warna mikroplastik pada sampel air berdasarkan kategori ukuran     | 40 |
| Gambar 4.14 Warna mikroplastik sampel garam kategori ukuran.....               | 41 |
| Gambar 4.15 Karakteristik mikroplastik pada sampel air laut dan air muara..... | 43 |
| Gambar 4.16 Karakteristik mikroplastik pada sampel garam .....                 | 44 |
| Gambar 4.17 Hasil FTIR pada Polimer 1.....                                     | 46 |
| Gambar 4.18 Hasil FTIR pada Polimer 2 dan Polimer 3 .....                      | 46 |
| Gambar 4.19 Pemetaan kelimpahan mikroplastik pada air laut.....                | 50 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Karakteristik dan klasifikasi mikroplastik .....   | 7  |
| Tabel 2. 2 Ringkasan penelitian mikroplastik pada garam laut .....  | 13 |
| Tabel 4.1 Hasil penelitian terdahulu terkait kontaminasi mikroplastik pada garam<br>berdasarkan metode produksi ..... | 28 |
| Tabel 4.2 Estimated Daily Intake (MPs/kapita/hari).....   | 47 |
| Tabel 4.3 Estimated Annual Intake (MPs/kapita/tahun) .....  | 48 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Air laut kini menjadi salah satu komponen lingkungan yang paling rentan terhadap pencemaran, terutama oleh limbah plastik. Seiring meningkatnya aktivitas manusia di wilayah pesisir seperti perikanan, pariwisata, dan permukiman, beban pencemaran terhadap laut terus meningkat. Limbah plastik, baik dari aktivitas rumah tangga maupun industri, banyak yang berakhir di laut akibat kurang optimalnya sistem pengelolaan sampah. Hal ini sesuai dengan kondisi Pulau Jawa bahwa tercatat rata-rata 68% sampah yang ditemukan adalah sampah plastik (Purba, 2017). Plastik dilewatkan oleh arus lautan di seluruh dunia, di mana mereka bertahan dan terakumulasi. Sebanyak 4,8-12,7 juta metrik ton plastik terakumulasi ke laut setiap tahunnya (United Nations, 2017). Empat kelas ukuran plastik yang teridentifikasi di laut adalah nano-, mikro-, meso-, dan makro plastik yang berasal dari kegiatan memancing dan sampah plastik antropogenik lainnya (Haward 2018).

Mikroplastik berukuran sangat kecil dan cenderung mengapung di kolam air sehingga mudah masuk dan terakumulasi pada organisme laut (Cordova dkk., 2019). Efek yang ditimbulkan dari mikroplastik ini mengkontaminasi segala biota di laut baik pada hewan-hewan bentos maupun ikan pelagis (Smith dan Markic 2013; Wright dkk., 2013). Laut yang terkontaminasi mikroplastik memiliki potensi cemaran pada produk hasil laut termasuk pada garam.

Garam terdiri atas komponen utama senyawa kimia natrium klorida dan senyawa lain yaitu magnesium, kalsium, besi, dan kalium dengan tambahan iodium atau tanpa tambahan iodium. Garam merupakan komoditas strategis yang menjadi kebutuhan pokok manusia sebesar 5-gram atau setara dengan 1 sendok teh per hari dan digunakan dalam bahan baku industri (Kementerian Kesehatan RI, 2024; Kementerian Perindustrian RI, 2018). Produksi garam menjadi kegiatan usaha yang menguntungkan dan berkelanjutan. Sebagai kebutuhan pokok, produksi garam yang memenuhi standar menjadi kewajiban petambak untuk menyediakan garam konsumsi yang berkualitas. Akan tetapi, cemaran mikroplastik belum masuk dalam standar pengolahan garam yang tertuang dalam SNI 3556:2016 tentang garam konsumsi beriodium.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik ditemukan pada garam. Penelitian yang dilakukan oleh Murpa (2021) terhadap garam konsumsi di Kota Makassar dan Amqam dkk., (2022) terhadap garam tradisional di Kabupaten Jeneponto menyebutkan bahwa seluruh sampel mengandung mikroplastik. Penelitian lain oleh Gadi dkk., (2024) terkait kelimpahan mikroplastik pada garam di Kabupaten Kupang 29 partikel/gram sampel garam.

Kabupaten Kebumen merupakan salah satu daerah penghasil garam. Terdapat kegiatan perikanan dan tambak garam di perairan pantai selatan Kabupaten Kebumen (Listanti dkk., 3 2021; Mahsar dan Wardiatno, 2016; Negari dkk., 2017). Tercatat hingga tahun 2023, Kabupaten Kebumen memiliki 25 Kelompok Usaha Garam (KUGAR) yang tersebar di lima kecamatan: Ambal, Mirit, Puring, Klirong, dan Petanahan (DLHKP Kabupaten Kebumen, 2023). Garam di Kabupaten Kebumen diproduksi dari pengolahan air laut dengan sistem *tunnel*. Pemerintah Kabupaten Kebumen mendukung masyarakat untuk menggunakan produk lokal termasuk garam.

Penelitian mengenai keberadaan mikroplastik dalam garam yang diproduksi di Kabupaten Kebumen belum pernah dilakukan. Secara kualitas, garam dari daerah tersebut telah memenuhi standar garam konsumsi beriodium. Namun, standar mutu yang ditetapkan dalam SNI 3556:2016 untuk garam konsumsi beriodium tidak mencantumkan batas kandungan mikroplastik. Padahal, konsumsi garam yang terkontaminasi mikroplastik berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia, termasuk menyebabkan peradangan jaringan, proliferasi sel, nekrosis, serta gangguan pada sistem imun (Aqmam dkk., 2022).

Berdasarkan paparan tersebut, penelitian mengenai kandungan mikroplastik dalam garam yang diproduksi di Kabupaten Kebumen menjadi urgensi yang perlu dilakukan. Keterbatasan studi terkait keberadaan mikroplastik dalam garam menjadi dasar bagi peneliti untuk mengeksplorasi lebih lanjut tingkat kontaminasi yang terjadi. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada identifikasi kelimpahan, karakteristik dan polimer mikroplastik serta analisis distribusi spasial pencemaran mikroplastik dalam produk garam di Kabupaten Kebumen. Selain itu, penelitian ini juga menghitung estimasi asupan mikroplastik dari konsumsi garam oleh

masyarakat sebagai upaya untuk memahami potensi paparan terhadap kontaminan tersebut dalam kehidupan sehari-hari.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana kelimpahan dan karakteristik mikroplastik pada produk garam tradisional di Kabupaten Kebumen?
- 2) Bagaimana distribusi spasial mikroplastik pada produk garam tradisional di Kabupaten Kebumen?
- 3) Bagaimana potensi dampak kesehatan dari konsumsi produk garam pada masyarakat?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Menguraikan kelimpahan dan karakteristik mikroplastik pada produk garam tradisional di Kabupaten Kebumen.
- 2) Menguraikan zona sebaran mikroplastik pada produk garam tradisional berdasarkan titik pengambilan air laut yang digunakan KUGAR di Kabupaten Kebumen.
- 3) Menguraikan potensi risiko dampak kesehatan dari konsumsi produk garam pada masyarakat.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Memberikan informasi mengenai kelimpahan, karakteristik, dan distribusi spasial mikroplastik pada produk garam tradisional di Kabupaten Kebumen.
- 2) Memberikan informasi zona aman pengambilan air laut yang dapat digunakan oleh petambak garam sebagai sumber bahan baku.
- 3) Memberikan informasi potensi risiko dampak kesehatan dari konsumsi produk garam pada masyarakat

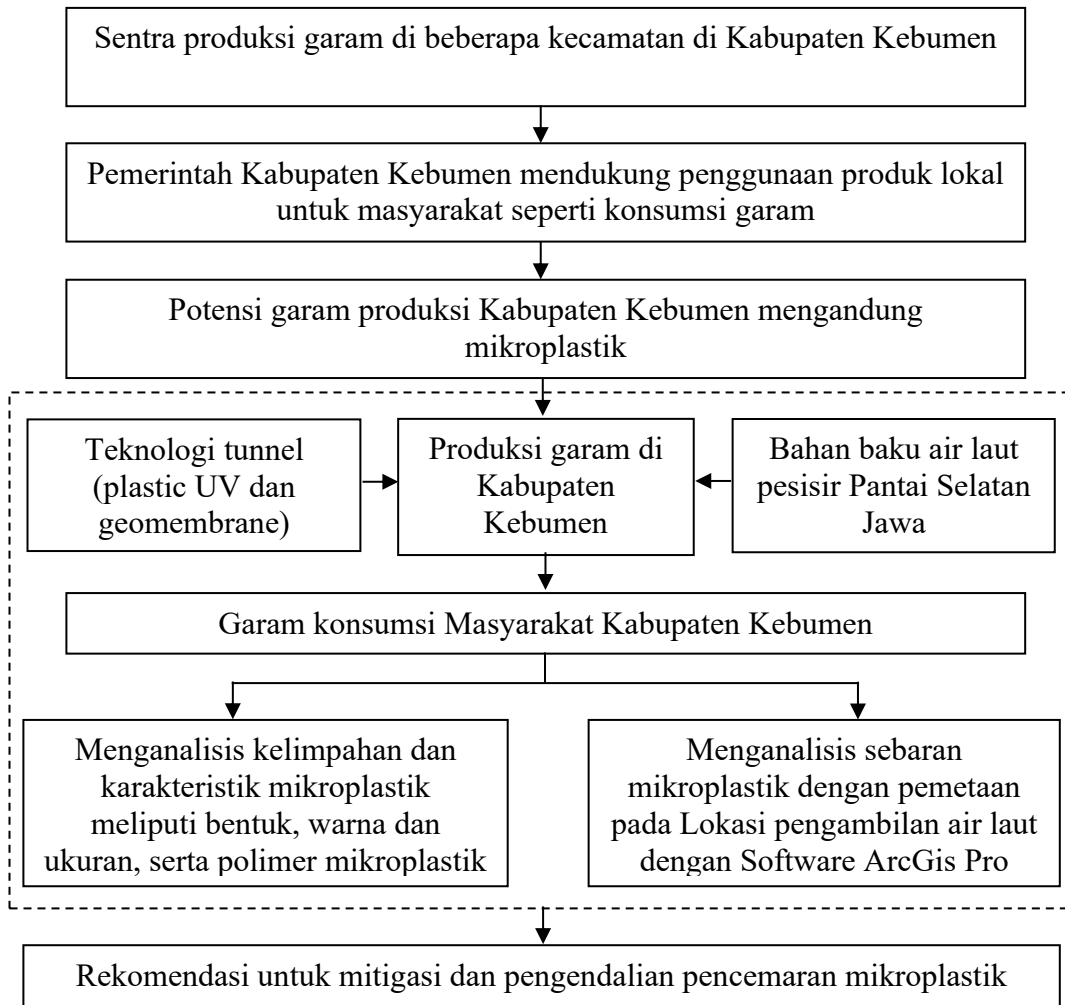
## **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah terkait pengujian garam tradisional yang diperoleh di Kabupaten Kebumen. Pengujian yang dilakukan adalah

pengujian kelimpahan dan karakteristik mikroplastik yang terkandung pada garam tradisional. Distribusi spasial yang digunakan adalah dengan memetakan pencemaran berdasarkan sumber pengambilan air laut yang digunakan sebagai bahan baku produksi petambak garam untuk pembuatan garam. Pemetaan yang dilakukan dikaitkan dengan faktor arus laut dan arah kecepatan angin.

## **1.6 Kerangka Berpikir Penelitian**

Kontaminasi laut dapat terjadi pada produk kelautan termasuk garam. Usaha pengaraman di Kabupaten Kebumen menggunakan sistem *tunnel* atau *geomembrane* dalam proses produksinya. Pemanfaatan air laut sebagai sumber utama sangat penting untuk produksi garam. Potensi kontaminasi mikroplastik pada produk garam di Kabupaten Kebumen cukup tinggi apabila kondisi laut yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan garam tercemar mikroplastik. Metode Visual Mikroskop digunakan dalam penelitian ini untuk menghitung kelimpahan dan karakteristik kontaminasi mikroplastik pada produk garam sebagaimana tertuang dalam kerangka pemikiran (Gambar 1.1).



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Mikroplastik**

Kehidupan modern menggunakan plastik sintetis sejak ditemukan pertama kali pada tahun 1907. Plastik dapat digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia karena memiliki kepadatan rendah, kurangnya konduktivitas termal dan listrik, dan tahan korosi. Harga plastik yang terjangkau dan sifatnya yang tahan lama menjadikan bahan plastik diproduksi secara luas serta banyak diaplikasikan pada kemasan makanan dan peralatan medis (Kakade dkk., 2024).

Lebih dari 30 juta ton (MT) plastik diproduksi di seluruh dunia sejak ditemukan, dan hampir setiap bagian darinya diperkirakan masih ada. Tiongkok adalah produsen plastik terbesar di dunia, menyumbang 27,8% dari total. Amerika Utara menyumbang 17,2%, Asia Tenggara menyumbang 15,9%, dan negara-negara Afrika dan Timur Tengah menyumbang 8,7% (Kakade dkk., 2024).

Sampah plastik hasil produksi mengalir di sungai-sungai dan terakumulasi di perairan laut. Sampah plastik memiliki berbagai ukuran: makro ( $>100$  mm), meso (1–10 mm), dan mikro ( $\leq 5$  mm). Eriksen dkk., (2013) mendefinisikan mikroplastik sebagai partikel plastik yang mengalami degradasi dengan ukuran dalam rentang  $0,3 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ . Menurut Azizi dkk., (2021), dari semua sampah plastik yang ada, 11% merupakan mikroplastik (MPs). Sekitar 245 ton MP terbentuk setiap tahun yang sebagian besar berasal dari industri tekstil sintetis, menyumbang hingga 35% dari MP global (EEA 2023; Wang dkk., 2020). Keberadaan mikroplastik di lingkungan laut sulit untuk dihilangkan mengingat sifatnya yang tahan lama dan rendah degradasinya.

Mikroplastik masuk ke laut melalui berbagai saluran, baik secara langsung melalui pembuangan sampah plastik yang tidak terkelola dengan baik maupun melalui degradasi sampah plastik yang lebih besar di perairan. Proses degradasi ini terjadi akibat paparan sinar ultraviolet (UV), abrasi oleh ombak, dan aksi biologis organisme laut yang memecah plastik menjadi partikel-partikel kecil (Andrady, 2017). Mikroplastik ini kemudian dapat terakumulasi di dasar laut, perairan permukaan, atau bahkan terlarut dalam kolom air laut, tergantung pada ukuran dan sifat fisiknya (Rochman dkk., 2013).

Bioakumulasi dan biomagnifikasi mikroplastik sering terjadi di rantai makanan laut. Mikroplastik dapat terakumulasi dalam tubuh organisme laut melalui proses bioakumulasi, di mana konsentrasi mikroplastik meningkat seiring dengan naiknya tingkat trofik (Miller dkk., 2020). Beberapa fauna akuatik diketahui menelan mikroplastik yang dapat menyebabkan penurunan laju pertumbuhan, penurunan kemampuan reproduksi, bisul, abrasi, stres oksidatif, asfiksia, dan keterbatasan gerakan (Ajith dkk., 2020). Selain itu, mikroplastik berfungsi sebagai vektor bagi zat-zat kimia berbahaya yang terikat pada permukaannya, seperti pestisida, logam berat, dan senyawa organik berbahaya lainnya, yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi produk laut yang terkontaminasi (Teuten dkk., 2009). Oleh karena itu, keberadaan mikroplastik dalam lingkungan laut menimbulkan ancaman serius terhadap keberlanjutan ekosistem dan kesehatan manusia secara keseluruhan.

## 2.2 Jenis-Jenis Mikroplastik

Mikroplastik memiliki karakteristik dan klasifikasi yang beragam. Adapun karakteristiknya yaitu jenis, warna, dan ukuran. Menurut Manulu (2017) dari karakteristik tersebut dapat dijabarkan kembali lebih detail sebagaimana disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik dan Klasifikasi Mikroplastik

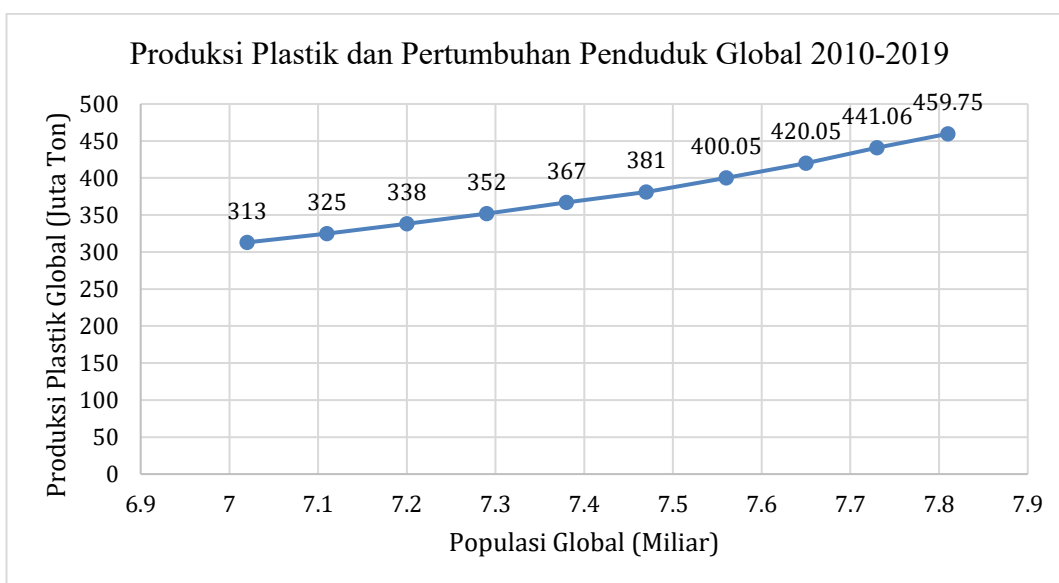
| Karakteristik | Klasifikasi | Keterangan  |
|---------------|-------------|---|
| Tipe          | Fiber       | Berbentuk memanjang yang berasal dari degradasi jaring, tali, dan kain sintetis |
|               | Fragmen     | Berbentuk potongan plastik yang memiliki sifat polimer kuat atau lemah          |
|               | Pellet      | Berbentuk bola - bola kecil yang biasanya berasal dari bahan baku plastik       |
| Warna         | Biru        | Warna-warna akan terlihat ketika pengamatan menggunakan mikroskop               |
|               | Coklat      |   |
|               | Hijau       |   |
|               | Hitam       |   |
|               | Merah       |   |
|               | Kuning      |   |
| Ukuran        | Kelompok 1  | 20-40 $\mu\text{m}$   |
|               | Kelompok 2  | 40-60 $\mu\text{m}$   |
|               | Kelompok 3  | 60-80 $\mu\text{m}$   |
|               | Kelompok 4  | 80-100 $\mu\text{m}$  |

|  |            |                         |
|--|------------|-------------------------|
|  | Kelompok 5 | 100-500 $\mu\text{m}$   |
|  | Kelompok 6 | 500-1000 $\mu\text{m}$  |
|  | Kelompok 7 | 1000-5000 $\mu\text{m}$ |

Sumber: Manulu, 2017

### 2.3 Sumber Mikroplastik

Aktivitas manusia merupakan salah satu penentu dalam keberadaan mikroplastik di laut, seperti muara dan pesisir, serta termasuk ke pengeboran minyak dan perkapalan (Castillo dkk., 2016). Industri dan pelabuhan juga merupakan wilayah yang sering terdapat kandungan mikroplastik (Frias dkk., 2014). Saat terjadi musim hujan, kadar plastik berada pada tingkatan tertinggi. Karena wilayah laut dialiri fragmen dari plastik melalui *runoff*. Untuk ukuran mikroplastik yang kecil dan cenderung mengapung di air sangat mudah masuk dan terakumulasi dalam ekosistem laut (Cordova dkk., 2019). Pertumbuhan produksi plastik global meningkat tiap tahunnya sebagaimana disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Perubahan produksi plastik global dengan jumlah penduduk

Sumber: Hasil analisis data dari OurWorldinData.org/ (2025)

Manfaat plastik yang banyak dirasakan masyarakat membuat tingginya ketergantungan manusia terhadap plastik. Kondisi ini membuat tingginya sampah plastik di lingkungan. Peningkatan produksi plastik global seiring dengan pertumbuhan populasi. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi plastik per kapita meningkat. Andrady (2017) menyebutkan bahwa sebagian besar produksi sampah plastik merupakan kemasan dengan masa pakai yang singkat.

Menurut asalnya, mikroplastik dibedakan menjadi primer dan sekunder. Mikroplastik primer merupakan mikroplastik yang diproduksi dari dimensi mikroskopis. Mikroplastik primer diproduksi secara *microbeads* dengan ukuran berbeda, dibuat sebagai pelet plastik murni yang lebih besar sebagai bahan mentah untuk pembuatan produk. Mikroplastik primer akan masuk ke lingkungan melalui kebocoran selama pembuatan, pengangkutan, dan penggunaan. Mikroplastik sekunder jauh lebih melimpah keberadaannya di lautan. Mikroplastik sekunder berasal dari fragmentasi sampah plastik yang lebih besar baik selama penggunaan produk maupun karena degradasi sampah plastik akibat pelapukan. Masuknya mikroplastik sekunder ke lingkungan lebih sulit diperkirakan (Frias dan Nash, 2019; Andrady, 2017).

#### **2.4 Dampak Mikroplastik**

Sampah plastik merupakan salah satu ancaman serius bagi ekosistem laut. Lebih dari 690 spesies laut telah terdampak oleh sampah plastik ini baik yang berukuran puing-puing (*debris*) maupun yang kecil (*mikroplastik*) yang teramati di saluran pencernaan organisme dari berbagai tingkatan trofik rantai makanan (Carbery dkk., 2018). Dampak dari pencemaran mikroplastik merupakan ancaman yang serius bagi keberlangsungan ekosistem. Mikroplastik berdampak tidak hanya bagi biota, tetapi juga berdampak pada lingkungan bahkan pada manusia sendiri. Mikroplastik yang mengkontaminasi rantai makanan akan termakan oleh biota laut dan pada akhirnya akan dimakan oleh manusia. Dimana hal tersebut dibuktikan dengan penelitian Schwabl (2019) yang menyebutkan bahwa ditemukan mikroplastik pada feses manusia.

Masuknya mikroplastik pada tubuh biota dan manusia berpotensi menyebabkan kerusakan fungsi organ-organ saluran pencernaan, mengurangi tingkat pertumbuhan, terhambatnya produksi enzim, turunnya kadar hormone steroid, dan adanya pengaruh pada reproduksi (Ismi dkk., 2019). Selain itu, menurut Wright dkk., (2017) mengkonsumsi garam yang mengandung mikroplastik dapat menimbulkan potensi risiko kesehatan manusia, mikroplastik yang masuk kedalam tubuh menyebabkan peradangan pada jaringan, proliferasi sel, nekrosis, dan membahayakan imun.

## 2.5 Proses Produksi Garam di Indonesia

Proses produksi garam di wilayah pesisir Indonesia umumnya menggunakan air laut sebagai bahan baku, yang diolah melalui tahapan evaporasi hingga terbentuk kristal garam. Petani garam tradisional dan semi-modern menerapkan berbagai metode berdasarkan jenis media dasar (Efendy dkk., 2025). Tiga metode utama yang dikenal meliputi Metode Madura, Portugis, dan Geomembran. Masing-masing metode memiliki karakteristik teknis tersendiri, yang memengaruhi kualitas, hasil, dan efisiensi waktu produksi, serta berdampak langsung pada mutu garam yang dihasilkan (Manaf 2024).

### 1. Metode Madura

Metode madura merupakan teknik pembuatan garam tradisional yang telah digunakan secara turun-temurun oleh masyarakat pesisir di Pulau Madura dan beberapa daerah lain di Indonesia. Pada metode ini, air laut dialirkan ke petakan lahan garam yang menggunakan media tanah yang telah dipadatkan sebagai dasar evaporasi. Proses pengendapan partikel halus dan penguapan air berlangsung secara alami di atas media tanah tersebut. Garam yang telah diendapkan di atas lantai tanah selama antara 10– 15 hari kemudian dapat dipanen (Santosa 2014).

Kelemahan dari metode ini adalah tingginya potensi kontaminasi tanah ke dalam kristal garam, sehingga menghasilkan garam dengan warna yang kurang putih dan kadar kotoran yang relatif lebih tinggi. Meski demikian, metode ini masih bertahan karena biaya produksinya rendah dan sesuai untuk masyarakat dengan akses teknologi terbatas.

### 2. Metode Portugis

Metode Portugis merupakan modifikasi dari metode tradisional dengan menggunakan media dasar berupa lapisan khusus yang disebut dasar garam. Lapisan ini berfungsi sebagai pemisah antara air laut dengan tanah dasar, sehingga dapat mengurangi potensi pencemaran partikel tanah ke dalam kristal garam. Dengan demikian, kualitas garam yang dihasilkan lebih baik dibandingkan metode Madura, terutama dari segi warna dan kemurnian. Garam metode portugis memerlukan waktu panen selama 30 hari, dan panen berikutan tiap 10 hari dipungut (Santosa 2014).

### 3. Metode Geomembran

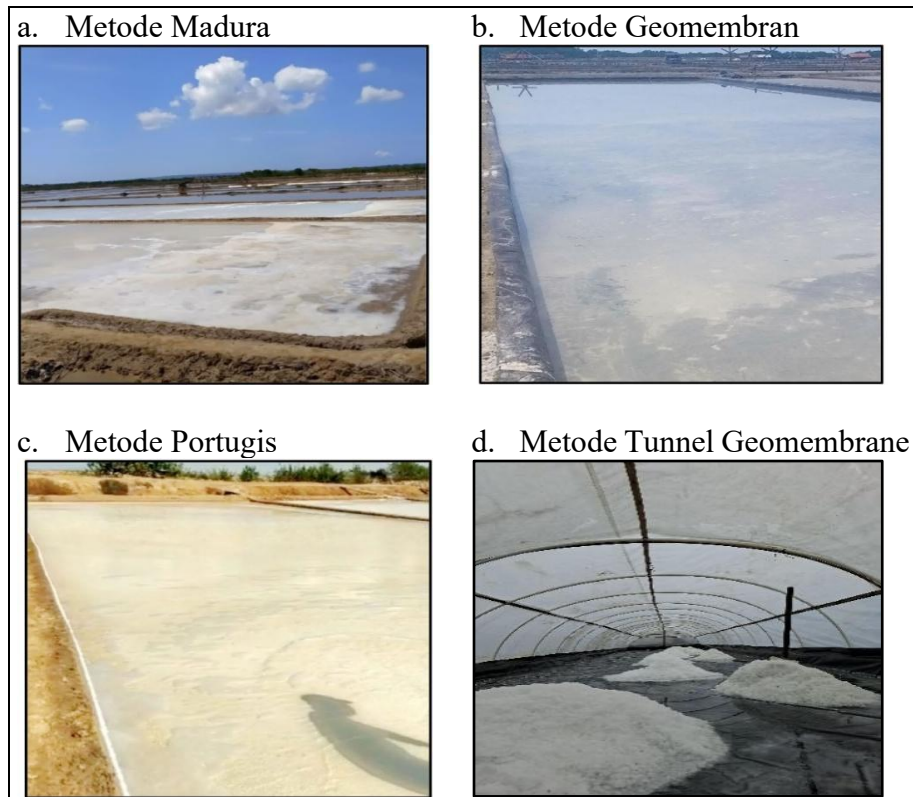
Seiring perkembangan teknologi, diterapkanlah metode Geomembran yang menggunakan lembaran plastik High-Density Polyethylene (HDPE) berwarna hitam sebagai dasar lahan evaporasi. Warna hitam geomembran memiliki kemampuan menyerap panas matahari secara maksimal, sehingga dapat mempercepat proses evaporasi air laut. Selain itu, lapisan ini bersifat kedap air (waterproof), mencegah perembesan air ke dalam tanah dan mencegah pencampuran unsur tanah ke dalam kristal garam. Hasilnya, garam yang diproduksi memiliki warna lebih putih, kadar kotoran lebih rendah, serta proses kristalisasi yang lebih singkat.

### 4. Metode Tunnel Geomembran

Metode tunnel geomembrane merupakan inovasi lanjutan dari metode geomembran, yakni dengan menambahkan struktur rumah prisma berbahan kerangka bambu dan atap plastik geoprotec di atas lahan geomembran. Penambahan atap geoprotec mampu meningkatkan penyerapan sinar matahari sebesar 16% dibandingkan penguapan terbuka, sekaligus memungkinkan produksi garam tetap berjalan saat musim hujan, sehingga produktivitas dapat terjaga sepanjang tahun dan kualitas garam semakin meningkat (Anam 2018; Heriyadi dkk., 2024).

Representasi visual dari empat metode produksi garam sebagaimana dijelaskan di atas disajikan dalam Gambar 2.2. Perbedaan mendasar keempat metode tersebut terletak pada jenis alas yang digunakan dalam tambak garam serta sistem penutup yang diterapkan selama proses penguapan. Metode tradisional Madura memanfaatkan tanah yang telah dipadatkan sebagai media dasar penguapan, mencerminkan pendekatan konvensional yang bergantung pada kondisi alami lahan. Sebaliknya, metode *geomembrane* dan *tunnel geomembrane* mengadopsi teknologi modern dengan menggunakan lapisan plastik (*geomembrane*) sebagai alas tambak, yang bertujuan meningkatkan efisiensi penguapan dan kualitas kristalisasi garam. Sementara itu, metode Portugis menunjukkan pendekatan unik dengan menggunakan lapisan dasar berupa garam itu sendiri, yang berfungsi sebagai substrat penguapan sekaligus sebagai bagian dari siklus produksi. Perbedaan karakteristik fisik dan material dari masing-masing metode tersebut

berimplikasi langsung terhadap kualitas, kuantitas, dan efisiensi produksi garam yang dihasilkan.



Gambar 2.2 Metode-metode pembuatan garam di Indonesia

Sumber: Efendy dkk., 2024; Hasil observasi

## 2.6 Studi Literatur

Penelitian mengenai pengujian kontaminasi mikroplastik pada produk garam laut telah banyak dilakukan di berbagai negara (Chanpiwat dan Damrongsiri, 2024; Ravikumar dkk., 2023; Gündoğdu., 2018; Taghipour dkk., 2023; Lee dkk., 2021). Penelitian tentang kontaminasi produk garam laut masih sedikit dilakukan di Indonesia (Amqam dkk., 2022; Gadi dkk., 2018). Secara garis besar hasil penelitian menunjukkan terjadinya kontaminasi mikroplastik pada produk garam laut yang diujikan. Tipe mikroplastik yang paling dominan dalam bentuk Fragmen dan polimer Propilen. Kontaminasi mikroplastik pada produk garam laut ini menarik dikaji pada sampel garam yang ada di Kabupaten Kebumen yang juga merupakan penghasil garam dengan teknik tunnel dalam proses produksi. Berikut adalah Tabel 2.2 mengenai ringkasan hasil pengujian mikroplastik pada sampel garam yang telah dilakukan diberbagai negara.

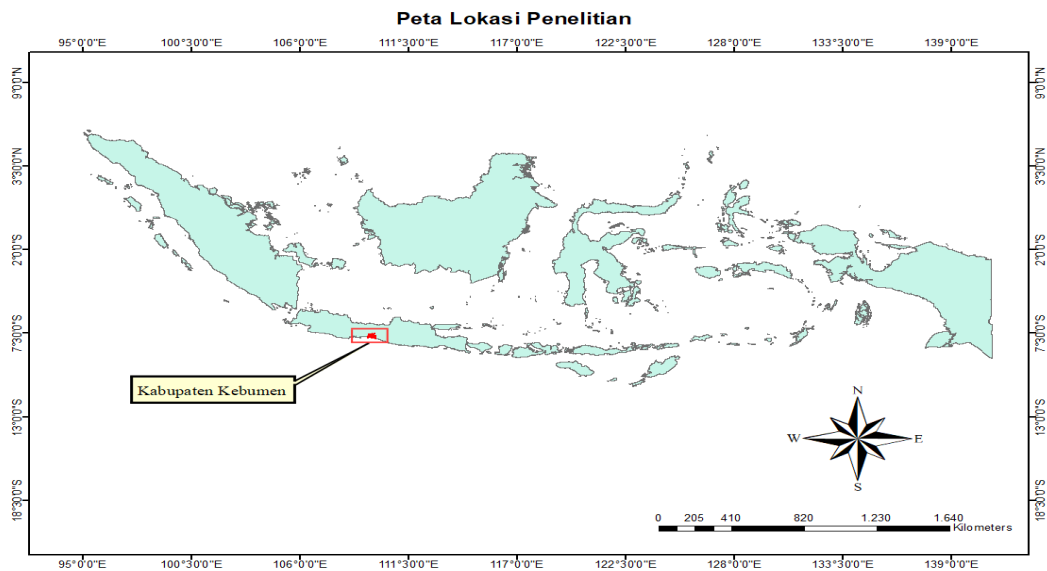
Tabel 2.2 Ringkasan Penelitian Mikroplastik pada Garam Laut

| Sumber                           | Negara                           | Metode      | Kelimpahan      | Tipe MP Dominan |                 |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                  |                                  |             |                 | Bentuk          | Polimer         |
| Chanpiwat dan Damrongsiri (2024) | Thailand                         | Raman       | 34-2377 MPs/Kg  | Fragmen         | PP>PE>PET>PS    |
| Ravikumar dkk., (2023)           | Tamil Nadu, India                | FTIR        | 20-318 MPs/Kg   | Fragmen         | PE              |
| Gündoğdu (2018)                  | Turki                            | Raman       | 16-84 MPs/Kg    | -               | PP              |
| Taghipour dkk., (2023)           | Iran                             | FTIR, Raman | 700–5470 MP/kg. | Fragmen         | Selulosa Asetat |
| Lee dkk., (2021)                 | Korea                            | FTIR        | 2395 MPs/Kg     | Fragmen         | PP, PE          |
| Amqam dkk., (2022)               | Jeneponto, Indonesia             | Mikroskop   | 914,67 MPs/Kg   | Fragmen         | -               |
| Gadi dkk., (2024)                | Tambak Garam di Kabupaten Kupang | FTIR        | 29000 MPs/Kg    | Fragmen         | -               |

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan Waktu Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air laut dan garam dilakukan diwilayah Kabupaten Kebumen. Kabupaten Kebumen merupakan salah satu kabupaten di Jawa Tengah dengan luas wilayah sebesar 1.281,12 Km<sup>2</sup>. Jumlah penduduk Kabupaten Kebumen pada pertengahan tahun 2024 diperkirakan mencapai 1.414.754 jiwa terdiri dari 717.127 laki-laki dan 697.627 perempuan yang tersebar di 26 kecamatan dengan karakteristik geografis yang didominasi oleh dataran rendah, pesisir pantai selatan, dan wilayah perbukitan di bagian utara (Kabupaten Kebumen dalam Angka 2025). Di sektor kelautan dan perikanan, Kabupaten Kebumen memiliki potensi pengembangan usaha garam rakyat yang cukup besar. Panjang garis pantai mencapai sekitar 57,5 kilometer, yang tersebar di beberapa kecamatan pesisir seperti Ambal, Mirit, Puring, dan Klirong. Produksi garam konsumsi di wilayah ini mencapai ±36,5 ton per tahun, dengan kadar kemurnian natrium klorida (NaCl) sebesar 95,75% (PPID Kabupaten Kebumen 2019). Untuk memberikan gambaran visual mengenai wilayah kajian penelitian disajikan pada gambar. 3.1.



Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian

Waktu pengambilan sampel dilaksanakan pada tanggal 26 hingga 27 April 2025. Sampel berupa garam dan air laut dikumpulkan dari empat stasiun

pengamatan yang telah ditentukan dan tersebar di wilayah pesisir Kabupaten Kebumen. Sebagai tambahan, dilakukan pula pengambilan sampel pada air laut, air muara yang terletak di sekitar lokasi penelitian, garam mentah dari tunnel serta garam konsumsi yang diperoleh dari produk yang diperdagangkan di pasaran.

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat:

1. Neraca Analitik
2. Gelas Ukur 100 ml
3. Labu Erlenmeyer 250 ml
4. Hotplate Stirer
5. Batang Pengaduk Besi
6. Cawan Petri
7. Pompa Vacuum Set
8. Pipet Ukur 10 mL
9. Mikroskop OLYMPUS BX53

Bahan:

1. Reagen Fenton (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 30%.)
2. Aquades
3. Filter Membrane Selulosa 0,45 µm

### 3.3 Prosedur Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air laut dan air muara pada setiap stasiun pengamatan dilakukan dengan metode *grab sampling*, yaitu teknik pengambilan air secara langsung dari lokasi tertentu tanpa proses pencampuran. Metode grab sampling merupakan teknik umum yang digunakan dalam studi mikroplastik di perairan karena mampu menangkap kondisi aktual pada saat pengambilan sampel. Metode grab sampling merupakan pendekatan yang ideal dan memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi keberadaan mikroplastik berukuran kecil (<200 µm) di lingkungan perairan laut, terutama pada wilayah pesisir dan kawasan yang berdekatan dengan aktivitas permukiman (Deakin dkk., 2024). Teknik ini relevan untuk mengidentifikasi konsentrasi mikroplastik berukuran 2-300 µm sehingga sesuai digunakan dalam studi monitoring mikroplastik dengan skala lokal (Poli dkk., 2024).

Pengambilan dilakukan menggunakan botol sampel kaca bertutup karet dengan kedalaman 5–10 cm di bawah permukaan air untuk menghindari kontaminasi dari lapisan atas dan mendapatkan karakteristik air yang lebih representatif. Setiap botol diisi hingga volume penuh, yaitu sebanyak 100 mL, dan kemudian ditutup rapat untuk menjaga kualitas sampel sebelum dianalisis di laboratorium.

Masing-masing sampel garam yang diperoleh kemudian dimasukkan kedalam wadah aluminium. Tiap sampel garam ditimbang dengan seksama hingga mencapai berat 100 gram, sebagai standar awal sebelum dilakukan proses analisis lanjutan.

### **3.4 Prosedur Penyimpanan Sampel**

Air laut dari setiap stasiun pengamatan dikumpulkan ke dalam botol kaca berkapasitas 100 mL yang telah disterilisasi melalui pencucian dengan akuades, guna menghindari potensi kontaminasi mikroplastik selama proses pengambilan sampel (Nanlohy dkk., 2024). Botol kemudian ditutup menggunakan penutup karet khusus untuk mencegah masuknya kontaminan eksternal, khususnya mikroplastik yang dapat memengaruhi akurasi analisis. Pemilihan wadah berbahan kaca dilakukan untuk meminimalkan kemungkinan interaksi kimia selama penyimpanan. Selanjutnya, setiap botol diberi label identifikasi yang memuat informasi lokasi stasiun, tanggal pengambilan, serta kode sampel.

Sampel garam yang diambil langsung dari stasiun pengamatan ditimbang sebanyak 100gram dan dimasukkan ke dalam wadah berbahan aluminium ziplock yang bersih dan kedap udara. Penggunaan aluminium ziplock bertujuan untuk menjaga kemurnian sampel dan menghindari kontaminasi dari lingkungan sekitar. Sama seperti sampel air, setiap wadah garam diberi label sesuai identitas lokasi pengambilan. Setelah pelabelan selesai, seluruh sampel baik air maupun garam disimpan di dalam lemari pendingin untuk menjaga kestabilan karakteristik fisik dan kimia sebelum dilakukan analisis lebih lanjut di laboratorium.

### **3.5 Prosedur Analisis Mikroplastik**

#### **3.5.1 Prosedur Analisis Mikroplastik Sampel Garam**

Sebanyak 50 gram sampel garam ditimbang secara akurat menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer berkapasitas 250 mL yang dilengkapi dengan penutup kaca. Untuk menghilangkan senyawa organik yang mungkin terkontaminasi dalam sampel, ditambahkan 20 mL larutan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$  30%) sebagai reagen Fenton. Campuran ini kemudian dipanaskan dan diaduk secara merata menggunakan hot plate stirrer pada suhu  $65^{\circ}C$  dengan kecepatan 300 rpm selama 30 menit. Setelah proses pemanasan selesai, larutan

dibiarkan hingga mencapai suhu kamar. Selanjutnya, 200 mL air ditambahkan ke dalam larutan dan diaduk kembali menggunakan batang pengaduk kaca, lalu diteruskan dengan pengadukan menggunakan stirrer pada kecepatan yang sama selama 30 menit untuk memastikan garam larut sempurna. Larutan kemudian dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam agar proses pengendapan berlangsung optimal. Setelah terbentuk endapan dan supernatan terlihat jernih, cairan tersebut disaring menggunakan filter membran selulosa nitrat Millipore berdiameter 47 mm dan ukuran pori 0,45  $\mu\text{m}$  dengan bantuan pompa vakum. Membran hasil penyaringan kemudian ditempatkan dalam cawan petri untuk dianalisis menggunakan mikroskop stereo (Syamsu dkk., 2024).

#### **3.4.2 Prosedur Analisis Mikroplastik Sampel Air Laut dan Air Muara**

Sebanyak 50 mL sampel air laut dipindahkan ke dalam gelas ukur, kemudian dituangkan ke tabung Erlenmeyer berkapasitas 250 mL. Ke dalam sampel tersebut ditambahkan 5 mL larutan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 30%, diaduk terlebih dahulu menggunakan batang pengaduk kaca, lalu dilanjutkan dengan pengadukan menggunakan stirrer pada kecepatan 300 rpm selama 30 menit guna mendekomposisi kandungan organik. Setelah proses pengadukan, sampel diinkubasi selama 24 jam pada suhu kamar untuk memungkinkan reaksi berlangsung sempurna. Selanjutnya, larutan disaring menggunakan kertas saring selulosa dengan ukuran pori 0,45 mikron yang dibantu dengan pompa vakum guna memisahkan partikel halus atau padatan tersisa. Kertas saring hasil filtrasi dipindahkan dengan hati-hati ke dalam cawan petri, lalu diamati secara langsung menggunakan mikroskop stereo untuk mengidentifikasi dan menganalisis partikel padat, seperti mikroplastik, yang mungkin terkandung dalam sampel (Pamungkas dkk., 2022).

#### **3.4.3 Analisis Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik**

Sampel air dan garam yang diperoleh kemudian diamati kelimpahannya satu per satu dengan pengamatan langsung menggunakan mikroskop. Identifikasi mikroplastik dilakukan berdasarkan kriteria yang ketat untuk memastikan pemisahan yang akurat dari partikel non-plastik. Partikel yang terindikasi mikroplastik harus tidak menunjukkan struktur organik yang jelas, memiliki warna

seragam tanpa kilau, serta tidak menunjukkan segmentasi atau percabangan pada seratnya. Karakteristik serat yang terdeteksi meliputi ketebalan yang seragam, ujung yang tumpul, warna kontras yang tidak umum ditemukan secara alami, bentuk geometris tidak lazim seperti bulat sempurna, dan menunjukkan fleksibilitas atau kompresibilitas (Suteja dkk., 2025). Kelimpahan mikroplastik dihitung berdasarkan persamaan (Amqam dkk., 2022; Febriani dkk.,2020 )

$$\text{Kelimpahan Sampel Garam } \left(\frac{MPs}{Kg}\right) = \frac{C}{n} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{Kelimpahan Sampel Air Laut } \left(\frac{MPs}{L}\right) = \frac{C}{v} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

C = Partikel mikroplastik yang ditemukan

n = Berat sampel garam yang diuji (Kg)

v = Volume air laut yang diuji (L)

Analisis karakteristik bentuk dan warna mikroplastik dilakukan dengan pengamatan langsung dan membandingkan hasil mikroskop dengan literatur yang sudah ada. Analisis ukuran mikroplastik dilakukan dengan menggunakan Software Image Raster 3.

### 3.6 Prosedur Pengujian Polimer Mikroplastik

Analisis karakteristik polimer mikroplastik pada sampel garam dilakukan dengan analisis spektroskopi ATR-FTIR. Spektroskopi Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) dengan Attenuated Total Reflectance merupakan teknik yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi mikroplastik (MP) karena kemampuannya memberikan informasi molekuler terperinci tentang komposisi MP (Ravikumar dkk., 2023; Taghipour dkk., 2023; Gadi dkk., 2024). Metode ini sangat efektif untuk menganalisis MP dalam berbagai sampel lingkungan, termasuk air, sedimen, dan biota. Metode ATR-FTIR menganalisis berdasarkan vibrasi atom dalam suatu molekul. Prinsip teknik ini adalah memanfaatkan radiasi inframerah yang dipancarkan ke permukaan sampel, di mana pola absorbansi atau transmisi pada berbagai bilangan gelombang digunakan untuk mengungkap keberadaan gugus fungsi karakteristik polimer. ATR-FTIR banyak digunakan karena kemudahan operasional dan tingkat akurasi yang tinggi (Nanlohy dkk., 2024). Pengujian polimer dilakukan pada sampel garam dengan mengambil partikel berukuran besar,

terlihat mata dan dapat diambil menggunakan pinset pada kertas saring. Hasil fir yang diperoleh kemudian dibandingkan berdasarkan kemiripan literatur yang ada untuk peak yang teridentifikasi.

### **3.7 Prosedur Pemetaan Mikroplastik**

Pemetaan mikroplastik pada sampel garam dilakukan untuk mengidentifikasi dan memahami pola distribusi mikroplastik di zona air laut yang digunakan oleh petambak sebagai bahan baku. Pemetaan distribusi mikroplastik dianalisis berdasarkan kelimpahan mikroplastik pada pengujian sampel garam pada tiap KUGAR dan titik koordinat pengambilan air laut yang digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan garam. Meskipun KUGAR yang ada di Kabupaten Kebumen menggunakan sumberdaya air laut yang sama pola distribusi mikroplastik dipengaruhi oleh arus dan arah angin.

Analisis spasial yang dilakukan adalah dengan metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) pada fitur *Spatial Analyst Software Arcgis Pro* dengan mengolah data spasial untuk menjadi model data pola sebaran mikroplastik di wilayah kajian. Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini adalah titik, koordinat pengambilan air laut yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan garam, dan data arus tersedia di Marine Copernicus dengan sesuai waktu penelitian. Interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) menggabungkan bobot linier kelimpahan mikroplastik tiap KUGAR dan memperkirakan nilai antar sampel data. Model ini mengasumsikan bahwa jarak dan orientasi antar sampel data menunjukkan korelasi spasial dengan memperkirakan nilai pada suatu lokasi yang belum diketahui berdasarkan kombinasi linier dari nilai titik-titik sampel di sekitarnya, di mana bobot setiap titik sampel ditentukan oleh fungsi *invers distance* dari jaraknya terhadap titik yang diperkirakan (Huda dan Imro`ah 2022). Setelah dianalisis, data menunjukkan pola distribusi berupa zona-zona kelimpahan mikroplastik di wilayah kajian.

### **3.8 Perhitungan Estimasi Asupan Harian (*Estimated Daily Intake*) dan Asupan Tahunan (*Estimated Annual Intake*)**

Mikroplastik dalam garam pada tubuh manusia dihitung berdasarkan rumus EDI dan EAI yang disesuaikan dengan konsumsi garam pada manusia dewasa,

remaja, dan anak. EDI dan EAI dihitung dari konsentrasi mikroplastik dalam garam hasil pengujian dikalikan dengan intake rate konsumsi garam harian (EDI) dan tahunan (EAI) (Taghipour dkk., 2023). Perhitungan Intake Rate konsumsi garam di Kabupaten Kebumen dilakukan dengan mengasumsikan sama dengan konsumsi garam perkapita pertahun nasional sebesar 1.125,8 gram/kapita/tahun (Statistik Konsumsi Pangan Kementan, 2023).

*Estimated Daily Intake* (EDI) dan *Estimated Annual Intake* (EAI) partikel mikroplastik dihitung menggunakan persamaan (Promdontree., 2023; Taghipour dkk., 2023) :

$$EDI \text{ (MPs/kapita/hari)} = (C \times IR) \times 1 \text{ hari} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$EAI \text{ (MPs/kapita/tahun)} = (C \times IR) \times 365 \text{ hari} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan :

- EDI : *Estimated Daily Intake* (MPS/kapita/hari)
- EAI : *Estimated Annual Intake* (MPS/kapita/tahun)
- C : Konsentrasi Mikroplastik (MPs/Kg)
- IR : Intake Rate (Tingkat Konsumsi Garam)

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

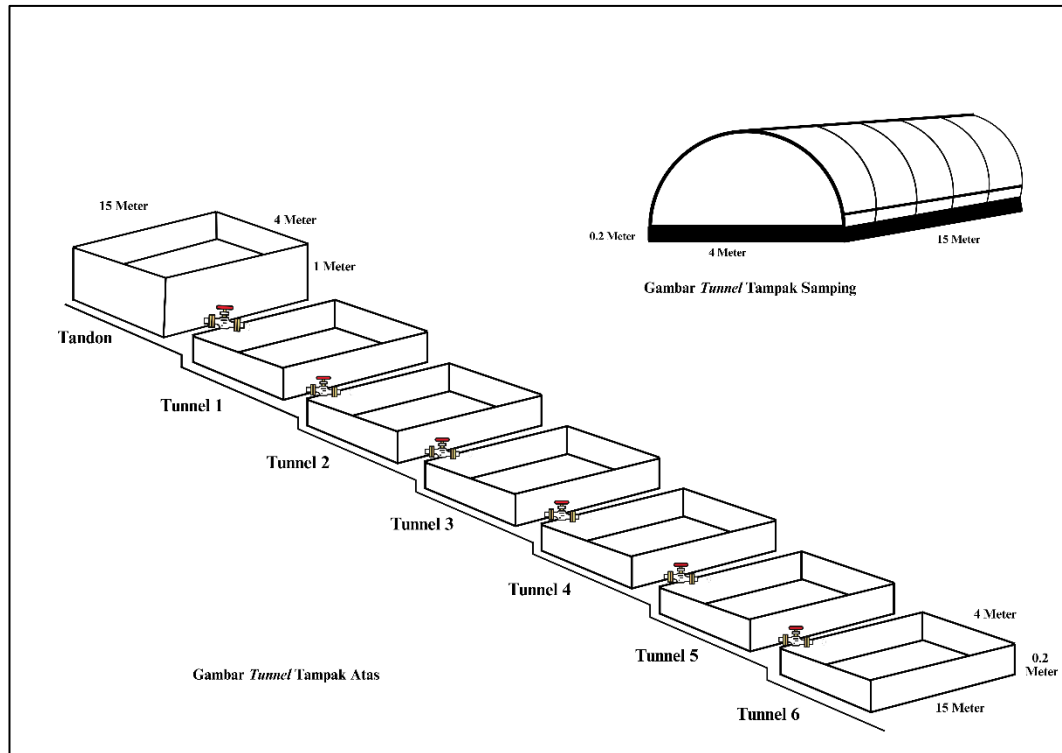
### 4.1 Proses Pembuatan Garam Sistem Tunnel

Tambak garam di Kabupaten Kebumen menggunakan sistem tunnel. Tunnel garam yang dimaksud merupakan suatu wadah untuk menampung air laut yang dibentuk menyerupai kolam dengan lorong seperti terlihat dalam Gambar 4.1. Alas tunnel merupakan geomembran dengan kerangka kolam terbuat dari batako. Atap yang membentuk seperti lorong dibuat dengan rangka bambu/paralon dan plastik UV yang menyelimuti rangka bambu tersebut.



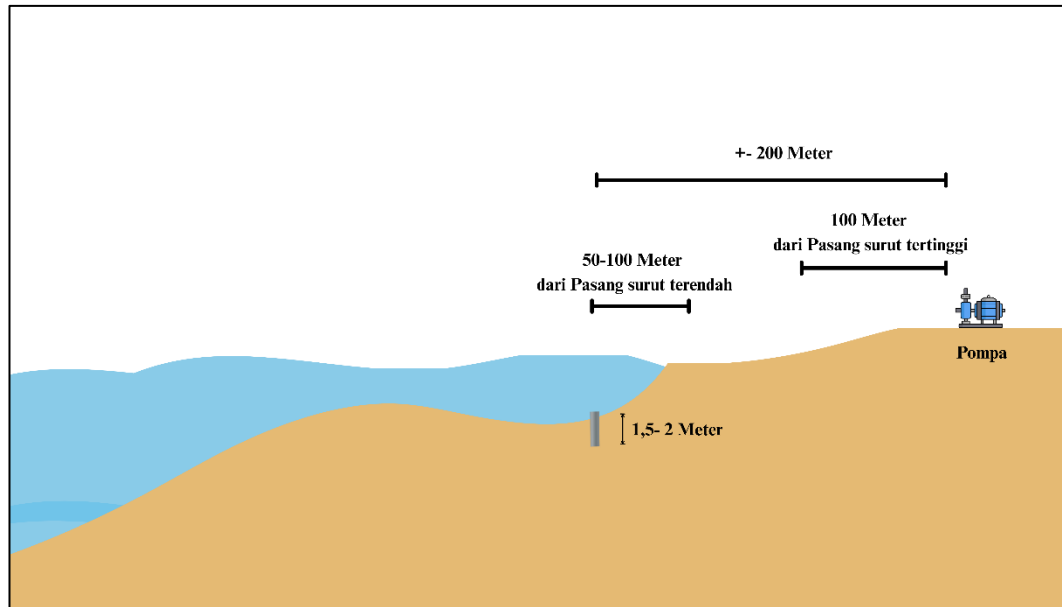
Gambar 4.1 *Tunnel* garam

Satu set sistem tunnel terdiri atas 6 *tunnel* dan 1 tandon. Tandon merupakan tempat penampungan air laut pertama kali sebelum dialirkan ke *tunnel* berikutnya. *Tunnel* memiliki ukuran panjang 15 meter dan lebar 4 meter. Perbedaan tandon dengan *tunnel* lainnya hanya pada ketinggian bangunannya. Tandon memiliki tinggi 1 m sedangkan tunnel biasa setinggi 15–20 cm. Setiap *tunnel* disusun berurutan membentuk terasering dari *tunnel* 1 hingga *tunnel* 6. Tinggi terasering antartunnel berurutan yaitu 20 cm. *Tunnel* 1 merupakan *tunnel* yang paling dekat dengan tandon. Sedangkan *tunnel* 6 atau *tunnel* terakhir merupakan meja kristalisasi tempat dilakukannya panen. Gambar 4.2 menampilkan skema sistem tunnel garam yang menggambarkan alur pengaliran air laut dari tandon menuju ke unit tunnel. Pada skema tersebut diperlihatkan ukuran tandon serta dimensi tunnel yang digunakan, termasuk konfigurasi jalur distribusi air laut antar tunnel.



Gambar 4.2 Skema *tunnel*

Proses pembuatan garam dimulai dengan pengambil air laut untuk mengisi tandon. Proses pengambilan air laut ini diawali dengan membuat sumur sedalam 1,5–2 m pada jarak 50–100 m ke arah laut dari pasang terendah saat itu. Sumur dibuat dengan pipa PVC diameter 2 inci. Mesin pompa diletakkan pada jarak sekitar 100 m dari pasang tertinggi menjauhi laut. Air laut baru yang masuk ke tandon kemudian dialirkan ke *tunnel* pertama hingga mencapai ketinggian 10–15 cm. Air laut dialirkan dari *tunnel* satu ke tunnel selanjutnya hingga *tunnel* terakhir. Air yang sudah tua dari *tunnel* terakhir dialirkan ke meja kristalisasi dan siap dipanen. Proses pembuatan garam pertama dari pengambilan air hingga panen membutuhkan waktu sekitar dua bulan dan pemanenan berikutnya setiap 1–2 minggu. Gambar 4.3 menyajikan ilustrasi skematis proses pengambilan air laut yang mencakup beberapa komponen utama, yaitu posisi *intake*, letak sumur, lokasi mesin pompa, serta dinamika pasang surut air laut. Selanjutnya, air laut yang terpompa dialirkan menuju tandon sebagai unit penampung sementara sebelum disalurkan ke sistem tunnel untuk tahap pengolahan berikutnya.



Gambar 4.3 Skema Pengambilan air laut

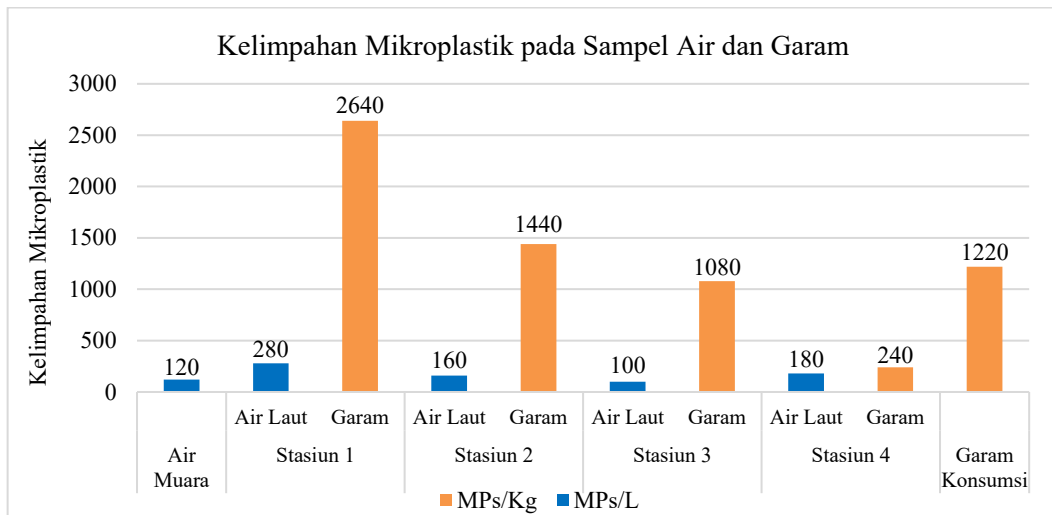
Proses produksi garam ini dapat dilakukan secara berkelanjutan, baik pada musim kemarau maupun musim hujan, dengan penggunaan sistem *Tunnel Garam*. Desain terowongan ini memungkinkan perlindungan optimal terhadap kontaminasi eksternal dan air hujan, sehingga proses kristalisasi tetap dapat berlangsung. Efisiensi pemanasan matahari meningkat karena struktur *tunnel* dirancang secara khusus, ditambah dengan penggunaan plastik *geomembrane High Density Polyethylene* (HDPE) yang mempercepat proses pengkristalan. Penggunaan *geomembrane* tidak hanya efektif dalam melindungi struktur tambak dari risiko kerusakan akibat rembesan dan kontaminasi air asin, tetapi juga berdampak langsung pada peningkatan kualitas kadar NaCl pada garam (Abdullah dan Susandini, 2018).

Kualitas garam yang dihasilkan melalui *tunnel* memiliki kadar NaCl yang tinggi, yaitu mencapai lebih dari 97%, sesuai dengan standar kualitas garam untuk kebutuhan spa dan industri. Selain itu, sistem ini juga dapat langsung menghasilkan “air tua”, yaitu larutan pekat yang dibutuhkan dalam proses kristalisasi garam di tambak. Melalui metode ini, kelompok usaha dapat memproduksi dua jenis garam, yakni garam konsumsi dan garam untuk kebutuhan spa. Garam spa memiliki ukuran kristal yang lebih besar dan bernilai jual tinggi, yaitu sekitar Rp 40.000 per kilogram.

## 4.2 Kelimpahan Mikroplastik

Kelimpahan mikroplastik bervariasi antara air laut dan garam dari berbagai stasiun sebagaimana disajikan dalam Gambar 4.4. Secara umum, kandungan mikroplastik dalam sampel air laut di keempat stasiun berkisar antara 100–280 MPs/L dengan rata-rata 180 MPs/L. Kelimpahan mikroplastik pada sampel air laut terendah ditemukan di Stasiun 3, yaitu sebesar 100 MPs/L dan tertinggi pada Stasiun 1 sebesar 280 MPs/L.

Kandungan mikroplastik pada sampel garam di keempat stasiun memiliki rentang yang luas yaitu berkisar antara 240–2640 MPs/Kg dengan rata-rata 1350 MPs/Kg. Kelimpahan terendah terdeteksi pada sampel garam di Stasiun 4 sebesar 240 MPs/Kg dan tertinggi terdeteksi pada sampel garam Stasiun 1, mencapai 2640 MPs/Kg.



Gambar 4.4 Kelimpahan mikroplastik pada sampel air dan garam

Kontaminasi mikroplastik pada garam terutama disebabkan oleh air laut yang telah terkontaminasi, sebagai bahan baku utama dalam produksi. Indonesia merupakan negara penyumbang sampah plastik ke laut terbesar kedua di dunia dan rata-rata perairan Indonesia memiliki kelimpahan mikroplastik yang cukup tinggi (Damanik dkk., 2024). Hal ini sesuai bahwa kelimpahan mikroplastik relatif lebih tinggi teridentifikasi pada garam di wilayah Asia, karena wilayah Asia tidak hanya merupakan titik panas polusi plastik global sehingga garam laut dapat menjadi indikator yang baik untuk mengetahui besarnya polusi mikroplastik di lingkungan laut sekitarnya (Kim dkk., 2018).

Keberadaan mikroplastik juga terdeteksi di air muara sebesar 120 MPs/L yang berdekatan dengan Stasiun 1. Pada Stasiun 1, hasil mikroplastik lebih tinggi dibanding stasiun pengamatan lain. Aktivitas antropogenik di sekitar wilayah pesisir yang berbeda-beda, seperti aktivitas industri, permukiman, pariwisata dan perikanan mempengaruhi variasi kelimpahan mikroplastik yang dihasilkan (Kakade dkk., 2024). Garam yang diproduksi di daerah pesisir yang terkena dampak antropogenik rentan terhadap kontaminasi dari berbagai polutan, termasuk mikroplastik (Iñiguez dkk., 2017). Aktivitas manusia di wilayah pesisir dapat meningkatkan pencemaran limbah plastik pada muara (Damanik dkk., 2024). Penelitian Kapukotuwa dkk. (2025) menunjukkan bahwa terdapat mikroplastik pada anak muara Sungai Mahaweli Sri Lanka berkisar antara 0,03–0,94 partikel/L dalam air dan 3,1–246,9 partikel/Kg dalam sedimen.

Kandungan mikroplastik di setiap stasiun antara sampel air laut dan garam menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada sebagian besar stasiun pengamatan. Di Stasiun 1, kelimpahan pada garam tercatat sebesar 2640 MPs/Kg, atau sekitar 9,43 kali lebih tinggi dibandingkan pada air laut yang hanya 280 MPs/L. Stasiun 2 menunjukkan pola serupa, dengan kelimpahan pada garam sebesar 1440 MPs/Kg, setara dengan peningkatan sekitar 9 kali lipat dari kelimpahan pada air laut (160 MPs/L). Pada Stasiun 3, rasio peningkatan relatif lebih tinggi, yakni 10,8 kali, dengan kelimpahan 1080 MPs/Kg pada garam dibandingkan 100 MPs/L pada air laut. Sebaliknya, Stasiun 4 memperlihatkan perbedaan rasio yang jauh lebih rendah, yaitu hanya 1,33 kali lipat (240 MPs/Kg pada garam dibandingkan 180 MPs/L pada air laut).

Perbedaan karakteristik ini dipengaruhi oleh dua faktor. *Faktor pertama*, terkait dengan garam yang diambil dari gudang penyimpanan. Sampel garam yang diambil dari gudang penyimpanan memiliki waktu produksi yang berbeda. Waktu produksi yang berbeda ini juga berkaitan dengan perbedaan waktu pengambilan air laut yang dilakukan tiap stasiun. Pengambilan sampel air laut pada Stasiun 1 dan Stasiun 2 dilaksanakan pada periode Maret–April 2025, yang merepresentasikan kondisi perairan pada akhir musim hujan dan fase transisi menuju musim kemarau. Curah hujan di Kabupaten Kebumen pada Bulan Maret tercatat sebesar 200–300 mm dan pada Bulan April sebesar 100–150 mm menunjukkan curah hujan sedang

cenderung rendah (BMKG, 2025). Stasiun 3 menggunakan sampel garam dari stok lama yang telah disimpan sebelum periode pengambilan sampel, sehingga kondisi lingkungan pada saat proses pembuatannya tidak dapat diidentifikasi secara langsung. Sementara itu, pengambilan sampel air laut di Stasiun 4 dilakukan pada Januari–Februari 2025, bertepatan dengan musim hujan. Berdasarkan data curah hujan BMKG (Januari–Februari 2025), curah hujan Kabupaten Kebumen yaitu 300–400 mm pada Januari dan 200–300 mm pada Februari. Angka ini menunjukkan curah hujan yang tinggi. Perbedaan intensitas curah hujan tersebut mengindikasikan adanya variasi kondisi lingkungan yang berpotensi memengaruhi tingkat pencemaran mikroplastik di perairan.

Penelitian Tsang dkk. (2020) menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik air laut yang lebih tinggi dijumpai pada musim kering. Penelitian Zhang dkk. (2020) yang dilakukan pada empat musim juga memberikan hasil bahwa konsentrasi mikroplastik pada air laut lebih tinggi pada musim semi dan musim panas dibandingkan pada musim dingin dan musim gugur. Berdasarkan pengujian secara statistik regresi ANOVA, konsentrasi mikroplastik pada air laut hasil penelitian Wulandari dkk., (2022) dipengaruhi oleh perbedaan musim ( $p$ -value sebesar 0,007). Pada musim kemarau konsentrasi mikroplastik menunjukkan nilai lebih tinggi dibandingkan pada saat musim hujan.

*Faktor kedua*, perbedaan kelimpahan mikroplastik pada garam juga disebabkan oleh transport mikroplastik di perairan yang dipengaruhi oleh arus sebagaimana dijelaskan lebih lanjut pada Subbab 4.6. Garam konsumsi yang dijadikan sampel merupakan produksi Stasiun 1. Garam konsumsi ini memiliki kandungan mikroplastik yang cukup tinggi yaitu 1220 MPs/Kg. Nilai ini relatif sebanding dengan kandungan mikroplastik pada garam hasil produksi masing-masing stasiun. Menurut Karami dkk. (2017), kelimpahan mikroplastik pada garam produksi yang masih tinggi disebabkan sistem produksi garam yang belum menerapkan teknologi filtrasi mikroplastik secara optimal. Hal ini yang menimbulkan kekhawatiran terkait potensi paparan mikroplastik terhadap manusia melalui konsumsi garam.

Banyak penelitian sebelumnya juga telah melaporkan keberadaan mikroplastik dalam garam konsumsi dari berbagai negara, dengan tingkat

kelimpahan yang bervariasi, yang menyoroti masalah global terkait kontaminasi mikroplastik dalam produk pangan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Di Fiore dkk. (2023) menyebutkan bahwa kelimpahan mikroplastik pada garam yang dihasilkan dari sumber air laut sebesar 1653 MPs/Kg. Penelitian Amqam (2022) kelimpahan mikroplastik pada garam tradisional mencapai 914,67 partikel/Kg dengan bentuk mikroplastik fragmen lebih mendominasi. Penelitian Gadi (2024) menyebutkan bahwa garam “krosok” (GK) menunjukkan adanya kontaminasi mikroplastik, dengan kelimpahan 29 partikel/gram atau sama dengan 29000 partikel/Kg.

Sistem *tunnel* juga turut mempengaruhi kelimpahan mikroplastik yang teridentifikasi pada sampel garam. Proses pengaliran air laut dari tandon hingga *tunnel* 6 yang memanfaatkan beda ketinggian antar *tunnel* menyebabkan lebih banyak mikroplastik yang terendapkan. Garam mengakumulasi mikroplastik ke dalam padatan yang terkonsentrasi. Terdapat data pendukung terkait proses produksi mengakumulasi mikroplastik yang ditemukan dalam Stasiun 1. Sampel yang diambil dari *tunnel* 4 dan *tunnel* 6 pada Stasiun 1 secara berurutan menunjukkan kelimpahan 280 MPS/Kg dan 2640 MPS/Kg. Perbedaan yang tinggi ini menunjukkan adanya kelemahan dalam proses produksi.

Produksi garam dengan sistem tunnel yang diterapkan di Kabupaten Kebumen menunjukkan karakteristik kontaminasi mikroplastik yang berbeda dibandingkan dengan metode konvensional lainnya yang digunakan di berbagai wilayah Indonesia. Perbedaan ini mengindikasikan adanya variabilitas dalam tingkat kontaminasi mikroplastik yang diduga berkorelasi dengan teknik dan sistem produksi yang digunakan. Sistem tunnel, yang umumnya lebih tertutup dan terkontrol, diduga mampu meminimalkan paparan terhadap sumber kontaminan eksternal seperti udara terbuka dan limpasan permukaan. Untuk memperjelas perbandingan tersebut, Tabel 4.1 menyajikan data kuantitatif mengenai tingkat kontaminasi mikroplastik berdasarkan metode produksi garam yang berbeda, sehingga dapat diidentifikasi kontribusi masing-masing sistem terhadap kualitas produk akhir.

Tabel 4.1 Hasil penelitian terdahulu terkait kontaminasi mikroplastik pada garam berdasarkan metode produksi

| Penulis (Tahun)        | Metode Produksi Garam | Kelimpahan Mikroplastik             | Karakteristik Mikroplastik  |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|
| Efendy dkk., 2025      | Madura (S6A)          | 29,33 ± 2,5 partikel/kg             | Bentuk:<br>Fiber>film<br><br>Ukuran:<br>1 µm–1 mm > 1–5 mm<br><br>Warna Dominan: hitam                |
|                        | Geomembrane (S6B)     | 37,33 ± 4,50 partikel/kg            | Bentuk:<br>Fiber > Fragmen > Film<br><br>Ukuran:<br>1 µm–1 mm > 1–5 mm<br><br>Warna Dominan:<br>Hitam |
|                        | Portugis (S6C)        | 14 ± 1,63 partikel/kg               | Bentuk:<br>Fiber > Fragmen > Film<br><br>Ukuran:<br>1 µm–1 mm > 1–5 mm<br><br>Warna Dominan: Hitam    |
|                        | Air laut              | 0,36 ± 0,13 partikel/L              | Bentuk:<br>Fiber > Fragmen > Film<br><br>Ukuran:<br>1 µm–1 mm > 1–5 mm                                |
|                        | Sedimen laut          | 4,33 ± 1,25 partikel/kg             | Bentuk:<br>Fiber > Fragmen<br><br>Ukuran:<br>1 µm–1 mm > 1–5 mm                                       |
| Gadi dkk., 2024        | Madura                | 29.000 partikel/kg;                 | Bentuk:<br>Fragmen > Fiber > Film   |
|                        | Saluran Air Muda      | 24 partikel/g                       | Bentuk:<br>Fragmen > Fiber  |
| Supriyo dkk., 2024     | Geomembrane           | 306,67 partikel/kg                  | Polimer dominan:<br>PVC > PA<br><br>Warna Dominan:<br>Hitam   |
| Karimah & Alfiah, 2023 | Madura                | Garam: 46,5 partikel/kg             | Warna Dominan:<br>Hitam   |
|                        | Air Tambak            | 7,7 partikel/L                      |   |
| Puspita dkk., 2022     | Portugis              | Garam: 15,67 ± 4,73 partikel/100 g; | Bentuk:<br>Fiber > Film > Fragmen   |

|                     |             |                            |  |
|---------------------|-------------|----------------------------|--|
|                     | Air Laut    | 24 ± 10,44 partikel/100 mL | Bentuk:<br>Fiber > Film > Fragmen  |
| Dwiyitno dkk., 2021 | Tradisional | 273,5 ± 108,0 partikel/kg  | –  |
|                     | Geomembrane | 154,4 ± 79,8 partikel/kg   | –  |
|                     | Tunnel      | 118,2 ± 43,7 partikel/kg   | –  |
| Nilawati dkk., 2024 | Tradisional | 326 ± 50 partikel/kg       | –  |
|                     | Geomembrane | 337 ± 16 partikel/kg       | –  |
| Studi ini           | Tunnel      | 240–2460 partikel/kg       | Bentuk:<br>Fragmen > Fiber > Film > Pellet<br><br>Warna:<br>Hitam > Bening > Biru > Merah > Kuning > Hijau<br>Ukuran: Dominan <50 µm |
|                     | Air Laut    | 100–280 partikel/L         | Bentuk:<br>Fiber > Fragmen > Film<br><br>Warna:<br>Bening > Hitam > Biru > Merah > Kuning > Hijau<br>Ukuran: Dominan <50 µm          |

Kontaminasi mikroplastik pada produk garam menunjukkan variasi antar metode produksi, yang mengindikasikan adanya perbedaan mekanisme paparan dan akumulasi partikel selama proses kristalisasi garam. Metode Madura umumnya memperlihatkan kelimpahan mikroplastik yang relatif tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Efendy dkk. (2025) mencatat bahwa garam metode Madura mengandung rata-rata  $29,33 \pm 2,5$  partikel/kg dengan dominasi bentuk fiber dan film. Temuan serupa dilaporkan oleh Karimah & Alfiah (2023), yakni 46,5 partikel/kg dengan warna dominan hitam, serta oleh Gadi dkk. (2024) yang melaporkan angka jauh lebih tinggi, mencapai 29.000 partikel/kg. Tingginya kontaminasi ini diduga berkaitan dengan sistem terbuka pada lahan tambak, yang memungkinkan masuknya mikroplastik dari udara, limpasan daratan, serta deposisi langsung dari aktivitas antropogenik di sekitar lokasi produksi.

Metode produksi garam dengan Metode Portugis, yang menerapkan sistem pelapisan alas garam tanpa pemanenan menyeluruh, menunjukkan tingkat kontaminasi mikroplastik yang lebih rendah dibandingkan metode Madura. Berdasarkan temuan Efendy dkk. (2025), konsentrasi mikroplastik tercatat sebesar  $14 \pm 1,63$  partikel/kg, sementara Puspita dkk. (2022) melaporkan  $15,67 \pm 4,73$  partikel/100 g. Namun demikian, bentuk mikroplastik yang teridentifikasi tetap didominasi oleh fiber, menandakan bahwa sumber utama masih berasal air laut yang terkontaminasi mikroplastik dan dipengaruhi oleh eksternal karena menggunakan sistem terbuka yang memungkinkan kontaminasi dari atmosfer.

Metode geomembrane menunjukkan hasil yang bervariasi antar penelitian. Beberapa studi melaporkan kelimpahan yang relatif tinggi, seperti Supriyo dkk. (2024) dengan  $306,67$  partikel/kg serta dominasi polimer PVC dan PA, maupun Efendy dkk. (2025) dengan  $37,33 \pm 4,50$  partikel/kg. Temuan Dwiyitno dkk. (2021) dan Nilawati dkk. (2024) juga mendukung adanya angka kontaminasi yang setara dengan metode tradisional, yakni sekitar  $154\text{--}337$  partikel/kg. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan geomembrane belum sepenuhnya efektif menekan paparan mikroplastik. Kemungkinan besar, material geomembrane sendiri menjadi sumber sekunder kontaminasi melalui degradasi polimer akibat paparan sinar matahari dan salinitas tinggi. Degradasi plastik ini turut menyumbang keberadaan mikroplastik dalam produk garam akhir (Efendy dkk., 2025).

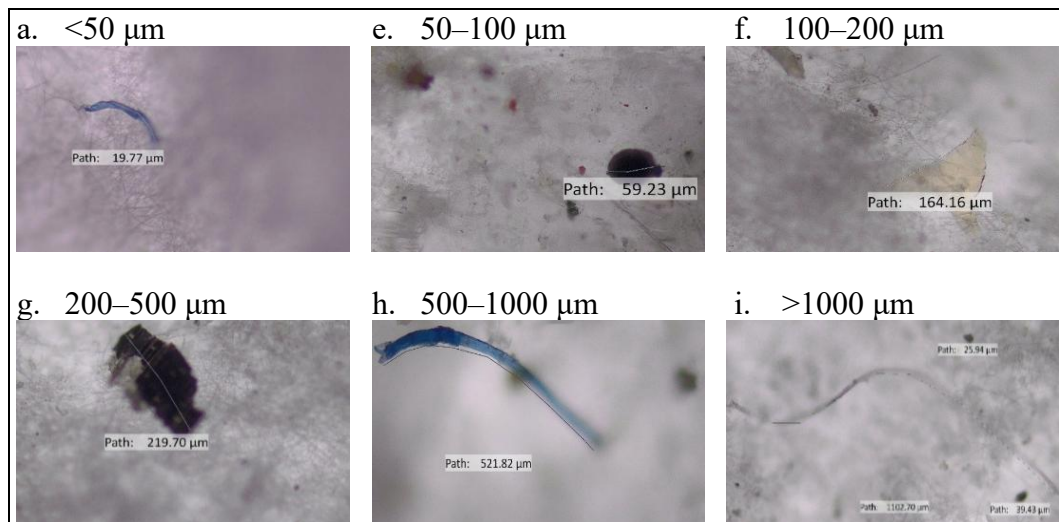
Sementara itu, metode sistem tunnel relatif lebih baru dan diharapkan mampu meminimalkan kontaminasi eksternal karena proses produksi berlangsung pada wadah semi-tertutup. Namun, hasil penelitian justru menunjukkan variasi yang lebar. Studi Dwiyitno dkk. (2021) melaporkan kontaminasi sebesar  $118,2 \pm 43,7$  partikel/kg, lebih rendah dibanding metode tradisional maupun geomembrane. Akan tetapi, data hasil pada penelitian ini menunjukkan tingkat kontaminasi yang jauh lebih tinggi, berkisar  $240\text{--}2460$  partikel/kg dengan dominasi fragmen berukuran  $<50 \mu\text{m}$ . Perbedaan ini dapat disebabkan oleh faktor operasional, termasuk kualitas bahan baku air laut yang telah terkontaminasi signifikan serta potensi abrasi material konstruksi tunnel sebagai sumber mikroplastik tambahan. Sehingga dapat disimpulkan pola kontaminasi ini dipengaruhi input awal air laut,

dan proses produksi yang berkontribusi pada tingkat akumulasi melalui interaksi dengan bahan konstruksi wadah dan eksposur atmosfer.

### 4.3 Karakteristik Mikroplastik pada Air Laut, Air Muara, dan Garam (Bentuk, Warna, dan Ukuran Mikroplastik)

#### 4.3.1 Ukuran Mikroplastik

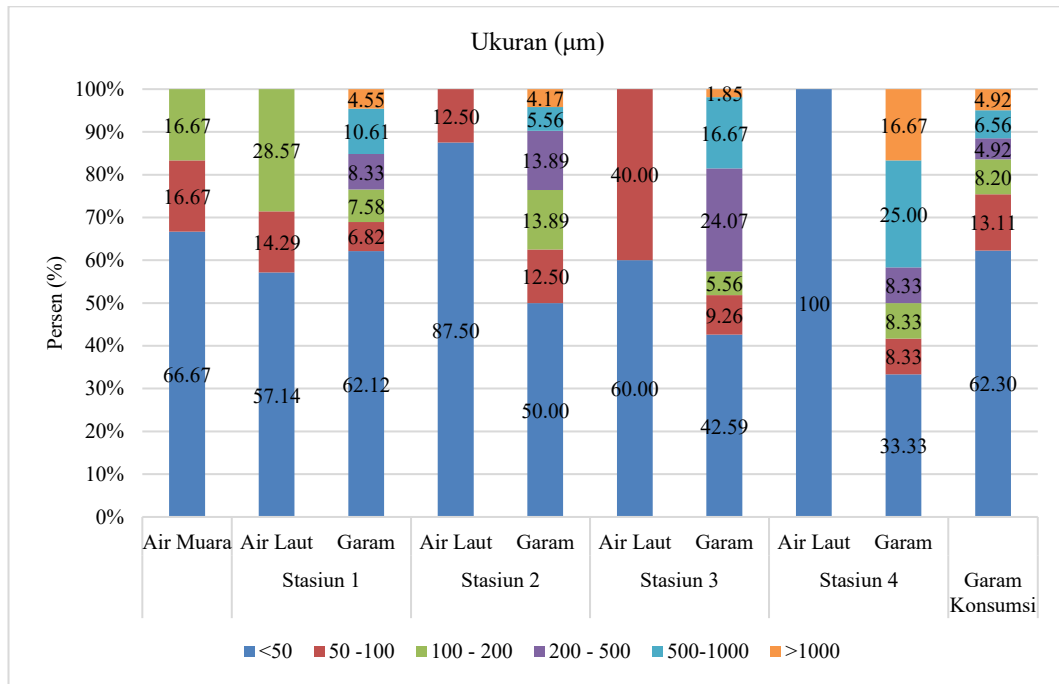
Ukuran mikroplastik yang ditemukan dalam penelitian ini berkisar antara 1–137,29  $\mu\text{m}$  pada sampel air laut, 6,79–115,08  $\mu\text{m}$  pada sampel air muara, dan 4,15–1722,33  $\mu\text{m}$  pada sampel garam. Ukuran mikroplastik yang teridentifikasi dikelompokkan ke dalam enam kategori, yaitu  $<50 \mu\text{m}$ , 50–100  $\mu\text{m}$ , 100–200  $\mu\text{m}$ , 200–500  $\mu\text{m}$ , 500–1000  $\mu\text{m}$ , dan  $>1000 \mu\text{m}$  sebagaimana terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Ukuran mikroplastik

Proporsi morfologi mikroplastik yang teridentifikasi pada setiap stasiun pengamatan ditampilkan pada Gambar 4.6. Visualisasi tersebut menyajikan perbedaan komposisi bentuk mikroplastik yang ditemukan pada berbagai jenis sampel, meliputi air laut dari Stasiun 1 hingga Stasiun 4, air muara, garam hasil produksi dari Stasiun 1 hingga Stasiun 4, serta garam konsumsi komersial. Perbedaan yang ditunjukkan dalam grafik tersebut mengindikasikan adanya variasi distribusi morfologis mikroplastik, baik pada media perairan maupun produk garam. Selain itu, hasil perbandingan tersebut memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai variasi ukuran dan bentuk mikroplastik yang terakumulasi pada tiap jenis sampel, sehingga dapat menjadi dasar dalam menilai keterkaitan

antara sumber pencemar di lingkungan perairan dengan potensi kontaminasi pada produk garam yang dikonsumsi masyarakat.



Gambar 4.6 Persentase ukuran mikroplastik pada sampel pengamatan

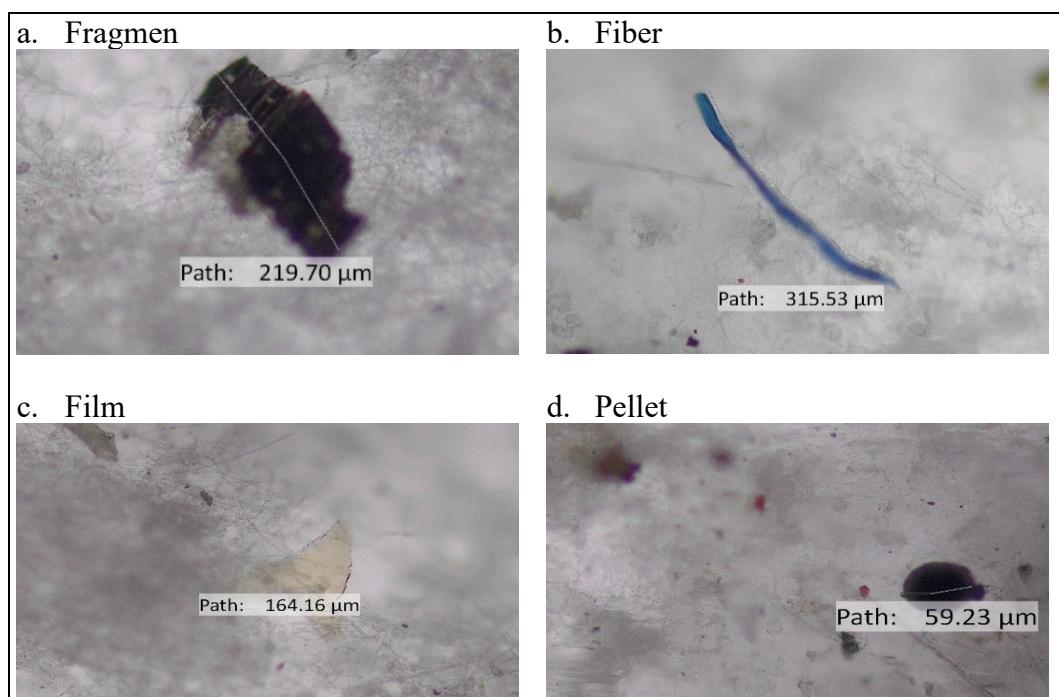
Rentang ukuran mikroplastik yang paling dominan adalah  $<50 \mu\text{m}$  baik di air muara, air laut, maupun garam. Mikroplastik jarang ditemukan dalam ukuran  $>1000 \mu\text{m}$ . Pada sampel air, baik air laut maupun air muara, mikroplastik berukuran  $>200 \mu\text{m}$  tidak ditemukan. Ukuran mikroplastik yang ditemukan di sampel air kurang bervariasi. Pada air laut Stasiun 4, mikroplastik yang ditemukan seluruhnya berukuran sangat kecil ( $<50 \mu\text{m}$ ). Air laut pada Stasiun 2 dan Stasiun 3 menunjukkan ditemukannya mikroplastik berukuran 50–100  $\mu\text{m}$  dengan persentase masing-masing 12,50% dan 40%. Adapun pada air laut Stasiun 1 dan air muara, ditemukan mikroplastik berukuran 100–200  $\mu\text{m}$  yang mana tidak ditemukan pada air laut Stasiun 2, Stasiun 3, dan Stasiun 4. Walaupun demikian, tetap terlihat dominasi mikroplastik berukuran  $<50 \mu\text{m}$  pada air laut Stasiun 1 dan air muara dengan nilai masing-masing sebesar 57,14% dan 66,67%.

Berbeda dengan air laut, mikroplastik yang ditemukan dalam garam lebih bervariasi walaupun dominasi ukuran yang ditemukan sama yaitu sangat kecil ( $<50 \mu\text{m}$ ). Enam kategori ukuran sebagaimana disebutkan di awal ditemukan pada seluruh sampel garam.

Tingginya proporsi mikroplastik berukuran kecil ini mengindikasikan terjadinya proses fragmentasi sekunder plastik di lingkungan akibat paparan sinar UV, abrasi mekanis, dan degradasi biologis yang menghasilkan partikel-partikel mikroplastik berukuran sangat halus. Tingginya kandungan mikroplastik berukuran <50  $\mu\text{m}$  menjadi perhatian serius karena partikel kecil lebih mudah terdispersi di lingkungan, masuk ke rantai makanan akuatik, serta lebih berpotensi menembus membran biologis organisme. Dalam konteks konsumsi manusia melalui garam dapur, partikel mikroplastik berukuran mikro memiliki potensi masuk ke dalam tubuh. Partikel mikroplastik dapat bertindak sebagai pembawa kontaminan toksik yang menyebabkan bioakumulasi dan potensi risiko kesehatan, termasuk gangguan reproduksi dan pencernaan serta resistensi antibiotik (Biswas dkk., 2024). Mikroplastik membahayakan kesehatan reproduksi, pencernaan, dan pernapasan manusia yang berisiko terkena penyakit kanker usus besar dan paru-paru (Chartres dkk., 2024).

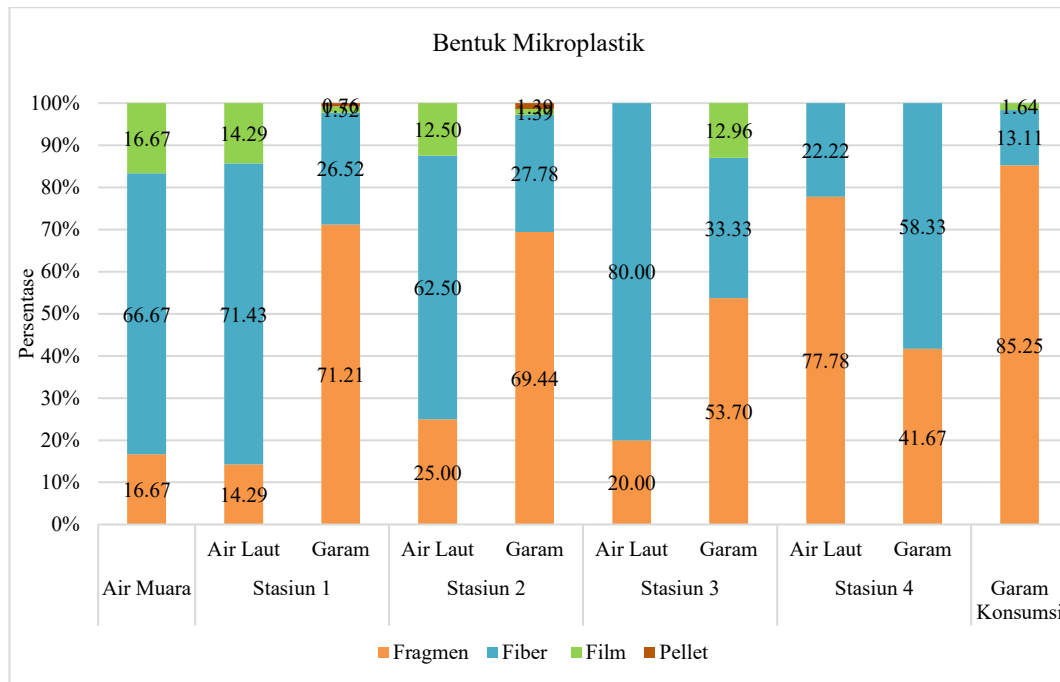
#### 4.3.2 Bentuk Mikroplastik

Berdasarkan sampel yang dikumpulkan, ditemukan empat jenis mikroplastik berdasarkan bentuknya yaitu fragmen, fiber, film dan pellet sebagaimana terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Bentuk mikroplastik

Proporsi bentuk mikroplastik yang teridentifikasi pada setiap stasiun pengamatan disajikan pada Gambar 4.8. Penyajian ini memperlihatkan perbedaan komposisi morfologis mikroplastik yang ditemukan pada seluruh sampel. Perbandingan tersebut memberikan gambaran yang jelas mengenai variasi bentuk mikroplastik, seperti serat, fragmen, butiran, maupun film, yang terdistribusi pada masing-masing jenis sampel.



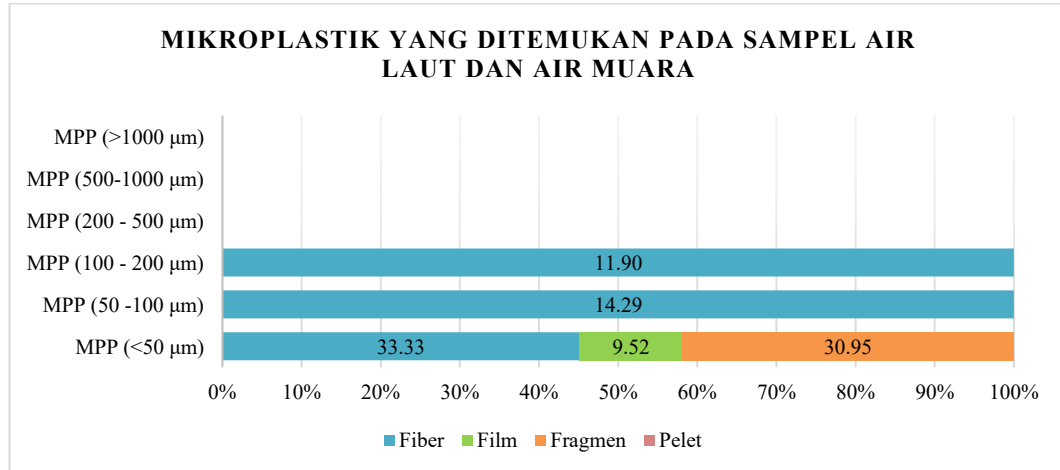
Gambar 4.8 Persentase bentuk mikroplastik pada sampel pengamatan

Pada sampel air baik air muara maupun air laut, mikroplastik berbentuk fiber lebih dominan. Akan tetapi, hasil berbeda pada air laut Stasiun 4 dimana mikroplastik berbentuk fragmen lebih dominan yaitu sebesar 77,78%. Mikroplastik berbentuk film cukup rendah ditemukan pada sampel air (16,67% di air muara, 14,29% di Stasiun 1, dan 12,50% di Stasiun 2) bahkan tidak ditemukan di air laut Stasiun 3 dan air laut Stasiun 4. Di sisi lain, mikroplastik berbentuk pellet tidak ditemukan pada seluruh sampel air. Hal ini menunjukkan bahwa hanya tiga bentuk mikroplastik yang ditemukan pada sampel air yaitu fragmen, fiber, dan pellet.

Hasil yang berbeda ditemukan pada sampel garam. Pada sampel garam, dominasi bentuk mikroplastik yaitu fragmen dengan persentase tertinggi sebesar 85,25%. Sampel garam Stasiun 4 hanya memiliki dua jenis bentuk mikroplastik yaitu fragmen dan fiber dengan dominasi bentuk fiber sebesar 58,33% berbeda

dengan sampel lain yang didominasi oleh fragmen. Mikroplastik berbentuk pellet ditemukan pada garam Stasiun 1 dan garam Stasiun 2 dengan masing-masing persentase 0,76% dan 1,39%. Walaupun dengan jumlah yang kecil, mikroplastik berbentuk pellet hanya ditemukan pada dua sampel tersebut.

Secara umum, sebanyak 840 partikel mikroplastik (MPs) berhasil diidentifikasi pada sampel air laut di Stasiun 1 hingga Stasiun 4 serta pada sampel air muara. Pada sampel air laut, ditemukan bentuk mikroplastik yang paling dominan adalah fiber (59,04%) dan pada sampel air muara menunjukkan pola yang serupa dengan fiber sebesar 66,67%. Mikroplastik berbentuk fiber terdistribusi dalam rentang ukuran partikel <50 µm hingga 200 µm. Persentase tertinggi fiber ditemukan pada kategori ukuran <50 µm sebesar 33,33%, diikuti oleh kategori ukuran 50–100 µm sebesar 14,29%, dan ukuran 100–200 µm sebesar 11,90%. Sementara itu, jenis mikroplastik berupa fragmen hanya terdeteksi pada ukuran <50 µm, baik pada sampel air laut maupun air muara. Pada Gambar 4.9 ditunjukkan bentuk mikroplastik yang teridentifikasi pada sampel air (air laut dan air muara) berdasarkan kategori ukuran.



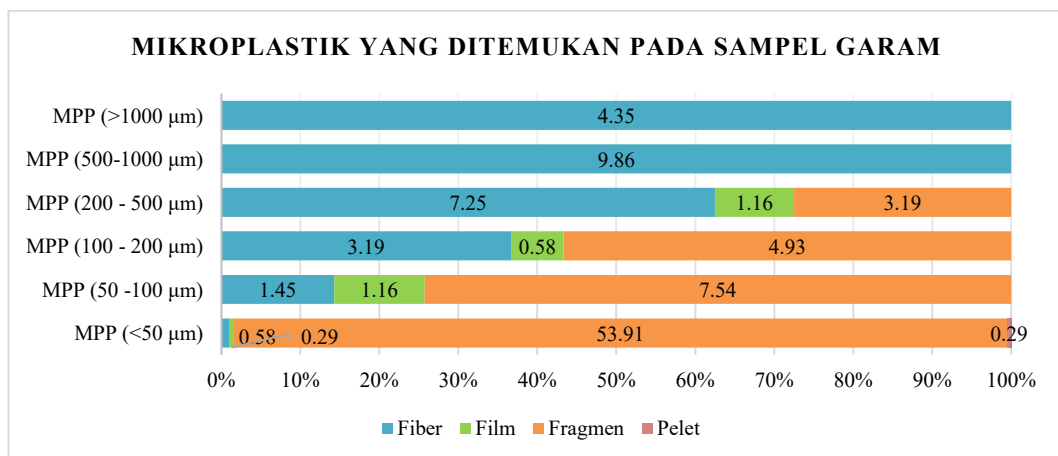
Gambar 4.9 Bentuk mikroplastik pada sampel air (air laut dan air muara) berdasarkan kategori ukuran

Muara berperan sebagai jalur masuk utama mikroplastik ke laut, terutama fiber, yang kemudian tersebar lebih luas di perairan laut. Penelitian mikroplastik yang dilakukan pada perairan juga banyak menunjukkan hasil fiber dominan (Khanza dkk., 2025; Mirad dkk., 2020; Octarianita dkk., 2022). Dominasi mikroplastik berbentuk fiber yang ditemukan di lingkungan perairan dikarenakan

mikroplastik bentuk fiber memiliki karakteristik yang lebih ringan dan fleksibel (Kooi dan Koelmans, 2019).

Mikroplastik berbentuk fiber yang mengontaminasi lingkungan perairan sebagian besar berasal dari aktivitas industri tekstil dan rumah tangga, khususnya melalui proses pembuatan, pemakaian, dan pencucian pakaian sintetis. Pencucian pakaian menjadi salah satu tahap yang paling signifikan dalam pelepasan serat mikroplastik, yang kemudian terbuang ke sistem perairan melalui air limbah domestik selama proses pencucian pakaian sintetis (De Falco dkk., 2019; Henry dkk., 2019; Napper dan Thompson, 2016). Selain itu, sumber potensial lain mikroplastik dalam bentuk serat adalah berasal dari industri perikanan dimana penggunaan jaring dan tali ikan (Zhao, 2015).

Dilihat dari sampel garam semua stasiun, distribusi bentuk mikroplastik menunjukkan pola berbeda dibandingkan media air. Sebanyak 5400 partikel mikroplastik ditemukan pada sampel garam di Stasiun 1 hingga Stasiun 4. Bentuk mikroplastik yang ditemukan pada sampel garam Stasiun 1 hingga Stasiun 4 didominasi oleh bentuk fragmen 65,93%, diikuti oleh fiber 29,63%. Mikroplastik bentuk fragmen terdistribusi dalam rentang ukuran partikel <50–500  $\mu\text{m}$ . Distribusi mikroplastik berdasarkan ukuran menunjukkan bahwa fragmen mendominasi hampir seluruh kategori ukuran, terutama pada rentang <50  $\mu\text{m}$  dengan kontribusi sebesar 53,91%. Mikroplastik bentuk fiber terdistribusi pada seluruh kategori ukuran dan terkonsentrasi pada ukuran 200  $\mu\text{m}$  hingga >1000  $\mu\text{m}$  sebesar 21,46% sebagaimana terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Bentuk mikroplastik pada sampel garam berdasarkan kategori ukuran

Plastik berbentuk fragmen sangat dipengaruhi oleh mekanisme pemecahan serta lamanya berada di lingkungan. Oleh karena itu, mikroplastik berbentuk fragmen ini kerap muncul dalam berbagai bentuk tidak teratur, seperti kristal, serat halus, serbuk, butiran, potongan kecil, atau serpihan (Widianarko dan Inneke, 2018).

Tingginya mikroplastik berbentuk fragmen pada garam disebabkan oleh akumulasi mikroplastik selama proses penguapan air laut dalam produksi garam. Konsep *tunnel* dalam proses produksi mendorong akumulasi. Temuan ini diperkuat oleh studi Besseling dkk. (2017), yang menggunakan pendekatan pemodelan matematis untuk menganalisis pergerakan mikroplastik, dan menunjukkan bahwa fragmen memiliki kecenderungan untuk mengendap lebih cepat daripada fiber, terutama pada lingkungan yang tenang seperti kolam evaporasi garam. Hal ini menjelaskan mengapa fragmen sering kali ditemukan mendominasi pada sedimen dasar atau media kristalisasi dalam proses produksi garam.

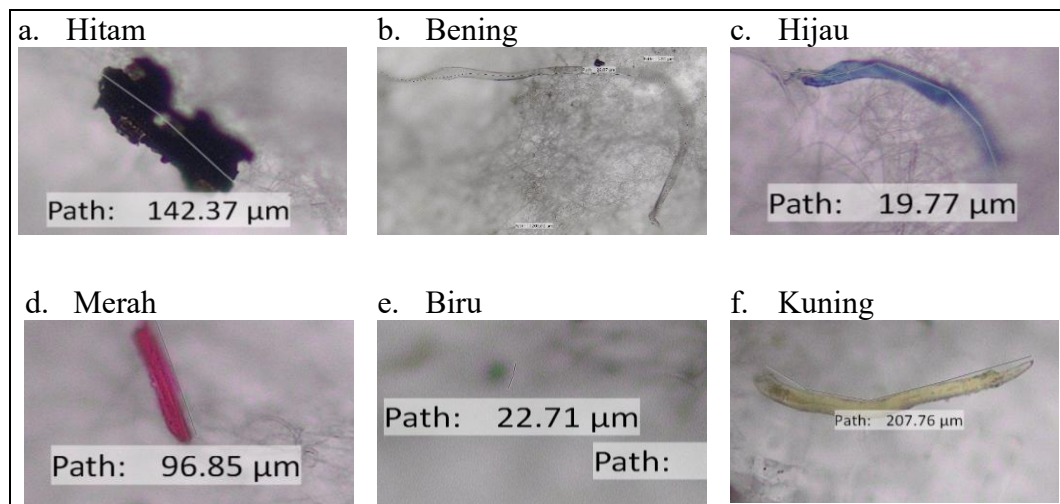
Garam konsumsi yang merupakan produk akhir untuk masyarakat, masih menunjukkan kandungan mikroplastik yang cukup tinggi, yaitu sekitar 1220 MPs/Kg (Gambar 4.3), dengan dominasi fragmen sebesar 85,25% dan diikuti fiber sebesar 13,11%. Temuan ini konsisten dengan berbagai studi sebelumnya yang melaporkan dominasi bentuk fragmen dalam kontaminasi mikroplastik pada garam konsumsi. Penelitian oleh Syamsu dkk. (2024) yang menganalisis sampel garam dari wilayah Padang dan Jambi mengungkapkan bahwa fragmen merupakan bentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan, dengan persentase mencapai 67,49%. Hal serupa juga ditemukan di Iran, di mana 78,57% mikroplastik pada sampel garam memiliki bentuk fragmen (Makhdoumi dkk., 2023). Sementara itu di Thailand, Promdontree (2023) melaporkan bahwa sebesar 58,53% mikroplastik yang teridentifikasi dalam sampel garam juga berbentuk fragmen. Dominasi fragmen ini diduga berasal dari pecahan plastik yang mengalami degradasi fisik maupun kimiawi di lingkungan, sehingga menghasilkan partikel berukuran mikro yang mudah terdistribusi dan terakumulasi dalam media air laut serta produk turunannya seperti garam.

Fragmentasi mikroplastik dari ukuran besar menjadi partikel kecil disebabkan oleh berbagai mekanisme degradasi seperti biodegradasi,

photodegradation/radiation UV, oxidative degradation, and thermal degradation and hydrolysis (Andrady, 2011). Larger debris such as plastic bottles mixed with the aquatic environment and experience degradation by UV rays, wind, and ocean waves (Caldwell dkk., 2019).

### 4.3.3 Warna Mikroplastik

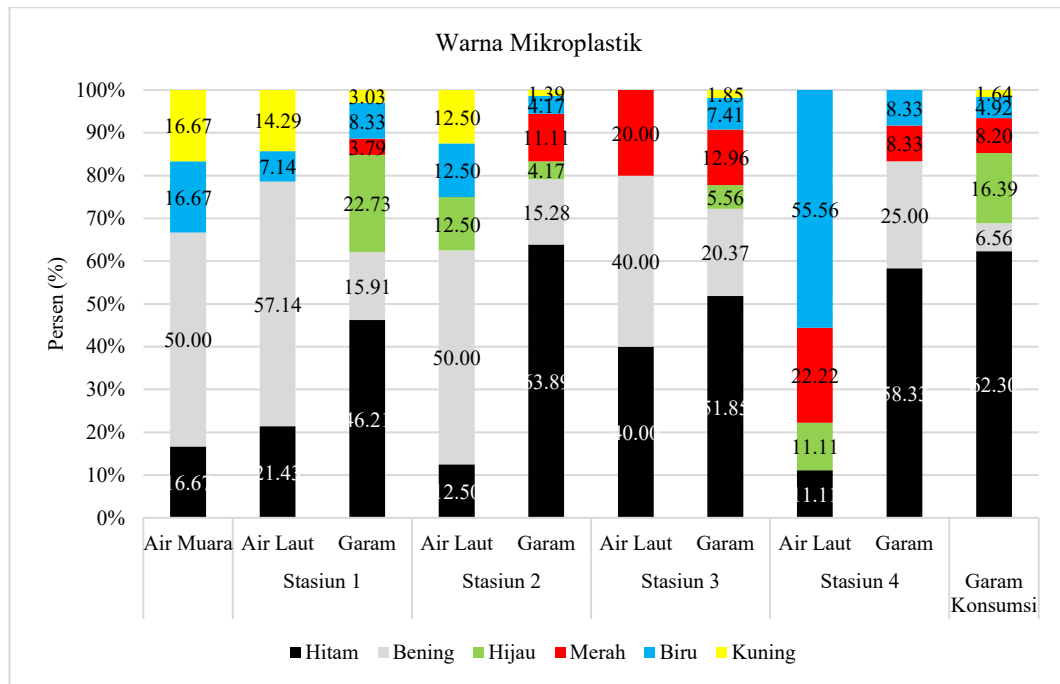
Color of microplastic that is not identified in seawater samples, estuary water, and sediment is black, white, green, red, blue, and yellow as shown in Figure 4.11. This presentation shows the difference in morphological composition of microplastic found in various types of samples, including seawater from Station 1 to Station 4, estuary water, sediment from Station 1 to Station 4, and consumption sediment. The comparison provides a clear picture regarding the variation in microplastic color distribution in each type of sample.



Gambar 4.11 Warna mikroplastik

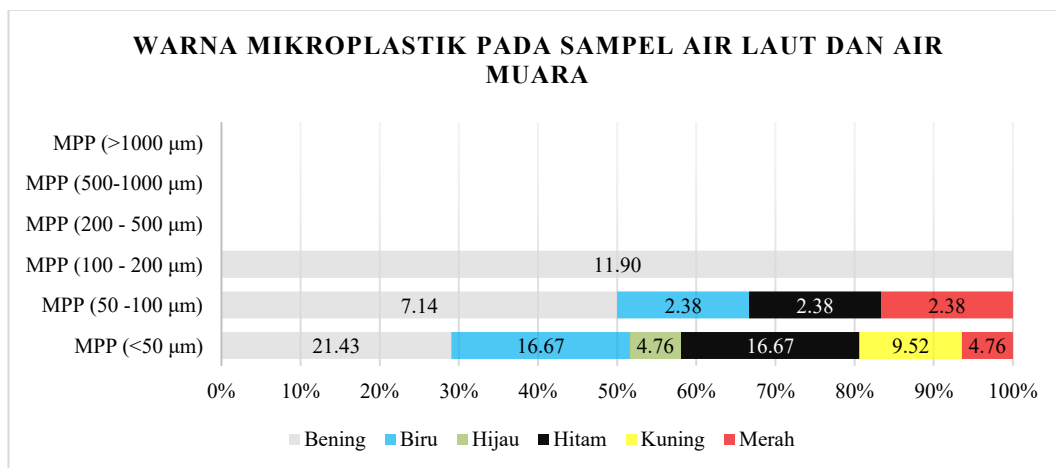
Based on the identification results of microplastic color in five stations of water sampling (estuary water or seawater), different colors were found at each location as seen in Figure 4.12. At estuary water, Station 1 seawater, and Station 2 seawater, the types of microplastic color detected include black, white, blue, yellow, and green. However, green color was only found specifically at Station 2 seawater. Station 3 and Station 4 show similarities in microplastic color in terms of the presence of red color,

yang menjadi satu-satunya warna yang sama di antara keduanya. Secara umum, warna bening merupakan warna mikroplastik yang paling dominan di hampir seluruh stasiun pengambilan sampel, kecuali pada Stasiun 4 air laut, dengan proporsi temuan di atas 40% pada masing-masing lokasi. Temuan ini menunjukkan adanya pola distribusi warna mikroplastik yang dapat mencerminkan sumber dan karakteristik aktivitas manusia di sekitar wilayah pesisir tersebut.



Gambar 4.12 Persentase warna mikroplastik pada sampel pengamatan

Selain variasi warna, hasil analisis juga menunjukkan bahwa seluruh partikel mikroplastik yang ditemukan dalam sampel air memiliki ukuran kurang dari 200  $\mu\text{m}$  sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.13. Sebagian besar mikroplastik berukuran kurang dari 50  $\mu\text{m}$ , yang menunjukkan dominasi partikel mikroplastik berukuran sangat kecil di perairan pesisir. Pada kelompok ukuran ini, warna bening merupakan yang paling dominan dengan proporsi sebesar 21,43%, diikuti oleh warna biru dan hitam masing-masing sebesar 16,67%, kemudian kuning (9,52%), serta hijau dan merah masing-masing sebesar 4,76%. Dominasi partikel mikroplastik berukuran sangat kecil, khususnya berwarna bening, mengindikasikan bahwa partikel ini memiliki potensi lebih besar untuk tersuspensi di kolom air dan termobilisasi ke berbagai lingkungan, serta meningkatkan peluang tertelan oleh organisme akuatik berukuran kecil (Galloway dkk., 2017).



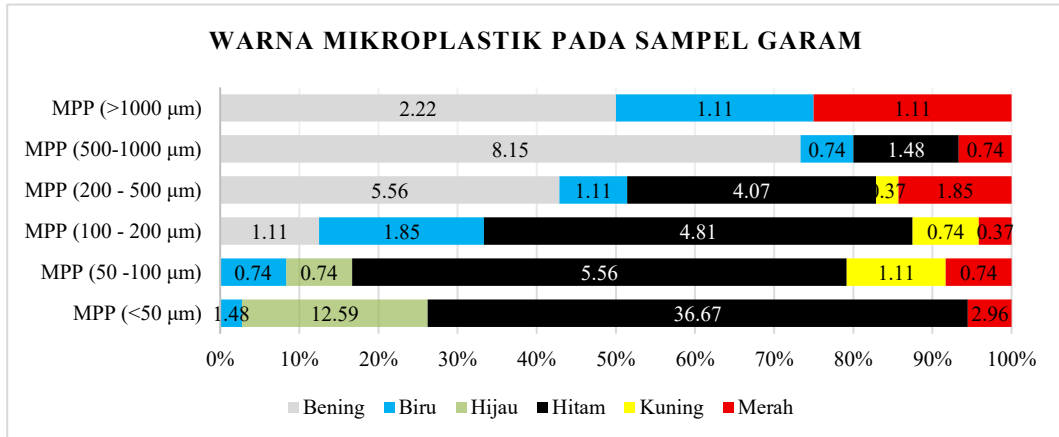
Gambar 4.13 Warna mikroplastik pada sampel air (air laut dan muara) berdasarkan kategori ukuran

Gambar 4.13. juga memperlihatkan mikroplastik yang berukuran 50–100 µm ditemukan sebesar 7,14% dan ukuran 100–200 µm sebesar 11,90%, dengan warna bening tetap menjadi warna yang paling dominan pada kedua kelompok ukuran tersebut. Tingginya persentase mikroplastik bening baik di muara maupun laut menunjukkan bahwa jenis plastik transparan merupakan salah satu limbah plastik yang paling umum ditemukan di lingkungan perairan. Mikroplastik berwarna bening ini dapat berasal dari plastik berwarna bening dan juga plastik lain yang mengalami perubahan warna. Perubahan warna pada plastik di laut dapat terjadi akibat paparan sinar matahari dan proses fotokimia yang berlangsung secara alami (Marti dkk., 2020).

Perbedaan komposisi warna mikroplastik antara muara dan laut juga menggambarkan adanya variasi sumber pencemar serta pengaruh proses transportasi, sedimentasi, dan degradasi mikroplastik di sepanjang jalur perairan. Karakteristik warna mikroplastik dalam sampel garam menjadi indikator penting untuk mengidentifikasi potensi sumber pencemaran serta jalur distribusi mikroplastik di lingkungan pesisir dan produk konsumsi manusia.

Berbeda dengan air laut, pada sampel garam, mikroplastik yang ditemukan didominasi oleh warna hitam sebesar 52,59%, diikuti oleh warna bening (17,04%), merah (7,78%), hijau (13,33%), biru (7,04%), dan kuning (2,22%). Selain variasi warna, hasil analisis juga menunjukkan rentang warna mikroplastik yang teridentifikasi berukuran <200 µm sebesar 71,48% sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.14. Dan rentang ukuran mikroplastik >200 µm 28,52%. Artinya partikel

kecil tersebut memang berasal dari sumber air laut pembuatan garam. Mikroplastik >200  $\mu\text{m}$  dalam jumlah sedikit menunjukkan keberadaannya di lingkungan perairan tersebut dalam jumlah yang sedikit.



Gambar 4.14 Warna mikroplastik pada sampel garam berdasarkan kategori ukuran

Perbedaan proporsi warna ini disebabkan oleh proses pengendapan dan penguapan air laut dalam *tunnel* garam yang memungkinkan partikel mikroplastik berwarna gelap, seperti hitam, lebih mudah terperangkap dan terakumulasi di endapan garam dibandingkan partikel berwarna bening atau cerah yang cenderung tetap tersuspensi lebih lama di air karena perbedaan densitas dan ukuran partikel mikroplastik (Besseling dkk., 2017).

Selain itu keberadaan mikroplastik hitam yang dominan pada sampel garam berkaitan dengan penggunaan plastik *geomembrane* dalam proses produksi garam. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Efendy dkk. (2025) terkait identifikasi mikroplastik pada sampel garam yang dihasilkan dari kolam kristalisasi menggunakan metode *geomembrane* menghasilkan kelimpahan mikroplastik yang teridentifikasi lebih tinggi dibanding metode madura dan metode portugis.

Variasi warna mikroplastik yang teridentifikasi pada sampel air laut menunjukkan kecenderungan pola distribusi yang sejalan dengan warna mikroplastik yang ditemukan pada sampel garam. Selain warna hitam dan bening yang dominan, sampel garam juga teridentifikasi memiliki mikroplastik merah, hijau, biru, dan kuning yang juga ditemukan pada sampel air laut. Mikroplastik berwarna biru umumnya berasal dari pelapukan tali plastik, sedangkan warna hitam biasanya dihasilkan dari pecahan kantong plastik berwarna hitam. Adapun mikroplastik berwarna cerah seperti hijau, merah, dan coklat diperkirakan berasal

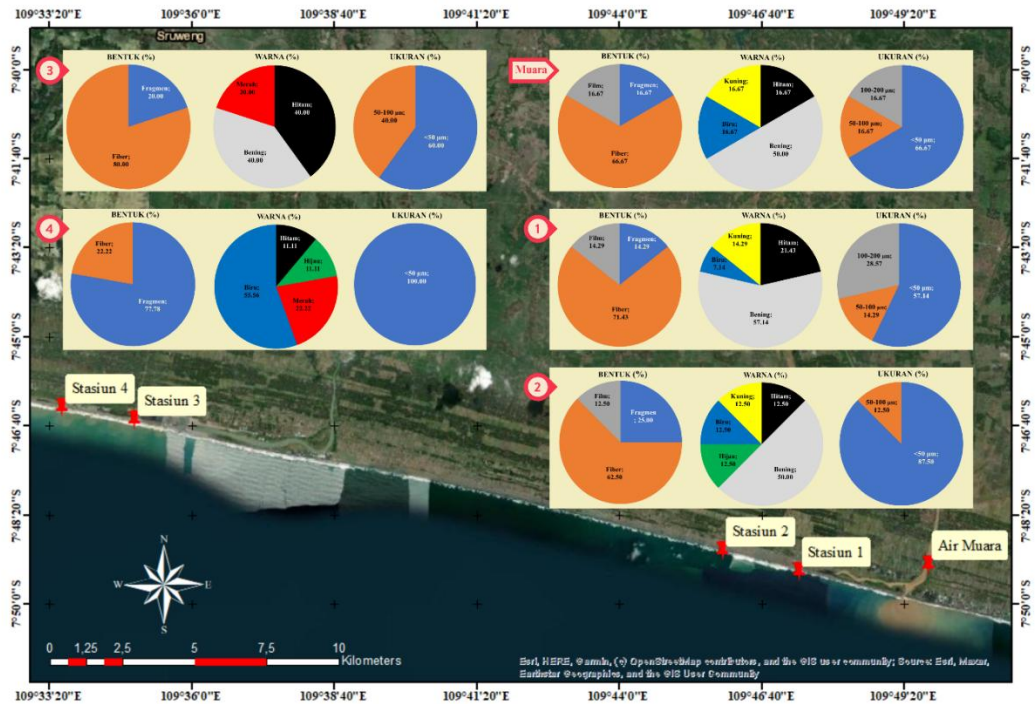
dari plastik berwarna serupa yang belum mengalami degradasi warna secara signifikan (Kama, 2020). Hal ini menunjukkan beragamnya karakteristik mikroplastik yang ditemukan karena sumber pencemarannya berasal dari sumber pencemaran yang beragam (Tahir dkk., 2019).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mikroplastik yang teridentifikasi dalam sampel garam didominasi oleh warna hitam dan berbentuk fragmen. Dominasi warna hitam ini sejalan dengan temuan dalam penelitian Efendy dkk. (2025), yang melaporkan bahwa warna mikroplastik hitam mendominasi sampel air dan garam masing-masing sebesar 48,8% dan 59,6% di Kabupaten Pamekasan. Fragmen berwarna hitam juga dilaporkan memiliki hubungan tinggi dalam berbagai penelitian di luar negeri. Studi oleh Yang dkk. (2015) di Tiongkok mencatat bahwa fragmen hitam berukuran kurang dari 200  $\mu\text{m}$  ditemukan dengan kelimpahan sebesar 550–681 MPs/Kg garam.

Sementara itu, penelitian di Italia menunjukkan rentang ukuran fragmen hitam yang lebih bervariasi, yakni antara 4–2100  $\mu\text{m}$ . Penelitian serupa oleh Syamsu dkk. (2023) juga mengidentifikasi dominasi fragmen hitam pada sampel garam sebesar 52,88%, dengan kisaran ukuran partikel antara 100–300  $\mu\text{m}$ . Kesamaan pola warna dan bentuk ini berkaitan dengan jenis material plastik yang umum digunakan dalam aktivitas domestik dan industri pesisir, serta karakteristik fisik mikroplastik berwarna gelap yang cenderung lebih stabil terhadap degradasi lingkungan, sehingga lebih mudah terakumulasi dalam media air dan produk garam.

#### **4.3.4 Perbandingan Karakteristik Mikroplastik berdasarkan Stasiun Pengamatan**

Analisis karakteristik mikroplastik yang terdapat pada sampel air laut, muara, dan garam hasil produksi di wilayah penelitian difokuskan pada tiga parameter utama yaitu bentuk, warna, dan ukuran partikel. Gambaran spasial mengenai variasi kontaminasi mikroplastik pada tiap stasiun pengamatan disajikan pada Gambar 4.15 untuk sampel air laut dan muara dan pada Gambar 4.16 untuk sampel garam. Dalam gambar disajikan perbedaan karakteristik mikroplastik antara sampel air laut, air muara, dan garam yang dihasilkan di stasiun pengamatan.

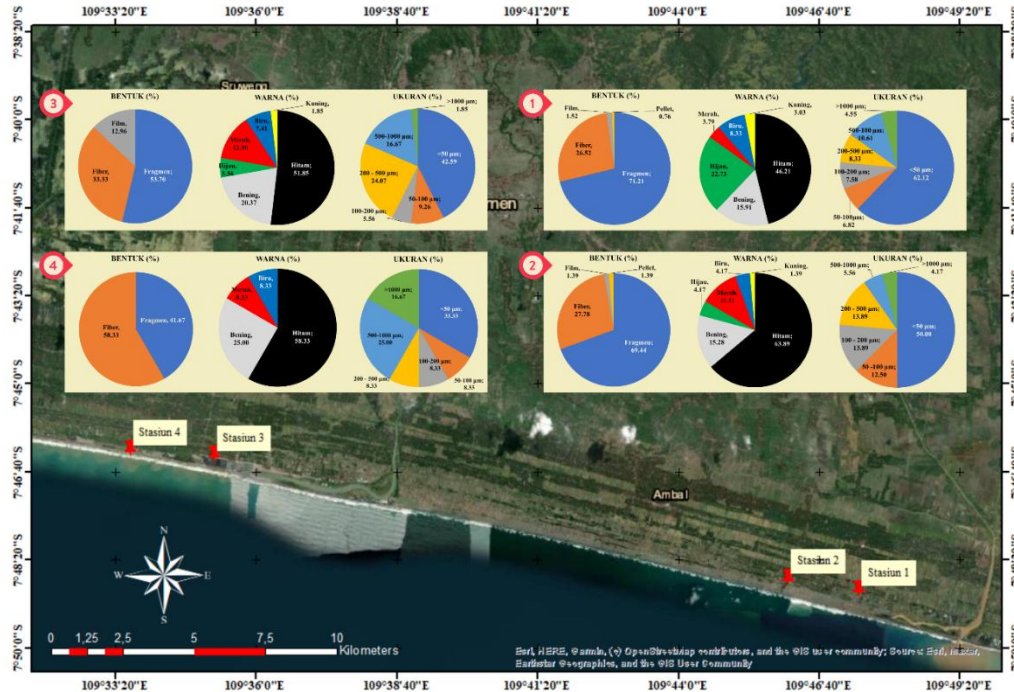


Gambar 4.15 Karakteristik mikroplastik pada sampel air laut dan air muara

Karakteristik mikroplastik pada sampel air laut dan air muara di wilayah pesisir menunjukkan perbedaan yang mencolok dari segi bentuk, warna, dan ukuran partikel. Di wilayah muara (Stasiun 1 dan Stasiun 2), mikroplastik didominasi oleh bentuk fiber dengan proporsi mencapai 71,43% dan 62,50%. Sementara itu, fragmen hanya menyumbang bagian kecil dari total mikroplastik. Sebaliknya, di laut terbuka (Stasiun 3 dan Stasiun 4), proporsi fragmen meningkat secara signifikan, khususnya di Stasiun 4 yang mencatatkan dominasi fragmen sebesar 77,78%. Hal ini mengindikasikan bahwa sumber mikroplastik di muara cenderung berasal dari limbah domestik, sedangkan di laut terbuka, partikel plastik kemungkinan besar berasal dari hasil degradasi plastik makro akibat paparan sinar matahari dan gelombang laut.

Dari sisi warna, komposisi warna mikroplastik pada air muara dan air laut Stasiun 1 dan cenderung memiliki warna yang sama yaitu bening, hitam, kuning, dan biru. Stasiun 2 juga menunjukkan pola yang sama dengan Stasiun 1 dengan munculnya warna baru yaitu hijau. Stasiun 3 dan Stasiun 4 memiliki kesamaan warna merah yang tidak ditemukan pada muara, Stasiun 1, dan Stasiun 2. Perbedaan ini menguatkan dugaan adanya variasi sumber pencemar antara dua wilayah tersebut. Dalam hal ukuran, partikel <50 µm mendominasi di seluruh stasiun, tetapi

proporsinya jauh lebih tinggi di laut, terutama di Stasiun 4 yang mencatat 100% mikroplastik berukuran sangat kecil. Ini menunjukkan bahwa proses fragmentasi telah lebih lanjut berlangsung di laut terbuka dibandingkan di muara.



Gambar 4.16 Karakteristik mikroplastik pada sampel garam

Gambar 4.16 menampilkan hasil analisis karakteristik mikroplastik pada produk garam di area lokasi yang sama. Karakteristik mikroplastik dalam sampel garam dari keempat stasiun pengamatan menunjukkan variasi yang mencolok, terutama jika dikelompokkan berdasarkan kedekatannya dengan muara dan laut terbuka. Stasiun 1 dan Stasiun 2, yang berada lebih dekat dengan muara, menunjukkan dominasi mikroplastik berbentuk fragmen sebesar 72,41% dan 69,44%, diikuti oleh fiber dalam jumlah lebih rendah. Dominasi fragmen ini kemungkinan besar disebabkan oleh masuknya limbah plastik dari daratan melalui aliran sungai, di mana plastik makro telah mengalami fragmentasi parsial sebelum mencapai lahan tambak garam. Dari segi warna, mikroplastik berwarna bening dan hitam mendominasi, yang umum ditemukan dalam produk rumah tangga dan limbah domestik. Partikel di Stasiun 1 dan Stasiun 2 dominan berukuran <50 µm, mengindikasikan akumulasi mikroplastik berukuran sangat kecil dari muara ke media air garam.

Sementara itu, Stasiun 3 dan Stasiun 4, yang lebih jauh dari pengaruh langsung muara dan lebih terpapar karakteristik air laut, menunjukkan pola berbeda. Kedua stasiun ini, meskipun fragmen tetap mendominasi, proporsi fiber meningkat, terutama di Stasiun 3 (53,33%), yang mungkin disebabkan oleh kontaminasi serat sintesis dari aktivitas perikanan atau limpasan laut. Warna mikroplastik di kedua stasiun ini masih didominasi oleh hitam, namun ditemukan pula variasi warna lain seperti merah dan biru, yang menandakan potensi asal dari plastik yang berasal dari laut. Distribusi ukuran juga lebih beragam dibandingkan stasiun muara, dengan peningkatan proporsi ukuran 50–500  $\mu\text{m}$ , menunjukkan bahwa mikroplastik di lokasi ini mungkin telah mengalami lebih banyak proses transportasi dan pelapukan di lingkungan laut terbuka sebelum terperangkap dalam air baku garam.

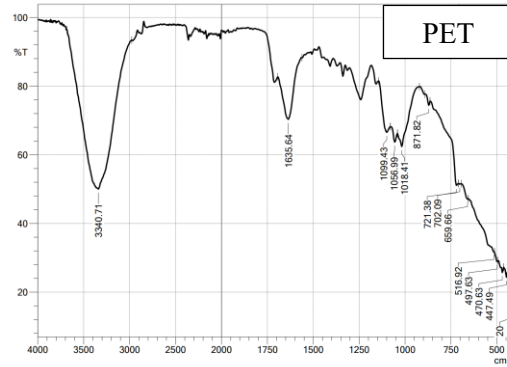
Arus laut berperan penting dalam membawa dan mencampurkan berbagai jenis mikroplastik dari berbagai sumber, yang kemudian terperangkap di tambak garam melalui proses evaporasi. Dengan demikian, lokasi geografis dan kedekatan terhadap muara atau laut terbuka sangat memengaruhi bentuk, warna, dan ukuran mikroplastik yang ditemukan dalam produk garam.

#### **4.4 Hasil FTIR**

Analisis *Attenuated Total Reflectance–Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (ATR-FTIR) dilakukan dengan mengamati *wavenumber* hasil pengujian, yang selanjutnya diinterpretasikan berdasarkan puncak serapan gelombang dengan mengacu pada kajian literatur. Penelitian ini mengidentifikasi keberadaan tiga partikel mikroplastik pada sampel garam, yang terdiri atas dua partikel polimer nilon dan satu partikel polimer *Polyethylene Terephthalate* (PET). Partikel yang terbaca oleh ATR-FTIR tersebut merupakan sampel fiber dan fragmen.

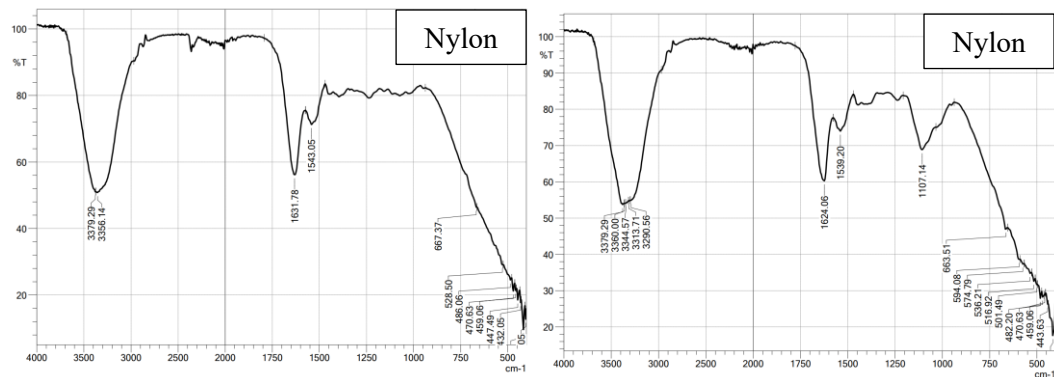
Berdasarkan hasil analisis, Polimer 1 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.17 memiliki puncak serapan pertama pada 3340,71  $\text{cm}^{-1}$ , yang mendekati nilai referensi 3447  $\text{cm}^{-1}$ , puncak serapan kedua 1635,64  $\text{cm}^{-1}$  mendekati nilai referensi 1691  $\text{cm}^{-1}$ , dan puncak serapan ketiga 1018,14  $\text{cm}^{-1}$  mendekati nilai referensi 1018  $\text{cm}^{-1}$ , sehingga dikategorikan sebagai PET (Badri dkk., 2013). Sumber utama PET umumnya berasal dari botol plastik sekali pakai, yang secara luas ditemukan di

ekosistem laut (Warni dan Dewata, 2021). Temuan ini sejalan dengan penelitian Yang dkk. (2015), yang melaporkan bahwa jenis polimer yang paling dominan ditemukan pada garam laut adalah PET dengan persentase 27,3%.



Gambar 4.17 Hasil FTIR pada Polimer 1

PET telah mengalami perkembangan pesat dalam penggunaannya karena sifat fisik dan kimia yang unggul, sehingga diaplikasikan secara luas pada produk cetak, wadah cairan, dan serat tekstil. Pemanfaatan PET secara masif, khususnya pada kemasan minuman, serta sifatnya yang resisten terhadap degradasi atmosferik dan biologis, berpotensi menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan meskipun tidak selalu terdeteksi secara kasatmata (Rahmayanti, 2015).



Gambar 4.18 Hasil FTIR pada Polimer 2 dan Polimer 3

Dua sampel yang teridentifikasi oleh FTIR sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.18 memiliki puncak serapan  $1631,78\text{ cm}^{-1}$  dan  $1624,04\text{ cm}^{-1}$ , dimana kedua nilai tersebut mendekati nilai referensi  $1633\text{ cm}^{-1}$ , dapat diindikasikan jenis polimer tersebut adalah *Polyamide* (PA) atau nylon. Puncak serapan lain yaitu  $1543,05\text{ cm}^{-1}$  pada Polimer 2 dan  $1539\text{ cm}^{-1}$  pada Polimer 3 yang mendekati referensi  $1533\text{ cm}^{-1}$  (Alejo dkk., 2013; Sadeghi dan Safapour, 2016). PA atau nylon banyak digunakan dalam jaring alat tangkap ikan sehingga keberadaannya banyak di

lautan. Nylon juga bersumber dari serat pakaian yang dimungkinkan berasal dari limbah penduduk (Rohmah dkk., 2025).

#### 4.5 *Estimated Daily Intake (EDI) dan Estimated Annual Intake (EAI)*

Konsumsi garam merupakan bagian penting dari kebutuhan gizi harian masyarakat. Namun dalam beberapa tahun terakhir, isu kontaminasi mikroplastik pada bahan pangan, termasuk garam, semakin menjadi perhatian global. Mikroplastik sebagai polutan yang bersifat persisten di lingkungan telah banyak terdeteksi dalam berbagai produk pangan akibat pencemaran lingkungan, khususnya di wilayah pesisir dan perairan.

Tingkat konsumsi garam di Kabupaten Kebumen mengacu pada rata-rata konsumsi nasional sebesar 1125,8 gr/kapita/tahun atau setara 3,084 gr/kapita/hari (Statistik Konsumsi Pangan Kementan, 2023). Meskipun kondisi ini masih lebih rendah dibanding standard WHO sebesar 5 gr/kapita/hari, potensi paparan mikroplastik melalui konsumsi garam yang perlu menjadi perhatian dalam aspek keamanan pangan masyarakat. Konsumsi garam yang terkontaminasi mikroplastik dalam jangka panjang dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia, termasuk stres oksidatif, gangguan metabolisme, reaksi imun, efek neurotoksik, dan gangguan reproduksi dan perkembangan (Barboza dkk., 2018; Li dkk., 2023).

Salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur potensi paparan mikroplastik pada manusia melalui konsumsi pangan adalah *Estimated Daily Intake (EDI)* dan *Estimated Annual Intake (EAI)*. Nilai EDI ini merepresentasikan perkiraan jumlah partikel mikroplastik yang dapat dikonsumsi oleh individu setiap harinya melalui konsumsi garam yang terkontaminasi. Perhitungan EDI didasarkan pada data tingkat konsumsi harian garam per kapita dan kelimpahan mikroplastik yang terdeteksi dalam sampel garam konsumsi. Hasil perhitungan *Estimated Daily Intake (MPS/kapita/hari)* tersebut disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Estimated Daily Intake (MPs/kapita/hari)

| <i>Estimated Daily Intake (MPs/kapita/hari)</i> |                                     |                                  |   |
|---|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| <i>Intake Rate (gr/kapita/hari)</i>             | <i>Intake Rate (kg/kapita/hari)</i> | Kelimpahan Mikroplastik (MPs/kg) | <i>Estimated Daily Intake (MPS/kapita/hari)</i> |
| 3,084   | 0,0031                              | 1220                             | 3,76  |

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *Estimated Daily Intake* (EDI) mikroplastik yang dikonsumsi masyarakat Kabupaten Kebumen mencapai 3,76 MPs/kapita/hari. Nilai ini diperoleh dari *intake rate* sebesar 3,084 gr/hari serta kelimpahan mikroplastik dalam sampel makanan sebesar 1220 partikel/kg. Temuan ini menunjukkan bahwa dalam setiap konsumsi harian makanan tersebut, Masyarakat Kabupaten Kebumen berpotensi terpapar sekitar 4 partikel mikroplastik.

Nilai EAI merepresentasikan perkiraan jumlah partikel mikroplastik yang dapat dikonsumsi oleh individu dalam satu tahun melalui konsumsi garam yang terkontaminasi. Perhitungan EAI didasarkan pada data tingkat konsumsi tahunan garam per kapita dan kelimpahan mikroplastik yang terdeteksi dalam sampel garam konsumsi. Hasil perhitungan *Estimated Annual Intake* (MPS/kapita/hari) tersebut disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Estimated Annual Intake (MPs/kapita/tahun)

| <i>Estimated Annual Intake</i> (MPs/kapita/tahun) |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <i>Intake Rate</i><br>(gr/kapita/tahun)           | <i>Intake Rate</i><br>(kg/kapita/tahun) | Kelimpahan<br>Mikroplastik<br>(MPs/kg) | <i>Estimated Annual Intake</i><br>(MPS/kapita/tahun) |
| 1125,8  | 1,13                                    | 1220                                   | 1373,48  |

Berdasarkan hasil penelitian ini, nilai *Estimated Annual Intake* (EAI) mikroplastik yang dikonsumsi melalui konsumsi garam oleh Masyarakat Kabupaten Kebumen mencapai 1373,48 MPs/kapita/tahun. Angka ini menunjukkan potensi paparan mikroplastik yang cukup signifikan, apabila dibandingkan dengan beberapa studi serupa di kawasan Asia Tenggara dan Timur Tengah. Sebagai contoh, penelitian oleh Promdontree (2023) di Thailand melaporkan nilai EAI sebesar 905,2 MPs/kapita/tahun, yang masih lebih rendah dari hasil penelitian ini. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh variasi jenis makanan yang dikonsumsi, sumber bahan pangan, serta tingkat pencemaran lingkungan di masing-masing wilayah.

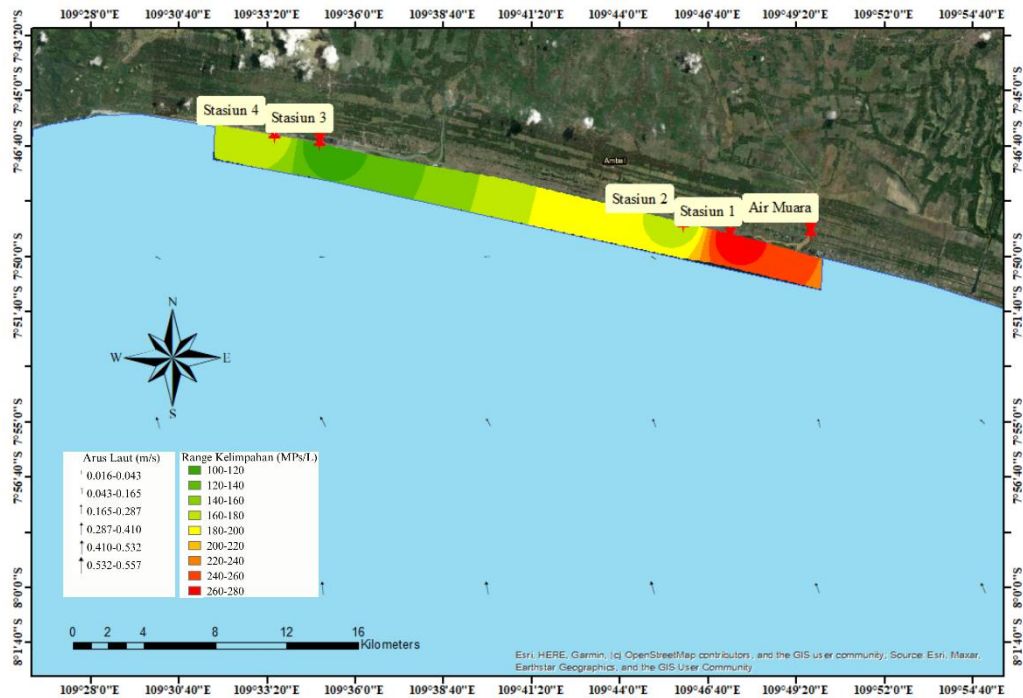
Nilai EAI mikroplastik konsumsi garam dari penelitian ini juga lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian di Vietnam yang dilaporkan oleh Ha (2021), yakni sebesar 1270 MPs/kapita/tahun. Sementara itu, studi di Indonesia yang dilakukan oleh Syamsu dkk. (2023) di wilayah Padang dan Jambi menunjukkan

angka yang jauh lebih rendah, yakni sebesar 571 MPs/kapita/tahun. Perbedaan signifikan antarwilayah di Indonesia ini menunjukkan adanya variasi regional dalam kontaminasi mikroplastik, yang kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan intensitas aktivitas industri, limbah domestik, dan karakteristik ekosistem perairan di masing-masing daerah.

Secara global, angka EAI dari penelitian ini masih lebih tinggi dari rata-rata global asupan mikroplastik dari garam yang dilaporkan oleh Rist dkk. (2018), yaitu sekitar 1000 MPs/kapita/tahun. Namun demikian, nilai tersebut masih lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian di Lebanon oleh Nakat dkk. (2023) yang mencapai 2372,5 MPs/kapita/tahun. Temuan ini menegaskan bahwa tingkat paparan mikroplastik melalui makanan di berbagai negara sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan lokal, tingkat pencemaran plastik di perairan dan rantai pangan, serta pola konsumsi masyarakat. Oleh karena itu, upaya mitigasi dan pengendalian pencemaran mikroplastik perlu disesuaikan dengan karakteristik masing-masing wilayah guna menekan risiko paparan mikroplastik terhadap kesehatan manusia karena garam dapur menjadi salah satu jalur penting bagi konsumsi mikroplastik oleh manusia.

#### **4.6 Pemetaan Mikroplastik**

Pemetaan spasial mikroplastik di kawasan pesisir Kabupaten Kebumen dilakukan sebagai langkah strategis dalam menilai kondisi kualitas perairan laut, terutama untuk mendeteksi potensi pencemaran mikroplastik pada sumber air laut yang dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi garam. Pemetaan distribusi mikroplastik di perairan pesisir Kebumen dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcGIS Pro dengan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) dengan fitur *Spatial Analyst*. Teknik IDW digunakan untuk memperkirakan distribusi spasial mikroplastik berdasarkan data dari titik pengamatan di empat stasiun penelitian, yakni Stasiun 1 hingga Stasiun 4, serta satu titik muara sungai. Hasil pemetaan spasial air laut disajikan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Pemetaan kelimpahan mikroplastik pada air laut

Hasil pemetaan menunjukkan gradasi warna dari merah, kuning, dan hijau yang masing-masing merepresentasikan konsentrasi mikroplastik tinggi, sedang, dan rendah. Area berwarna merah yang berada di sekitar Stasiun 1 dan muara sungai mengindikasikan konsentrasi mikroplastik yang paling tinggi. Hal ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh masukan limbah domestik dan aktivitas manusia dari daratan yang terbawa aliran sungai menuju laut. Menurut Andrady (2011) dan Cole dkk. (2011), salah satu sumber utama mikroplastik di laut adalah limpasan dari wilayah daratan melalui muara sungai yang membawa partikel plastik dari aktivitas rumah tangga, industri, dan pertanian.

Sebaliknya, wilayah di sekitar Stasiun 3 dan Stasiun 4 menunjukkan warna hijau, menandakan konsentrasi mikroplastik yang rendah. Area ini cenderung lebih jauh dari muara dan aktivitas antropogenik intensif, sehingga tekanan pencemar lebih rendah. Transisi warna kuning di sekitar Stasiun 2 dan 3 menunjukkan konsentrasi mikroplastik sedang, mencerminkan zona transisi antara area tercemar tinggi dan area yang relatif bersih. Pola distribusi ini sejalan dengan studi oleh Eriksen dkk. (2014) yang menunjukkan bahwa faktor kedekatan dengan sumber pencemar, arus laut, dan karakteristik pesisir sangat memengaruhi sebaran spasial mikroplastik di wilayah pesisir.

Pada area Stasiun 1 dan Stasiun 2, vektor arus yang tampak lebih tebal menandakan adanya arus laut yang lebih kuat, yang secara hidrodinamis mampu membawa dan menyebarkan mikroplastik dari muara ke laut terbuka. Hal ini sesuai dengan temuan bahwa konsentrasi mikroplastik di Stasiun 1 dan Stasiun 2 tergolong tinggi pada air laut maupun sampel garam. Fenomena ini diperkuat oleh penelitian sebelumnya (Isobe dkk., 2014; Lebreton dkk., 2017) yang menyatakan bahwa muara sungai merupakan jalur utama transportasi mikroplastik dari darat ke laut, dan arus laut memainkan peran krusial dalam pendistribusiannya.

Sebaliknya, di Stasiun 3 dan Stasiun 4, arus laut tampak lebih tipis dan lambat, yang berimplikasi pada resiko pencemaran mikroplastik yang lebih rendah. Kondisi ini tercermin dari rendahnya jumlah mikroplastik di stasiun-stasiun tersebut. Stasiun 4 teridentifikasi bahwa 100% mikroplastik berukuran  $<50 \mu\text{m}$  dan berbentuk fragmen, yang menunjukkan bahwa mikroplastik yang ada telah mengalami proses fragmentasi lanjut akibat paparan lingkungan laut terbuka. Hal ini diperkuat dengan arah arus di Stasiun 3 dan Stasiun 4 cenderung berbelok ke arah luar dan arus yang tipis, sehingga memungkinkan akumulasi partikel mikroplastik halus di lokasi ini. Wilayah dengan arus yang kuat cenderung membawa lebih banyak mikroplastik dari darat, sedangkan wilayah dengan arus lemah memungkinkan partikel mikroplastik mengalami degradasi lebih lanjut. Temuan ini sejalan dengan literatur Zhang (2017) dan Jambeck dkk. (2015) yang menegaskan bahwa arus permukaan dan jarak dari sumber daratan merupakan variabel utama dalam dinamika distribusi mikroplastik di zona pesisir.

Penerapan sistem pengolahan air laut yang lebih efektif dapat direkomendasikan sebagai upaya untuk menurunkan kelimpahan mikroplastik pada proses produksi garam, salah satunya melalui penambahan unit aerasi dan sedimentasi. Unit ini berfungsi memfasilitasi pengendapan mikroplastik sebelum air dialirkan menuju tunnel kristalisasi. Penelitian yang dilakukan oleh Hongprasith et al. (2020) melaporkan bahwa rata-rata efisiensi penghilangan mikroplastik pada instalasi pengolahan air limbah mencapai sekitar 84%, dengan tangki aerasi sebagai komponen utama yang memindahkan mikroplastik dari fase air ke fase lumpur. Akumulasi mikroplastik dalam bentuk endapan (sludge) pada dasar kolam dapat dikendalikan melalui pembuangan secara berkala, sehingga potensi kontaminasi

pada tahap kristalisasi dapat diminimalkan. Mekanisme aerasi melibatkan proses pembentukan flok dan biofilm, di mana mikroplastik yang tersuspensi akan terabsorpsi pada flok dan biofilm sehingga densitasnya meningkat dan selanjutnya mengendap (Hongprasith dkk., 2020). Meskipun demikian, penerapan sistem ini pada pengolahan air laut sebagai bahan baku garam masih memerlukan kajian lanjutan mengingat adanya perbedaan karakteristik bahan organik dan mikroorganisme akibat salinitas tinggi antara karakteristik air limbah dan air laut. Penambahan koagulan kitosan dapat menjadi solusi untuk memperbesar pembentukan flok dalam mekanisme penyisihan mikroplastik, penambahan kitosan dari cangkang kerang mampu menyisihkan 98,4% mikroplastik (HudaAli dan Dewata 2025).

Selain itu, diperlukan modifikasi pada desain pipa pengaliran air dari tandon maupun antar tunnel dengan mengubah posisi sistem pengaliran dari bagian dasar kolam ke bagian tengah. Modifikasi ini diharapkan dapat meminimalkan kemungkinan terangkutnya partikel mikroplastik yang telah mengalami sedimentasi dan terakumulasi pada lapisan dasar. Pendekatan ini didasarkan pada pertimbangan hidrodinamika dan distribusi partikel tersuspensi, di mana mikroplastik cenderung mengalami sedimentasi dan terakumulasi di lapisan dasar seiring waktu.

Lebih lanjut, integrasi sistem filtrasi menggunakan teknologi filter membrane pada pre-treatment berpotensi menjadi solusi tambahan untuk mengurangi beban cemaran mikroplastik secara signifikan. Penggunaan teknologi filter membrane dapat menyisihkan mikroplastik hingga >90% tergantung karakteristik membrane yang digunakan (Acarer, 2023). Penerapan kombinasi strategi ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas air laut yang digunakan pada proses produksi garam, sekaligus menekan risiko kontaminasi mikroplastik pada produk akhir.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Air laut sebagai bahan baku pembuatan garam di Kabupaten Kebumen telah terkontaminasi mikroplastik. Mikroplastik yang ditemukan pada air laut dominan berbentuk fiber, begitu juga dengan mikroplastik yang ditemukan pada air muara. Sedangkan pada sampel garam, mikroplastik ditemukan dalam jumlah yang tinggi dengan dominasi bentuk fragmen. Hasil karakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR mengindikasikan bahwa polimer yang terkandung dalam sampel garam adalah nylon dan polyethylene terephthalate (PET).

Kelimpahan mikroplastik dipengaruhi oleh kedekatan sumber polutan dan arus. Sampel garam yang diproduksi dekat muara memiliki kelimpahan tinggi. Tingginya kelimpahan mikroplastik dalam sampel garam mengindikasikan adanya kontaminasi pada air laut dan proses produksi. Proses produksi garam metode *tunnel* mengakumulasi mikroplastik pada garam. Ketiadaan teknik filtrasi yang efektif untuk partikel mikroplastik selama proses pembuatan garam mengakumulasi mikroplastik yang terendapkan pada *tunnel*. Kondisi ini memerlukan perhatian untuk penerapan teknologi pemurnian guna meningkatkan keamanan dan kualitas garam konsumsi.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya mencakup penambahan titik pengambilan sampel di area muara yang berlokasi dekat dengan Stasiun 3 guna mengevaluasi pengaruh hidrodinamik muara terhadap distribusi mikroplastik. Selain itu, disarankan penambahan titik sampling di perairan laut terbuka untuk mengidentifikasi potensi masuknya debris pembawa mikroplastik dari laut lepas, sebagai bagian dari kajian komprehensif terhadap kualitas air laut yang dimanfaatkan dalam proses produksi garam. Kemudian terkait pengambilan sampel secara berurutan dari air laut yang digunakan untuk produksi garam, tandon hingga tunnel 6 dalam siklus yang sama di setiap stasiun diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai pola akumulasi mikroplastik berdasarkan karakteristik masing-masing lokasi. Penggunaan teknik analisis polimer berbasis mikro-FTIR memungkinkan identifikasi jenis polimer hingga ukuran partikel terkecil, sehingga klasifikasi polimer yang terdeteksi baik dalam sampel air laut maupun garam dapat dilakukan secara akurat dan sistematis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Z. A., & Susandini, A. (2018). Media produksi (Geomembrane) dapat meningkatkan kualitas dan harga jual garam (Study kasus: ladang garam milik rakyat Di wilayah Madura). *Eco-Entrepreneur*, 4(1), 21-36.
- Acarer, S. (2023). A review of microplastic removal from water and wastewater by membrane technologies. *Water Science & Technology*, 88(1), 199-219.
- Ajith, N., Arumugam, S., Parthasarathy, S., Manupoori, S., & Janakiraman, S. (2020). Global Distribution Of Microplastics And Its Impact On Marine Environment—A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 25970-25986.
- Amqam, H, Afifah, N, Al Muktadir, M. I, Devana, A. T, Pradana, U, & Yusriani, Z. F. (2022). Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik pada Produk Garam Tradisional di Kabupaten Jenepono. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 12(2) : 147-154.
- Anam, C. (2018). Tekhnologi Rumah Prisma untuk Produksi Garam. *Praja Lamongan*, 1(2), 63-74.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in The Marine Environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 2469-2485.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165–176.
- Azizi, N., Khoshnamvand, N., & Nasserli, S. (2021). The quantity and quality assessment of microplastics in the freshwater fishes: A systematic review and meta-analysis. *Regional Studies in Marine Science*, 47, 101955.
- Badri, K., Mohd Dawi, L. I., & Nur Ashikin Abdul Aziz, E. (2013). Rigid Polyurethane Foam from Glyco lysed Polyethylene Terephthalate Dissolved in Palm-based Polyol. *Sains Malaysiana*, 42.
- Besseling, E., Quik, J. T. K., Sun, M., & Koelmans, A. A. (2017). Fate of Nano- and Microplastic in Freshwater Systems: A Modeling Study. *Environmental Pollution*, 220, 540–548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.001>
- Biswas, B., Joseph, A., Ranjan, V. P., & Goel, S. (2024). Adsorption of Emerging Contaminants on Microplastics in The Environment: A Systematic Review. *ACS ES&T Water*, 4(12), 5207-5224.
- Caldwell, J., Petri-Fink, A., Rothen-Rutishauser, B., & Lehner, R. (2019). Assessing Meso-and Microplastic Pollution in The Ligurian and Tyrrhenian Seas. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110572.
- Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. (2018). Trophic Transfer of Microplastics and Mixed Contaminants in The Marine Food Web and Implications for Human Health. *Environment International*, 115: 400–409.

- Castillo, A. B., Al-Maslamani, I., & Obbard, J. P. (2016). Prevalence of Microplastics in The Marine Waters of Qatar. *Marine Pollution Bulletin*, 2016(4) :33.
- Chanpiwat, P., & Damrongsiri, S. (2024). From sea water to salt crystals: An onsite investigation of microplastics in a conventional sea salt farming system. *Environmental Geochemistry and Health*, 46(8), 300.
- Chartres, N., Cooper, C. B., Bland, G., Pelch, K. E., Gandhi, S. A., BakenRa, A., & Woodruff, T. J. (2024). Effects of Microplastic Exposure on Human Digestive, Reproductive, and Respiratory Health: A Rapid Systematic Review. *Environmental Science & Technology*, 58(52), 22843-22864
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as Contaminants in The Marine Environment: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597.
- 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, 183-188.
- Damanik, D. A., Widada, S., & Widiaratih, R. (2024). Analisis Konsentrasi Dan Sebaran Mikroplastik Di Muara Sungai Bedahan, Wonokerto, Kabupaten Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4), 344-356.
- De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., Tonelli, A., & Avella, M. (2019). Evaluation of Microplastic Release Caused by Textile Washing Processes of Synthetic Fabrics. *Environmental Pollution*, 236, 916–925.
- Deakin, K., Savage, G., Jones, J. S., Porter, A., Muñoz-Pérez, J. P., Santillo, D., & Lewis, C. (2024). Sea surface microplastics in the Galapagos: Grab samples reveal high concentrations of particles < 200 µm in size. *Science of the Total Environment*, 923, 171428.
- Di Fiore, C., Sammartino, M. P., Giannattasio, C., Avino, P., & Visco, G. (2023). Microplastic Contamination in Commercial Salt: An Issue for Their Sampling and Quantification. *Food Chemistry*, 404, 134682.
- Díaz-Alejo, L. A., Menchaca-Campos, E. C., Uruchurtu Chavarín, J., Sosa-Fonseca, R., & García-Sánchez, M. A. (2013). Effects of the Addition of Ortho-and Para-NH<sub>2</sub> Substituted Tetraphenylporphyrins on the Structure of Nylon 66. *International Journal of Polymer Science*, 2013(1), 323854.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kelautan Perikanan Kabupaten Kebumen. (2023). Laporan Produksi Garam tahun 2023.
- Dwiyitno, D., Sturm, M. T., Januar, H. I., & Schuhen, K. (2021). Influence of various production methods on the microplastic contamination of sea salt produced in Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 30409-30413.
- EEA. (2023). Microplastics from textiles: towards a circular economy for textiles in Europe, February 10, 2023 edn. European Environment Agency

- Efendy, M., Amir, N., Nuzula, N. I., Syaifullah, M., Efendi, M. Y., & Gozan, M. (2025). Microplastic Contamination along The Salt Production System: Insights from Water, Sediment, and Salt Samples. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-14.
- Eriksen, M, Mason, S, Wilson, S, Box, C, Zellers, A, Edwards, W, Farley, H, & Amato, S. (2013). Microplastic Pollution in The Surface Waters of The Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1): 177-182.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLOS ONE*, 9(12), e111913.
- Frias, J. P. G. L., Otero, V., & Sobral, P. (2014). Evidence of Microplastics in Samples of Zooplankton from Portuguese Coastal Waters. *Marine Environmental Research*, 95: 89-95.
- Frias, J. P., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a Consensus on The Definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138: 145-147.
- Gadi, D. S., Dawa, U. P. L., Lakapu, M. M., Bulan, R. E., & Teul, M. K. (2024). Mikroplastik Pada Air Tambak Dan Partikel Garam “Krosok” Di Ud. Abraham Desa Oli’o Kabupaten Kupang. *Journal of Marine Research*, 13(3), 587-594.
- Galloway, T. S., Cole, M., & Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature ecology & evolution*, 1(5), 0116.
- Gündoğdu, S. (2018). Contamination of Table Salts from Turkey with Microplastics. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(5), 1006-1014.
- Ha, D. T. (2021). Microplastic Contamination in Commercial Sea Salt of Vietnam. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 59(3), 333-344.
- Haward, M. (2018). Plastic Pollution Of The World’s Seas And Oceans As A Contemporary Challenge In Ocean Governance. *Nature communications*, 9(1), 667.
- Henry, B., Laitala, K., & Klepp, I. G. (2019). Microfibres from Apparel and Home Textiles: Prospects for Including Microplastics in Environmental Sustainability Assessment. *Science of The Total Environment*, 652, 483–494.
- Heriyadi, M. A., Bahtiar, R., & Raswatie, F. D. (2025). Analisis Pemasaran Usaha Garam Rakyat Teknologi Tradisional, Geomembran, dan Tunnel (Studi Kasus: Kecamatan Pangenan, Kabupaten Cirebon). *Indonesian Journal of Agricultural Resource and Environmental Economics*, 4(1), 40-48.
- Hongprasith, N., Kittimethawong, C., Lertluksanaporn, R., Eamchotchawalit, T., Kittipongvises, S., & Lohwacharin, J. (2020). IR microspectroscopic identification of microplastics in municipal wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18557-18564.

- Huda, N. A. M., & Imro'ah, N. (2022). Analisis Spasial Model Inverse Distance Weighting Pada Penyebaran Kasus Positif Covid-19 Per Kabupaten Di Pulau Jawa. *Jurnal Matematika UNAND*, 11(1), 64-73.
- HudaAli, H., & Dewata, I. (2025). Pengaruh pH terhadap Koagulasi Mikroplastik Polyethylene Terephthalate (PET) menggunakan Kitosan dari Cangkrang Kepiting (*Scylla serrata*). *MASALIQ*, 5(4), 2109-2119.
- Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific reports*, 7(1), 8620.
- Ismi, H., Amalia, A. R., Sari, N., Gesriantuti, N., & Badrun, Y. (2019). Dampak Mikroplastik Terhadap Makrozoobentos; Suatu Ancaman bagi Biota di Sungai Siak, Pekanbaru. *Prosiding SainsTeKes*, 1(2015): 92–104.
- Isobe, A., Azuma, T., Cordova, M. R., Cózar, A., Galgani, F., Hagita, R., Kanhai, L. D., Imai, K., Iwasaki, S., Kako, S., Kozlovskii, N., Lusher, A. L., Mason, S. A., Michida, Y., Mituhasi, T., Morii, Y., Mukai, T., Popova, A., Shimizu, K., Tokai, T., Uchida, K. Yagi, M., & Zhang, W. (2021). A multilevel dataset of microplastic abundance in the world's upper ocean and the Laurentian Great Lakes. *Microplastics and Nanoplastics*, 1, 1-14.
- Isobe, A., Uchiyama-Matsumoto, K., Uchida, K., & Tokai, T. (2017). Microplastics in the southern ocean. *Marine pollution bulletin*, 114(1), 623-626.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, A., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *science*, 347(6223), 768-771.
- Kakade, A., Mi, J., & Long, R. (2024). Microplastics in the world oceans and strategies for their control. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 262(1), 20.
- Kakade, A., Mi, J., & Long, R. (2024). Microplastics in The World Oceans and Strategies for Their Control. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 262(1), 20.
- Kama, N. A. (2020). Komposisi Dan Konsentrasi Mikroplastik Pada Kolom Air Di Perairan Kecamatan Burau, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Kapukotuwa, G. K., Jayasena, N., Weerakoon, K. C., Abayasekara, C. L., & Rajakaruna, R. S. (2025). Microplastic Pollution of Stream Water and Sediment in A Tributary of A Major Drinking Water Supplying River in Sri Lanka. *ACS ES&T Water*, 5(5), 2155-2168.
- Karami, A., Golieskardi, A., Keong Choo, C., Larat, V., Galloway, T. S., & Salamatinia, B. (2017). The Presence of Microplastics in Commercial Salts from Different Countries. *Scientific reports*, 7(1), 46173.
- Karimah, M. N. U., & Alfiah, T. (2023, November). Analisis kandungan mikroplastik pada air tambak, garam mentah dan garam komersil di Surabaya. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*.
- Kementerian Kesehatan RI. 2024. *Cegah Meningkatnya Diabetes, Jangan Berlebihan Konsumsi Gula, Garam, Lemak*. <https://kemkes.go.id/id/rilis->

[kesehatan/cegah-meningkatnya-diabetes-jangan-berlebihan-konsumsi-gula-garam-lemak.](#)

- Kementerian Perindustrian RI. 2018. *Kebutuhan Garam Industri Melonjak 76,19% di 2018*. <https://kemenperin.go.id/artikel/18960/Kebutuhan-Garam-Industri-Melonjak->.
- Kim, J. S., Lee, H. J., Kim, S. K., & Kim, H. J. (2018). Global pattern of microplastics (MPs) in commercial food-grade salts: sea salt as an indicator of seawater MP pollution. *Environmental science & technology*, 52(21), 12819-12828.
- Kooi, M., & Koelmans, A. A. (2019). Simplifying microplastic via continuous probability distributions for size, shape, and density. *Environmental Science & Technology Letters*, 6(9), 551–557.
- Lebreton, L. C., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8(1), 15611.
- Lee, H. J., Song, N. S., Kim, J. S., & Kim, S. K. (2021). Variation and uncertainty of microplastics in commercial table salts: critical review and validation. *Journal of Hazardous Materials*, 402, 123743.
- Listanti, R., Masrukhi, M., & Istiqomah, D. (2021). Pengembangan Usaha Garam Rakyat melalui Peningkatan Mutu Produksi dan Diversifikasi Produk di Desa Sidoarjo, Kecamatan Puring, Kabupaten Kebumen. In *Prosiding Seminar Nasional LPPM Unsoed* (Vol. 10, No. 1).
- Mahsar, A., & Wardiatno, Y. (2016). Biomassa Sesaat Sumber Daya Perikanan Undur-undur Laut dan Kebumen , Jawa Tengah Momentarily Biomass of Mole Crab Resources ( Crustacea/ : Decapoda/ : Hippidae ) in Cilacap and Kebumen Sandy Beaches , Central Java Oleh/ : *Marine Fisheries*, 7(2) : 211–218.
- Makhdoumi, P., Pirsahab, M., Amin, A. A., Kianpour, S., & Hossini, H. (2023). Microplastic pollution in table salt and sugar: Occurrence, qualification and quantification and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 119, 105261.
- Manaf, A. H. A. (2024). Hubungan Saluran Komunikasi dan Persepsi Inovasi Teknologi Tambak Garam pada Keputusan Adopsi Petambak Garam Rakyat di Kabupaten Sumenep. *Karaton: Jurnal Pembangunan Sumenep*, 4(1), 49-67.
- Manalu, A. A. (2017). Kelimpahan Mikroplastik di Teluk Jakarta (Doctoral dissertation, Bogor Agricultural University (IPB)).
- Marti, E., Martin, C., Galli, M., Echevarría, F., Duarte, C. M., & Cózar, A. (2020). The Colors of The Ocean Plastics. *Environmental Science & Technology*, 54(11), 6594-6601.
- Miller, M. E., Hamann, M., & Kroon, F. J. (2020). Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. *PloS one*, 15(10), e0240792.

- Mirad, A., Yoswaty, D., & Thamrin, T. (2020). Identification Microplastic Waste in Seawater and the Digestive Organs of Senangin Fish (*E. tetradactylum*) at Dumai City Sea Waters. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 3(3), 248-259.
- Murpa, M. I, Baharuddin, A, & Gafur, A. (2021). Kandungan Mikroplastik Pada Garam di Pasar Terong Kelurahan Bontoala Kota Makassar. *Jurnal Higiene*, 7(1) : 1-4.
- Nakat, Z., Dgheim, N., Ballout, J., & Bou-Mitri, C. (2023). Occurrence and Exposure to Microplastics in Salt for Human Consumption, Present on The Lebanese Market. *Food Control*, 145, 109414.
- Nanlohy, W. A., Setiawan, R. Y., Adharini, R. I., Wicaksono, E. A., & Wardana, A. K. (2024). Characteristics and abundance of microplastics pollution in water and sediment in the Bogowonto River. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25.
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of Synthetic Microplastic Fibres from Domestic Washing Machines: Effects of Fabric Type and Washing Conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1–2), 39–45.
- Negari, C. A. S., Triarso, I., & Kurohman, F. (2017). Analisis Spasial Daerah Penangkapan Ikan Dengan Alat Tangkap Gill Net Di Perairan Pasir, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. *Jurnal Perikanan Tangkap: Indonesian Journal of Capture Fisheries*, 1(3) : 1–7.
- Nilawati, Hadiyanto, Cordova, M. R., Andarani, P., Harihastuti, N., Djayanti, S., Maharsa, L., Rienoviar, Susanti, I., & Agustini, S. (2024). Microplastic Contamination In Sea Salt Production Using Geomembrane Plastic. *Rasayan Journal of Chemistry*, 17(4), 1754-1765.
- Nunes, B. Z., Huang, Y., Ribeiro, V. V., Wu, S., Holbech, H., Moreira, L. B., Xu, E. G., & Castro, I. B. (2023). Microplastic contamination in seawater across global marine protected areas boundaries. *Environmental Pollution*, 316, 120692.
- Octarianita, E., Widiastuti, E. L., & Tugiyono, T. (2022). Analisis mikroplastik pada air dan sedimen di pantai Teluk Lampung dengan metode FT-IR (Fourier Transform Infrared). *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 6(2), 165-172.
- Poli, V., Litti, L., & Lavagnolo, M. C. (2024). Microplastic pollution in the North-east Atlantic Ocean surface water: How the sampling approach influences the extent of the issue. *Science of The Total Environment*, 947, 174561.
- Promdontree, K. (2023). Health Risk and Ecological Risk Assessment from Microplastic Contamination in Sea Salt: Case Study in Ban Laem Salt Field, Phetchaburi, Thailand.
- Purba N. P. (2017). Sampah dan Solusi untuk Kesehatan Laut. *Indonesia Youth Marine Debris Summit, Jakarta, 24-29 Oktober 2017*.
- Puspita, D, Nugroho, P. & Nugraha, G. A. (2022). Kandungan Mikroplastik Garam Tambak di Juana, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. *Jurnal Pendidikan Biologi Biogenerasi*, 7 (2) : 75-82.

- Rahmayanti, A. (2015). Depolimerisasi PET Pasca Konsumsi Melalui Glikolisis dengan Katalis. *Journal of Research and Technology*, 1(1), 16-22.
- Ravikumar, S., Jeyameenakshi, A., Syed Ali, M., & King, S. E. (2023). Assessment of microplastics in edible salts from solar saltpans and commercial salts. *Total Environment Research Themes* 6, 100032.
- Rist, S., Almroth, B. C., Hartmann, N. B., & Karlsson, T. M. (2018). A Critical Perspective on Early Communications Concerning Human Health Aspects of Microplastics. *Science of the Total Environment*, 626, 720-726.
- Ritonga, M. D. K., Ismanto, A., & Rifai, A. (2025). Analisis Kelimpahan Dan Sebaran Mikroplastik Pada Perairan Dan Sedimen Di Laguna, Kabupaten Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(2), 172-180.
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., & Kaye, S. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Science*, 339(6120), 198-199.
- Rohmah, S. M., Triajie, H., Hafiludin, H., & Chandra, A. B. (2025). Karakteristik Mikroplastik Pada Sumber Air Baku Dan Sedimen Tambak Garam Di Pamekasan Dengan Metode Ft-Ir. *Journal of Indonesian Tropical Fisheries (Joint-Fish): Jurnal Akuakultur, Teknologi dan Manajemen Perikanan Tangkap dan Ilmu Kelautan*, 8(1), 12-27.
- Sadeghi-Kiakhani, M., & Safapour, S. (2016). Improvement of dyeing and antimicrobial properties of nylon fabrics modified using chitosan-poly (propylene imine) dendreimer hybrid. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 33, 170-177.
- Santosa, I. (2014). Pembuatan Garam Menggunakan Kolam Kedap Air Berukuran Sama. *Spektrum Industri*, 12(1), 85.
- Schwabl, P., Koppel, S., Konigshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series. *Annals of Internal Medicine*, 171(7): 453–457.
- Smith, S.D.A, & Markic, A. (2013). Estimates of Marine Debris Accumulation on Beaches are Strongly Affected by The Temporal Scale of Sampling. *PLoS ONE*, 8 (12): 8-13.
- Supriyo, E., Julianto, M. E., & Mawarganis, A. O. (2024). Kandungan mikroplastik pada garam dapur (Microplastics content in salt). *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4(4), 1642-1652.
- Suteja, Y., Dirgayusa, I. G. N. P., Purnama, S. G., & Purwiyanto, A. I. S. (2025). From sea to table: Assessing Microplastic Contamination in Local and Non-Local Salt in Bali, Indonesia. *Chemosphere*, 374, 144192.
- Syamsu, D. A., Deswati, D., Syafrizayanti, S., Putra, A., & Suteja, Y. (2024). Presence Of Microplastics Contamination in Table Salt and Estimated Exposure in Humans. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(1), 205-224.
- Taghipour, H., Ghayebzadeh, M., Mousavi, S. M. S., Sharifi, H., & Payandeh, A. (2023). Incidence and Exposure to Microplastics in Table Salt Present in The Iran Market. *Toxicology Reports*, 11, 129-140.

- Tahir, A., Taba, P., Samawi, M. F., & Werorilangi, S. (2019). Microplastics in Water, Sediment and Salts from Traditional Salt Producing Ponds. *Glob. J. Environ. Sci. Manag*, 5(4), 431-440.
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R., & Barlaz, M. A. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027-2045.
- Tsang, Y. Y., Mak, C. W., Liebich, C., Lam, S. W., Sze, E. T. P., & Chan, K. M. (2020). Spatial and temporal variations of coastal microplastic pollution in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111765.
- United Nations Environment Assembly. Towards a pollution-free planet. Report No. UNEP/EA.3/L.19 (United Nations, 2017).
- Wang, S., Chen, H., Zhou, X., Tian, Y., Lin, C., Wang, W., Zhou, K., Zhang, Y., & Lin, H. (2020). Microplastic abundance, distribution and composition in the mid-west Pacific Ocean. *Environmental pollution*, 264, 114125.
- Warni, K., & Dewata, I. (2021). Penentuan Limbah Mikroplastik Polyethylene Terephthalate Dengan Metode Glikolisis Dalam Air Laut di Kota Padang.
- Widinarko, B., & Inneke H. 2018. Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa. Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata. ISBN 978-602-6865-74-8.)
- Wright S. L, Thompson, R. C, & Galloway, T. S. (2013). The Physical Impacts of Microplastics on Marine Organisms: A review. *Environmental pollution*, 178: 483-492.
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue?. *Environmental Science & Technology*, 51(12): 6634-6647.
- Wulandari, S. Y., Radjasa, O. K., Yulianto, B., & Munandar, B. (2022). Pengaruh musim dan pasang surut terhadap konsentrasi mikroplastik di perairan delta Sungai Wulan, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 215-220.
- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental science & technology*, 49(22), 13622-13627.
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86.
- Zhang, W., Zhang, S., Zhao, Q., Qu, L., Ma, D., & Wang, J. (2020). Spatio-temporal distribution of plastic and microplastic debris in the surface water of the Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111343.
- Zhao, S., Zhu, L., & Li, D. (2015). Microplastic in Three Urban Estuaries, China. *Environmental pollution*, 206, 597-604.