TUGAS AKHIR

ANALISIS KANDUNGAN MIKROPLASTIK DAN LOGAM BERAT Fe, Mn, dan Cu PADA SEDIMEN DI SUNGAI CODE YOGYAKARTA

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

AUFI DALILA

20513080

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS KANDUNGAN MIKROPLASTIK DAN LOGAM BERAT Fe, Mn, dan Cu PADA SEDIMEN DI SUNGAI CODE YOGYAKARTA

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

Disusun Oleh:

AUFI DALILA
20513080

Disetujui,

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
15/08/24	14 Agustus 2024
Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.	**Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.**
NIK. 155131313	**NIK. 165131304**
Tanggal: 15 Agustus 2024	Tanggal: 14 Agustus 2024

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng), Ph.D.

NIK. 045130401

Tanggal: 15/08/2024

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KANDUNGAN MIKROPLASTIK DAN LOGAM BERAT Fe, Mn, dan Cu PADA SEDIMEN DI SUNGAI CODE YOGYAKARTA

Telah diterima dan disahkan oleh Dosen Penguji

Hari : Senin

Tanggal : 12 Agustus 2023

Disusun oleh:

Aufi Dalila

20513080

Tim Penguji:

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. (15/08'24)

Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D. (14-08-2024)

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. (14-08-2024)

LEMBAR 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 dari Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya laporan tugas akhir ini tidak tercantum karya dan/atau pendapat dan gagasan yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam pembuatan karya tulis laporan tugas akhir dengan menuliskan nama pengarang 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 sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan



Aufi Dalila

NIM: 20513080

PRAKATA

بسم الله الرحمن الرحيم

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahi rabbil ‘alamin segala puji dan syukur bagi Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa dan berhasil menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul **Analisis Kandungan Mikroplastik dan Logam Berat Fe, Mn, dan Cu Pada Sedimen di Sungai Code Yogyakarta**. Penyusunan laporan Tugas Akhir adalah sebagai syarat untuk memenuhi persyaratan akademik sehingga penulis mendapatkan gelar Sarjana Teknik dan menyelesaikan aktivitas akademik selama menjadi mahasiswa Universitas Islam Indonesia.

Dalam pengerjaan laporan Tugas Akhir penulis sering mengalami dan menjalani berbagai macam rintangan baik suka maupun duka, namun pada akhirnya penulis dapat melewati semua rintangan tersebut berkat adanya bimbingan, dukungan, semangat, dan dorongan dari semua pihak, maka dengan ketulusan hati yang paling dalam penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat-Nya, kesehatan, dan kelancaran sehingga penulis bisa mengerjakan dan menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Kedua orang tua penulis dengan rasa hormat serta doa yang tulus dari lubuk hati yang paling dalam dan sayang yang tiada hingga, kepada Ibu ku tersayang dan Baba ku tercinta, Ibu Farhania dan Baba Zulkarnain yang selalu senantiasa mengiringi perjalanan dan langkah kaki penulis dalam menuntut ilmu dan tiada henti memanjatkan doa serta memberikan kasih sayang yang tulus kepada penulis serta dukungan baik moril dan material.
3. Abangku tercinta dan tersayang, Abang Baroq beserta Kakak Ayu dan keponakan tercinta Naira yang senantiasa memberikan perhatian, pengertian, dukungan, serta kasih sayangnya selalu kepada penulis
4. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T selaku dosen pembimbing pertama dan Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing kedua serta Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji sekaligus DPA yang telah

berkenan meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta senantiasa membimbing dan memberikan semangat kepada penulis

5. Seluruh dosen, staff, dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan FTSP, UII karena telah memberikan bantuan, pengajaran dan pengalaman kepada penulis selama masa perkuliahan sehingga ilmu yang telah diperoleh dapat bermanfaat dalam penyusunan laporan ini
6. Seluruh staff Laboratorium Kualitas Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, FTSP yang selalu memberikan bantuan, arahan, dan masukan selama penulis melaksanakan pengujian di laboratorium.
7. Rekan seperjuangan dan seperbimbingan Topik Mikroplastik Sungai Code, Sani, Nadhifah, Salma, Mae, Lulu, Putri, dan Reky yang telah menemani, membantu, dan berjuang bersama-sama.
8. Sahabat-sahabatku tercinta, grup "ingfo hiling" terutama Razita Fitri Sahlawani yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dari awal hingga akhir proses pengerjaan tugas akhir, grup "oh iya" Nur Shadrina Ghaissani dan Syifa Eka Putri Fajrin yang juga telah memberikan kasih sayang serta dukungan selama masa perkuliahan dan masa pengerjaan tugas akhir kepada penulis
9. Pihak - pihak lain yang telah memberikan bantuan namun tidak bisa penulis sebutkan satu - persatu.

Demikian prakata yang dapat penulis sampaikan, dengan ini penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih banyak berbagai kekurangan yang terdapat didalamnya. Hal ini tidak lain berasal dari keterbatasan pengetahuan dan kesalahan dari penulis. Oleh karena itu, penulis memerlukan adanya kritik dan saran yang membangun untuk melengkapi dan memperbaiki laporan ini. Insya Allah laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak.

Billahi taufiq wal hidayah,

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

Penulis,



Aufi Dalila

ABSTRAK

Mikroplastik (MPs) merupakan salah satu jenis *emerging pollutant* yang berukuran sangat kecil dengan diameter <5mm. Sungai merupakan salah satu jalur MPs ke lingkungan dan biasanya konsentrasi MPs lebih besar pada sedimen sungai. MPs dapat bertindak seperti magnet terhadap polutan toksik di sekitarnya dan mengakumulasi dalam jumlah besar dan salah satunya adalah logam berat. Interaksi antara kedua polutan ini dapat menjadi ancaman baru terhadap kualitas lingkungan. Mikroplastik banyak ditemukan pada sedimen sungai yang ada di Indonesia salah satunya adalah Sungai Code, Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mikroplastik berdasarkan jumlah, bentuk, warna, jenis dan ukuran serta mengidentifikasi kandungan logam berat Fe, Mn dan Cu pada sedimen dan mikroplastik serta mengetahui korelasi antara konsentrasi ketiga logam berat ini di sedimen dan MPs. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi mikroplastik adalah dengan proses pemisahan densitas menggunakan $ZnCl_2$, WPO, pengamatan dengan mikroskop dan analisis dengan FT-IR. Pengujian logam berat dilakukan dengan metode destruksi asam lalu dianalisa dengan instrumen SSA. Kelimpahan MPs pada sedimen Sungai Code cenderung meningkat dari titik bagian hulu menuju hilir dimana kelimpahan tertinggi berada pada Jembatan Ponggok (S9) yaitu sebesar 1030,95 partikel/gram sedangkan yang terendah berada pada Jembatan Perak (S1) yaitu sebesar 169,8 partikel/gram. Bentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah *Fragment* diikuti *Film, Pellet*, *Filament*, *Foam* dan *Fiber* dengan ukuran dari masing-masing bentuk MPs yang ditemukan pada penelitian masih berada dalam rentang ukuran MPs sedangkan warna mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah warna Hitam, Transparan, Cokelat, Hijau, Merah, Biru, Nila/Kuning, dan Ungu. Polimer plastik yang ditemukan pada penelitian ini adalah PE, PP, PS, PVC, PET, PTFE, PMMA, PU, dan PVDC. Kandungan logam berat Fe, Mn, dan Cu pada sedimen Sungai Code untuk logam Fe tertinggi berada pada titik S9 (1498,34 mg/kg) dan terendah di titik S2 (308,34 mg/kg), logam Cu tertinggi berada pada titik S9 (204 mg/kg) dan terendah di titik S1 (64,4 mg/kg), logam Mn tertinggi berada pada titik S9 sebesar (157,34 mg/kg) dan terendah pada titik S1 (47,82 mg/kg). Kandungan logam berat tertinggi yang ditemukan pada sampel MPs adalah logam Fe dengan rata-rata 1831,10 mg/kg diikuti logam Mn dengan rata-rata yaitu 102,98 mg/kg sedangkan konsentrasi logam Cu pada MPs bernilai <0,77 mg/kg (batas limit deteksi SSA). Koefisien Korelasi antara konsentrasi logam pada sedimen dan mikroplastik menunjukkan hubungan positif sangat lemah untuk Mn, lemah positif pada logam Fe dan lemah negatif pada logam Cu

Kata kunci: Logam Berat, Mikroplastik, Sungai Code, Sedimen

ABSTRACT

Microplastics (MPs) are one of the emerging pollutans that has a very small size with a diameter of <5mm. Rivers are one of the pathways for MPs to the environment and the concentration of this pollutant is mostly found is greater in river sediments. MPs can act like magnets towards the toxic pollutants around them and accumulate it in large quantities and one of which is heavy metals. The interaction between these two pollutants can become a new threat to environmental quality. Microplastics are often found in river sediments in Indonesia, one of which is the Code River, Yogyakarta. This research aims to identify microplastics based on number, shape, color, type and size and also to identify the heavy metal content of Fe, Mn and Cu in sediment and also in the microplastics and also to determine the correlation between the concentrations of these three heavy metals in sediment and MPs. The method used to identify microplastics is a density separation process using ZnCl2, WPO, observation with a microscope and the last is analysis with FT-IR. Heavy metal testing was carried out using the acid destruction method and then analyzed using the AAS instrument. The abundance of MPs in Code River sediments tends to increase from upstream to downstream points where the highest abundance is at Ponggok Bridge (S9) at 1030.95 particles/gram while the lowest is at Perak Bridge (S1) at 169.8 particles/gram. The most common form of microplastic found is Fragment followed by Film, Pellet, Filament, Foam and Fiber with the size of each MPs form that are found is still classified as MPs size while the most common microplastic colors found are Black, Transparent, Brown, Green, Red, Blue, Orange/Yellow, and Purple. The plastic polymers found in this research were PE, PP, PS, PVC, PET, PTFE, PMMA, PU, and PVDC. The content of heavy metals Fe, Mn, and Cu in the sediments of Code River Fe metal is highest at point S9 (1498.34 mg/kg) while the lowest is at point S2 (308.34 mg/kg), the highest Cu metal was at point S9 (204 mg/kg) while the lowest is at point S1 (64.4 mg/kg), the highest Mn metal was at point S9 at (157.34 mg/kg) and the lowest was at point S1 (47.82 mg/kg). The highest heavy metal content found in MPs samples was Fe metal with an average of 1831.10 mg/kg followed by Mn metal with an average of 102.98 mg/kg, while the concentration of Cu metal in MPs is <0.77 mg/kg (below the detection limit of AAS). The correlation coefficient between metal concentrations between sediment and microplastics shows a very weak positive relationship for Mn metal, weak positive relationship for Fe metal and weak negative relationship for Cu metal.

Keywords: Code River, Heavy Metals, Microplastics, Sediment.

DAFTAR ISI

Contents

PRAKATA.....i

ABSTRAK..... iii

DAFTAR ISI.....v

DAFTAR GAMBAR.....vii

DAFTAR TABEL.....x

DAFTAR LAMPIRAN.....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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....5

2.1 Sungai Code.....5

2.2 Mikroplastik.....6

2.3 Mikroplastik di Lingkungan.....10

2.4 Logam Berat di Sedimen.....16

2.5 Mikroplastik dan Logam Berat.....18

2.6 Baku Mutu Logam Berat di Sedimen.....22

2.7 Penelitian Terdahulu.....24

BAB III METODE PENELITIAN.....32

3.1 Tahap Penelitian.....32

3.2 Pengambilan Sampel.....33

3.3 Pengumpulan Data 34
3.3.1 Data Sekunder 34
3.3.2 Pengumpulan Data Primer 36
3.4 Analisis Sampel 38
3.5 Analisis Data 51
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 57
4.1 Deskripsi Wilayah Pengambilan Sampel 57
4.2 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jumlah dan Kelimpahan 65
4.3 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk dan Warna 73
4.4 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jenis dan Ukuran 85
4.5 Identifikasi Kandungan Logam Berat Fe, Mn, dan Cu pada Mikroplastik dan Sedimen 100
4.5.1 Logam Berat di Sedimen 101
4.5.2 Logam Berat di Mikroplastik 104
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 110
5.1 Kesimpulan 110
5.2 Saran 111
DAFTAR PUSTAKA 112
LAMPIRAN 127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis Mikroplastik Berdasarkan Bentuk 8

Gambar 2. 2 Morfologi Dasar Mikroplastik 9

Gambar 2. 3 Fragmentasi Pellet (MPs Primer) 9

Gambar 2. 4 Keberagaman Warna Mikroplastik 10

Gambar 2. 5 Sumber, Jalur Masuk, dan Rute Mikroplastik di Lingkungan 11

Gambar 2. 6 Transpor Mikroplastik pada Sedimen Sungai 14

Gambar 2. 7 Proses Biofouling Mikroplastik 15

Gambar 2. 8 Pengaruh Diameter dan Densitas MPs terhadap Laju Pengendapan di Sedimen 15

Gambar 2. 9 Siklus dan Interaksi Mikroplastik dan Logam Berat di Lingkungan 19

Gambar 2. 10 Skema Interaksi Mps dan Logam Berat 20

Gambar 2. 11 Efek Toksisitas Penyerapan Logam Berat oleh Mikroplastik terhadap Ikan 22

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 32

Gambar 3. 2 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen di Sungai Code, Daerah Istimewa Yogyakarta 34

Gambar 3. 3 Pengambilan Sampel Sedimen Sungai Code 37

Gambar 3. 4 Pengeringan Sedimen Basah Secara Alamiah 39

Gambar 3. 5 Pengayakan Sampel 39

Gambar 3. 6 Proses Density Separation 40

Gambar 3. 7 Proses Wet Peroxide Oxydation 42

Gambar 3. 8 Proses Centrifuge 43

Gambar 3. 9 Proses Penyaringan Sampel 43

Gambar 3. 10 Pengamatan Sampel Menggunakan Mikroskop 44

Gambar 3. 11 Analisis Sampel Menggunakan FT-IR 45

Gambar 3. 12 Proses Preparasi Sampel Pengujian Logam Berat pada Mikroplastik 46

Gambar 3. 13 Proses Destruksi dan Penyaringan Pengujian Logam Berat Sampel Mikroplastik 47

Gambar 3. 14 Preparasi Sampel Pengujian Logam Berat di Sedimen 48

Gambar 3. 15 Proses Destruksi Pengujian Logam Berat Sampel Sedimen 49

Gambar 3. 16 Proses Penyaringan Pengujian Logam Berat Sampel Sedimen 50

Gambar 3. 17 Pengujian SSA Sampel Sedimen dan Sampel Logam Berat 51

G**ambar 3. 18** Penandaan Mikroplastik dengan Aplikasi Paint 52

Gambar 4. 1 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 1 58

Gambar 4. 2 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 2 58

Gambar 4. 3 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 3 59

Gambar 4. 4 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 4 60

Gambar 4. 5 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 5 61

Gambar 4. 6 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 6 62

Gambar 4. 7 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 7 63

Gambar 4. 8 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 8 64

Gambar 4. 9 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 9 64

Gambar 4. 10 Grafik Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code 66

Gambar 4. 11 Peta Persebaran Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code 67

Gambar 4. 12 Persentase Komposisi Bentuk Mikroplastik Sedimen Sungai Code 74

Gambar 4. 13 Peta Persebaran Persentase Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code 74

Gambar 4. 14 Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code 75

Gambar 4. 15 Peta Persebaran Jumlah Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code 76

Gambar 4. 16 Hasil Fragmentasi Mikroplastik Bentuk Pellet Sedimen Sungai Code 77

Gambar 4. 17 Grafik Jumlah Mikroplastik di Sedimen Sungai Code Berdasarkan Bentuk 78

Gambar 4. 18 Persentase Komposisi Warna Mikroplastik Sedimen Sungai Code 81

Gambar 4. 19 Warna Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code.....82

Gambar 4. 20 Mikroplastik yang Telah Mengalami Pelunturan Warna 84

Gambar 4. 21 Peak FT-IR Praduga Polimer PE.....86

Gambar 4. 22 Peak FT-IR Praduga Polimer PP 87

Gambar 4. 23 Peak FT-IR Praduga Polimer PS 88

Gambar 4. 24 Peak FT-IR Praduga Polimer PVC.....89

Gambar 4. 25 Peak FT-IR Praduga Polimer PET 90

Gambar 4. 26 Peak FT-IR Praduga Polimer PTFE 91

Gambar 4. 27 Peak FT-IR Praduga Polimer PMMA 92

Gambar 4. 28 Peak FT-IR Praduga Polimer PVDC.....93

Gambar 4. 29 Peak FT-IR Praduga Polimer PU 94

Gambar 4. 30 Persentase Polimer Plastik yang Teridentifikasi pada Sedimen.....95

Gambar 4. 31 Proses Agregasi Partikel Mikroplastik dan Sedimen 97

Gambar 4. 32 Konsentrasi Logam Fe, Mn, dan Cu Pada Sampel Sedimen.....102

Gambar 4. 33 Grafik Pencar Logam Mn.....108

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Mikroplastik Berdasarkan Morfologi.....7

Tabel 2. 2 Sumber, Jalur Masuk, dan Tipe MPs di Lingkungan.....11

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu Mengenai Mikroplastik dan Logam Berat di Lingkungan Perairan 20

Tabel 2. 4 Baku Mutu Logam Berat Fe, Mn, dan Cu (mg/kg).....23

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu 24

Tabel 3. 1 Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Sungai Code 33

Tabel 3. 2 Standar Acuan dan Metode yang Digunakan.....35

Tabel 3. 3 Kondisi Cuaca Saat Pelaksanaan Sampling 37

Tabel 3. 4 Parameter Lapangan.....38

Tabel 3. 5 Acuan Bentuk dan Krakteristik Mikroplastik 52

Tabel 3. 6 Panjang Gelombang Pengukuran Logam Berat pada SSA 55

Tabel 3. 7 Nilai rs 56

Tabel 4. 1 Mikroplastik Berdasarkan Jumlah dan Kelimpahan 65

Tabel 4. 2 Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Berbeda.....65

Tabel 4. 3 Kelimpahan Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Sungai Berbeda 75

Tabel 4. 4 Keberagaman Persentase Warna Mikroplastik pada Sedimen Sungai Berbeda 81

Tabel 4. 5 Acuan Peak Praduga Polimer PP 87

Tabel 4. 6 Acuan Peak Praduga Polimer PS 88

Tabel 4. 7 Acuan Peak Praduga Polimer PVC 89

Tabel 4. 8 Acuan Peak Praduga Polimer PET.....90

Tabel 4. 9 Acuan Peak Praduga Polimer PTFE 91

Tabel 4. 10 Acuan Peak Praduga Polimer PMMA.....92

Tabel 4. 11 Acuan Peak Praduga Polimer PVDC 93

Tabel 4. 12 Acuan Peak Praduga Polimer PU.....94

Tabel 4. 13 Polimer Plastik yang Ditemukan pada Sedimen Sungai Lain.....97

Tabel 4. 14 Ukuran Mikroplastik pada Setiap Sampel Sedimen Sungai Code 99

Tabel 4. 15 Konsentrasi Logam Fe, Mn, dan Cu di Sedimen Sungai Lain.....103

Tabel 4. 16 Konsentrasi Logam Fe, Mn, dan Cu Pada Mikroplastik Sedimen Sungai Code104

Tabel 4. 17 Koefisien Korelasi Logam Berat di Sedimen dan Mikroplastik 109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Sampel 127
Lampiran 2 Tekstur Sedimen Tiap Titik Pengambilan Sampel 128
Lampiran 3 Perhitungan Kebutuhan Larutan 131
Lampiran 4 Data Pengamatan Mikroplastik dan Perhitungan Kelimpahan 132
Lampiran 5 Data Pengamatan Bentuk Mikroplastik 133
Lampiran 6 Grafik Hasil FT-IR 138
Lampiran 7 Pengolahan Data *Peaks* FT-IR 140
Lampiran 8 Data Pengujian Logam Berat di Sedimen 148
Lampiran 9 Data Pengujian Logam Berat di Mikroplastik 153
Lampiran 9 Data Perhitungan Logam Berat di Sedimen 159
Lampiran 10 Data Pengujian Korelasi Logam Berat SPSS 164

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mikroplastik (MPs) merupakan jenis *emerging pollutant* yang banyak menerima perhatian secara global dalam beberapa dekade terakhir akibat persebarannya yang berada hampir di seluruh komponen lingkungan terutama lingkungan perairan (Tan dkk., 2023). MPs merupakan plastik yang berukuran sangat kecil dengan diameter <5mm dan memiliki berat yang ringan sehingga mudah terbawa oleh air dan udara (Li, dkk., 2020). Jenis mikroplastik berdasarkan sumbernya terbagi menjadi sumber primer dan sekunder dimana sumber primer berasal dari plastik yang diproduksi dengan ukuran yang sangat kecil untuk tujuan tertentu seperti microbeads dan produk perawatan tubuh sedangkan sumber sekunder adalah hasil dekomposisi sampah plastik yang berukuran besar di lingkungan (Liu dkk., 2021). Menurut Kooi dkk., (2018) salah satu jalur utama pencemaran mikroplastik di lingkungan adalah sungai. Keberadaan MPs di sungai disebabkan karena aliran sungai yang berlangsung terus menerus sehingga menjadikannya sebagai titik akhir penerima material-material seperti sampah, air limpasan pertanian, limbah industri dan perkotaan baik dari sekitarnya maupun dari aliran diatasnya (Behmanesh dkk., 2023). Li dkk., (2020) menambahkan beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi keberadaan MPs di sungai seperti tata guna lahan, kepadatan penduduk, urbanisasi, dan industrialisasi di sekitar sungai dan akan mengalami proses degradasi yang berlangsung terus menerus baik secara fisika, kimia, dan biologi. MPs yang masuk ke sungai memiliki konsentrasi lebih besar pada sedimen sungai dibandingkan air sungai (Scherer dkk., 2020). Sedimen sungai memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan kualitas air sungai dan untuk memantau kontaminan yang ada di sungai karena kemampuannya yang tinggi untuk menyerap dan mengakumulasi polutan-polutan yang berada di sungai (Jabłońska-Czapla dkk., 2020). Liu dkk., (2021) menyebutkan bahwa MPs dapat bertindak seperti magnet terhadap polutan toksik di sekitarnya akibat permukaannya yang luas dan dapat mengakumulasi polutan tersebut dalam jumlah besar salah satunya adalah logam berat. MPs yang mengakumulasi logam berat dapat terkonsumsi dan dianggap sebagai makanan oleh makhluk hidup perairan yaitu ikan dan beberapa krustasea seperti kepiting dan udang yang menjadi salah satu sumber protein hewani bagi manusia. Oleh karena itu, akumulasi mikroplastik pada tubuh manusia tidak dapat diabaikan.

Mikroplastik banyak ditemukan pada sedimen sungai yang ada di Indonesia seperti yang dilakukan oleh Meiwinda dkk., (2023) di sedimen Sungai Ogan Kabupaten Ogan Komering

Ulu ditemukan kelimpahan MPs tertinggi yaitu 92 partikel/100gr, Wilyalodia dkk., (2023) pada Sedimen Sungai Ciliwung dan ditemukan 656 hingga 1063 partikel/100 gram pada saat curah hujan rendah dan 1583 partikel/100 gram pada saat curah hujan tinggi. Salah satu sungai di Indonesia yang tercemar mikroplastik adalah Sungai Code yang terletak di Daerah Istimewa Yogyakarta karena sungai ini melewati kota besar dan memiliki DAS yang didominasi oleh aktivitas pemukiman, pertanian, industri, dan dijadikan tempat pembuangan sampah oleh masyarakat yang bermukim di sepanjang Sungai Code. Prabowo, (2020) melakukan identifikasi terhadap keberadaan dan bentuk mikroplastik pada sedimen dan ikan di Sungai Code ditemukan kelimpahan di sedimen sebanyak 1516 partikel/kg sedimen kering dan 706 partikel/kg berat ikan pada sampel ikan. Penelitian serupa dilakukan oleh Utami dkk., (2021) terhadap sampel sedimen di Sungai Code yang menunjukkan bahwa sedimen Sungai Code memiliki kandungan MPs yang paling tinggi yaitu 758,07±246,80 partikel/kg dibandingkan Sungai Winongo dan Gadjahwong. Nasirudin dkk., (2023) melakukan karakterisasi mikroplastik pada sedimen Sungai Code pada tahun 2022 dan diperoleh kelimpahan mikroplastik paling tinggi pada bagian tengah yaitu sebesar 1.646 partikel/kg.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengidentifikasi kelimpahan MPs pada sedimen sungai yang ada di Indonesia, namun hanya sedikit sekali penelitian yang dilakukan berkaitan dengan kandungan logam berat dan mikroplastik. Li dkk., (2020) melakukan penelitian terkait kontaminasi logam berat pada mikroplastik di sedimen perairan timur Hongkong dan ditemukan mikroplastik terkontaminasi oleh logam berat dengan konsentrasi paling tinggi logam Ni, Fe, Mn, dan Cu dan tidak ditemukan korelasi yang signifikan antara komposisi polimer dengan logam berat tertentu. Selain itu, Purwiyanto dkk., (2020) melakukan penelitian serupa di Sungai Musi, Sumatera Selatan ditemukan konsentrasi logam Pb di MPs sebesar 0,152 – 2218 mg kg^{-1} dan logam Cu 0,017 – 0,371 mg kg^{-1} yang dimana konsentrasi kedua logam ini lebih tinggi dibandingkan konsentrasinya di air sungai.

Kurangnya penelitian dan pengetahuan yang terbatas terkait logam berat dan mikroplastik pada sedimen sungai di Indonesia terkhusus Sungai Code, Yogyakarta menyebabkan diperlukannya penelitian terkait dengan hubungan kedua jenis polutan ini karena dapat menjadi ancaman baru terhadap kualitas lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk melihat kelimpahan mikroplastik dan identifikasi kandungan logam berat di sedimen Sungai Code.

1.2 Rumusan Masalah

Mengidentifikasi kandungan logam berat Besi (Fe), Mangan (Mn), dan Tembaga (Cu) pada sampel mikroplastik di sedimen perairan Sungai Code, Daerah Istimewa Yogyakarta beserta dengan kelimpahan dan karakteristik mikroplastik.

1.3 Tujuan Penelitian

1) Mengidentifikasi mikroplastik berdasarkan jumlah, bentuk, warna, jenis dan ukuran serta menganalisis kelimpahan dan persebaran yang terdapat pada sedimen di Sungai Code.
2) Mengidentifikasi kandungan logam berat (Fe, Mn, dan Cu) pada sedimen Sungai Code.
3) Mengidentifikasi kandungan logam berat (Fe, Mn, dan Cu) pada MPs di sedimen Sungai Code.
4) Menganalisis hubungan MPs dan logam berat di sedimen Sungai Code.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Hasil penelitian dapat menjadi referensi pembelajaran mengenai pengujian mikroplastik di sedimen sungai.
2. Hasil penelitian dapat menjadi sumber informasi mengenai kondisi pencemaran mikroplastik dan logam berat di Sungai Code Provinsi DIY.
3. Memberikan pengetahuan dan informasi kepada masyarakat mengenai hubungan antara mikroplastik dan logam berat.
4. Hasil penelitian dapat menjadi referensi pembelajaran dan penelitian selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup

1) Penelitian dilakukan di Sungai Code, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan pengambilan sampel di beberapa titik. Penelitian dilakukan selama 5 bulan terhitung Februari 2024 – Juli 2024.
2) Pengambilan sampel dilakukan pada sampel sedimen di Sungai Code, Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan metode grab sampling. Sampel diambil masing-masing pada 9 titik sampel dari bagian hulu, tengah, dan hilir.
3) Pengujian sampel sedimen dilakukan dengan pengamatan mikroskop untuk melihat karakteristik dan morfologi mikroplastik dan alat FT-IR untuk mengidentifikasi karakter kimia dari mikroplastik. Standar yang digunakan dalam pengujian sampel ini adalah *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Untuk melihat

kandungan logam berat dilakukan pengujian sampel sedimen menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

4) Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kadar logam berat terhadap logam berat yang dominan pada sedimen di Sungai Code yang diperoleh dari studi literatur
5) Standar Nasional Indonesia (SNI) yang digunakan untuk pengujian logam berat pada sedimen menggunakan alat SSA adalah sebagai berikut:

- Fe (Besi) mengacu pada SNI 6989.4-2009
- Mn (Mangan) mengacu pada SNI 06-6992.6-2004
- Cu (Tembaga) mengacu pada SNI 06-6992.5-2004

6) Baku mutu yang digunakan untuk logam berat pada sedimen sungai adalah menggunakan Ontario Ministry of Environment and Energy tentang *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai Code

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 pengertian sungai adalah saluran atau wadah alam dan/atau buatan yang berupa jaringan drainase, yang di sebelah kiri dan kanannya dibatasi air oleh garis batas hulu hingga muara sungai. Sungai Code merupakan salah satu sungai yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki luas sekitar 4.006,5 Ha dengan panjang total sungai ini menurut catatan BPLHD Yogyakarta adalah 41 km dan membentang dari Bukit Turgo yang berada di lereng Gunungapi Merapi. Sungai Code melintasi kabupaten dan kota yang ada di Provinsi DIY yaitu Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Sungai Code bagian hulu memiliki sumber mata air dari kaki Gunungapi Merapi Kabupaten Sleman dan bermuara di Sungai Opak Kabupaten Bantul. Bagian hulu sungai code merupakan gunungapi aktif yang menyebabkan sungai ini menjadi salah satu jalur dari lahar dingin yang dikeluarkan akibat erupsi Gunung Merapi yang menyebabkan material erupsi ini terbawa dan mempengaruhi proses sedimentasi Sungai Code (Kurniati dan Ikhsan, 2020). Sudira dkk., (2013) menjelaskan bahwa proses sedimentasi sungai merupakan suatu proses meliputi erosi, transportasi, deposisi, bahkan kompaksi dari sedimen itu sendiri. Proses ini terjadi dimana tanah dibawa melalui arus air dan mengendap di tempatnya karena aliran air terhenti semakin besar arus maka semakin banyak pula beban sedimen yang terangkut (Sembiring dkk., 2014).

Manuhana dan Dibyosaputro, (2017) melakukan studi terkait dengan muatan sedimen tersuspensi di Sungai Code dan diperoleh hasil jumlah total muatan sedimen suspensi adalah 1500,49 ton per tahun. Penelitian yang sama dilakukan oleh Kurniati dan Ikhsan, (2020) tentang analisis transpor sedimen pada bagian hulu Sungai Code menggunakan 3 metode dengan hasil yang berbeda yaitu metode Frijlink diperoleh hasil transpor sedimen sebesar 35.544 – 84.869 m3/hari; metode MPM diperoleh sebesar 15.059 – 77.230 m3/hari; dan metode Einstein sebesar 8.891 – 70.363 m3/hari. Kurniati dan Ikhsan, (2020) juga menjelaskan bahwa jumlah sedimen yang terangkut pada bagian hulu Sungai Code mempengaruhi perubahan tampang melintang sepanjang tepian sungai akibat proses erosi dan sedimentasi. Sungai Code memainkan peranan penting untuk masyarakat Yogyakarta karena sungai ini berperan sebagai air untuk irigasi, sumber air minum, tempat budidaya ikan, dan sebagai badan

air untuk tempat pembuangan air limbah baik itu domestik maupun non-domestik (Widodo dkk., 2010). Sungai Code melintasi kawasan-kawasan strategis yang ada di Provinsi DIY seperti Malioboro, Keraton, dan juga kawasan padat pemukiman akibat perubahan tata guna lahan. Tingginya aktivitas domestik dan kegiatan industri yang terjadi di sepanjang aliran Sungai Code menyebabkan kualitas air Sungai Code menurun akibat adanya pencemaran air sungai, penyempitan badan sungai, dan tingginya erosi dan sedimentasi sehingga kualitas air Sungai Code menurun (Widodo dkk., 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Safar, (2022) terkait dengan analisis status mutu air Sungai Code berdasarkan parameter fisika dan kimia menggunakan metode STORET dengan skor nilai -9,25 yang termasuk kelas B yaitu tercemar ringan. Parameter fisika dan kimia yang melebihi baku mutu yang mengacu pada Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No.20 Tahun 2008 adalah parameter TSS, BOD, COD, dan DO. Penelitian terkait dengan kualitas Sungai Code juga dilakukan oleh Biaggi, (2022) terkait dengan kandungan logam berat pada sedimen Sungai Code dan resiko ekologis dengan *Risk Index* diperoleh logam Pb, Mn, Fe, Cu, dan Cr tergolong rendah sedangkan logam Cd memiliki resiko sedang.

2.2 Mikroplastik

Mikroplastik didefinisikan sebagai partikel plastik yang memiliki ukuran kurang dari 5 mm dan merupakan jenis polutan berbahaya karena memiliki dampak negatif terhadap makhluk hidup di perairan dan kesehatan manusia (Karimpour dkk., 2021). Mikroplastik ditemukan hampir di setiap lingkungan perairan termasuk sungai, pantai, dan laut dalam (Wang dkk., 2017). Mikroplastik terbagi dalam dua jenis yaitu mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder. Mikroplastik primer hadir di lingkungan bersumber dari aktivitas domestik dan kegiatan industri seperti air limbah domestik, tumpahan pelet dari proses produksi barang plastik, dan plastik yang diproduksi dalam ukuran kecil seperti microbeads yang biasanya digunakan untuk produk perawatan diri (Turner dan Holmes, 2015; Bayo dkk., 2017) sedangkan mikroplastik sekunder merupakan fragmen plastik yang berukuran kecil yang berasal dari pecahan dari sampah plastik yang berukuran besar. Walaupun plastik memiliki struktur dan komponen kimia yang bersifat stabil namun plastik yang berukuran besar dapat terdegradasi menjadi bagian-bagian kecil karena beberapa faktor yaitu pelapukan, sinar ultraviolet (UV), dan juga dipengaruhi oleh gelombang air (Ghanbari dkk., 2022).

A. Bentuk atau Morfologi

Bentuk mikroplastik dapat memberikan petunjuk-petunjuk terkait dengan sumber polusi plastik tersebut serta informasi mengenai bagaimana perjalanan dari jenis plastik tertentu di

lingkungan (Rosal, 2021). GESAMP (2019) menyebutkan bahwa saat ini belum ada skema standar terkait dengan karakterisasi bentuk-bentuk yang digunakan dalam identifikasi mikroplastik. Terdapat beberapa penelitian yang mengkategorikan tipe mikroplastik berdasarkan morfologi nya seperti yang dirangkum dalam Tabel 2.1 yaitu sebagai berikut:

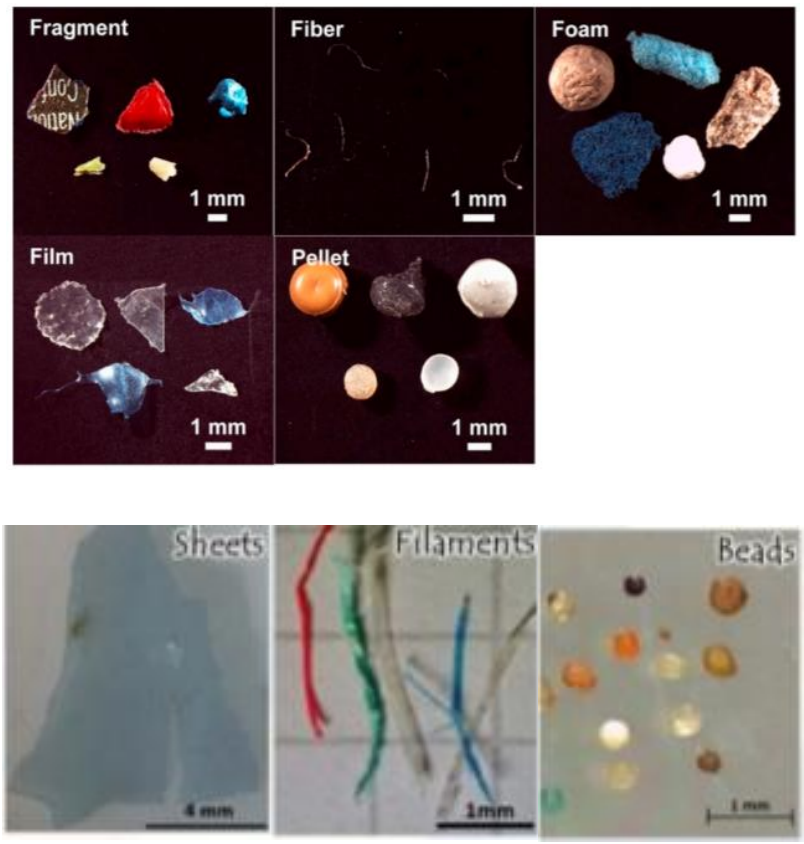
Tabel 2. 1 Jenis Mikroplastik Berdasarkan Morfologi

Kategori	Referensi
Fragment, *Pellet*, *Filament*, *Film*, Busa/*Foam*, Granula, dan *Styrofoam*	Hidalgo-Ruz dkk., (2012)
Fragment, *Pellet*, *Film*, Busa/*Foam*, Line/Tali	GESAMP, (2019)
Fragment, *Film*, *Fiber*, *Filament*	Edo dkk., (2021)

Klasifikasi mikroplastik berdasarkan bentuknya menurut Tanaka dan Takada, (2016) terbagi menjadi 8 jenis yaitu fragmen, manik-manik atau *beads*, pelet, busa, film, lembaran, filamen, dan serat seperti yang dapat dilihat Gambar 2.1. Penjelasan dari masing-masing bentuk ini dibahas secara komprehensif berdasarkan observasi yang dilakukan. Masing-masing jenis mikroplastik memiliki pembeda masing-masing yaitu sebagai berikut:

- *Fragment* merupakan mikroplastik yang biasanya berasal dari sumber sekunder yang berbentuk partikel. MPs bentuk ini berasal dari hasil fragmentasi dari material yang ukurannya lebih besar. Bentuk fragmen biasanya ada yang bentuknya teratur dan ada yang tidak.
- *Beads* atau manik-manik merupakan bentuk mikroplastik yang berasal dari sumber primer yang diproduksi sebagai produk yang memiliki ukuran kecil atau mikro baik itu berbentuk bulat atau berbentuk pecahan.
- *Pellet* merupakan bentuk mikroplastik yang berasal dari sumber primer yang diproduksi dalam bentuk granula sebagai bahan mentah dari produk plastik yang berukuran besar dengan ukuran silinder atau piringan dengan dimensi 2 hingga 5 mm
- *Foam* merupakan bentuk mikroplastik yang berasal dari sumber sekunder yang terbuat dari kumpulan agregat polimer
- *Film* merupakan bentuk mikroplastik dari sumber sekunder yang berupa fragmen halus dari polimer yang tipis yang diperoleh dari tas plastik atau kertas pembungkus
- Lembaran atau *Sheets* merupakan bentuk mikroplastik dari sumber sekunder yang berupa fragmen keras dari polimer tipis

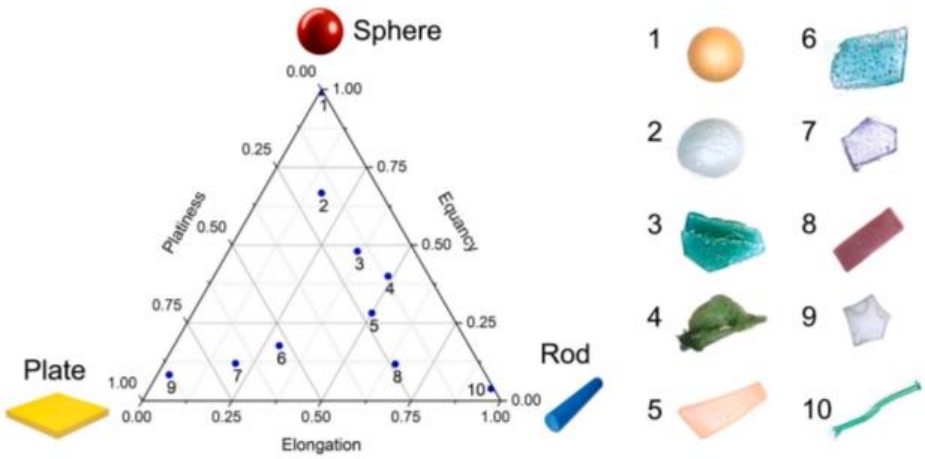
- *Filament* merupakan bentuk mikroplastik dari sumber sekunder yang berupa polimer berbentuk benang yang dihasilkan dari proses fragmentasi dari tali atau tali pancing yang berukuran lebih dari 50µm
- Serat/*Fiber* merupakan bentuk mikroplastik dari sumber sekunder yang berupa polimer berbentuk benang yang dihasilkan dari tekstil, termasuk pakaian dan perabotan dan berukuran lebih dari 50µm



Gambar 2. 1 Jenis Mikroplastik Berdasarkan Bentuk

Sumber: (Li dkk., 2020 dan Karimpour dkk., 2021)

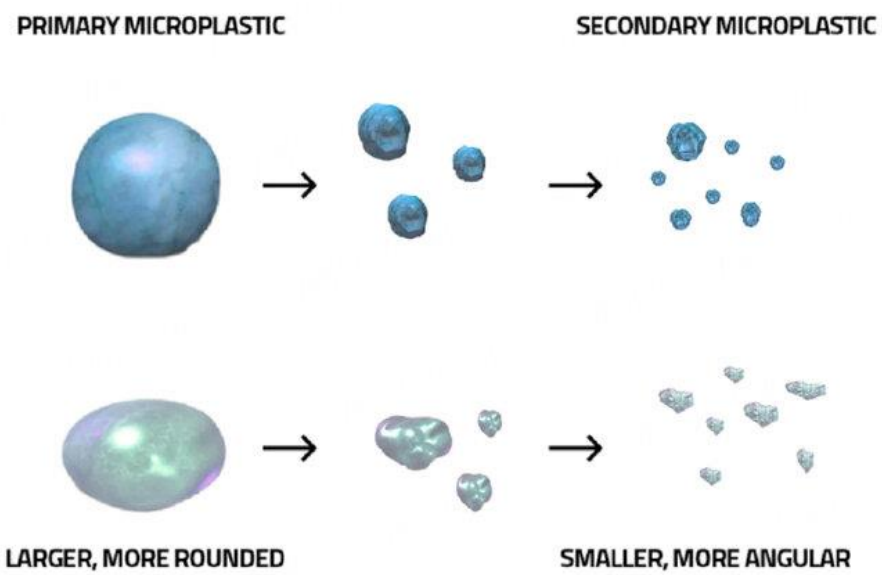
Morfologi dasar dari mikroplastik dijelaskan oleh Rosal, (2021) yang dimana terdapat 3 bentuk yaitu bola (3D), pelat atau piringan (2D), dan batang (1D) yang dijelaskan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Morfologi Dasar Mikroplastik

Sumber: (Rosal, 2021)

Mikroplastik bentuk Pellet sebagai mikroplastik dari sumber primer yang telah mengalami proses degradasi akibat faktor fisik, kimia, dan biologi akan mengalami perubahan dan pemecahan menjadi ukuran kecil kemudian pecahan ini digolongkan sebagai mikroplastik sekunder (de Almeida dkk., 2023). Proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.3



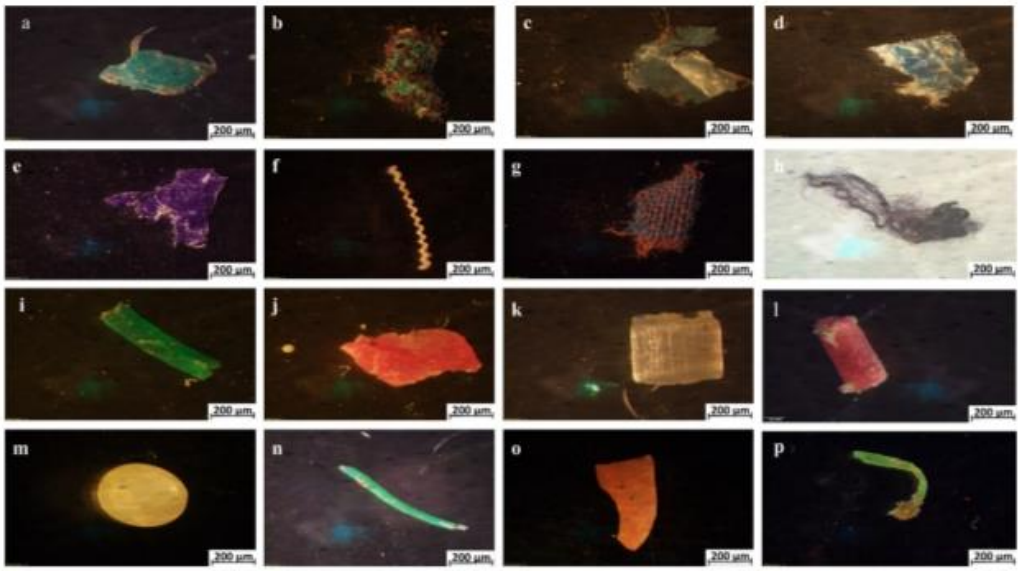
Gambar 2. 3 Fragmentasi Pellet (MPs Primer)

Sumber: (de Almeida dkk., 2022)

B. Warna

Warna pada mikroplastik dapat memberikan informasi yang berguna untuk mengidentifikasi sumber pencemaran dan juga proses-proses yang telah terjadi pada sampah tersebut seperti pembentukan biofilm, pelapukan dan lain sebagainya serta identifikasi warna pada mikroplastik masih bersifat subjektif dan belum ada standar yang diberlakukan

(GESAMP, 2019). Mikroplastik dapat mewarisi warna dari produk plastik induknya namun warna yang diperoleh dapat berubah akibat dari proses pelapukan (Wu dkk., 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Rakib dkk., (2022) pada sedimen Sungai Karnaphuli, Bangladesh menemukan keberagaman warna pada mikroplastik yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 diperoleh yaitu warna putih, transparan, merah, hitam, biru, cokelat, merah muda, jingga, kuning dan abu-abu.



Gambar 2. 4 Keberagaman Warna Mikroplastik

Sumber: (Rakib, dkk., 2022)

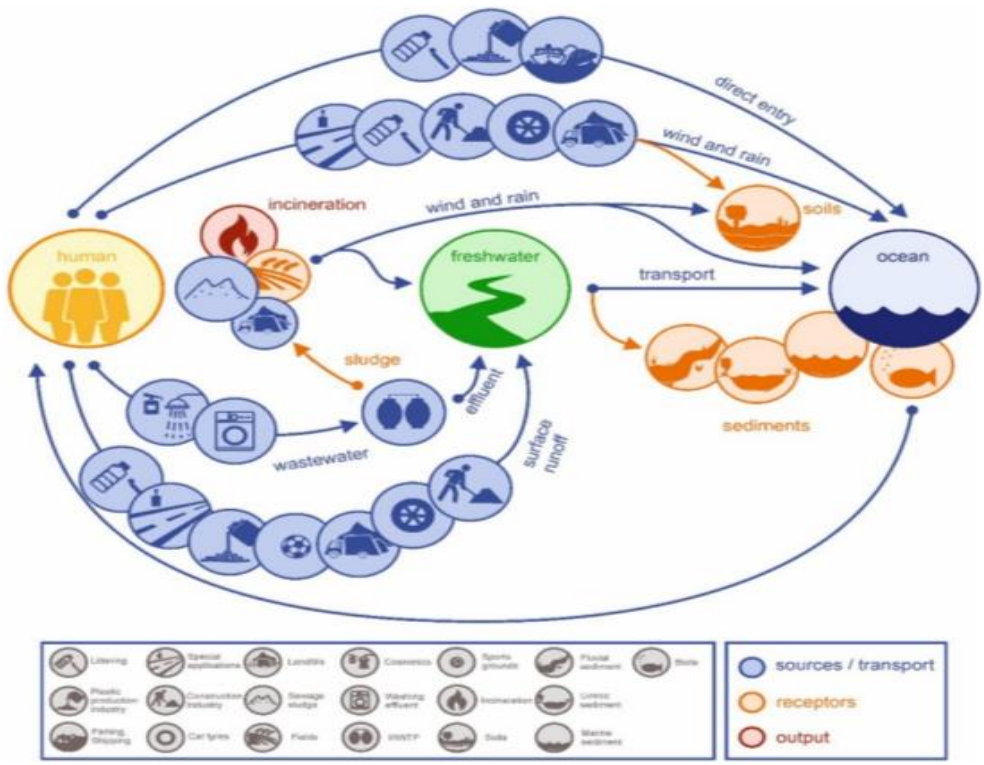
2.3 Mikroplastik di Lingkungan

Mikroplastik merupakan emerging polutan yang hadir dan terdeteksi di lingkungan perairan dan dapat berpindah akibat adanya arus air dan terendap ke dalam sedimen (He dkk., 2021). Waldschlager dkk., (2020) menjelaskan bahwa mikroplastik yang masuk ke lingkungan berasal dari beberapa sumber yang dimana sumber didefinisikan sebagai tempat, produk, atau tindakan yang menghasilkan mikroplastik dan hadir di lingkungan melalui jalur masuk atau *entry paths* yang didefinisikan sebagai jalan masuk dari sumber menuju lingkungan. Sumber mikroplastik terbagi menjadi dua yaitu sumber primer dan sekunder dimana sumber primer merupakan plastik yang diproduksi dalam ukuran yang lebih kecil dari 5 mm sedangkan sumber sekunder berasal dari lingkungan akibat adanya proses degradasi ukuran plastik yang lebih besar (Waldschlager dkk., 2020). Adapun rangkuman dari beberapa sumber mikroplastik primer dan sekunder dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan siklus mikroplastik di lingkungan dijelaskan pada Gambar 2.5

Tabel 2. 2 Sumber, Jalur Masuk, dan Tipe MPs di Lingkungan

Sumber	Jalur Masuk	Tipe MPs	Tipe Jalur Masuk
Industri Produksi Plastik	Aliran/Arus, Limpasan Permukaan, dan Langsung	Primer	Titik/Non-titik (*Diffuse)*
Produk Perawatan Diri	Limbah Domestik, *Sludge* Limbah	Primer	Titik/Non-titik (*Diffuse)*
Serat Sintetis	Limbah Domestik, *Sludge* Limbah	Sekunder	Titik/Non-titik (*Diffuse)*
Landfill	Aliran/Arus, Limpasan Permukaan	Sekunder	Non-titik/*Diffuse*
Industri Konstruksi	Aliran/Arus, Limpasan Permukaan	Sekunder	Non-titik/*Diffuse*
Bahan Cat Pelabuhan	Aliran/Arus, Limpasan Permukaan	Primer/Sekunder	Non-titik/*Diffuse*
Sampah	Aliran/Arus, Limpasan Permukaan	Sekunder	Non-titik/*Diffuse*
Abrasi Ban Kendaraan	Limpasan Permukaan	Sekunder	Non-titik/*Diffuse*
Lapangan Olahraga	Aliran/Arus, Limpasan Permukaan	Sekunder	Non-titik/*Diffuse*
Aktifitas Pelabuhan, Memancing, Pelayaran	Aliran/Arus dan Langsung	Sekunder	Non-titik/*Diffuse*

Sumber: (Waldschlager dkk., 2020)



Gambar 2. 5 Sumber, Jalur Masuk, dan Rute Mikroplastik di Lingkungan

Sumber: (Waldschlager dkk., 2020)

Gambar 2.5 menjelaskan mengenai sumber, jalur masuk, dan perjalanan mikroplastik di lingkungan yang dimana sungai merupakan salah satu jalur pencemaran mikroplastik untuk kemudian menuju ke laut yang dimana sedimen, air, dan ikan merupakan reseptor dari mikroplastik sehingga kualitasnya dapat menurun. Pergerakan mikroplastik di lingkungan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti fragmentasi, degradasi, dan *Biofouling* serta proses-proses ini juga mempengaruhi densitas, ukuran, bentuk, dan kecepatan pengendapan yang terjadi (Karimpour dkk., 2021).

A. Fragmentasi

Fragmentasi plastik yang berukuran besar menjadi ukuran yang lebih kecil dipengaruhi oleh beberapa hal seperti kondisi lingkungan, massa jenis dan jenis polimer (Lambert dan Wagner, 2018). Karimpour dkk., (2021) menjelaskan bahwa fragmentasi plastik secara fisika di daratan dipengaruhi oleh adanya oksigen dan cahaya matahari sedangkan pada lingkungan perairan fragmentasi plastik dikarenakan proses abrasi yang dipengaruhi oleh kecepatan angin, ombak, dan pasang surut. Cole dkk., (2011) menambahkan pengertian fragmentasi mengacu kepada reduksi dari integritas struktur plastik yang terjadi secara mekanis. Proses fragmentasi dapat berlangsung lebih cepat akibat beberapa faktor pendukung seperti proses biodegradasi dan pelapukan yang menyebabkan material plastik lebih rapuh seiring dengan berjalannya waktu dan ukuran partikel plastik yang lebih kecil memiliki laju fragmentasi lebih cepat pula (Dimassi dkk., 2022).

B. Degradasi

Sampah plastik di lingkungan dapat terdegradasi secara alami melalui fotodegradasi namun terdapat beberapa mekanisme degradasi sampah plastik lainnya seperti degradasi secara termo-oksidatif, biodegradasi, dan degradasi secara hidrolitik yang dimana proses degradasi ini menyebabkan sampah plastik dapat terpecah menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Degradasi yang terjadi dipengaruhi oleh sifat polimer plastik yang meliputi struktur, berat molekul, dan lainnya dan juga faktor lingkungan yang meliputi temperatur, kadar oksigen, dan cahaya matahari. (Dimassi dkk., 2022).

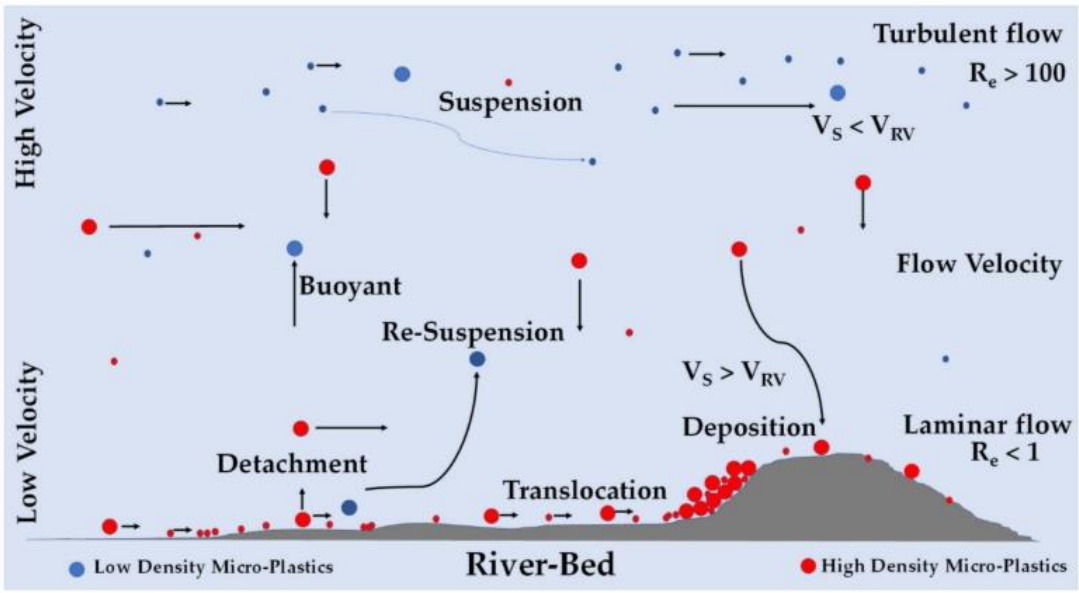
C. Biofouling

Biofouling merupakan proses yang dapat menyebabkan peningkatan densitas plastik dan banyak hipotesis yang menyatakan bahwa proses ini yang menyebabkan banyaknya ditemukan sampah plastik dengan densitas rendah pada sedimen laut (Amaral-Zettler dkk., 2021). Karimpour dkk., (2021) menjelaskan dua tahapan proses

Biofouling yang pertama terbentuk biofilm yang mengandung karbohidrat, protein, dan exopolisakarida serta mikrorganisme pada permukaan mikroplastik. Pembentukan biofilm ini dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti kedalaman, densitas, dan salinitas. Biofilm yang terbentuk ini kemudian menyebabkan perubahan densitas plastik sehingga plastik yang ringan dapat terendap. Proses *Biofouling* terjadi bergantung pada ukuran partikel mikroplastik itu sendiri karena mikroplastik yang lebih kecil memiliki kecepatan *Biofouling* yang lebih cepat. Penelitian yang dilakukan oleh Chubarenko dkk., (2016) menyimpulkan bahwa *Biofouling* mempengaruhi densitas pada mikroplastik yang memiliki bentuk *Fiber* lebih cepat dibandingkan *Fragment*.

Plastik yang memiliki densitas yang lebih besar daripada air sungai akan mengendap dan terakumulasi di sedimen sedangkan plastik yang memiliki densitas lebih kecil akan mengambang pada permukaan air (Van Cauwenberghe dkk., 2015). Waldschlager dkk., (2020) menjelaskan pergerakan MPs pada sungai bergantung terhadap dua faktor utama yaitu komponen penyusun partikel dan juga kondisi arus Sungai. Densitas sedimen sungai rata-rata sebesar 2,65 kg/m^3 mikroplastik yang akan terakumulasi di sedimen dapat lebih ringan atau lebih berat densitasnya daripada air (PE, PP, EPS) atau yang lebih berat adalah PS, PET, dan PVC. Karimpour dkk., (2021) menyebutkan bahwa pengendapan partikel sedimen dengan mikroplastik diasumsikan berperilaku sama yang dimana partikel sedimen dalam bentuk bulat atau elips berpindah dalam aliran fluvial, pengendapan secara alami biasanya berasal dari polimer plastik yang memiliki densitas lebih kecil seperti contohnya jenis polimer *Polyethylene* (PE) dan *Polypropylene* (PP).

Mikroplastik yang mengendap ke sedimen sungai dapat berperan sebagai sumber mobilisasi dari mikroplastik menuju sedimen lainnya (Liro dkk., 2020). Hurley dkk., (2018) juga menambahkan bahwa ketika partikel telah ter sedimentasi di dasar sungai maka dapat berada di lapisan atas sedimen natural dan masuk ke dalam dasar sedimen atau dapat bergerak kembali akibat kecepatan aliran yang lebih kuat seperti pada saat terjadi banjir. Transpor mikroplastik pada sedimen dijelaskan melalui gambar oleh Kumar dkk., (2021) yang dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 6 Transpor Mikroplastik pada Sedimen Sungai

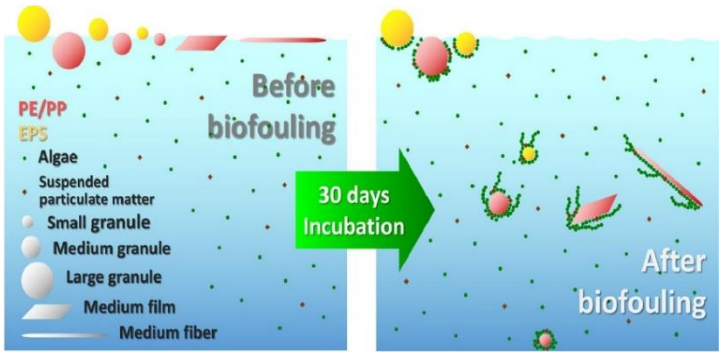
(Vs: Kecepatan pengendapan;V_{RS}: Kecepatan aliran sungai; Re: Bilangan Reynolds)

Sumber: (Kumar dkk., 2021)

Mikroplastik memiliki bentuk yang beragam mulai dari bentuk yang sangat beratur hingga tidak beratur seperti fragmen dan serat sehingga hal ini menyebabkan pola pengendapan mikroplastik ke sedimen sangat sensitif terhadap bentuk dari mikroplastik itu sendiri. MPs berbentuk *Pellet* berperilaku sangat berbeda dibandingkan bentuk *Fiber* dan *Fragment* (Waldschlager dkk., 2020). Karimpour dkk., (2021) menyebutkan bahwa mikroplastik yang memiliki densitas tinggi menunjukan jumlah yang lebih banyak di sedimen dibandingkan mikroplastik yang memiliki densitas rendah.

Keberadaan MPs di sedimen banyak dipengaruhi oleh beberapa hal salah satunya adalah proses yang dinamakan *Biofouling*. Proses *Biofouling* merupakan proses dimana terjadinya perubahan densitas dari mikroplastik karena adanya biofilm yang terbentuk pada permukaan mikroplastik seperti mikroorganisme akibat beberapa faktor seperti cahaya, salinitas, dan faktor lainnya yang mempengaruhi pertumbuhan biofilm. Proses *Biofouling* juga dipengaruhi oleh makrofoulan seperti alga yang menempel di permukaan biofilm. Biofilm yang tumbuh di permukaan mikroplastik menyebabkan perubahan densitas mikroplastik hingga di tahap mikroplastik tersebut dapat mengendap ke dasar permukaan sungai (Karimpour dkk., 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Chubarenko dkk., (2016) menjelaskan terkait dengan faktor yang mempengaruhi proses *Biofouling* mikroplastik yaitu bentuk dan ukuran karena berdasarkan besarnya area permukaan dan waktu yang dibutuhkan untuk sebuah partikel mencapai densitas tertentu.

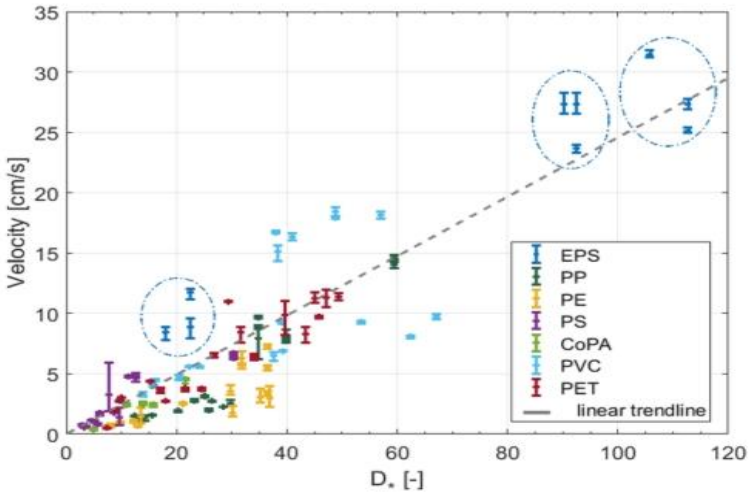
Penelitian yang dilakukan oleh Liu dkk., (2022) tentang pengaruh atau efek tipe polimer, ukuran, dan bentuk mikroplastik terhadap proses *Biofouling* yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. Penelitian ini menunjukkan bahwa bentuk granula dari polimer PE dan PP mengendap lebih cepat dibandingkan yang lebih besar bahkan *Expanded-polystyrene* atau EPS dengan diameter 100µm diameter dengan densitas yang lebih rendah daripada air yaitu 0,02 mg/mm^3 mulai mengendap setelah 2 minggu proses *Biofouling* terjadi. Mikroplastik PE dengan bentuk film dan fiber yang memiliki rasio luas permukaan:volume yang lebih tinggi dengan massa yang sama bahkan tidak mengendap lebih cepat dibandingkan mikroplastik PE dengan bentuk granula. Oleh karena itu, penelitian ini menyimpulkan bahwa mekanisme *Biofouling* selain faktor perbandingan luas area permukaan dan volume, area yang terkena kontak dan koefisien drag memainkan peran penting dalam pengendapan MPs akibat proses *Biofouling*.



Gambar 2. 7 Proses *Biofouling* Mikroplastik

Sumber: (Liu dkk., 2022)

Penelitian serupa dilakukan oleh Waldschlager dan Schüttrumpf, (2019) tentang pengaruh densitas, diameter, dan bentuk partikel terhadap laju pengendapan mikroplastik pada air tawar skala laboratorium.



Gambar 2. 8 Pengaruh Diameter dan Densitas MPs terhadap Laju Pengendapan di Sedimen

Sumber: (Waldschlager dan Schüttrumpf, 2019)

Diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 bahwa semakin besar diameter mikroplastik maka kecepatan pengendapan semakin tinggi pula, bentuk partikel mempengaruhi laju pengendapan karena partikel yang memiliki bentuk tidak teratur cenderung lebih lama dibandingkan bentuk bulat, dan juga perbedaan densitas mikroplastik dan air berpengaruh terhadap pengendapan mikroplastik.

2.4 Logam Berat di Sedimen

Logam berat diklasifikasikan menjadi logam berat esensial dan logam berat tidak esensial. Logam berat esensial merupakan jenis logam berat yang berperan penting dalam proses biologis makhluk hidup pada batas konsentrasi tertentu sedangkan logam berat non esensial merupakan logam berat yang belum diketahui manfaatnya untuk tubuh dan bersifat toksik (Torres dkk., 2023). Logam berat esensial terdiri dari Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Kromium (Cr), dan Seng (Zn) sedangkan logam berat non esensial antara lain kadmium (Cd) dan Timbal (Pb).

Logam berat merupakan jenis kontaminan yang tersebar di lingkungan dan dapat masuk ke lingkungan perairan karena sifatnya yang sulit terdegradasi secara alami di lingkungan dan dapat berasal dari sumber alami dan sumber antropogenik (Liu, dkk., 2021). Logam berat secara alami hadir di lingkungan perairan akibat dari proses pelapukan batuan dan erupsi vulkanik (Sojka dan Jaskula., 2022; Torres dkk., 2023). (Wahyuni dkk., 2012) menjelaskan bahwa secara umum abu vulkanik yang dihasilkan dari erupsi atau letusan gunung berapi mengandung beberapa logam berat seperti Fe, Mn, dan Pb. Sumber logam berat di lingkungan perairan akibat aktivitas antropogenik sebagai kontributor paling besar adalah kegiatan industri diikuti dengan air limbah rumah tangga, air limpasan pertanian, dan proses urbanisasi yang sangat cepat (Sojka dan Jaskula, 2022)

Sedimen sungai memiliki kemampuan untuk mengikat beberapa logam berat yang hadir di lingkungan perairan melalui proses adsorpsi dan presipitasi dan dalam keadaan yang sesuai. Logam berat memiliki solubilitas yang rendah di air sehingga mudah terserap di sedimen melalui proses fluvial yang bergerak terus menerus mengikuti aliran sungai. Faktor utama yang mempengaruhi akumulasi dan persebaran logam berat di sedimen sungai adalah faktor fisika, kimia, hidrologi, dan hidrolik sungai (Wei dkk., 2022; Sojka dan Jaskula, 2022).

Logam berat yang bersifat toksik di sedimen dapat membahayakan kesehatan manusia terutama melalui rantai makanan. Keberadaan logam berat di sedimen sungai berkaitan erat dengan beberapa sumber pencemaran baik itu pencemar titik atau non titik dan tata guna lahan serta juga proses natural seperti struktur geologi dan kondisi iklim (Sojka dan Jaskula, 2022).

1. Logam Besi (Fe)

   Besi (Fe) merupakan logam yang menempati urutan keempat sebagai elemen paling banyak yang ada di kerak bumi (Zhang dkk., 2021). Besi (Fe) memiliki nomor atom 26 dan memiliki berat atom 55,845 g/mol dengan titik leleh 1538℃ dan memiliki pH ideal 6,5 – 7 dan bersifat racun pada pH rendah (Widowati, 2008; Stumn & Morgan, 1996). Febrina dan Ayuna, (2015) menjelaskan bahwa di lingkungan terutama air, logam besi terlarut sebagai senyawa garam ferri atau Fe^{3+} (feri) atau Fe^{2+} (fero) yang berbentuk butir koloidal dengan diameter kurang dari 1 mm atau dengan diameter yang besar dalam bentuk Fe_2O_3, FeO, $Fe(OH)_2$, dan lainnya. Besi di lingkungan tergabung dengan zat organik atau padatan anorganik. Logam Fe merupakan jenis logam berat esensial yang dibutuhkan dalam jumlah tertentu oleh makhluk hidup dimana besi memiliki peran penting dalam respirasi sel dan juga produksi energi pada sel tubuh manusia (Widowati dkk., 2008). Parulian, (2009) menjelaskan dampak yang akan ditimbulkan akibat tingginya kadar logam dalam tubuh manusia dapat menyebabkan permasalahan kesehatan terutama dalam saluran pencernaan seperti diare, sembelit, dan kerusakan usus. Selain itu, tingginya kandungan logam besi juga dapat menyebabkan permasalahan kesehatan lainnya seperti pusing, mudah lelah, hipertensi, dan insomnia.
2. Logam Mangan (Mn)

   Mangan adalah unsur logam dengan berat atom berukuran 54,93 g/mol dan memiliki titik didih sebesar 2032℃. Logam ini memiliki bentuk berwarna abu kemerahan dan apabila dalam konsentrasi berlebih dapat menyebabkan rasa pada air dan membuat air berwarna cokelat dan juga akan menyebabkan kekeruhan (Febrina dan Ayuna, 2015). Mangan merupakan bahan baku dalam pembuatan industri pupuk, pestisida, dan beberapa peralatan elektronik. MnO_2, Mn_3O_4, dan $MnCO_3$ merupakan mangan yang tidak terlarut dan akan terbentuk pada pH yang cukup tinggi dan dalam kondisi aerob. Mangan dapat masuk ke lingkungan perairan melalui berbagai macam kegiatan yang dilakukan oleh manusia seperti pertambangan dan air limbah domestik yang dihasilkan. Salah satu sumber pencemaran mangan di sungai adalah limbah batu baterai yang dibuang sembarangan ke sungai. Mangan dalam kondisi perairan aerobik akan mengalami proses reoksidasi dan membentuk senyawa Mn^{4+} lalu bentuk ini dapat mengendap ke dasar perairan. Mn merupakan logam berat yang dalam kadar tertentu berfungsi untuk membantu hati dalam produksi urea dan beberapa enzim yang dibutuhkan. Namun, dalam kadar yang sangat tinggi dapat menimbulkan penyakit yang

disebut penyakit "*manganism*" dimana penyakit ini memiliki gejala mirip penyakit parkinson yang dapat menyebabkan gangguan hati, kardiovaskuler, reproduksi, dan gangguan saraf (Crossgrove dan Zheng, 2004).

3. Logam Tembaga (Cu)

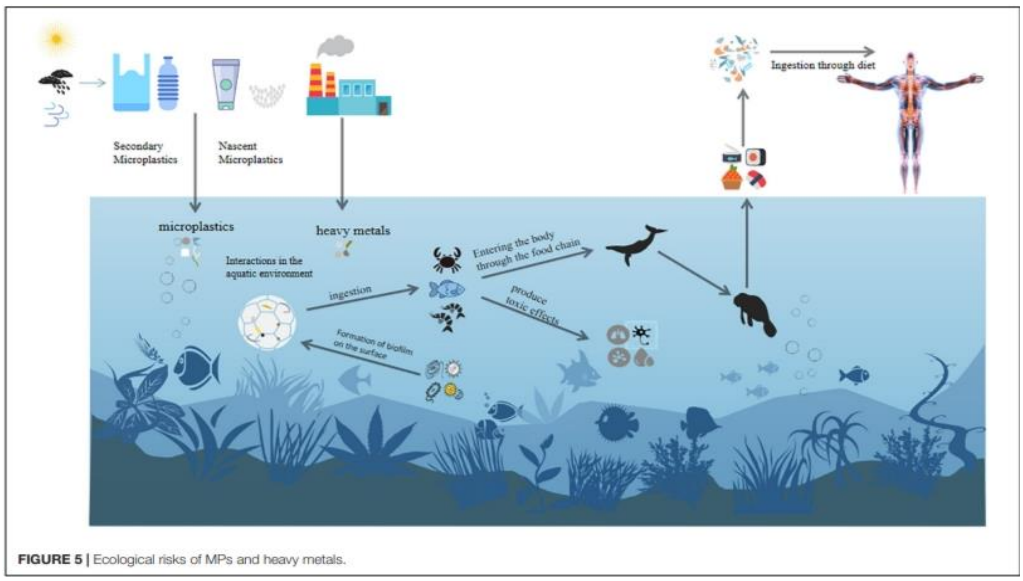
   Logam berat Tembaga (Cu) merupakan salah satu jenis logam berat yang bersifat esensial bagi manusia karena dalam kadar tertentu diperlukan bagi kesehatan manusia. Tembaga memiliki berat atom sebesar 63,546 gram/mol dengan titik didih sebesar 2562°C. Tembaga banyak digunakan sebagai bahan baku beberapa kegiatan industri seperti industri yang memproduksi peralatan listrik karena sifatnya yang dapat menghantarkan listrik, industri insektisida dan fungisida. Keberadaan tembaga di sungai dapat masuk melalui beberapa jalur baik secara alamiah atau non alamiah. Secara alamiah, tembaga hadir akibat proses erosi dari batuan mineral yang ada di sekitarnya sedangkan secara non alamiah dapat berasal dari aktivitas kegiatan manusia seperti limbah industri yang menggunakan tembaga sebagai bahan baku dan juga limbah rumah tangga. Tembaga di sungai dapat mengalami proses biomagnifikasi yang dimana hal ini dapat membahayakan kesehatan manusia melalui rantai makanan. Konsentrasi tembaga yang tinggi dalam makanan dapat terakumulasi di tubuh manusia dan menyebabkan beberapa gangguan kesehatan. Keracunan tembaga mengakibatkan kerusakan sistem saraf dan penurunan fungsi kerja ginjal.

2.5 Mikroplastik dan Logam Berat

Plastik merupakan partikel yang kaya akan senyawa kimia yang dimana apabila masuk ke lingkungan plastik memiliki kemampuan untuk menyerap berbagai macam polutan disektiarnya (Khalid dkk., 2021). Mikroplastik memiliki dampak yang sangat berbahaya terhadap makhluk hidup yang berada di lingkungan perairan karena beberapa studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa berbagai macam organisme perairan seperti ikan, plankton, dan mamalia laut lainnya dapat menganggap mikroplastik sebagai makanannya sehingga tertelan dan masuk ke dalam tubuh makhluk hidup perairan tersebut. Tidak hanya itu, polutan ini juga berbahaya karena dapat menyerap kontaminan-kontaminan lainnya ke permukaan mikroplastik karena bersifat hidrofobik dan memiliki luas permukaan yang besar yang menyebabkan polutan ini mampu mengakumulasi konsentrasi polutan yang sangat tinggi di permukaannya seperti PCBs, POPs, dan logam berat (Li dkk., 2020).

Logam berat memiliki sifat yang sulit untuk terdegradasi di lingkungan dan dapat mengancam kesehatan manusia melalui rantai makanan (Liu dkk., 2021). Mikroplastik dan

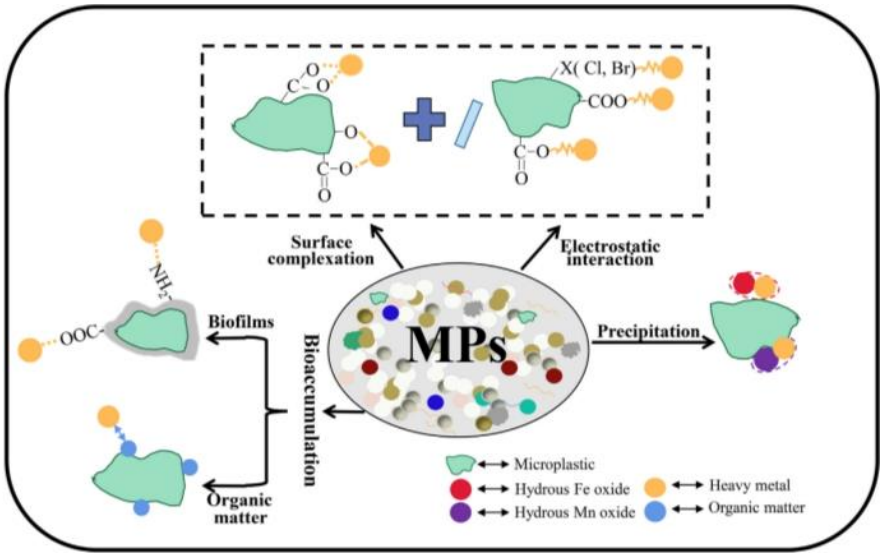
logam berinteraksi satu sama lain dikarenakan mikroplastik dapat berperan sebagai magnet terhadap polutan toksik di sekitarnya dan mengakumulasi konsentrasi polutan tersebut dalam jumlah yang besar akibat luas permukaannya yang besar. Liu dkk., (2021) dalam penelitiannya juga menyebutkan beberapa penelitian yang membuktikan adanya kandungan logam berat pada mikroplastik seperti yang telah ditemukan pada mikroplastik di atlantik utara, Sao Paulo, pantai di barat daya inggris, dan bagian barat eropa. Hal ini menunjukkan bahwa mikroplastik dapat berperan sebagai magnet bagi polutan yang bersifat *toxic* dan penggabungan antara kedua polutan berbahaya ini merupakan ancaman baru dan interaksi antara kedua jenis polutan ini terbilang cukup kompleks. Oleh karena itu, kedua polutan toksik ini tidak hanya berbahaya karena sifatnya yang persisten di lingkungan namun apabila bergabung satu sama lain dapat menjadi ancaman baru terhadap kualitas lingkungan dan manusia. Siklus interaksi antara kedua polutan ini dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2. 9 Siklus dan Interaksi Mikroplastik dan Logam Berat di Lingkungan

Sumber: (Liu dkk., 2021)

Logam berat dapat terserap ke permukaan mikroplastik akibat adanya biofilm yang terbentuk sehingga dapat mempengaruhi komponen fisika dan kimia dari mikroplastik yang kemudian juga mempengaruhi penyerapan dari polutan kimia salah satunya logam berat. Penyerapan logam berat oleh MPs dapat meningkatkan bioakumulasi dari logam berat ini yang dimana MPs dapat menyediakan jalur baru untuk logam berat berpindah ke makhluk hidup perairan (Khalid dkk., 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Tu dkk., (2020) juga menunjukkan bahwa biofilm yang terbentuk di mikroplastik mampu menyerap logam berat karena terjadi perubahan struktur biofilm yang terbentuk pada permukaan mikroplastik juga dapat berubah akibat terpapar logam berat di sekitarnya.



Gambar 2. 10 Skema Interaksi Mps dan Logam Berat

Sumber: (Cao dkk., 2021)

Cao dkk., (2021) dalam penelitiannya yang membahas terkait dengan mekanisme interaksi antara mikroplastik dengan logam berat menyebutkan beberapa faktor yang mempengaruhi penyerapan logam berat oleh mikroplastik yaitu karakteristik MPs (tipe, luas permukaan, ukuran, dll), sifat kimia logam berat (tipe dan konsentrasi), serta kondisi lingkungan (salinitas, pH kelembaban, dan konsentrasi logam di sekitarnya). Jian dkk., (2022) juga menambahkan bahwa adsorpsi atau penyerapan logam berat oleh MPs dibagi menjadi dua yaitu adsorpsi secara fisika secara elektrostatis atau difusi internal/eksternal serta adsorpsi secara kimiawi (ikatan kation). Terdapat beberapa penelitian yang sudah dilakukan untuk membuktikan adanya logam berat pada mikroplastik.

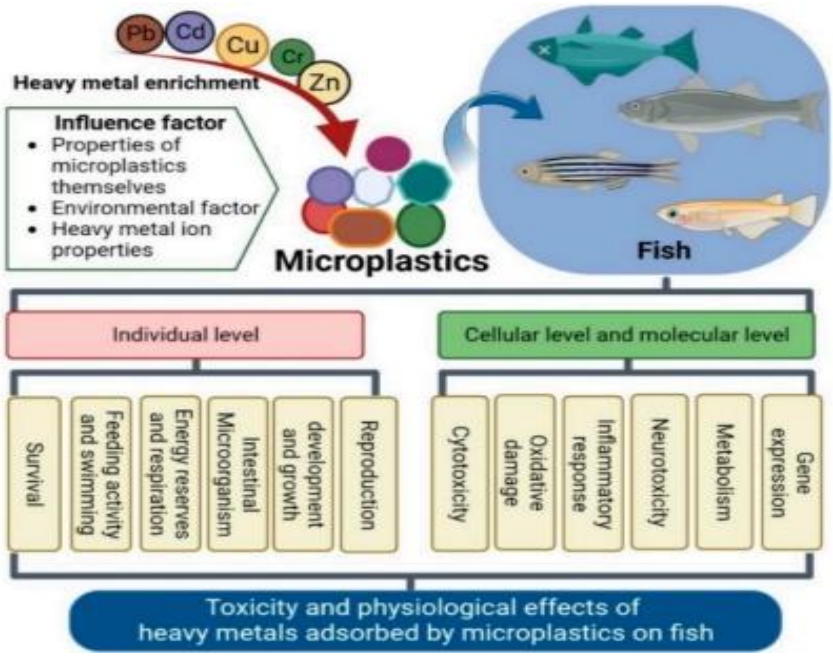
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu Mengenai Mikroplastik dan Logam Berat di Lingkungan Perairan

Tipe Polimer	**Bentuk Polimer**	**Kelimpahan MPs**	**Logam (Konsentrasi Maksimal)**		**Lokasi**	**Peneliti**
			Air laut/ sedimen	Pada Mikroplastik		
PE, PA, PET, PS, PVC	Sampah plastik ukuran besar	561 partikel/m2		Ni (1,1), Cd (23,6), Pb (219,7), Cu (19,6), Ti (1046,0)	Danau Garda, Italia	Imhof dkk, (2016)

Tipe Polimer	Bentuk Polimer	Kelimpahan MPs	Logam (Konsentrasi Maksimal)		Lokasi	Peneliti
			Air laut/ sedimen	Pada Mikroplastik		
PE, PP , PS, Polyester	Fragmen, serat, film, pelet	95 item/kg sedimen	Cr (1,1), Cu (0,05), Ni (0,05), Pb (0,01)	Cr (2,95), Cu (13,02), Ni (0,78), Pb (17,61)	Sungai Chao Phraya, Bangkok	Ta dan Babel, (2020)
PP, PE	fragmen	544 ±107 item/kg sedimen	Ni (0,07), Cd (2,458), Pb (57,93), Cu (79,5), Zn (349,2), Ti (28575,2)	Ni (2,39), Cd (17,56), Pb (131,1), Cu (500,6), Zn (14815,3), Ti (38823,7), AI (45), Cu (1,0), Fe (228,0), Mn (9,0), Zn (8,0), Ti (3,0)	Sungai Beijiang, China	Wang dkk., (2017)

Sumber: (Khalid dkk., 2021)

Chen dkk., (2023) menjelaskan mengenai toksisitas dari logam berat yang terserap di mikroplastik terhadap ikan seperti pada Gambar 2.10 Penelitian ini menyebutkan bahwa tingginya konsentrasi logam berat yang terserap di mikroplastik pada lingkungan perairan dapat berpindah ke organisme akuatik melalui rantai makanan dan dapat menyebabkan toksisitas pada ikan dan merusak organ. Mikroplastik yang mengandung logam berat ini, akan terakumulasi pada saluran pencernaan ikan dan dapat berpindah ke organ lainnya. Manusia sebagai tingkat trofik yang lebih tinggi akan mengkonsumsi ikan yang terkontaminasi sebagai sumber protein sehingga hal ini menyebabkan akumulasi di dalam tubuh manusia. Proses ini disebut dengan proses bioakumulasi.



Gambar 2. 11 Efek Toksisitas Penyerapan Logam Berat oleh Mikroplastik terhadap Ikan

Sumber: (Chen dkk., 2023)

2.6 Baku Mutu Logam Berat di Sedimen

Baku mutu yang digunakan untuk kadar atau kandungan logam berat pada sedimen adalah menggunakan *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* (OMOE, 1993) dikarenakan Indonesia belum memiliki standar baku mutu konsentrasi logam berat pada sedimen. Dalam baku mutu ini ditetapkan 3 *level* terhadap nilai baku mutu yaitu *No Effect Level, Lowest Effect Level,* dan *Severe Effect Level* dan konsentrasi dari masing-masing level terdapat pada Tabel 2.4.

a. *No Effect Level* adalah tingkatan dimana tidak ada efek toksik yang terlihat terhadap organisme perairan. Tingkatan ini adalah tingkat dimana tidak terjadi biomagnifikasi pada rantai makanan. Apabila konsentrasi logam berat pada sedimen berada pada angka di bawah *No Effect Level* dapat dianggap bawah sedimen bersih dan tidak diperlukan manajemen lebih lanjut
b. *Lowest Effect Level* adalah tingkatan dimana terdapat kontaminasi pada sedimen namun masih bisa ditoleransi bagi sebagian besar organisme yang hidup pada zona benthic atau *benthic zone*
c. *Severe Effect Level* merupakan tingkat dimana sedimen dianggap sangat tercemar dan cenderung mempengaruhi kesehatan organisme yang tinggal di sedimen.

Tabel 2. 4 Baku Mutu Logam Berat Fe, Mn, dan Cu (mg/kg)

No	Parameter Logam Berat	No Effect Level	Lowest Effect Level (LEL) (mg/kg)	Severe Effect Level (SEL) (mg/kg)
1	Fe (Besi)	-	20.000	40.000
2	Mn (Mangan)	-	460	1100
3	Cu (Tembaga)	-	16	110
Sumber: OMOE, 1993				

2.7 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan penelitian terdahulu mengenai mikroplastik di sedimen sungai beserta interaksi atau hubungannya dengan logam berat.

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Sumber
1	*Heavy Metals contamination of sedimentary microplastics in Hong Kong*	Penelitian terkait dengan kontaminasi logam berat As, Zn, Cd, Ni, Fe, Mn, dan Cu pada mikroplastik di pantai Hong Kong. • Analisis sampel mikroplastik dilakukan dengan mengekstrak mikroplastik secara *in-situ* dengan cara memindahkan sampel sedimen ke dalam ember yang berisi air laut. Partikel mikroplastik yang mengambang diambil dan disaring dengan ayakan berukuran 0,5 mm dan partikel yang tertahan disimpan. Partikel yang berukuran lebih dari 5 mm dibuang sehingga menyisakan mikroplastik dengan ukuran 0,5 – 5 mm. Mikroplastik dianalisis menggunakan alat berupa mikroskop untuk melihat bentuk, warna,	Kelimpahan mikroplastik ditemukan terdapat tiga tipe mikroplastik yang paling banyak yaitu *Polyethylene* (42,2%), *Polypropylene* (23,3%), dan *Polystyrene* (19,5%). Jenis mikroplastik ditemukan dalam bentuk *Fragment*, *Fiber*, *Foam*, *Film*, dan *Pellet*. Mikroplastik terkontaminasi logam berat dengan kandungan logam berat yang paling banyak adalah Ni, Fe, Mn, dan Cu. Tidak ditemukan adanya korelasi antara jenis polimer dan juga konsentrasi logam dan diduga faktor-faktor lain seperti aspek geologis dan waktu paparan dapat menjadi pertimbangan.	Li dkk., (2020)

No	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Sumber
		dan tekstur permukaannya sedangkan untuk karakterisasi kimia menggunakan FT-IR. • Analisis logam berat dilakukan pada mikroplastik yang berukuran 5 mm dan dikeringkan selama 48 jam di desikator. Sampel MPs untuk pengujian logam berat dilarutkan ke dalam larutan 20 mL Aqua Regia 20% lalu disaring. Hasil saringan kemudian ditambah air MiliQ sebanyak 25 mL dan kemudian konsentrasi logam berat pada mikroplastik dianalisa menggunakan alat ICP-OES.		
2	*Dispersal and Transpor of Microplastics in river sediments*	Penelitian dilakukan pada Sungai Brisbane, Queensland. Pemodelan dilakukan dengan TUFLOW FV. Partikel mikroplastik yang digunakan adalah *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *Polyamide* (PA), dan *Poliehylene Tereptalate* (PET).	Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan dan pendekatan terhadap persebaran dan perpindahan dari jenis mikroplastik di sedimen sungai. Arus air yang deras dapat menyebabkan perpindahan mikroplastik lebih tinggi dari sumber asalnya. Pemodelan yang dilakukan membuktikan bahwa sedimen sungai dapat berperan sebagai tempat mikroplastik untuk	He dkk., (2021)

No	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Sumber
			mengendap dibandingkan sebagai tempat untuk perpindahan dan persebaran mikroplastik. Mikroplastik di sedimen yang memiliki densitas kecil memiliki mobilitas yang tinggi seperti PE dan PP sedangkan mikroplastik dengan densitas tinggi seperti PA dan PET tertahan di sedimen	
3	*Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: Composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals*	Sampel sedimen diambil menggunakan sekop stainless-steel pada kedalaman 2 cm dan kemudian dikeringkan pada suhu $50^{\circ}C$ selama 48 jam lalu kemudian diekstrak menggunakan larutan NaCl 200 mL tiap 30 gram sampel. Larutan didiamkan selama 2 jam lalu mikroplastik yang mengambang di supernatan dipindahkan dan kemudian disaring menggunakan kertas saring *microfiber* menggunakan *vacuum pump*. Mikroplastik pada kertas saring dianalisis menggunakan mikroskop dan kemudian jenis polimer plastik dianalisis menggunakan FT-IR.	Konsentrasi mikroplastik yang diperoleh dari penelitian ini hanya material yang memiliki densitas <1,2 g/cm^3 karena menggunakan NaCl. Untuk mengekstrak mikroplastik yang memiliki densitas besar disarankan untuk menggunakan $ZnCl_2$ dan NaI. Konsentrasi mikroplastik pada sedimen berada pada rentang 178 ±69 hingga 544±107 item/kg sedimen. Analisis menggunakan SEM menunjukkan bahwa patahan, serpihan partikel yang terlihat merupakan hasil degradasi. Analisis sampel menggunakan EDS menunjukkan logam berat	Wang dkk., (2017)

No	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Sumber
		SEM/EDS juga digunakan dalam analisis ini untuk mengetahui karakteristik permukaan dan logam berat yang terakumulasi di mikroplastik. Konsentrasi logam berat Ni, Cd, Pb, Cu, Zn, dan Ti dianalisis menggunakan ICP-MS	yang terbawa oleh mikroplastik tidak melekat pada mikroplastik melainkan berasal dari lingkungan. Diperoleh konsentrasi logam Ti paling tinggi di mikroplastik dan logam Ni terendah.	
4	*Microplastics Pollution with Heavy Metals in the Aquaculture Zone of the Chao Phraya River Estuary Thailand*	• Untuk analisis mikroplastik, sampel sedimen diambil pada kedalaman 3 – 5 m menggunakan Van Veen Grab Sampler dan disimpan pada botol kaca 1L dan disimpan pada suhu $4^{\circ}C$. Sampel sedimen sebanyak 50 gram sedimen basah digunakan untuk analisis yang dimana sampel dikeringkan lalu disaring menggunakan saringan dengan ukuran 0,05 – 0,3; 0,3 – 0,5; 0,5 – 1,0; dan 1,0 – 5,0 mm. Selanjutnya dilakukan pemisahan densitas menggunakan sodium iodida atau NaI selama 24 jam pada suhu ruang lalu material organik dihilangkan dengan menambahkan 30% hidrogen peroksida dan besi (II) sebagai katalis pada suhu	Kelimpahan mikroplastik pada sampel sedimen adalah 39 ± 14 item/kg dan ukuran mikroplastik paling banyak adalah ukuran 0,05 – 0,3 mm. Bentuk mikroplastik paling banyak ditemukan adalah bentuk fragmen dan serat dengan tipe polimer paling banyak adalah PP dan PE. Logam yang terdeteksi di permukaan MPs pada sampel air adalah logam Cr, Cu, Ni, pb, Cd, dan Zn. Kandungan logam berat pada sampel sedimen tidak terlalu besar untuk di ekstrak menggunakan larutan Aqua Regia. Logam Zn memiliki konsentrasi paling besar sedangkan Cd paling kecil. Penelitian ini juga memberikan	Ta dan Babel, (2020)

No	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Sumber
		$60^{\circ}C$. Selanjutnya larutan disaring menggunakan membran filtrasi dan dianalisis menggunakan mikroskop untuk jumlah, warna, dan morfologi sedangkan untuk tipe polimer menggunakan ATR- FT-IR • Analisis logam berat pada sampel mikroplastik yang telah didapatkan dilakukan cara 30 hingga 50 partikel MPs dari tiap lokasi sampling dipindahkan ke dalam vial 10 mL untuk dianalisis, ekstraksi logam berat hanya dilakukan pada partikel yang memiliki ukuran lebih dari 0,5 mm dan diekstraksi menggunakan Aqua Regia 50% sebanyak 3 mL. Larutan dikocok menggunakan alat pada suhu ruang selama 2 hari atau 48 jam. Lalu hasil ekstraksi dianalisis menggunakan ICP-OES untuk parameter logam berat Cr, Cu, Ni, Pb, Cd, dan Zn.	bukti kuat terkait kaitan antara MPs dan logam berat dan menyebutkan bahwa terdapat potensi jalur perpindahan logam berat ini terhadap makhluk hidup sekitarnya.	

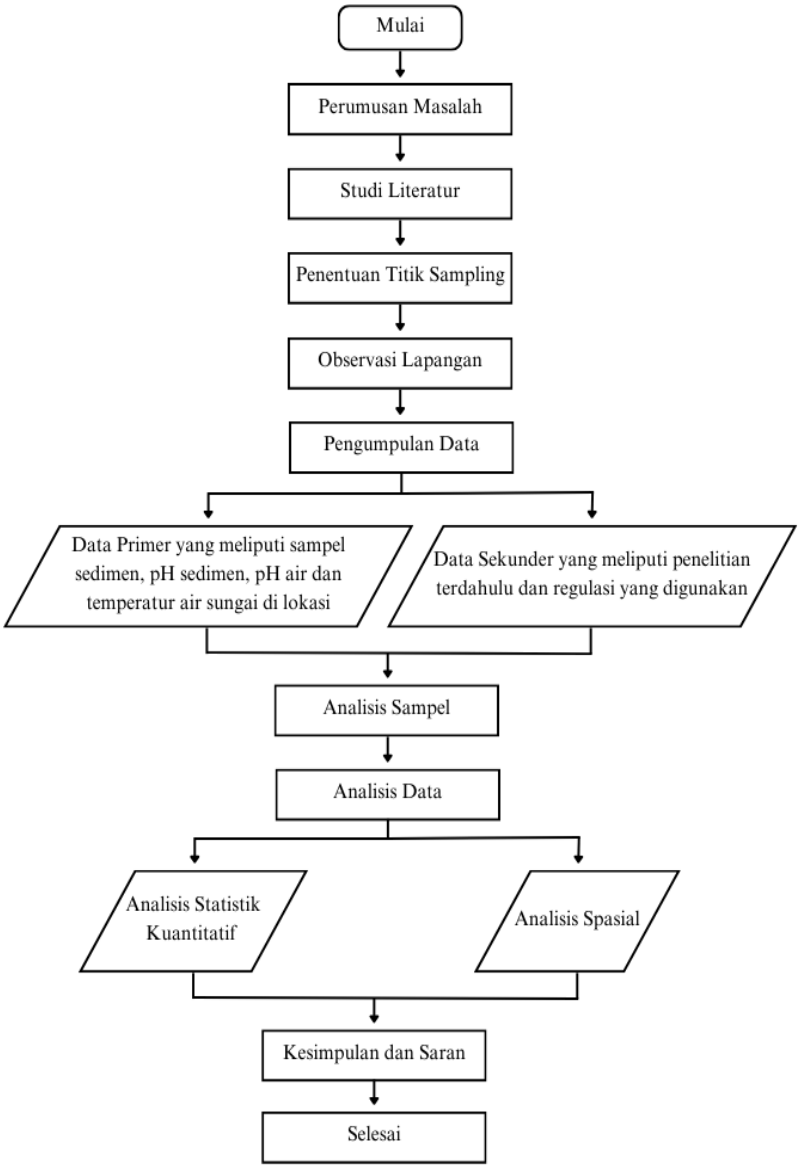
No	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Sumber
5	Analisis Kandungan Mikroplastik pada Sedimen di Perairan Semarang, Jawa Tengah	Sampel sedimen diambil pada Perairan Semarang, Jawa Tengah dengan *Purposive Sampling* pada 3 titik dengan alat sediment grab. Sampel dikeringkan secara alamiah dengan sinar matahari selama 3 hari beturut-turut hingga kering. Sampel sedimen kering disaring berdasarkan butir lalu kemudian sedimen tertahan pada ukuran 0,3; 0,15; dan 0,075 mm dipisahkan untuk kemudian dilakukan pemisahan densitas. Pemisahan densitas dilakukan dengan menggunakan 100 mL ZnCl2 terhadap 50 gram sampel lalu diaduk selama 3 menit dan ditutup alumunium foil dan didiamkan selama 24 jam. Hasil filtrat kemudian ditambahkan H2O2 30% sebanyak 50 mL dan diaduk selama 3 menit secara merata. Kemudian dilakukan penyaringan dengan kartis saring menggunakan *Vacuum pump*. Pengamatan	Diperoleh mikroplastik berdasarkan bentuknya adalah jenis *Fragment*, *Pellet*, *Film*, dan *Fiber* sedangkan berdasarkan warna diperoleh warna hitam, cokelat, merah, kuning, putih, hijau, dan ungu. Berdasarkan bulan, kelimpahan mikroplastik paling banyak pada bulan April yaitu sebanyak 2.577 partikel sedangkan paling sedikit adalah 1.858 partikel/kg pada bulan Agustus. Kelimpahan mikroplastik dalam sedimen disebabkan karena mikroplastik yang dapat mengendap di sedimen karena transpor massa.	Ibrahim dkk., (2023)

No	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Sumber
		dilakukan dengan mikroskop stereo dengan perbsesaran 400x.		
6	*Initial Investigation of Microplastic Pollution in River Sediments at Yogyakarta City Indonesia*	Sampel sedimen diambil pada 3 Sungai Winongo, Code, dan Gadjahwong menggunakan pipa besi dengan ukuran 4 inch dan tinggi 10 cm lalu diletakkan pada botol kaca dan disimpan pada $4^{\circ}C$. Dilakukan pengukuran kecepatan air, suhu air, pH air, CO2 dan O2 terlarut serta intensitas cahaya. Sampel sedimen kemudian disaring dengan saringan berukuran 5 mm lalu kemudian sampel dikeringkan pada oven dengan suhu $10^{\circ}C$ selama 48 jam. Pemisahan densitas dilakukan dengan larutan NaCl sebanyak 3 liter untuk 1 Kg sampel sedimen. Supernatan yang diperoleh kemudian disaring menggunakan kertas saring dan mikroplastik diidentifikasi menggunakan mikroskop binokuler, Optilab, dan aplikasi raster image untuk melihat bentuk, ukuran, dan warna.	Diperoleh hasil kelimpahan mikroplastik terhadap tiga sungai besar di Kota Yogyakarta yaitu Sungai WInongo, Sungai Code, dan Sungai Gadjahwong dengan kelimpahan dalam rentang 279,31 hingga 1.026,93 partikel/kg. Sedimen Sungai Code memiliki kelimpahan terbanyak dibandingkan kedua sungai lainnya. Sebagian besar MPs yang ditemukan dalam bentuk *Fragment* dan berwarna transparan. Diduga pencemaran mikroplastik ini berasal dari limbah yang dihasilkan dari penduduk sekitar sungai seperti botol plastik dan pembungkus makanan atau minuman.	Utami dkk., (2021)

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari perumusan masalah, studi literatur, penentuan titik pengambilan sampel sedimen, observasi titik pengambilan sampel untuk menentukan keamanan akses pengambilan sampel dan kondisi wilayah sekitar. Setelah observasi lapangan dilakukan pengumpulan data yang terbagi menjadi data primer dan data sekunder lalu dilakukan analisis sampel terhadap sampel sedimen kemudian data yang diperoleh dianalisis secara statistik kuantitatif dan spasial lalu dari hasil analisis data akan diperoleh Kesimpulan penelitian dan saran dari penelitian yang telah dilakukan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Pengambilan Sampel

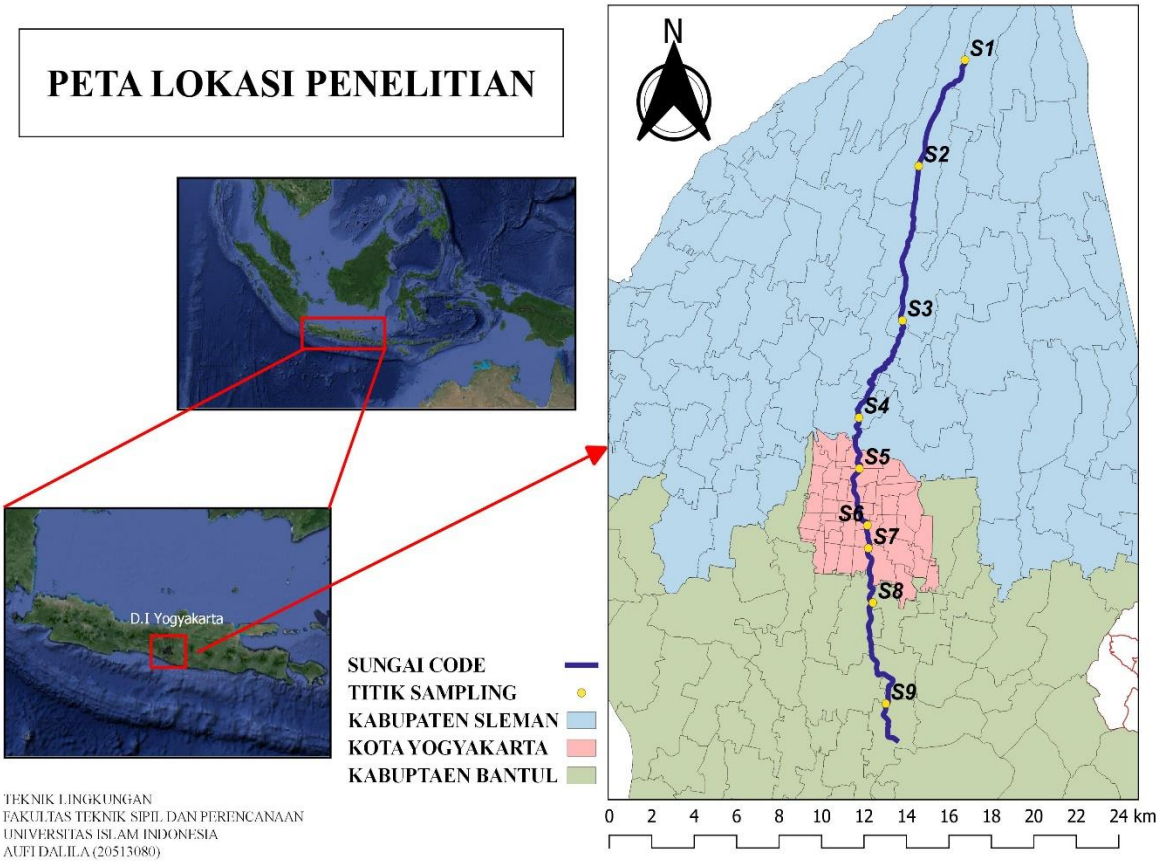
Sampel yang akan dianalisa merupakan sedimen pada Sungai Code dengan 9 titik pengambilan sampel. Pemilihan lokasi dalam pengambilan sampel mewakili bagian hulu yang dimana tata guna lahan masih banyak didominasi oleh lahan pertanian dan sedikit aktivitas rumah tangga dan kegiatan industri, bagian tengah memiliki tata guna lahan yang padat akan pemukiman penduduk dan kegiatan industri, dan bagian hilir hampir sama dengan bagian hulu dimana tata guna lahan didominasi oleh lahan pertanian dan sedikit aktivitas rumah tangga dan industri. Akses pengambilan sampel serta faktor keamanan dan keselamatan juga menjadi pertimbangan dalam pemilihan lokasi titik sampling yang dimana hal ini diketahui melalui observasi lapangan.

Pengambilan sampel dilakukan pada 9 titik di sepanjang Sungai Code. Lokasi penelitian berada di Sungai Code, Yogyakarta yang dimana aliran dari Sungai Code melintasi tiga kabupaten/kota yaitu Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Waktu pelaksanaan sampling dilaksanakan selama 3 hari pada bulan Maret yang dimana kondisi cuaca merupakan peralihan dari musim kemarau panjang menuju musim hujan. 9 titik yang dijadikan sebagai titik pengambilan sampel sedimen di Sungai Code, Yogyakarta yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Sungai Code

Titik Sampling	Lokasi	Latitude	Longitude
S1	Jembatan Gantung Boyong	-7.615822	110.415740
S2	Jembatan Pulowatu	-7.659247	110.396264
S3	Jembatan Ngentak	-7.722594	110.389194
S4	Jembatan Ir.Wreksodiningrat	-7.762392	110.370637
S5	Jembatan Kali Code Jalan Kleringan	-7.789683	110.368801
S6	Bendungan Mergangsan	-7.806044	110.374271
S7	Jembatan Tungkak	-7.815390	110.374632
S8	Bangunharjo, Sewon	-7.837950	110.376516
S9	Jembatan Ponggok	-7.878871	110.382175

Lokasi titik sampling disajikan dalam Peta Titik Sampling Sedimen Sungai Code Yogyakarta (Gambar 3.2) yang dibuat menggunakan aplikasi berupa QGIS atau *Quantum Geographic Information System* versi 3.20.3.



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen di Sungai Code, Daerah Istimewa Yogyakarta

3.3 Pengumpulan Data

Data primer dan data sekunder merupakan data yang akan digunakan dalam penelitian ini. Data primer meliputi data atau hasil yang diperoleh dari analisis secara langsung dan analisis secara laboratorium sedangkan data sekunder yang digunakan merupakan data berupa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dan beberapa standar acuan seperti standar baku mutu dan standar acuan metode pengukuran.

3.3.1 Data Sekunder

Dilakukan pengumpulan data sekunder berupa studi literatur terkait dengan penelitian terdahulu mengenai logam berat yang dominan pada sedimen Sungai Code untuk menentukan parameter logam berat apa yang akan diukur pada penelitian ini serta regulasi atau acuan yang akan digunakan dalam penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan membaca dan mencatat beberapa literatur bacaan terbaru mengenai konsentrasi logam berat di sedimen Sungai Code lalu kemudian akan diambil 3 logam berat dominan di Sungai Code dari literatur tersebut yang akan digunakan. Terdapat dua literatur yang digunakan yaitu Tugas Akhir Pengaruh Hujan terhadap Konsentrasi Logam dalam Sedimen Sungai Code yang dilakukan oleh Biaggi, (2022)

dan Tugas Akhir Analisis Potential Ecological Risk (PER) Berdasarkan Logam Berat dalam Sedimen di Sungai Code, Yogyakarta oleh Hasti, (2020). Penelitian yang dilakukan oleh Hasti, (2020) adalah membandingkan konsentrasi logam berat yang diperoleh dengan panduan baku mutu logam berat dari CCME 2001 diperoleh 3 logam dominan di sedimen Sungai Code adalah Fe, Mn, dan Cu dengan kandungan Cu 32,86 mg/kg, Fe 7197,89 mg/kg dan Mn 230,11 mg/kg. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Biaggi, (2022) dengan membandingkan konsentrasi logam berat yang diperoleh dengan panduan baku mutu logam berat dari KLH ontario diperoleh 3 logam dominan yang ada di sedimen Sungai Code adalah Mn, Cu, dan Fe dengan kandungan Mn 252,1 mg/kg, Cu 15,89 mg/kg, dan Fe 1629,3 mg/kg.

Adapun beberapa standar acuan dan metode yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Standar Acuan dan Metode yang Digunakan

Parameter	Acuan	Metode/Alat	Pengukuran
Mikroplastik	Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments, NOAA	Metode pemisahan densitas dengan larutan garam yang memiliki densitas lebih besar dari plastik (0,1 – 1,7 g/cm3) sehingga dapat mengekstraksi mikroplastik dari sedimen. Dilakukan juga Metode WPO untuk menghilangkan senyawa pengotor pada permukaan mikroplastik. Mikroplastik diamati dengan Mikroskop Trinokuler	Laboratorium
	He, dkk. (2020b) 'Influence of Microplastics on Nutrient and Metal Concentrations in River Sediments', Environmental Pollution, 263, p. 114490 dan Xu, dkk. (2020) 'Microplastics in Sediments from an Interconnected River-Estuary Region', Science of the Total Environment, 729, p. 139025	Metode pemisahan densitas menggunakan larutan $ZnCl_2$ karena larutan ini memiliki densitas 1,6 g/cm3 yang mampu mengekstraksi mikroplastik dengan densitas yang relatif tinggi seperti PVC dan PET. Polimer mikroplastik dianalisis menggunakan alat FT-IR	Laboratorium

Parameter	Acuan	Metode/Alat	Pengukuran
	Ibrahim, dkk., (2023) 'Analisis Kandungan Mikroplastik pada Sedimen di Perairan Semarang, Jawa Tengah', Journal of Marine Research, 12(1), pp. 144–150. doi:10.14710/jmr.v12i1.36506	Ekstraksi mikroplastik dengan metode pemisahan densitas menggunakan larutan ZnCl2 yang direndam dengan sampel lalu diaduk selama 3 menit dan didiamkan 24 jam dengan ditutup alumunium foil	Laboratorium
Logam Berat			
Besi (Fe)	SNI 6989.4-2009	Destruksi asam dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	Laboratorium
Tembaga (Cu)	SNI 06-6992.5-2004	Destruksi asam dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	Laboratorium
Mangan (Mn)	SNI 06-6992.7-2004	Destruksi asam dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)	Laboratorium
Kimia			
pH sedimen	-	pH meter tanah portable laboratorium	*In Situ*
pH Air Sungai	SNI 6989.11-2019	pH meter portable laboratorium merk Horiba Laqua Act pH-130	*In Situ*
Fisika			
Suhu Air Sungai	SNI 6989.11-2019	pH meter portable laboratorium merk Horiba Laqua Act pH-130	*In Situ*

3.3.2 Pengumpulan Data Primer

Pengambilan sampel sedimen sungai untuk pengujian MPs dilakukan dengan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh He dkk., (2020b) dengan modifikasi. Sampel sedimen sungai untuk pengujian MPs diambil menggunakan sekop dengan kedalaman 0 – 3 cm lalu disimpan di dalam *ziplock* alumunium yang sudah diberi label lalu disimpan pada *coolbox* dan tidak perlu dilakukan proses pengawetan dikarenakan sifat mikroplastik yang lama terdegradasi. Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada bagian tikungan dalam sungai dengan asumsi bahwa akumulasi sedimen terjadi paling banyak pada area tersebut karena terjadi proses sedimentasi paling besar. Azwarman, (2013) juga menyebutkan bahwa penimbunan sedimen paling besar terjadi pada bagian dalam tikungan sungai. Sampel sedimen

yang telah diambil dikurangi volume airnya dengan proses dekantasi. Selanjutnya pengambilan sampel sedimen untuk pengujian logam berat diambil menggunakan sekop plastik dan disimpan di plastik *ziplock* ukuran 1 Kg lalu disimpan pada *coolbox*.



Gambar 3. 3 Pengambilan Sampel Sedimen Sungai Code

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Adapun kondisi cuaca pada saat pengambilan sampel dan juga parameter lapangan berupa pH sedimen, pH air, dan suhu air disajikan dalam **Tabel 3.3** dan **Tabel 3.4** yaitu sebagai berikut

Tabel 3. 3 Kondisi Cuaca Saat Pelaksanaan Sampling

Sampling Ke-	Waktu Sampling	Titik Sampling	Rentang Waktu	Kondisi Cuaca
1	8 Maret 2024	S1	08.40 – 09.30	Tidak Hujan
		S2	11.49 – 11.59	Tidak Hujan
		S4	16.03 – 16.30	Tidak Hujan
2	10 Maret 2024	S3	10.57 – 11.19	Tidak Hujan
		S5	14.31 – 14.57	Tidak Hujan
		S6	16.16 – 16.58	Tidak Hujan
3	11 Maret 2024	S7	10.50 – 11.11	Tidak Hujan
		S8	12.20 – 12.38	Tidak Hujan
		S9	16.26 – 16.38	Tidak Hujan

Tabel 3. 4 Parameter Lapangan

No	Titik Sampling	pH Sedimen	pH Air	Suhu Air
1	S1	7	8,2	26,7 °C
2	S2	7	6,8	29,6 °C
3	S3	7	8,3	25,5 °C
4	S4	7	7,86	28,7 °C
5	S5	7	8,08	27,7 °C
6	S6	7	7,88	27,8 °C
7	S7	7	8	30,9 °C
8	S8	7	7,82	30,0 °C
9	S9	7	7,67	29,0 °C

3.4 Analisis Sampel

Dilakukan tiga prosedur analisis sampel yaitu analisis mikroplastik pada sedimen, analisis logam berat pada mikroplastik dan analisis logam berat pada sampel sedimen.

A. Sampel Pengujian Mikroplastik

Metode Analisis Sampel menggunakan acuan dari National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) oleh Masura, J dkk., (2015) tentang *Laboratory Methods for The Analysis of Microplastic in The Marine Environment* yang dimodifikasi.

a. Preparasi Sampel Pengujian Mikroplastik

1) Pengeringan Sedimen Basah

Pengeringan sedimen dilakukan dengan modifikasi dari NOAA dikarenakan pengeringan dilakukan secara alamiah pada suhu ruang hingga sampel kering untuk mencegah kerusakan mikroplastik karena dapat meleleh. Pengeringan sampel dengan suhu ruang dilakukan selama kurang lebih 7 hingga 8 hari seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 Sampel yang sudah kering kemudian dipindahkan menggunakan sendok kayu untuk mencegah kontaminasi dengan berbahan plastik lalu kemudian disimpan kembali pada *ziplock* alumunium yang baru. Selain itu, untuk menghindari kontaminasi terhadap mikroplastik dari udara, pengeringan dilakukan pada area yang sepi dan bukan tempat berlalu lalang.



(a) **(b)**

Gambar 3. 4 Pengeringan Sedimen Basah Secara Alamiah

(a) Sampel Sedimen di Wadah Sebelum Dikeringkan dan (b) Sampel Saat Dikeringkan

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2) Pengayakan Kering (*Dry Sieving*)

Setelah sampel sedimen dikeringkan, sedimen kemudian diayak menggunakan alat berupa *sieve stainless* merk KZM dengan ukuran mesh 4,77 mm untuk memisahkan dan juga mengurangi volume sedimen. Proses pengayakan yang dilakukan merupakan modifikasi dari NOAA dengan metode yang berbeda yaitu pengayakan kering bukan pengayakan basah dan ukuran ayakan yang berbeda pula. Ukuran mesh 4,77 mm digunakan untuk memisahkan mikroplastik dan makroplastik karena mikroplastik berukuran ≤ 5 mm. Hasil ayakan atau partikel yang lolos diletakkan ke wadah *ziplock* alumunium untuk kemudian dibawa ke laboratorium untuk pengujian selanjutnya. Proses pengayakan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini:



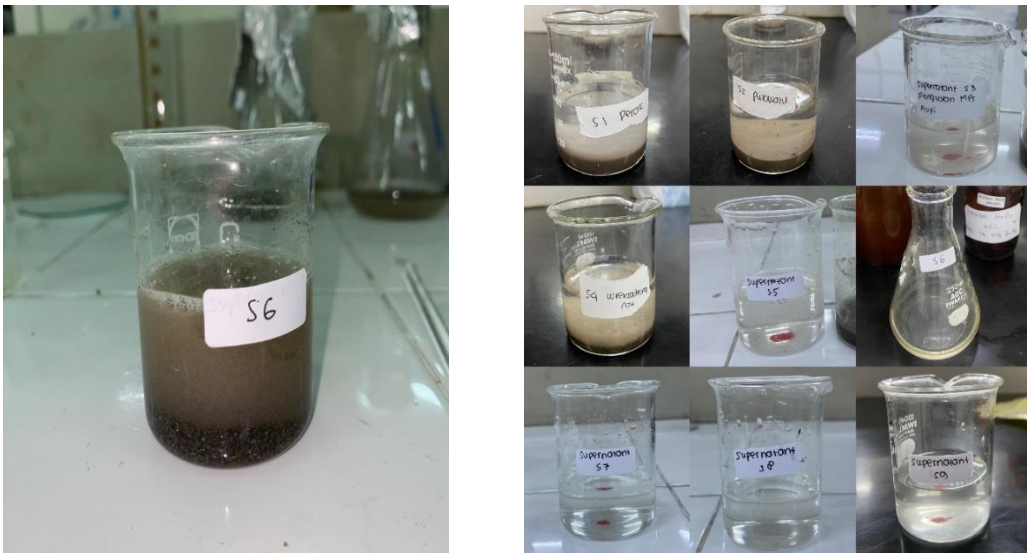
Gambar 3. 5 Pengayakan Sampel

Sumber: Dokumentasi Pribadi

3) Pemisahan Densitas Mikroplastik

Sampel sedimen yang sudah dilakukan proses pengayakan kemudian dilakukan proses ekstraksi mikroplastik modifikasi dari metode NOAA yaitu dengan menggunakan larutan $ZnCl_2$ (1,6 g/mL). Larutan $ZnCl_2$ dipilih karena larutan ini merupakan larutan yang optimum dalam metode ekstraksi mikroplastik dan digunakan untuk mengisolasi mikroplastik di sedimen serta dapat digunakan untuk mengekstraksi mikroplastik yang memiliki densitas tinggi sperti PVC dan PET.

Sampel sedimen yang sudah kering ditimbang sebanyak 20 gr pada timbangan analitik merk Ohaus Tipe PA 214 yang dimana alat ini terakhir kali dikalibrasi pada tanggal 1 Agustus 2019. Sampel kemudian disuspensikan ke dalam larutan $ZnCl_2$ (mL/gram) yang telah dibuat dengan perbandingan 1:10 yang dimana untuk 5 gram $ZnCl_2$ diperlukan 50 mL aquades. Setelah ditambahkan larutan $ZnCl_2$ selanjutnya adalah dilakukan pengadukan menggunakan batang pengaduk selama 3 menit seperti pada Gambar 3.6 (a) lalu ditutup dengan alumunium foil untuk mencegah kontaminasi dari udara dan didiamkan selama 24 jam agar mikroplastik mengambang keatas kemudian setelah 24 jam diperoleh supernatan jernih yang mengandung mikroplastik dan kemudian dipindahkan ke gelas beaker ukuran 100 mL seperti yang terlihat pada Gambar 3.6 (b)



(a) **(b)**

Gambar 3. 6 Proses *Density Separation*

(a) Penambahan dan Pengadukan Sampel dengan $ZnCl_2$ Hingga Jenuh dan (b) Supernatan yang Telah Dipisahkan dari Endapan

Sumber: Dokumentasi Pribadi

4) *Wet Peroxide Oxydation* (WPO)

Selanjutnya dilakukan proses WPO (*Wet Peroxide Oxydation*) yang merupakan metode *digesting* untuk menghancurkan material organik dan metode WPO yang dilakukan mengacu kepada NOAA dengan modifikasi. Metode WPO menggunakan dua larutan yaitu larutan Fe (II) 20 mL 0,05 M dan larutan Hidrogen Peroksida 30% yang dapat dilihat pada Gambar 3.7 (a) sehingga partikel mikroplastik dan endapan organik dapat terpisah. Larutan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) 30% dan Fe (II) 0,05 M digunakan dalam proses WPO dimana larutan Fe (II) 0,05 M bekerja sebagai katalis untuk mempercepat reaksi namun katalis tidak mempengaruhi produk karena tidak ikut bereaksi dan mengalami perubahan kimiawi (Setyaningsih, 2017). Hidrogen Peroksida sebagai oksidator yang kuat dalam konsentrasi rendah memiliki kinetika reaksi yang lambat untuk mendegradasi kontaminan organik sehingga dibutuhkan katalis (Mainita dan Dewata, 2024). Larutan Fe (II) 0,05 M dan Larutan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) 30% dibuat terlebih dahulu sesuai dengan kebutuhan pengujian dan perhitungan kebutuhan kedua larutan ini terlampir dalam Lampiran 3. Dibutuhkan 20 mL Fe (II) 0,05 M tiap sampel, sehingga untuk 9 sampel pengujian dibutuhkan 180 mL Fe (II) 0,05 M. Ferro Sulfat Hepatihidrat yang digunakan dalam pengujian ini adalah Pro Analisa (PA) yang diproduksi oleh MERCK. Selain itu, larutan Hidrogen Peroksida 30% dibuat dengan melakukan pengenceran terhadap larutan Hidrogen Peroksida 50%.

Proses WPO dilakukan dengan modifikasi dari NOAA dengan Ding dkk., (2019) yang dimana proses ini akan dilakukan selama 24 jam dengan suhu pemanasan 60℃ dan kecepatan pengadukan 100 rpm. Temperatur yang efektif dalam menghilangkan kandungan organik menggunakan WPO adalah 60℃ karena dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan apabila suhu >60℃ beberapa polimer plastik seperti PA dan PE dapat meleleh serta suhu 60℃ juga efektif terhadap katalis yang digunakan (Kye dkk., 2023). Proses WPO dari kesembilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.7 (b)



(a) **(b)**

Gambar 3. 7 Proses Wet Peroxide Oxydation

(a) Penambahan H_2O_2 30% dan Fe (II) 0,05 M dan (b) Proses WPO Sampel Mikroplastik

Sumber: Dokumentasi Pribadi

5) Pemisahan Densitas

Hasil proses WPO menghasilkan larutan berwarna kuning dengan adanya endapan kuning karena penambahan Fe (II) 20 mL 0,05 M yang dimana endapan ini dapat mengganggu proses pengamatan dengan menggunakan mikroskop pada kertas saring. Oleh karena itu, untuk memisahkan larutan WPO dengan endapan kuning dilakukan pemisahan berdasarkan massa jenis dengan menggunakan alat berupa Centrifuge Gemmy model PLC-03 selama 10 menit lalu kemudian larutan yang jernih dipisahkan dengan endapannya secara hati-hati ke erlenmeyer menggunakan pipet ukur seperti pada Gambar 3.8 (a) dan (b)



(a) **(b)**

Gambar 3. 8 Proses Centrifuge

(a) Proses *Centrifuge* dan (b) Larutan Jernih dan Endapan Hasil *Centrifuge*

Sumber: Dokumentasi Pribadi

6) Penyaringan

Hasil dari proses *centrifuge* larutan WPO kemudian dituangkan ke kertas saring Glass Microfiber (GF/B) Whatman CAT No. 11821 – 047 yang berada di mulut erlenmeyer 500 ml dengan *Vacuum Pump* Rocker 300 untuk mempercepat proses penyaringan, lalu ditunggu sampai larutan melewati kertas saring selama 15 menit atau hingga tidak terlihat lagi adanya tetesan pada erlenmeyer. Tahap terakhir adalah menunggu kertas saring tidak terlalu basah lalu di bagi menjadi 4 kuadran untuk mempermudah pengamatan di bawah mikroskop. Proses penyaringan dapat dilihat pada Gambar 3.9.



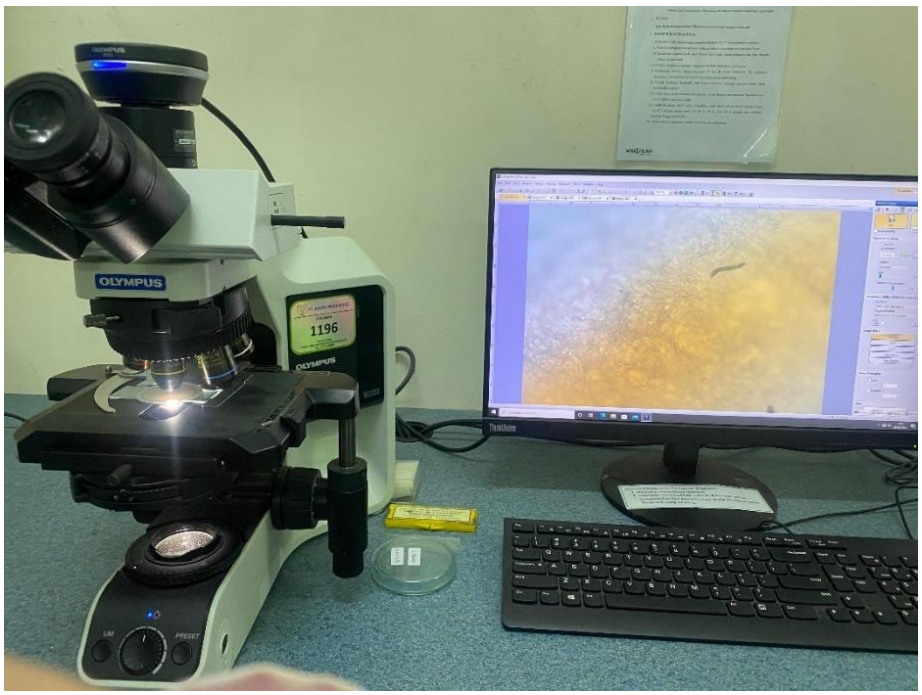
Gambar 3. 9 Proses Penyaringan Sampel

Sumber: Dokumentasi Pribadi

b. Analisis Sampel Mikroplastik

1) Pengamatan dengan Mikroskop

Analisis sampel mikroplastik dilakukan dengan menggunakan mikroskop untuk pengamatan bentuk dan warna. Mikroskop yang digunakan adalah Mikrosop Trinokuler Olympus U-TV0.5XC-3 dan dibantu oleh *Software* berupa *cellSens Standard* untuk melihat gambar melalui komputer. Analisis dilakukan dengan menempatkan sampel diatas kaca preparat dan mengatur fokus dan perbesaran mikroskop mulai dari 4x, 10x, 40x, hingga 100x sesuai kebutuhan. Sampel dapat dilihat dan diamati sesuai dengan kuadran yang telah digambar pada sampel. Hasil pengamatan menggunakan mikroskop bertujuan untuk mengumpulkan data berupa jumlah, jenis, ukuran, dan warna mikroplastik seperti yang terlihat Gambar 3.10. Mikroplastik yang telah diperoleh kemudian diukur menggunakan aplikasi *Raster Image*.



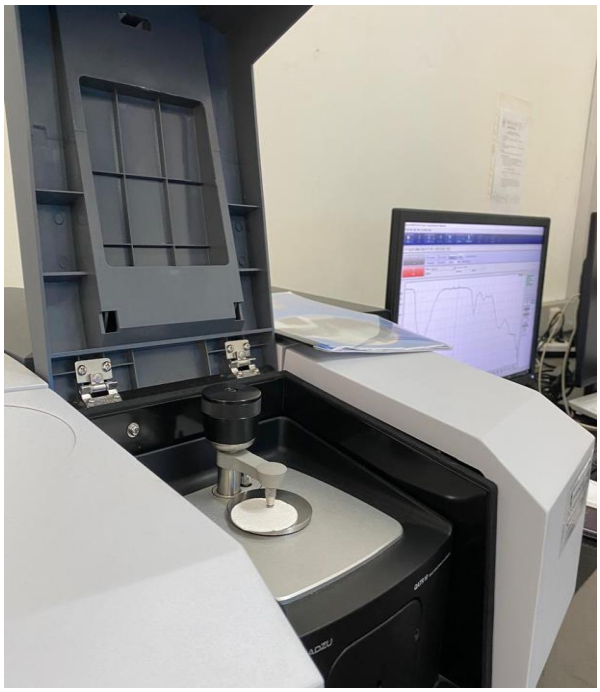
Gambar 3. 10 Pengamatan Sampel Menggunakan Mikroskop

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2) Pengujian FT-IR (*Fourier-Transform Infrared Spectrostocopy*)

Pengujian sampel menggunakan FT-IR dilakukan agar dapat mengetahui unsur kimia atau polimer yang terkandung pada mikroplastik. Untuk melakukan analisis sampel menggunakan FT-IR dilakukan dengan menempatkan sampel ke dalam *sample compartement*. Kemudian detektor pada FT-IR diputar hingga menempel pada sampel atau hingga berbunyi '*click*'. Sampel lalu dibaca melalui sinar inframerah yang ditransmisikan dari permukaan sampel. Sinar yang dipantulkan akan menuju detektor untuk pengukuran akhir dan mengubah

sinar menjadi sinyal listrik yang dapat direkam oleh *recorder*. Hasil pengukuran FT-IR dapat berupa grafik intensitas dan unsur kimia yang terekam dan disimpan pada *software* komputer. Proses FT-IR dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Analisis Sampel Menggunakan FT-IR

Sumber: Dokumentasi Pribadi

B. Sampel Pengujian Logam Berat

a) Preparasi Sampel Mikroplastik

Pengujian logam berat dilakukan terhadap 3 jenis logam berat dominan di Sungai Code yaitu logam Besi (Fe), mangan (Mn), dan Tembaga (Cu). Preparasi sampel mikroplastik untuk pengujian kandungan logam berat pada sedimen Sungai Code dilakukan menggunakan destruksi asam. Destruksi asam merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghasilkan larutan yang digunakan untuk mengukur kandungan logam berat di lingkungan dengan cara melarutkan contoh uji dengan asam kuat dan dipanaskan (Rodiana dkk., 2013). Larutan asam yang digunakan dalam proses destruksi ini adalah Asam Nitrat (HNO3) pekat 65% Pro Analisa (PA) yang diproduksi oleh MERCK. Tahapan preparasi sampel pengujian Logam berat pada mikroplastik adalah terdiri dari penimbangan kertas saring Glass Microfiber (GF/B) Whatman CAT No. 11821 – 047.

1) Preparasi Sampel

Kertas saring Whattman untuk pengujian MPs ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat kertas saring. Selanjutnya, sampel mikroplastik yang berada di kertas saring Whattman dikeringkan dan kemudian ditimbang berat akhir kertas saring. Sampel kemudian

dipotong menjadi kecil-kecil agar permukaan kertas saring yang mengandung mikroplastik dapat terdestruksi dengan maksimal. Preparasi sampel mikroplastik dapat dilihat pada Gambar 3.12



(a) **(b)**

Gambar 3. 12 Proses Preparasi Sampel Pengujian Logam Berat pada Mikroplastik

(a) Penimbangan Sampel dan (b) Mikroplastik yang Telah Dipotong

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2) Destruksi dan Penyaringan

Sampel ditambahkan 25 mL air suling dan 5 – 10 mL asam nitrat lalu diaduk hingga tercampur rata. Erlenmeyer diletakkan diatas hot plate dengan suhu $120°C - 200°C$ hingga larutan berkurang menjadi 10 mL lalu diangkat dan didinginkan. Volume sampel diukur menggunakan gelas ukur sebanyak 10 mL lalu cairan yang diperoleh kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman Cat No. 1001-125 untuk menghilangkan partikel halus. Hasil filtrasi di labu ukur 50 mL ditambahkan air suling sebanyak hingga tanda tera lalu dimasukkan ke vial untuk analisis menggunakan SSA. Proses destruksi dan penyaringan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.13



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. 13 Proses Destruksi dan Penyaringan Pengujian Logam Berat Sampel Mikroplastik

(a) Proses Destruksi, (b) Penyaringan Sampel dan (c) Filtrat

Sumber: Dokumentasi Pribadi

b) Preparasi Sampel Sedimen

Pengujian logam berat dilakukan terhadap 3 jenis logam berat dominan di Sungai Code yaitu logam Besi (Fe), Mangan (Mn), dan Tembaga (Cu). Preparasi sampel sedimen untuk pengujian kandungan logam berat pada sedimen Sungai Code dilakukan menggunakan acuan dan metode dari Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang pengujian logam berat secara destruksi asam menggunakan metode Spektrofotometer Serapan Atom atau SSA.

1) Preparasi Sampel

Sampel dikeringkan pada suhu ruang selama kurang lebih 7 hari sejak pengambilan sampel seperti pada Gambar 3.14 (a). Selanjutnya, untuk menghomogenkan ukuran sampel, dilakukan proses pengayakan menggunakan alat *sieve shaker* dengan ayakan USA Standard Testing Sieve No.100 dengan pori 150 mm sedangkan *sieve shaker* yang digunakan adalah TATONAS TA-515 (Gambar 3.14 (b)).



(a) **(b)**

Gambar 3. 14 Preparasi Sampel Pengujian Logam Berat di Sedimen
(a) Pengeringan Sampel Sedimen dan (b) Pengayakan Sampel Sedimen
Sumber: Dokumentasi Pribadi

2) Destruksi Asam

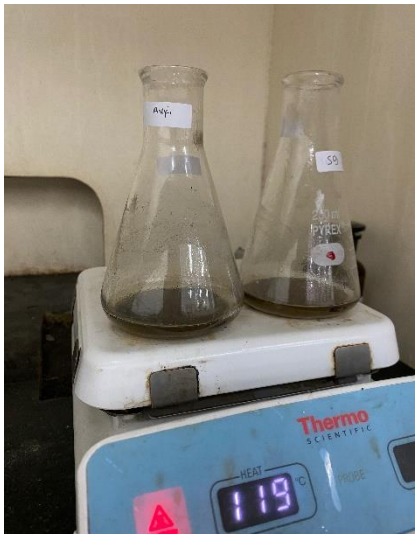
Sampel ditimbang seberat 3 gram pada timbangan analitik merk Ohaus Tipe PA 214 yang terakhir dikalibrasi pada tanggal 1 Agustus 2019. Sampel sedimen sebanyak 3 gram kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL lalu ditambahkan air suling sebanyak 25 mL dan diaduk menggunakan batang pengaduk. Selanjutnya ditambahkan 5 hingga 10 mL asam nitrat (HNO3) pekat 65% lalu diaduk hingga tercampur rata. Asam nitrat yang digunakan pada pengujian ini adalah HNO3 65% Pro Analisa (PA) yang diproduksi oleh MERCK. Erlenmeyer diletakkan diatas hot plate dengan suhu $120°C - 200°C$ hingga larutan berkurang menjadi 10 mL dan larutan uji menjadi jernih lalu diangkat dan didinginkan. Proses destruksi asam dapat dilihat pada Gambar 3.15 (a), (b), dan (c)



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. 15 Proses Destruksi Pengujian Logam Berat Sampel Sedimen

(a) Penimbangan Sampel, (b) Penambahan Aquades dan HNO3 dan (c) Destruksi Asam

Sumber: Dokumentasi Pribadi

3) Penyaringan Sampel

Volume sampel diukur menggunakan gelas ukur sebanyak 10 mL lalu disaring menggunakan kertas saring Whatman Cat No. 1001-125 lalu ditempatkan filtrat contoh uji di labu ukur 50 mL lalu ditambahkan air suling hingga tanda tera. Filtrat contoh uji dimasukkan ke dalam vial lalu disimpan di kulkas untuk kemudian siap diukur ke dalam SSA. Proses penyaringan dapat dilihat pada Gambar 3.16 (a) dan (b).



(a) **(b)**

Gambar 3. 16 Proses Penyaringan Pengujian Logam Berat Sampel Sedimen
(a) Proses Filtrasi dan (b) Filtrat
Sumber: Dokumentasi Pribadi

c) Analisis Sampel Pengujian Logam Berat dengan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom)

Analisis Logam Berat menggunakan alat berupa Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merk GBC yang dimana alat ini selalu dikalibrasi pada saat sebelum analisis sampel dilakukan. Analisa logam berat dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometrik Serapan Atom (SSA) yang didasarkan pada hukum Lambert-Beer, yaitu banyaknya sinar yang diserap berbanding lurus dengan kadar zat. Oleh karena yang mengabsorpsi sinar adalah atom, maka ion atau senyawa logam berat harus diubah menjadi bentuk atom. Larutan standar sampel dimasukkan dalam tabung reaksi yang tersedia pada alat SSA, dilakukan pengaturan pada computer alat SSA penggunanya, dihidupkan api dan lampu katoda SSA, posisi lampu juga diatur untuk memperoleh serapan maksimum. Kemudian diaspirasi larutan standar ke dalam nyala udara asitelin, penunjukan hasil bacaan pengukuran harus nol. Secara berturut-turut larutan baku dianalisis menggunakan SSA, hasil pengukuran serapan atom akan dicatat kemudian dihitung untuk mendapatkan konsentrasi logam pada larutan contoh.



Gambar 3. 17 Pengujian SSA Sampel Sedimen dan Sampel Logam Berat

Sumber: Dokumentasi Pribadi

3.5 Analisis Data

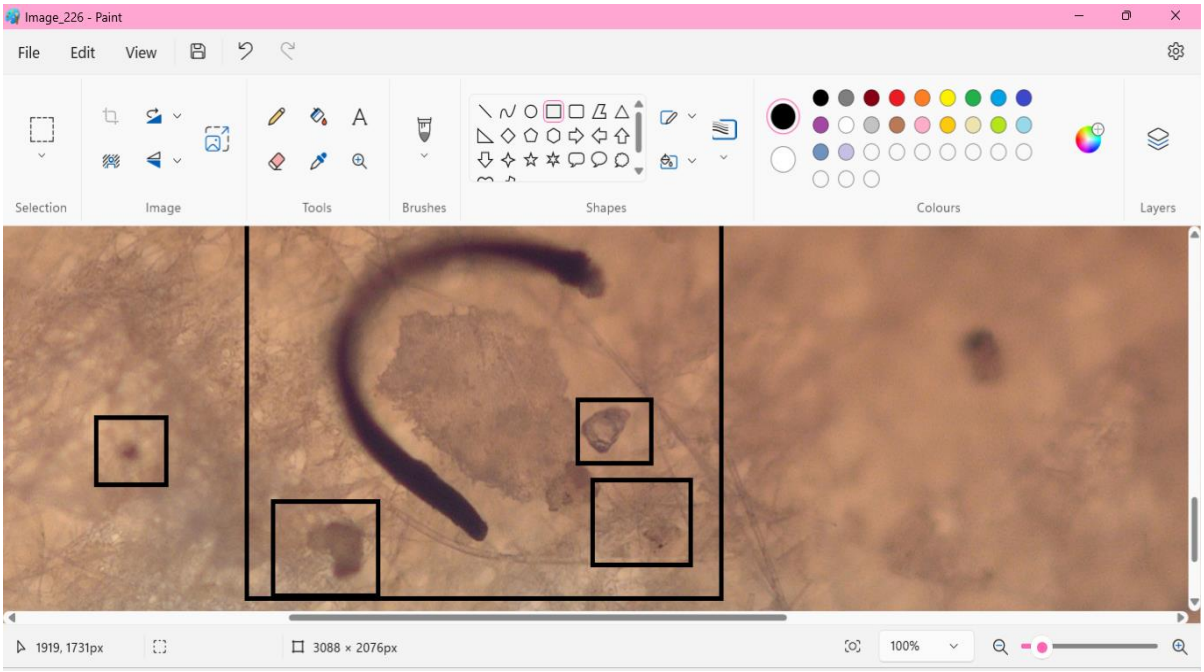
Analisis data merupakan suatu proses penelitian yang dilakukan untuk memecahkan permasalahan yang sedang diteliti setelah data yang diperoleh atau yang dibutuhkan sudah lengkap. Analisis data juga digunakan agar kesimpulan yang diambil dapat akurat dan tepat. Teknik analisis data yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan analisis kuantitatif yang menggunakan analisis statistik serta analisis secara spasial. Sampel mikroplastik dan sampel logam berat akan dianalisis menggunakan statistik deskriptif sedangkan statistik inferensial digunakan untuk melihat hubungan antara konsentrasi logam berat pada sedimen dan konsentrasi logam berat pada mikroplastik.

A. Analisis Data Statistik Deskriptif

Analisis data secara statistik deskriptif digunakan untuk menganalisis data dari sampel mikroplastik serta sampel logam berat.

1. Mikroplastik pada Sedimen

Analisis data mikroplastik dilakukan berdasarkan persebaran jumlah kelimpahan, bentuk, warna, dan jenis pada sampel yang telah dianalisis sebelumnya. Jumlah partikel mikroplastik berdasarkan bentuk, dan warna dihitung secara manual dengan pengamatan menggunakan mikroskop. Oleh karena itu, untuk meminimalisir kesalahan dalam perhitungan dan pengamatan digunakan aplikasi *Paint* untuk menandai partikel-partikel mikroplastik yang terdapat pada gambar dari hasil pengamatan mikroskop seperti pada Gambar 3.18

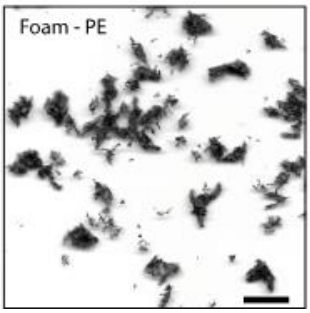


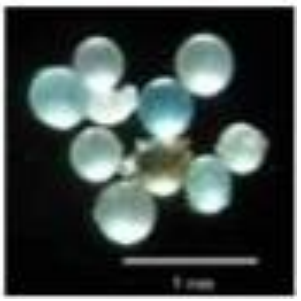
Gambar 3. 18 Penandaan Mikroplastik dengan Aplikasi *Paint*

Klasifikasi bentuk mikroplastik yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi 6 kategori yaitu *Fragment*, *Film*, *Fiber*, *Filament*, *Foam*, dan *Pellet*. Kategori yang digunakan mengacu kepada GESAMP, (2019) dan Tanaka dan Takada, (2016) dimana GESAMP, (2019) mengklasifikasikan bentuk mikroplastik menjadi 5 kategori yaitu *Fragment*, *Foam*/Busa, *Film*, Serat/*Line*, dan *Pellet*. Namun kategori Serat/*Line* pada penelitian ini akan dibagi menjadi dua jenis yaitu *Fiber* dan *Filament* dengan acuan yang diperoleh dari Tanaka dan Takada, (2016). Adapun karakteristik dari masing-masing bentuk mikroplastik yang menjadi acuan dalam proses analisis sampel disajikan dalam Tabel 3.5 sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Acuan Bentuk dan Karakteristik Mikroplastik

Bentuk	Penjelasan/Karakteristik (GESAMP, 2019)	Penjelasan/Karakteristik (Tanaka dan Takada, 2016)	Contoh
Fragment	Fragment memiliki bentuk berupa partikel keras yang tidak beraturan dan merupakan hasil pecahan dari sampah yang lebih besar.	Mikroplastik yang berasal dari sumber sekunder berasal dari hasil fragmentasi dari material yang ukurannya lebih besar.	 Sumber: GESAMP, (2019)

Bentuk	Penjelasan/Karakteristik (GESAMP, 2019)	Penjelasan/Karakteristik (Tanaka dan Takada, 2016)	Contoh
Foam	Partikel yang memiliki bentuk mendekati granular yang dapat terpisah dengan mudah di bawah tekanan	Mikroplastik yang berasal dari sumber sekunder yang terbuat dari kumpulan agregat polimer	 Sumber: Lehmann dkk., (2021)
Film	Partikel datar dan fleksibel dengan memiliki sudut angular (lurus, bersiku)	Mikroplastik dari sumber sekunder yang berupa fragmen halus dari polimer yang tipis yang diperoleh dari tas plastik atau kertas pembungkus	 Sumber: GESAMP, (2019)
Filament	Material panjang dan berserat yang memiliki panjang lebih panjang daripada lebar	Mikroplastik dari sumber sekunder yang berupa polimer berbentuk benang yang dihasilkan dari proses fragmentasi dari tali atau tali pancing	 Sumber: Karimpour dkk., (2021).
Fiber		Mikroplastik dari sumber sekunder yang berupa polimer berbentuk benang yang dihasilkan dari tekstil, termasuk pakaian dan perabotan	 Sumber: Karimpour dkk., (2021).

Bentuk	Penjelasan/Karakteristik (GESAMP, 2019)	Penjelasan/Karakteristik (Tanaka dan Takada, 2016)	Contoh
Pellet	Partikel keras dengan bentuk sphere dan granula yang mulus	Bentuk mikroplastik yang berasal dari sumber primer yang diproduksi dalam bentuk granula sebagai bahan mentah dari produk plastik yang berukuran besar dengan ukuran silinder atau piringan.	 Sumber: GESAMP, (2019)

Klasifikasi berdasarkan warna dilakukan berdasarkan warna yang diperoleh dari visualisasi menggunakan mikroskop sedangkan jenis/polimer diperoleh dengan hasil analisis sampel menggunakan FT-IR. Kelimpahan mikroplastik pada tiap sampel sedimen dihitung menggunakan perhitungan. Sari dkk., (2015) menyebutkan bahwa total partikel mikroplastik di setiap sampel sedimen dihitung berdasarkan kelimpahan dalam /g partikel sedimen kering.

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik (Partikel/g)} = \frac{\text{Jumlah mikroplastik pada sedimen (partikel)}}{\text{Berat sampel sedimen kering (gram)}}$$

Bentuk, warna dan jenis juga dilakukan perhitungan persentase terhadap masing-masing sampel serta persebarannya. Pada perhitungan persentase bentuk, jenis dan warna menggunakan rumus berikut:

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Jumlah partikel jenis atau warna (partikel)}}{\text{jumlah seluruh partikel jenis/warna (partikel)}} \text{ x } 100\%$$

Distribusi kelimpahan dan persebaran mikroplastik berdasarkan bentuk, warna, dan jenis akan disajikan melalui beberapa penyajian data seperti Bar Chart, Histogram, dan lainnya yang dibuat menggunakan *Microsoft Excel*

2. Logam Berat pada Sedimen dan Mikroplastik

Analisis Data Logam Berat Fe, Mn, dan Cu pada mikroplastik dan sedimen mengacu pada standar yang telah ditetapkan pada Tabel 3.2. Konsentrasi logam berat Fe, Mn, dan Cu pada tiap sampel sedimen dan mikroplastik akan disajikan melalui Bar Chart dan teknik penyajian data lainnya yang dibuat menggunakan *Microsoft Excel.*

a. Pengukuran Kurva Kalibrasi

Pengukuran kurva kalibrasi dilakukan dengan mengatur dan mengoptimalkan SSA untuk pengujian logam berat yaitu Fe, Mn, dan Cu sesuai dengan petunjuk

penggunaan alat. Selanjutnya adalah mengaspirasikan larutan kerja. Panjang gelombang optimal yang digunakan untuk pengukuran kadar Fe, Mn, dan Cu disajikan pada Tabel 3.6

Tabel 3. 6 Panjang Gelombang Pengukuran Logam Berat pada SSA

Logam Berat	Panjang Gelombang Optimal
Fe (Besi)	248,3 nm
Mn (Mangan)	279,5 nm
Cu (Tembaga)	324,7 nm

b. Pengukuran kadar logam berat (Fe, Mn, dan Cu)

Kurva kalibrasi dibuat berdasarkan hasil pembacaan absorbansi kadar larutan kerja lalu hasil pengukuran logam berat menggunakan SSA diplotkan pada kurva kalibrasi sehingga kadar logam berat dapat ditentukan menggunakan *Microsoft Excel*. Selanjutnya dilakukan perhitungan logam berat yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kadar logam } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) = \frac{\text{C } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{ml}}\right) \text{ x V(l) x fp}}{\text{B (kg)}}$$

Dimana:

C ($\mu g/ml$) = kadar logam yang diperoleh dari kurva kalibrasi

V (ml) = volume akhir

B (g) = berat contoh uji

Fp = faktor pengenceran (bila tidak dilakukan pengenceran (fp=1)

B. Analisis Data Spasial

Analisis data secara spasial dilakukan dengan pendekatan analisis pola sebaran berdasarkan kelimpahan mikroplastik melalui teknik gradasi warna dan ukuran. Selain itu, sebaran bentuk mikroplastik juga dianalisis secara spasial dan disajikan melalui Pie dan Bar Chart. Analisis spasial memanfaatkan Sistem Informasi Geografis atau SIG yaitu QGIS atau *Quantum Geographic Information System* versi 3.20.3 dengan fitur *Diagrams*

C. Analisis Data Statistik Inferensial

Statistik Inferensial merupakan salah satu jenis analisis data secara kuantitatif dengan upaya penarikan kesimpulan dan keputusan. Analisis data secara korelasional digunakan pada penelitian ini untuk melihat hubungan antara logam berat di sedimen dengan kandungan logam berat pada sampel mikroplastik di titik pengambilan sampel yang sama. Data diolah dengan menggunakan aplikasi IBM SPSS untuk uji korelasi. Uji korelasi dihitung menggunakan

analisis korelasi Spearman (r_s) yang dimana nilai r_s berada pada rentang $-1 \leq r_s \leq 1$. Seberapa kuat korelasi antara dua variabel ditentukan dari hasil r_s yang didapat. Korelasi Spearmans digunakan karena data tidak berdistribusi normal dan jumlah data hanya terdapat 6 data sedangkan Pearson memiliki syarat data terdistribusi normal dan minimal jumlah data adalah 30. Adapun panduan rentang nilai r_s untuk melihat seberapa kuat korelasi antara kedua variabel tersebut disajikan dalam Tabel 3.7 sebagai berikut:

Tabel 3. 7 Nilai r_s

Nilai r_s	Korelasi
.00 - .19	Sangat lemah
.20 - .39	Lemah
.40 - .59	moderat
.60 - .79	Kuat
.80 – 1.0	Sangat Kuat

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Wilayah Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel sedimen pada penelitian ini dilakukan pada 9 titik yang tersebar di sepanjang aliran Sungai Code dari Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta, dan Kabupaten Bantul. Deskripsi wilayah pada masing-masing titik juga memuat bagaimana tekstur dari sedimen di titik pengambilan sampel tersebut. Tekstur sedimen mengacu pada He dkk., (2020c) bahwa terdapat 5 kategori ukuran sedimen berdasarkan ukuran partikelnya yaitu *Clay* (<0,002 mm), *Silt* (0,002 – 0,063 mm), *Fine Sand* (0,063 – 0,20 mm), *Sand* (0,20 – 0,63 mm), dan *Coarse Sand* (>0,63 mm).

1. Titik S1

Titik S1 merupakan titik pertama pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Dusun Boyong Kecamatan Pakem, Kabupaten Sleman. Titik ini berada tepat di bawah Jembatan Perak atau Jembatan Boyong. Kondisi di sekitar titik ini dikelilingi oleh pepohonan dan beberapa tanaman dan semak belukar serta daerah ini tidak dikelilingi oleh pemukiman padat. Namun, Jembatan Boyong kerap kali dijadikan tempat untuk bersantai di sore hari sembari menikmati keindahan Gunung Merapi dikarenakan lokasinya yang tidak jauh dari gunung. Hal ini menyebabkan lokasi ini sering didatangi oleh masyarakat setiap harinya yang menyebabkan hadirnya beberapa potensi sumber sampah plastik akibat dibukanya beberapa warung dan angkringan di sekitar lokasi. Ditemukan beberapa sampah plastik seperti kemasan minuman dan makanan ringan yang berbahan plastik dan kantong plastik. Sampah ini diduga berasal dari masyarakat yang bersantai di bawah jembatan dikarenakan tidak adanya tempat sampah di lokasi ini. Selain itu, pada titik ini juga dijadikan sebagai tempat penambangan pasir yang dimana juga dapat menjadi sumber pencemaran mikroplastik dari udara seperti dari ban kendaraan dan lainnya. Tekstur sedimen pada lokasi ini adalah *Fine Sand* atau berpasir sangat halus. Kondisi eksisting Titik S1 dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 1

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2. Titik S2

Titik S2 merupakan titik pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Jalan Pakem – Turi, Kelurahan Purwobinangun, Kecamatan Pakem, Kabupaten Sleman. Titik ini berada di utara Jembatan Pulowatu. Kondisi di sekitar titik ini dikelilingi vegetasi dan terdapat restoran dan warung di sekitar lokasi ini. Potensi pencemaran mikroplastik pada titik ini dapat berasal dari tata guna lahan di bagian hulu yang dimana aliran sungai pada bagian hulu didominasi dengan lahan pertanian, terdapat pemukiman yang tidak terlalu padat, tempat penginapan seperti vila dan hotel serta terdapat beberapa industri dan yang paling dekat dengan titik pengambilan sampel adalah PT. Aerotek Global Inovasi yang bergerak di bidang penyedia sistem *drone*. Pada lokasi ini hanya ditemukan sedikit sampah plastik di pinggiran sungai. Tekstur sedimen pada lokasi ini adalah *Fine Sand* atau berpasir sangat halus. Kondisi eksisting Titik S2 dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 2

Sumber: Dokumentasi Pribadi

3. Titik S3

Titik S3 merupakan titik pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Jalan Kapten Haryadi, Ngentak, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman. Titik ini berada di bawah Jembatan Kamdanen dan akses turun melalui belakang rumah penduduk. Kondisi di sekitar titik ini tepat berada di belakang rumah penduduk dan Posko Pantau BPPD yang dimana terdapat saluran drainase yang masuk di sekitar lokasi pengambilan sampel dan ditemukan banyak tumpukan sampah tepatnya di belakang rumah penduduk tersebut dan kemudian sampah yang dibuang ke belakang rumah ikut masuk ke aliran sungai yang dimana sampah ini didominasi oleh sampah plastik kemasan dan juga kantong plastik. Bagian hulu dari titik ini didominasi oleh lahan pertanian dan juga pemukiman warga. Tekstur sedimen pada lokasi ini adalah *Sand* atau berpasir. Kondisi eksisting Titik S3 dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 3

Sumber: Dokumentasi Pribadi

4. Titik S4

Titik S4 merupakan titik pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Jalan Jembatan Baru UGM, Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman. Titik ini berada di sebelah selatan di bawah Jembatan Baru UGM atau yang disebut dengan Jembatan Ir.Wreksodiningrat dan Jembatan Pogung. Kondisi di sekitar titik ini adalah aliran sungai didominasi oleh pemukiman warga yang sangat padat serta beberapa rumah susun, tempat penginapan dan kost dan ditambah dengan lokasinya yang berdekatan dengan Taman Bawah Jembatan Baru UGM menyebabkan terdapat banyak sekali warung makan seperti angkringan dan kedai kopi. Selain itu tempat ini juga dijadikan sebagai spot memancing dan terdapat tambak ikan. Didekat titik pengambilan sampel ini juga terdapat PT Unilever Indonesia Tbk-Depo Yogyakarta. Aliran air sungai di bagian hulu titik ini melewati kawasan padat pemukiman baik pemukiman penduduk maupun hotel atau kost, restoran dan kedai kopi, dan

lainnya. Tingginya aktivitas antropogenik pada titik ini menyebabkan banyak sekali ditemukan tumpukan sampah plastik yang berserakan di pinggir sungai dan di aliran sungai. Selain itu, pada titik terdapat saluran pembuangan drainase dan pipa limbah domestik di sekitar titik pengambilan sampel. Tekstur sedimen pada lokasi ini adalah *Coarse Sand* yang dimana sedimen pada titik ini berpasir namun juga didominasi oleh fraksi kerikil. Kondisi eksisting Titik S4 dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 4

Sumber: Dokumentasi Pribadi

5. Titik S5

Titik S5 merupakan titik pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Jalan Kleringan, Kecamatan Jetis Kota Yogyakarta. Titik ini berada di bawah Jembatan Kali Code Jalan Kleringan dan merupakan titik pertama yang memasuki wilayah Kota Yogyakarta. Kondisi di sekitar titik ini padat dengan pemukiman penduduk dan warung makan seperti angkringan dan kedai kopi. Pada titik S5 ditemukan beberapa sampah plastik dipinggir sungai yang dimana jumlahnya tidak sebanyak pada titik S4 namun untuk jumlahnya hampir mirip dengan yang ditemukan pada titik S3. Terdapat pembuangan saluran drainase yang masuk ke sungai di sekitar titik pengambilan sampel serta terdapat aktivitas memancing pada titik ini. Aliran air di bagian hulu dari titik ini merupakan kawasan padat pemukiman penduduk, perhotelan, apartemen, kost, restoran dan rumah makan, kedai kopi, dan kawasan pendidikan seperti Universitas Gadjah Mada dan Universitas Sanatha Dharma. Tekstur sedimen pada

lokasi ini adalah *Sand* yang dimana sedimen pada titik ini berpasir namun juga didominasi oleh fraksi kerikil. Kondisi eksisting Titik S5 dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 5

Sumber: Dokumentasi Pribadi

6. Titik S6

Titik S6 merupakan titik pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Bendung Mergangsan yang terletak di Jalan Surokarsan Wirogunan, Kecamatan Mergangsan, Kota Yogyakarta. Kondisi di sekitar titik ini padat akan pemukiman penduduk dan terdapat beberapa warung makan, kedai kopi, dan *homestay* atau penginapan. Aliran bagian hulu dari titik ini melewati pusat pariwisata seperti Malioboro, Keraton, Pasar Beringharjo yang menyebabkan kawasan perhotelan dan warung makan juga ikut mendominasi. Terdapat banyak sekali tumpukan sampah terutama sampah plastik baik di pinggir sungai maupun di sepanjang aliran sungai. Hal ini berbeda dengan titik S5 dikarenakan pada titik S5 tidak ditemukan sampah pada aliran sungai sebanyak titik S6. Kawasan ini juga dijadikan spot memancing baik oleh masyarakat serta terdapat saluran drainase yang dibuang ke sungai pada titik ini. Tekstur sedimen pada lokasi ini adalah *Coarse Sand* yang dimana sedimen pada titik ini berpasir namun juga didominasi oleh fraksi kerikil. Kondisi eksisting Titik S6 dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 6

Sumber: Dokumentasi Pribadi

7. Titik S7

Titik S7 merupakan titik pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Jalan Kolonel Sugiyono. Brontokusuman, Kecamatan Mergangsan, Kota Yogyakarta. Kondisi di sekitar titik ini merupakan pemukiman padat penduduk dan juga merupakan kawasan wisata kali code yang dimana banyak dari warga berjualan makanan di sekitar sungai seperti angkringan dan terdapat beberapa usaha rumahan atau UMKM yang bergerak di bidang makanan milik warga sekitar seperti usaha katering dan makanan ringan/*snack* serta terdapat rumah sakit didekat wilayah pengambilan sampel yaitu RS Pratama dan juga kost serta tempat penginapan. Selain itu, di sekitar titik sampling terdapat pembuangan saluran drainase pemukiman dan saluran air limbah rumah tangga serta titik ini juga dijadikan spot memancing bagi masyarakat. Terdapat banyak tumpukan sampah baik di pinggir dan di aliran sungai yang diduga sampah ini terhanyut dari bagian hulu serta dari masyarakat sekitar. Aliran bagian hulu sungai ini juga melintasi pemukiman yang sangat padat, beberapa instansi pendidikan seperti SMA UII, GOR, dan beberapa warung makan. Tekstur sedimen pada lokasi ini adalah *Fine Sand* yang dimana sedimen pada titik ini berpasir halus. Kondisi eksisting Titik S7 dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 7
Sumber: Dokumentasi Pribadi

8. Titik S8

Titik S8 merupakan titik pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Jalan Tlajuk. Bangunharjo, Kecamatan Sewon, Kabupaten Bantul. Titik ini berada di belakang pemukiman warga dan merupakan titik yang memasuki wilayah Kabupaten Bantul. Kondisi di sekitar titik ini merupakan kawasan hutan dan pemukiman penduduk di sekitar titik pengambilan sampel tidak terlalu padat namun terdapat Rusunawa Projotamansari didekat titik pengambilan sampel. Terlihat banyak sekali tumpukan sampah yang berada di pinggir sungai dan diduga sampah ini terhanyut dari bagian hulu dan tersangkut di vegetasi yang ada dipinggir sungai. Aliran bagian hulu titik ini melewati pemukiman padat penduduk dan terdapat beberapa kost dan perhotelan pada aliran di bagian hulu serta terdapat juga beberapa rumah makan dan restoran. Tekstur sedimen pada lokasi ini adalah *Fine Sand* yang dimana sedimen pada titik ini berpasir halus. Kondisi eksisting Titik S8 dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 8

Sumber: Dokumentasi Pribadi

9. Titik S9

Titik S9 merupakan titik pengambilan sampel pada sedimen di Sungai Code yang berada di Ponggok II. Trimulyo, Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul. Titik ini berada tepat di bawah Jembatan Ponggok dan merupakan titik di wilayah Kabupaten Bantul yang tata guna lahan di sekitar sungai didominasi oleh lahan pertanian. Kondisi di sekitar titik ini merupakan kawasan hutan dan terdapat beberapa pemukiman penduduk, peternakan kuda, serta arena olahraga seperti stadium, lapangan pacuan kuda, sirkuit sepatu roda, lapangan tenis, dan sirkuit *motorcross*. Terlihat banyak sekali tumpukan sampah di pinggir sungai yang berasal dari masyarakat sekitar dan juga sampah yang terbawa dari aliran bagian hulu dari titik ini yang dimana didominasi oleh pemukiman padat. Tekstur sedimen pada lokasi ini adalah *Fine Sand* yang dimana sedimen pada titik ini berpasir halus. Kondisi eksisting Titik S8 dapat dilihat pada Gambar 4.9



Gambar 4. 9 Kondisi Eksisting Lokasi Sampling 9

Sumber: Dokumentasi Pribadi

4.2 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jumlah dan Kelimpahan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ditemukannya mikroplastik pada sedimen Sungai Code di setiap lokasi pengambilan sampel. Jumlah dan kelimpahan partikel mikroplastik di sedimen Sungai Code yang telah dilakukan pengamatan dan perhitungan secara manual pada setiap titik sampel disajikan dalam Tabel 4.1. Kelimpahan mikroplastik pada setiap sampel dihitung dengan cara membagi jumlah partikel mikroplastik dari hasil perhitungan dengan berat kering sampel sedimen yang diuji yang dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 4. 1 Mikroplastik Berdasarkan Jumlah dan Kelimpahan

Nama Sampel	Jumlah Partikel Mikroplastik	Kelimpahan (partikel/gram)
Sampel 1 (S1)	3396	169,8
Sampel 2 (S2)	3507	175,35
Sampel 3 (S3)	4119	205,95
Sampel 4 (S4)	6598	329,9
Sampel 5 (S5)	6265	313,25
Sampel 6 (S6)	13354	667,7
Sampel 7 (S7)	14097	704,85
Sampel 8 (S8)	12386	619,3
Sampel 9 (S9)	20619	1030,95

Rentang kelimpahan mikroplastik yang diperoleh pada tiap sampel sedimen Sungai Opak yaitu berada pada rentang 169,8 partikel/gram pada titik S1 hingga 1030,95 partikel/gram pada titik S9. Kelimpahan mikroplastik yang diperoleh pada penelitian ini memiliki konsentrasi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan kelimpahan yang ditemukan di beberapa sedimen sungai lainnya seperti pada beberapa sungai di Indonesia yaitu Sungai Serang, Sungai Cimandiri, Sungai Citanduy dan sungai di dunia yaitu Sungai Wei di China, dan Sungai Amazon di Brazil. Perbedaan kelimpahan mikroplastik dari beberapa sedimen sungai tersebut dengan yang diperoleh di sedimen Sungai Code dapat disebabkan karena perbedaan karakteristik dari lingkungan, lokasi, dan metode yang digunakan (Manalu dkk., 2017). Kelimpahan mikroplastik di sedimen dari masing-masing sungai ini telah dirangkum dalam Tabel 4.2

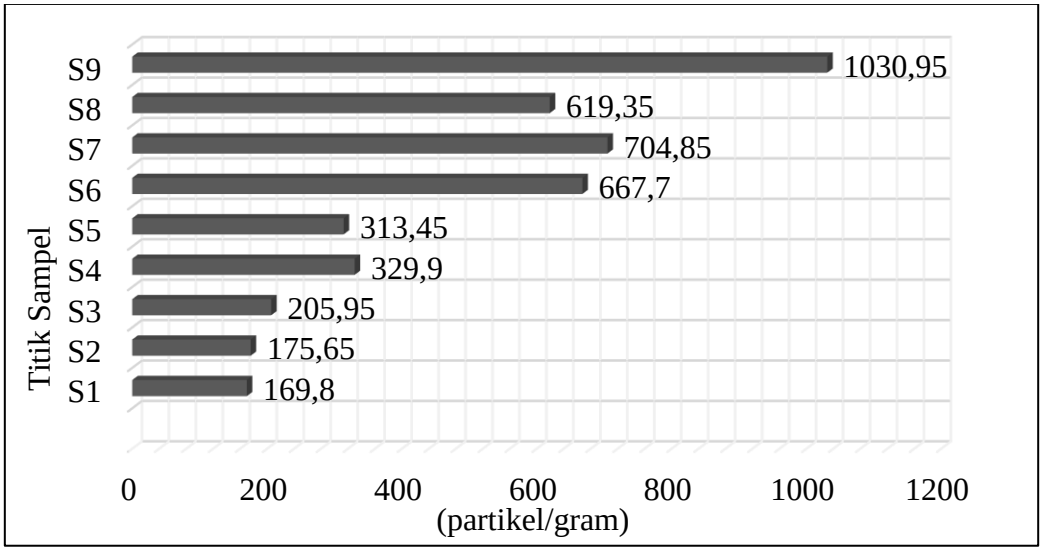
Tabel 4. 2 Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Berbeda

No.	Lokasi Penelitian	Kelimpahan MPs	Referensi
1.	Sungai Serang, DIY	148,88 – 384,58 partikel/kg	(Ismiyati dkk., 2023)

No.	Lokasi Penelitian	Kelimpahan MPs	Referensi
2.	Sungai Cimandiri, Jawa Barat	600 – 960 partikel/kg	(Henny dkk., 2022)
3.	Sungai Citanduy, Jawa Barat	18.000 – 70.405 partikel/kg	(Utami dkk., 2021)
4.	Sungai Wei, Barat Laut China	360 – 1320 partikel/kg	(Ding dkk., 2019)
5.	Sungai Amazon, Brazil	417 – 8178 partikel/kg	(Gerolin dkk., 2021)

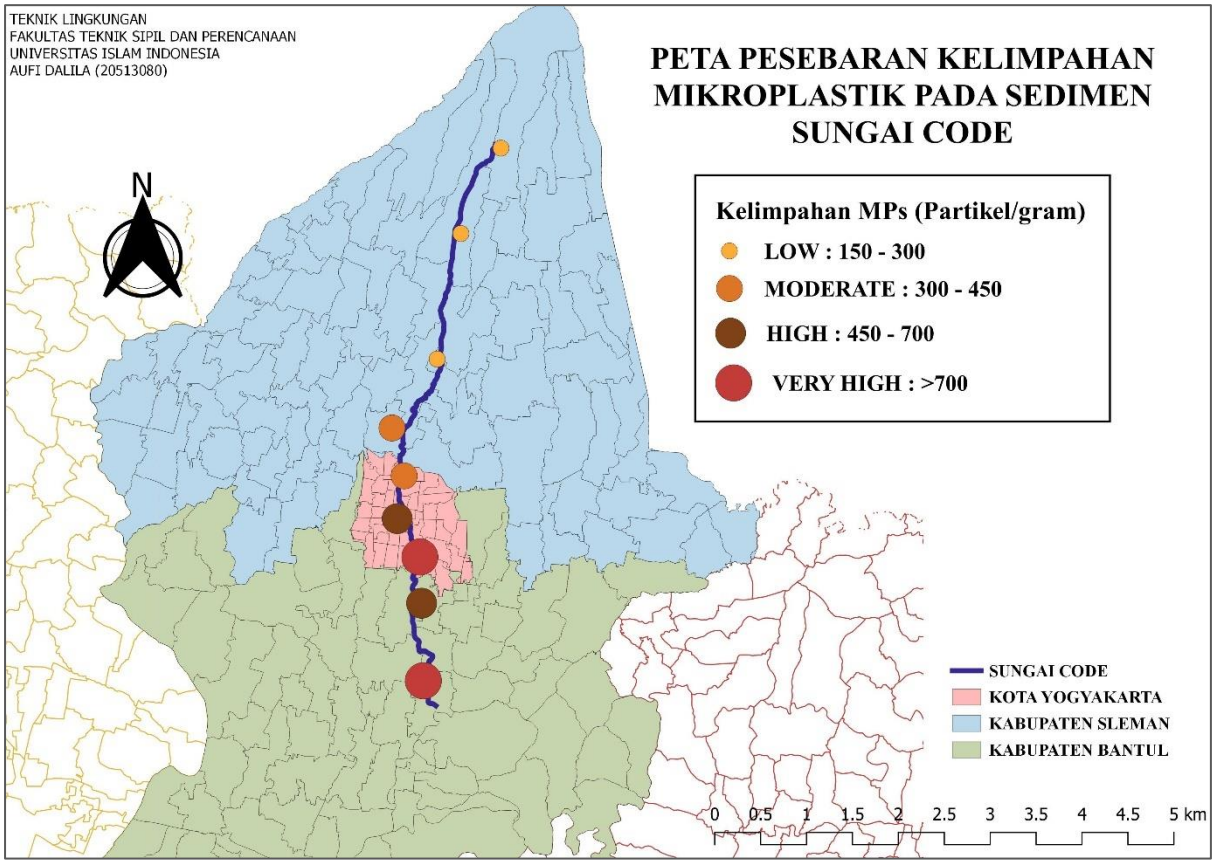
Selain itu, penelitian yang sama pada sedimen Sungai Code telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir seperti pada tahun 2020 oleh Prabowo, (2020) yang dimana diperoleh kelimpahan sebanyak 1516 partikel/kilogram, pada tahun 2021 oleh Utami dkk., (2021) diperoleh kelimpahan sebesar 758.07±246,80 partikel/kilogram dan pada tahun 2022 dilakukan oleh Nasirudin dkk., (2022) dan diperoleh kelimpahan MPs sebanyak 3.730 partikel/kilogram.

Seperti yang dapat dilihat dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada sedimen Sungai Code bahwa terjadi peningkatan kelimpahan atau jumlah mikroplastik. Hal ini disebabkan karena adanya proses fragmentasi yang terjadi secara terus menerus dari waktu ke waktu sehingga menyebabkan kelimpahan mikroplastik semakin tinggi (Manalu, 2017). Ding dkk., (2019) juga menambahkan bahwa jumlah mikroplastik pada sedimen tidak mudah berubah sehingga hal ini menyebabkan terjadinya akumulasi dalam konsentrasi yang sangat tinggi selama beberapa tahun pada sedimen sungai. Pendataan kelimpahan mikroplastik di setiap titik pengambilan sampel juga disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.10



Gambar 4. 10 Grafik Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 Kelimpahan mikroplastik yang diperoleh bervariasi di setiap titik pengambilan sampel mulai dari hulu sungai menuju ke hilir. Untuk melihat pola persebaran dari kelimpahan mikroplastik di masing-masing titik maka dilakukan pemetaan persebaran kelimpahan dengan visualisasi menggunakan perbedaan warna dan ukuran seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 4. 11 Peta Persebaran Kelimpahan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code

Bagian hulu dari Sungai Code yang berada di Kabupaten Sleman yaitu S1 yang berlokasi di Jembatan Boyong menunjukan kelimpahan mikroplastik paling kecil yaitu 169,8 partikel/gram. Hal ini menunjukkan bahwa bagian hulu Sungai Code telah tercemar mikroplastik. Potensi sumber mikroplastik dari titik ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti aktivitas penambangan pasir dan ditemukan juga beberapa sampah dipinggir sungai yang berasal dari warung yang terdapat di sekitar lokasi pengambilan sampel mengingat daerah ini kerap kali dikunjungi oleh masyarakat hanya untuk bersantai di sore hari di bawah jembatan tersebut. Pernyataan ini diperkuat oleh Amrutha dkk., (2022) yang menyebutkan bahwa rendahnya kelimpahan mikroplastik pada suatu titik berkaitan erat dengan rendahnya populasi di sekitar titik pengambilan sampel yang menyebabkan minimnya aktivitas antropogenik. Selain dari adanya sumber potensi pencemaran mikroplastik, tekstur sedimen pada titik S1 juga

dapat menjadi salah satu faktor dari jumlah mikroplastik yang diperoleh karena memiliki tekstur sedimen *Fine Sand* yang dimana hal ini menyebabkan mikroplastik dapat terperangkap dengan mudah pada sedimen. Wahyuningsih dkk., (2018) menguatkan pernyataan ini melalui penelitiannya terhadap hubungan tekstur sedimen terhadap kelimpahan makro dan mikroplastik dengan menyebutkan bahwa tekstur sedimen yang lembut memiliki kekuatan yang lebih besar dalam menangkap mikroplastik.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.10 terlihat bahwa terjadi kenaikan kelimpahan mikroplastik di sedimen Sungai Code dari titik S1 di bagian hulu menuju titik S2 dengan kelimpahan 175,35 partikel/gram, titik S3 dengan kelimpahan 205,95 partikel/gram dan titik S4 dengan kelimpahan 329,9 partikel/gram. Pada titik S1 dan S2 tidak ditemukan adanya saluran pembuangan air limbah rumah tangga maupun saluran drainase yang masuk ke sungai namun hal ini berbeda dengan kondisi yang ditemukan pada titik S3 dan titik S4. Terdapat saluran drainase yang langsung masuk ke sungai pada titik S3 dan S4 namun pada titik S4 juga terdapat saluran pembuangan air limbah rumah tangga yang langsung dibuang ke sungai yang dimana hal ini dapat menjadi salah satu faktor penyebab tingginya kelimpahan mikroplastik pada kedua titik ini dibandingkan titik S1 dan S2. Peningkatan kelimpahan mikroplastik dari titik ke titik lainnya menunjukkan bahwa semakin dekat dengan wilayah perkotaan maka kelimpahan mikroplastik ikut meningkat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.11 yang dimana kelimpahan mikroplastik pada titik yang mendekati perkotaan berada pada tingkatan dari *Low* menjadi *Moderate*. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan (Ding dkk., 2019), yang menyebutkan bahwa konsentrasi mikroplastik cenderung meningkat secara bertahap sesuai dengan arah aliran sungai dari pedesaan menuju ke kota. Peningkatan konsentrasi mikroplastik disebabkan karena perubahan tata guna lahan di sekitar Sungai Code yang dimana ketika memasuki wilayah perkotaan tata guna lahan di sekitar Sungai Code didominasi oleh pemukiman padat penduduk serta peningkatan aktivitas antropogenik. Ditemukan banyak sekali tumpukan sampah pada titik S4 baik di tepian sungai maupun di aliran sungai yang diduga sampah tersebut berasal dari pembuangan oleh penduduk di bagian hilir sungai dan juga penduduk setempat.

Amrutha dkk., (2022) mengatakan bahwa semakin kecil intensitas kegiatan antropogenik di suatu wilayah maka akan mempengaruhi distribusi dari mikroplastik di sedimen. Hal ini disebabkan karena pada lingkungan perairan terutama sungai, sampah plastik yang dibuang oleh masyarakat ke sungai dan terakumulasi dalam jumlah yang banyak baik di tepian sungai maupun di aliran sungai kemudian terdegradasi akibat adanya arus air, ombak, proses

pelapukan, dan cahaya UV. Sampah plastik yang telah berubah menjadi mikroplastik kemudian masuk ke dalam air sungai dari wilayah daratan atau tepian sungai lalu kemudian terdeposisi dan terakumulasi pada sedimen akibat adanya proses erosi tanah dan air limpasan permukaan. Erosi tanah biasanya terjadi pada saat musim hujan (Ghanbari dkk., 2022; Ismanto dkk., 2023). Mikroplastik pada tanah yang kemudian terbawa bersama dengan aliran air akibat proses erosi kemudian terendap pada tempat ketika kecepatan aliran air menjadi lambat atau terhenti yang dimana peristiwa ini disebut dengan proses sedimentasi. Faktor lain terkait keberadaan MPs pada sedimen juga disebabkan karena proses *Biofouling* akibat akumulasi dari alga dan mikroorganisme pada permukaan mikroplastik yang menyebabkan terjadinya perubahan densitas plastik menjadi semakin tinggi dan kemudian terdeposisi pada sedimen (Nkosi dkk., 2023).

Selanjutnya pada titik S5 dan S6 di bagian hilir yang melewati pusat perkotaan dan aktivitas antropogenik yang tinggi juga terjadi peningkatan kelimpahan mikroplastik di setiap titiknya. Kelimpahan mikroplastik dari titik S4 menuju titik S5 terjadi penurunan hal ini dikarenakan kondisi aliran sungai pada titik S5 sampah yang berada di aliran maupun di tepian sungai tidak sebanyak dan menumpuk seperti yang ada pada titik S4 namun potensi sumber mikroplastik lainnya dapat berasal dari saluran drainase dan air limbah rumah tangga yang masuk ke sungai pada titik ini. Duan dkk., (2021) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa air limbah rumah tangga memuat banyak mikroplastik dari produk kosmetik, produk perawatan diri, dan serat sintetis dari pakaian. Peningkatan kelimpahan yang besar dari titik S5 (313,25 partikel/gram) menuju titik S6 yang berada di bawah Bendung Mergangsan (667,7 partikel/gram) diduga disebabkan oleh beberapa faktor yaitu dikarenakan area ini melintasi pemukiman penduduk di bantaran sungai yang sangat padat dan tingginya aktivitas antropogenik di sekitar area pengambilan sampel. Bagian hilir titik S6 juga didominasi oleh restoran dan hotel karena alirannya melewati pusat-pusat pariwisata seperti Malioboro, Keraton, Taman Pintar, dan lainnya. Selain itu, faktor lain yang menyebabkan tingginya kelimpahan mikroplastik pada titik S6 juga dapat disebabkan karena adanya aktivitas pariwisata pada wilayah tersebut. Yogyakarta memiliki pusat pariwisata yang sangat dikenal baik dalam skala nasional maupun internasional yang menyebabkan kota ini dikenal sebagai kota wisata yang memiliki slogan "*Yogyakarta Never Ending Asia*" (Widodo dkk., 2010). Rahmawati dkk., (2023) menguatkan pernyataan bahwa salah satu sumber mikroplastik di suatu wilayah adalah dari aktivitas pariwisata.

Kondisi area pengambilan sampel di titik S7 sama halnya dengan titik S6 berada di bawah bendungan yang dimana ditemukan banyak sekali tumpukan sampah dan diduga berasal dari sampah domestik yang dibuang oleh masyarakat baik dari bagian hulu sungai maupun di sekitar sungai dan kemudian terakumulasi di wilayah tersebut dalam jumlah yang banyak sehingga sampah ini tertumpuk dan tertahan di pinggiran sungai dan di arah aliran sungai dalam waktu yang lama. Sampah plastik yang berada di sekitar area pengambilan sampel dalam waktu yang lama dapat mengakibatkan akumulasi mikroplastik di area tersebut (Li dkk., 2020). Besarnya jumlah mikroplastik akibat keberadaan bendungan diperkuat oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Watkins dkk., (2019) yang menyebutkan bahwa bendungan merupakan salah satu faktor pengaruh tingginya konsentrasi mikroplastik pada sedimen karena dengan adanya bendungan maka mikroplastik pada air dapat terendap dan tersuspensi di sedimen akibat perubahan arus air yang lebih rendah atau lambat pada bendungan sehingga proses pengendapan mikroplastik terbilang tinggi pada area tersebut. Mikroplastik memiliki berat yang sangat ringan sehingga ketika masuk ke sungai partikel mikroplastik cenderung untuk mengapung pada aliran air. Namun, seiring dengan berjalannya waktu partikel-partikel tersebut kemudian secara perlahan terendap dan terakumulasi pada sedimen sungai dan terintegrasi dengan sedimen yang kemudian sedimen ini akan membawa MPs bersamaan dengan perpindahan sedimen tersebut. Hal ini juga menjadi salah satu faktor penyebab tingginya konsentrasi MPs pada sedimen sungai dibandingkan yang terdapat pada air.

Titik S6 dan S7 melewati beberapa kecamatan dengan pemukiman kumuh paling tinggi di sekitar Sungai Code yaitu Kecamatan Mergangsan dan Kecamatan Gondomanan. Menurut data yang diperoleh dari BPS DIY tahun 2020 menyebutkan bahwa pemukiman kumuh di pinggiran Sungai Code pada Kecamatan Mergangsan sebesar 347 keluarga sedangkan pada Kecamatan Gondomanan terdapat 467 keluarga. Penelitian yang dilakukan oleh Setyowati dan Muzaki, (2021) tentang pengelolaan sanitasi lingkungan di Sungai Code menyebutkan bahwa padatnya pemukiman penduduk di bantaran Sungai Code menyebabkan berbagai macam masalah lingkungan seperti tingginya proses erosi dan sedimentasi dan pencemaran air sungai akibat buruknya manajemen pengelolaan sampah dan juga air limbah rumah tangga. Sampah plastik yang berada pada tepian aliran sungai dapat ikut masuk termuat dan terangkut ke dalam sedimen sungai akibat adanya aliran sungai yang mengikis area tersebut. Huntington dkk., (2020) dalam penelitiannya terhadap mikroplastik di Teluk Hudson juga menyebutkan bahwa kehadiran mikroplastik pada sedimen juga disebabkan karena adanya transpor sampah plastik secara terus menerus dan berlangsung dalam waktu yang lama. Selain itu aktivitas memancing

juga paling banyak dan paling ramai dijumpai pada kedua titik ini dibandingkan titik lainnya. Aktivitas memancing dapat menjadi salah satu kontributor mikroplastik di lingkungan yang dimana mikroplastik yang hadir di lingkungan bersumber dari peralatan memancing yang digunakan seperti tali, ember untuk menampung ikan, dan lain sebagainya. Potensi sumber pencemar lainnya yang terdapat pada kedua titik ini adalah adanya saluran pipa pembuangan air limbah rumah baik dari rumah tangga maupun dari beberapa restoran, tempat penginapan, perkantoran, dan lain sebagainya serta adanya saluran drainase yang masuk ke sungai.

Kelimpahan mikroplastik pada titik di bagian hilir mengalami peningkatan yang dimulai dari titik S7 kemudian ke kedua titik lainnya di bagian hilir yaitu titik S8 dan S9. Hal ini diduga disebabkan karena adanya akumulasi sampah domestik masyarakat dari bagian hulu yang didominasi dengan pemukiman yang sangat padat dan kegiatan komersial. Sampah yang menumpuk pada titik ini terhanyut dari bagian hulu karena sebagian besar masyarakat yang bermukim di bantaran Sungai Code menganggap bahwa membuang sampah ke sungai merupakan hal yang lumrah dilakukan karena sampah nantinya akan ikut pada aliran sungai (Setyowati dan Muzaki, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Ballent dkk., (2016) mendukung pernyataan ini dimana bagian hilir sungai memiliki konsentrasi mikroplastik yang lebih tinggi karena adanya perpindahan dan pergerakan dari polutan ini. Selain itu, tingginya kelimpahan mikroplastik pada ketiga titik ini juga didukung oleh faktor dari karakteristik tekstur sedimen yang dimiliki oleh ketiga titik ini. Titik S7, S8 dan S9 memiliki tekstur sedimen yang sangat halus sekali (*Fine Sand*) yang dimana Tubagus dkk., (2020) menyebutkan bahwa tekstur sedimen seperti ini dapat memfasilitasi akumulasi mikroplastik dalam jumlah yang besar ke dalam sedimen sehingga hal ini juga menjadi faktor pendukung tingginya kelimpahan mikroplastik pada titik ini. He dkk., (2020c) melakukan penelitian terhadap korelasi antara partikel sedimen dengan kelimpahan mikroplastik dan diperoleh hasil korelasi positif yang signifikan ($p < 0,01$) antara partikel *clay* (<0,0002 mm) dengan kelimpahan mikroplastik dengan koefisien regresi sebesar 2,402, yang dimana penelitian ini menyimpulkan bahwa hubungan antara kelimpahan mikroplastik dengan ukuran partikel sedimen adalah kelimpahan mikroplastik akan menurun seiring dengan besarnya ukuran partikel sedimen.

Kelimpahan mikroplastik tertinggi terdapat pada Titik S9 pada bagian terhilir Sungai Code sebelum masuk ke Sungai Opak. Titik S9 berada di dekat Jembatan Ponggok yang dimana aliran sungai melalui lahan pertanian yang sangat luas serta terdapat peternakan kuda di sekitar wilayah pengambilan sampel. Horton dan Dixon, (2017) juga menyebutkan bahwa air limpasan dari wilayah agrikultural dan peternakan dapat menjadi salah satu sumber plastik

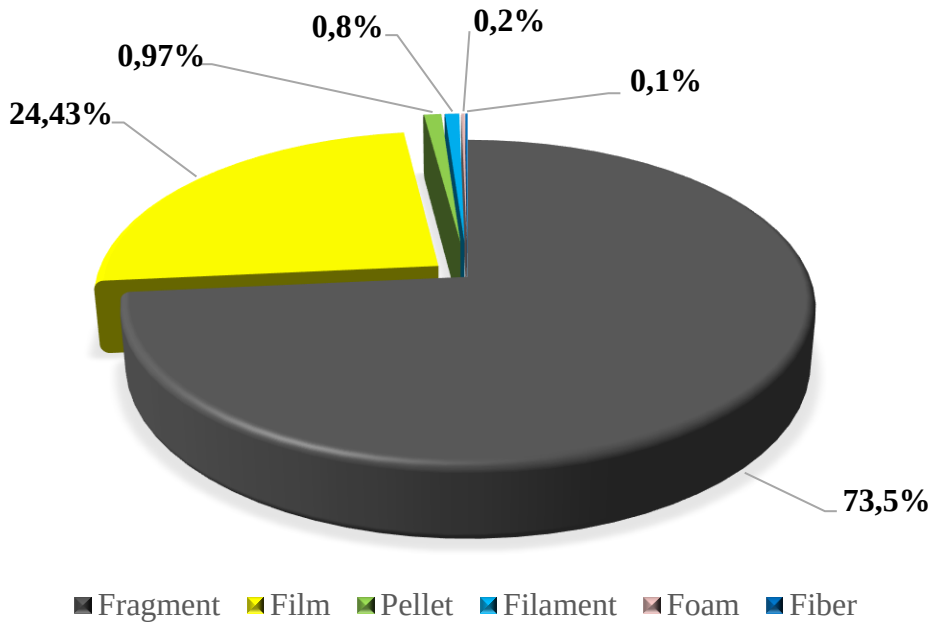
di sungai. Pada area ini juga ditemukan beberapa tumpukan sampah baik yang tersangkut maupun yang dibiarkan menumpuk di pinggir sungai yang diduga berasal dari sampah yang terhanyut dari bagian hilir dan juga dari sampah penduduk sekitar. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ta dan Babel, (2020) yang menyatakan bahwa terjadinya peningkatan kelimpahan mikroplastik pada sungai semakin meningkat apabila terdapat area padat pemukiman penduduk di sekitar area persawahan. Hal ini juga menjadi alasan kelimpahan mikroplastik di titik hulu yang terdapat area persawahan tidak sebanyak pada titik S9 karena pemukiman penduduk di bagian hulu Sungai Code tidak sepadat dengan bagian hilir. Lahan pertanian dapat menjadi salah satu sumber partikel mikroplastik karena adanya penggunaan produk plastik dalam jumlah yang besar dan dapat terdegradasi seiring dengan berjalannya waktu. Talbot dkk., (2022) menjelaskan bahwa plastik yang telah terdegradasi menjadi mikroplastik pada lahan pertanian kemudian masuk ke dalam badan air permukaan melalui peristiwa hujan lebat dan limpasan.

Kelimpahan mikroplastik yang tinggi pada sedimen Sungai Code diperlukan langkah mitigasi dan remediasi terhadap pencemaran polutan ini. Seperti yang telah kita ketahui bahwa mikroplastik telah terbukti dapat menyebabkan efek toksik bagi biota perairan seperti ikan yang dimana melalui proses rantai makanan mikroplastik akan masuk ke dalam tubuh manusia. Sebagai langkah awal pengelolaan lingkungan pencemaran mikroplastik dimulai sejak dari sumber yaitu sampah plastik. Pencemaran sampah plastik harus dikendalikan dari sumbernya terutama kepada masyarakat yang bermukim di bantaran Sungai Code, penjual dan pedagang yang berjualan di kawasan wisata Sungai Code, serta industri-industri yang membuang limbahnya ke Sungai Code. Pemerintah Kota Yogyakarta telah memberlakukan peraturan terkait dengan sampah plastik yang tercantum dalam Peraturan Walikota Yogyakarta No.40 Tahun 2024 Tentang Pengurangan Timbulan Sampah Plastik Sekali Pakai yang dimana peraturan ini harus secara efektif dilaksanakan sesuai dengan target terutama kepada masyarakat yang tinggal di bantaran Sungai Code. Kepada masyarakat kegiatan pencegahan dapat dimulai dengan membuat beberapa program pengelolaan sampah plastik yang benar, penyediaan fasilitas yang maksimal, serta langkah-langkah persuasif dalam mengajak masyarakat untuk mulai sadar akan bahayanya sampah plastik karena sebagian besar sampah plastik yang masuk ke Sungai Code berasal dari aktivitas antropogenik sekitar. Selain dari pencegahan dari sumber, diperlukan juga program daur ulang sampah plastik yang maksimal agar tidak berakhir di lingkungan seperti dengan pembangunan infrastruktur-infrastruktur yang berguna untuk mengolah sampah plastik seperti TPS3R dan lainnya.

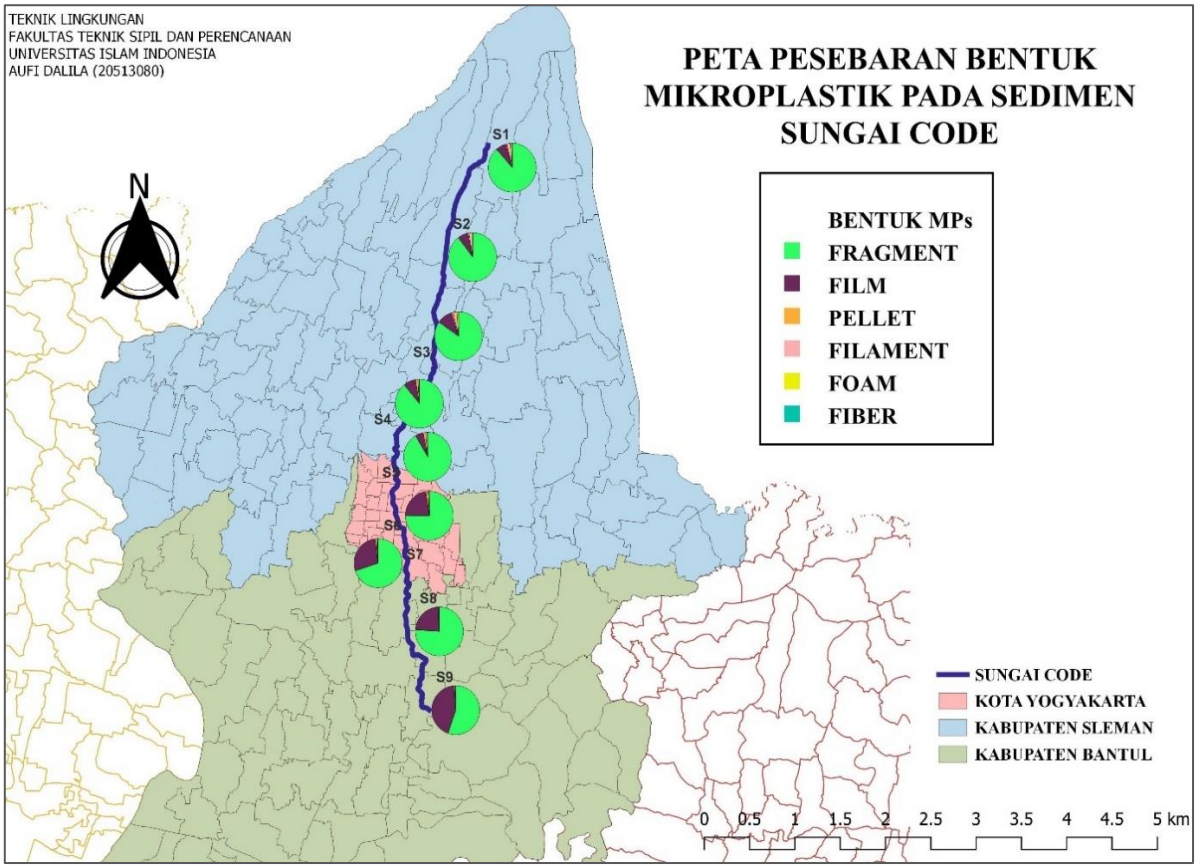
Selain konsumen, para produsen plastik juga wajib dikenakan peraturan dan tanggung jawab terhadap produk yang diproduksinya dan juga pembuangan dari produk tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan bekerjasama dan pemerintahan dan industri terkait. Menteri Lingkungan Hidup telah mengatur kebijakan dan membuat produk hukum terhadap produsen atau pelaku usaha baik yang memproduksi, mendistribusi, menggunakan, dan menjual barang atau kemasan yang berbahan sulit diurai yang dimana hal ini dimuat dalam PerMen LHK No. 75 Tahun 2019 tentang Peta Jalan Pengurangan Sampah oleh Produsen sebagai upaya target pengurangan sampah dari produsen sebanyak 30% dari jumlah timbulan sampah pada tahun 2029 dan apabila para produsen tidak melakukan pengurangan maka akan dikenakan sanksi. Kebijakan-kebijakan yang telah dibuat terkait dengan penggunaan sampah plastik diharapkan dapat berjalan secara efektif dan mampu menjangkau masyarakat-masyarakat kecil seperti masyarakat yang tinggal di bantaran Sungai Code agar dapat ikut serta menjalankan peraturan tersebut dengan baik dan benar. Indonesia juga belum memiliki teknologi-teknologi yang mampu mengurangi mikroplastik seperti yang telah dilakukan oleh beberapa negara di dunia salah satunya adalah Jepang. Jepang telah secara khusus memperhatikan polutan mikroplastik dalam beberapa tahun terakhir melalui Kementrian Lingkungan yang bekerjasama dengan beberapa perusahaan seperti Suzuki Motor Corporation, Japan Fertilizer & Ammonia Producers Association, Sumitomo Rubber Industries, dan perusahaan lainnya yang dimana setiap perusahaan memiliki rekomendasi teknologinya masing-masing sebagai upaya untuk berkontribusi dalam pencegahan, pengurangan, dan pengumpulan mikroplastik (Ministry of the Environment, Japan. 2021).

4.3 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Bentuk dan Warna

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan mikroskop yang telah dilakukan, mikroplastik dikategorikan berdasarkan bentuknya yaitu *Fragment*, *Film*, *Fiber*, *Filament*, *Pellet*, dan *Foam*. Identifikasi morfologi atau bentuk dari mikroplastik yang ditemukan dapat digunakan sebagai indikasi dari potensi sumber mikroplastik tersebut di lingkungan (GESAMP, 2019). Bentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan pada penelitian ini adalah bentuk *Fragment* dengan persentase sebesar 73,5% diikuti dengan bentuk *Film* sebesar 24,4% lalu bentuk *Pellet* sebesar 0,97%, *Filament* 0,8%, *Foam* 0,2% dan bentuk yang paling sedikit ditemukan adalah *Fiber* dengan persentase 0,1% seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan juga disajikan dalam bentuk peta persebaran seperti pada Gambar 4.13.

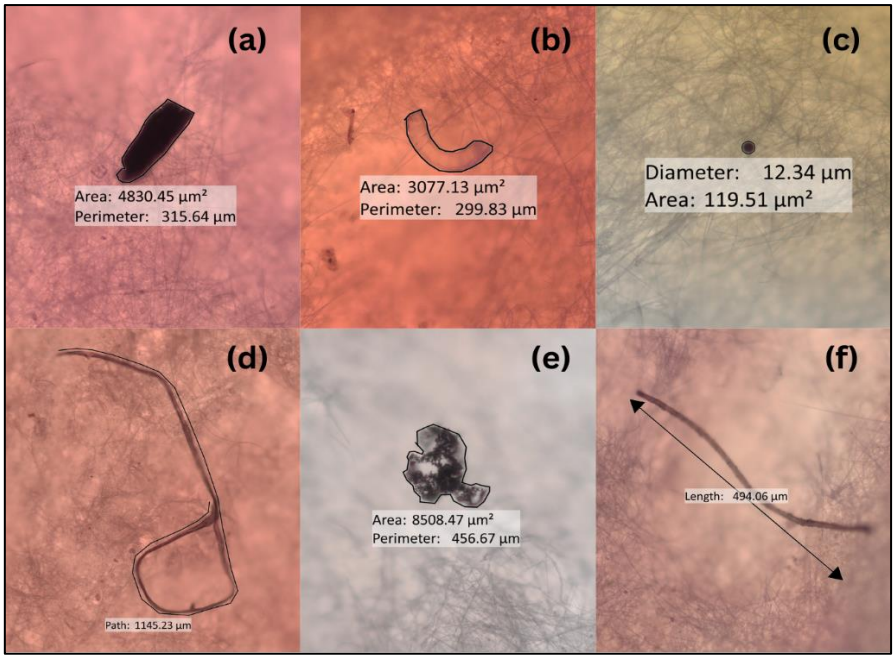


Gambar 4. 12 Persentase Komposisi Bentuk Mikroplastik Sedimen Sungai Code



Gambar 4. 13 Peta Persebaran Persentase Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code

Adapun bentuk mikroplastik *Fragment*, *Film*, *Fiber*, *Filament*, *Pellet*, dan *Foam* yang diperoleh dari hasil pengamatan mikroskop pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.14



Gambar 4. 14 Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code

(a) Fragment, (b) Film, (c) Pellet, (d) Filament, (e) Foam dan (f) Fiber

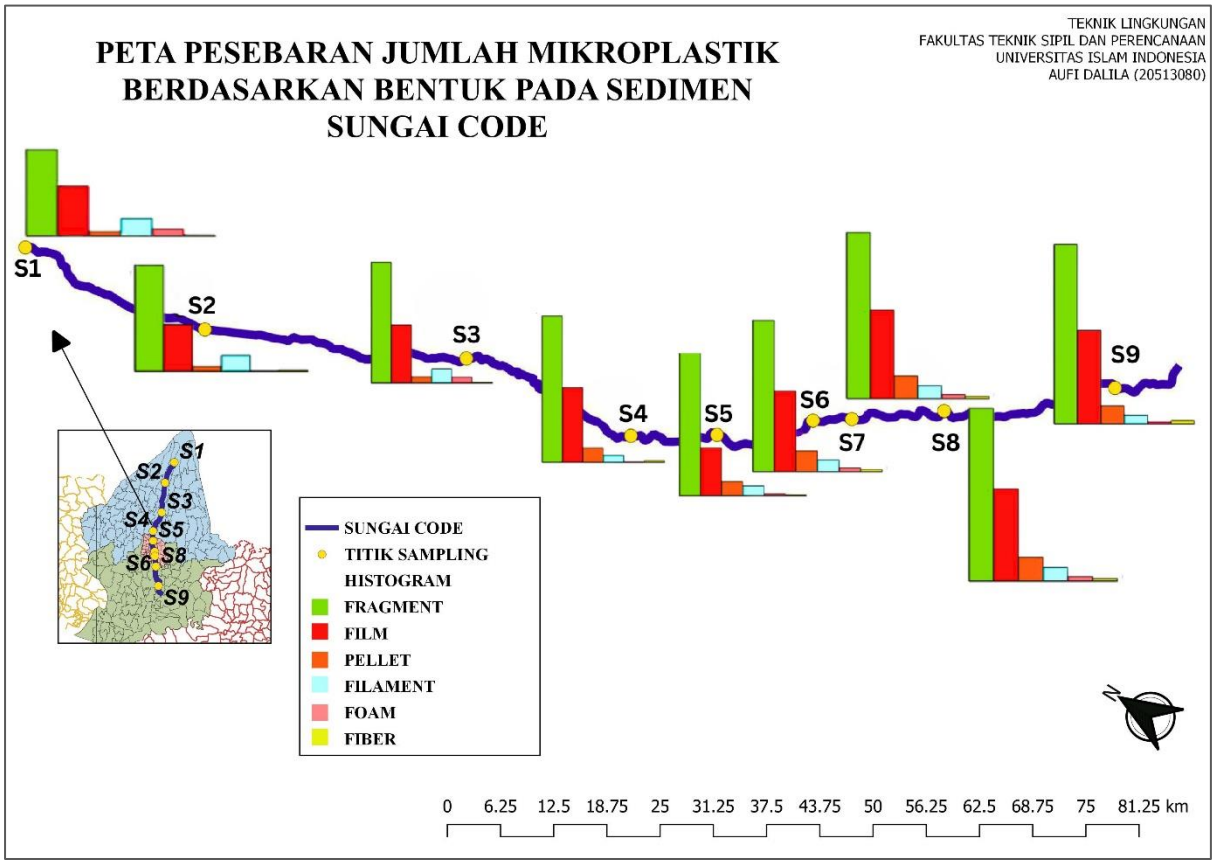
Penelitian terkait kelimpahan bentuk mikroplastik pada sedimen telah dilakukan sebelumnya pada beberapa sungai baik yang berada di Indonesia maupun di dunia yang menunjukkan hasil persentase bentuk mikroplastik yang berbeda-beda seperti yang telah dirangkum dalam Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Kelimpahan Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Sungai Berbeda

No.	Lokasi Penelitian	Kelimpahan MPs berdasarkan Bentuk (%)	Referensi
1.	Sungai Winongo, DIY	*Fragment* (56%), *Film* (29%), *Fiber* (12%), *Pellet* (3%), *Foam* (0%)	(Nouqih, 2022)
2.	Sungai Namibian	*Fragment* (69,7%), *Film* (23,3%), dan *Fiber* (6,2%)	(Faulstich dkk., 2022)
3.	Sungai Yuanjiang	*Foam* (74,6%), *Fiber* (14%), *Film* (4,6%), dan *Fragment* (2,8%)	(Zhou dkk., 2020)
4.	Sungai Qara Su, Iran	*Fiber* (52,8%), *Fragment* (32,8%), Granula (10,2%), dan *Film* (4,8%)	(Ghanbari dkk., 2022)
5.	Sungai Langat, Malaysia	*Fiber* (96%), *Fragment* (3%), *Film* (1%), *Beads* (<1%)	(Ling, 2022)

Kelima penelitian diatas menunjukkan bahwa bentuk mikroplastik yang teridentifikasi pada penelitian ini memiliki kemiripan dengan hasil penelitian yang dilakukan di Sungai

Winongo dan Sungai Namibian dimana bentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah *Fragment*. Namun, hal ini berbeda dengan yang ditemukan di Sungai Qara Su, Sungai Langat, dan Sungai Yuanjiang karena pada sedimen sungai Qara Su dan Sungai Langat ditemukan bentuk mikroplastik yang paling banyak adalah *Fiber* sedangkan di Sungai Yuanjiang bentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah *Foam*. Peta persebaran jumlah bentuk mikroplastik yang ditemukan pada sedimen Sungai Code di penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.15

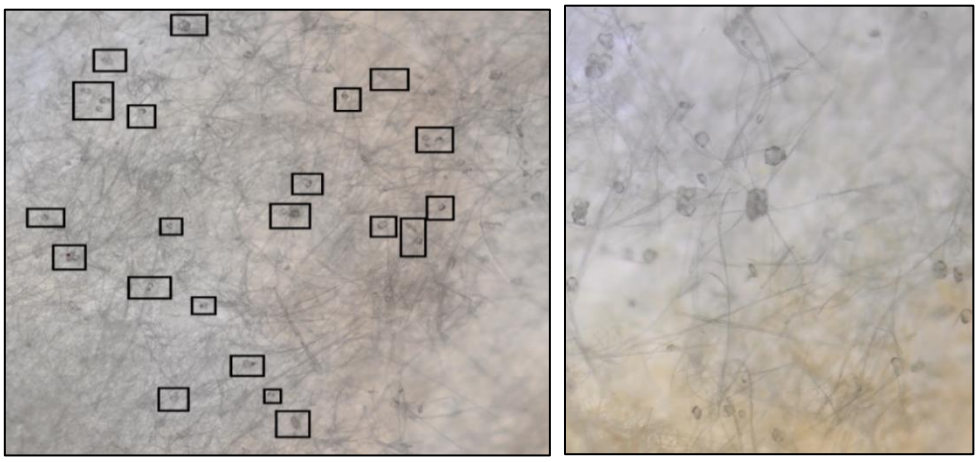


Gambar 4. 15 Peta Persebaran Jumlah Bentuk Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code

Zhang dkk., (2015) menyebutkan bahwa bentuk atau morfologi dari mikroplastik dapat menunjukkan produk asal dari mikroplastik yang telah terdegradasi tersebut. *Fragment* dan *Film* merupakan bentuk mikroplastik yang ditemukan paling mendominasi di antara bentuk mikroplastik lainnya. *Fragment* didefinisikan sebagai partikel yang berasal dari fragmentasi kemasan plastik yang besar sedangkan *Film* didefinisikan mirip dengan *Fragment* yang dimana berasal dari pecahan-pecahan plastik berukuran besar namun *Film* memiliki bentuk lebih tipis dan fleksibel dibandingkan *Fragment* seperti kantong plastik atau plastik pembungkus. Tingginya jumlah *Fragment* pada penelitian ini juga disebabkan karena adanya proses antara sampah plastik yang berukuran besar dengan bebatuan yang ada di sungai atau di sedimen yang menyebabkan proses fragmentasi dari plastik yang berukuran besar ini semakin meningkat

karena terbentur dan tertumbuk dengan batuan-batuan yang bergerak pada sedimen sungai (Hidalgo-Ruz, 2012) selain itu Harris, (2020) menyebutkan bahwa mikroplastik bentuk *Fragment* dapat dengan mudah mengendap ke dalam sedimen dibandingkan bentuk mikroplastik lainnya. *Fragment* dan *Film* menempati bentuk mikroplastik yang paling banyak ditemukan pada setiap titik juga dapat disebabkan karena kedua jenis ini memiliki densitas yang rendah sehingga memungkinkan untuk menyebar secara cepat (Hidalgo-Ruz dkk., 2012).

Selanjutnya, bentuk mikroplastik yang menempati posisi terbanyak selanjutnya adalah *Pellet* dengan persentase 0,97% serta *Filament* dengan persentase sebesar 0,8%. *Pellet* merupakan mikroplastik yang berasal dari sumber primer dan biasanya diproduksi untuk digunakan dalam produk deterjen/perawatan diri sebagai *scrubber* sedangkan *Filament* merupakan mikroplastik dengan ukuran yang memanjang dan berasal dari fragmentasi tali berbahan plastik serta tali yang digunakan untuk memancing (Tanaka dan Takada, 2016). Namun pada penelitian ini juga ditemukan pecahan-pecahan dari *Pellet* yang dimana pecahan ini kemudian dihitung dan digolongkan menjadi bentuk *Fragment* (MPs Sekunder) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.16.



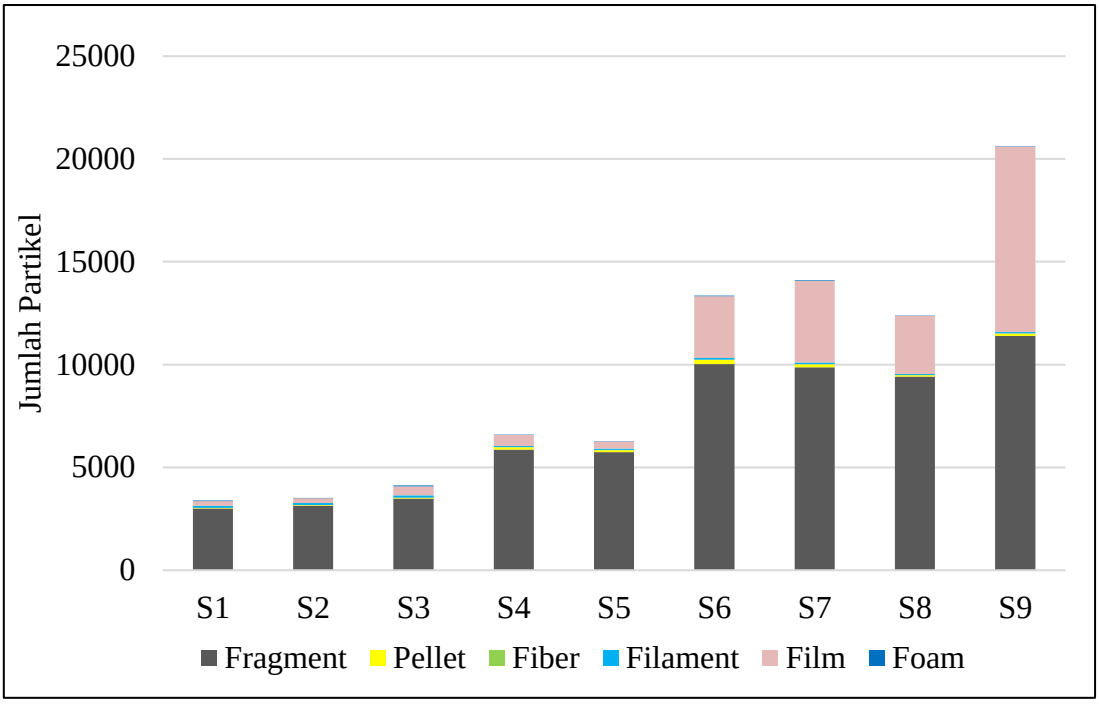
Gambar 4. 16 Hasil Fragmentasi Mikroplastik Bentuk *Pellet* Sedimen Sungai Code

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Hal ini mengacu kepada penelitian yang dilakukan oleh de Almeida dkk., (2022) yang menyebutkan bahwa mikroplastik jenis primer seperti *Pellet* yang telah rusak dan berubah bentuk akibat proses degradasi dan fragmentasi di lingkungan digolongkan menjadi mikroplastik sekunder seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.3

Selain *Fragment*, *Film*, *Pellet* dan *Filament* jenis mikroplastik *Foam* dan *Fiber* juga ditemukan pada penelitian ini namun hanya sebesar 0,3% dan 0,12%. *Foam* merupakan mikroplastik yang berasal dari sumber sekunder yang berbentuk granular yang mudah berubah bentuk apabila berada di bawah tekanan dan dapat terpisah tergantung proses pelapukan yang

terjadi (Tanaka dan Tadaka, 2016; GESAMP, 2019). *Foam* dapat dihasilkan dari plastik pembungkus yang berbahan *styrofoam* dan juga plastik kontainer. Mikroplastik bentuk *Fiber* dapat bersumber dari air limbah bekas mencuci pakaian, selimut, dan lain sebagainya yang langsung dibuang ke sungai (Wu dkk., 2023). Selain itu, potensi sumber *Fiber* lainnya dapat berasal dari deposisi dari atmosfir dan juga limpasan seperti saluran drainase (Browne, 2011). Tanaka dan Takada, (2016) mendefinisikan *Fiber* sebagai jenis mikroplastik yang berbentuk seperti benang yang diperoleh dari bahan tekstil termasuk pakaian dan perkakas rumah tangga. Masing-masing dari bentuk mikroplastik memiliki kelimpahan yang berbeda-beda pada setiap titik mulai dari hulu hingga ke hilir seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4. 17 Grafik Jumlah Mikroplastik di Sedimen Sungai Code Berdasarkan Bentuk

Bentuk mikroplastik pada Titik S1, S2, dan S3 yang berada di bagian hulu sungai didominasi dengan bentuk *Fragment*, *Film*, *Filament*, dan *Foam*. Berdasarkan sumbernya, mikroplastik terbagi menjadi dua yaitu mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder. Keempat jenis mikroplastik yang paling dominan pada titik di bagian hulu merupakan bentuk mikroplastik yang berasal dari sumber sekunder atau yang disebut *secondary microplastic* hanya sedikit sekali ditemukan mikroplastik dari sumber primer seperti *Pellet* dan *Fiber* yang mengkarakterisasi sumber pencemar seperti air limbah rumah tangga dan lainnya pada titik di bagian hulu seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.17. Hal ini menunjukkan bahwa, bagian sumber utama pencemaran mikroplastik pada bagian hulu sebagian besar berasal dari sampah plastik yang sudah terdegradasi menjadi mikroplastik. Bagian Hulu di titik S1, S2, dan S3,

mikroplastik bentuk *Pellet* paling banyak ditemukan pada titik S3 hal ini disebabkan karena adanya saluran drainase di sekitar titik sampling. Kondisi ini tentu sangat jauh berbeda dengan yang ditemukan pada titik yang mulai memasuki wilayah perkotaan yaitu pada titik S4 hingga ke hilir pada titik S9 walaupun masih didominasi oleh bentuk *Fragment* dan *Film* namun terdapat perbedaan kelimpahan untuk bentuk mikroplastik lainnya terutama bentuk *Pellet* dan *Fiber* dibandingkan pada titik di bagian hulu. Perbedaan kelimpahan bentuk mikroplastik pada titik ini disebabkan karena adanya perubahan tata guna wilayah yang ada di sekitar Sungai Code.

Tingginya jumlah *Fragment* dan *Film* yang ditemukan pada bagian hilir dari sedimen Sungai Code disebabkan karena adanya proses akumulasi yang terjadi dari bagian hulu dan tengah terutama di bagian tengah yang didominasi oleh kawasan dengan aktivitas antropogenik yang sangat tinggi di sekitar sungai. Kelimpahan mikroplastik jenis *Film* paling tinggi berada pada titik S9 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.16. Tingginya jumlah mikroplastik bentuk *Film* pada titik S9 selain dipengaruhi oleh akumulasi dari bagian tengah hal ini juga dipengaruhi karena tata guna lahan pada titik S9 didominasi oleh wilayah persawahan dan adanya peternakan kuda di sekitar wilayah tersebut. Kegiatan peternakan dan juga agrikultur merupakan salah satu sumber tingginya mikroplastik jenis *Film* baik pada sedimen maupun air Sungai (Ding dkk., 2019). Salah satu sumber terbesar mikroplastik pada tanah pertanian adalah penggunaan plastik film mulsa (Kristanti dkk., 2022). Pelapukan dan degradasi dari plastik ini kemudian akan menghasilkan mikroplastik yang dapat masuk ke sungai melalui udara dan hujan. Penggunaan plastik pada kegiatan persawahan menyebabkan tingginya jumlah mikroplastik yang masuk ke wilayah perairan (Wu dkk., 2023). Hal ini juga dapat menguatkan pembahasan pada bagian 4.2 bahwa tingginya kelimpahan mikroplastik pada titik S9 dibandingkan titik lainnya selain dipengaruhi oleh tata guna lahan berupa pemukiman padat di bagian hilirnya, kawasan pertanian serta peternakan yang menjadi salah satu kontributor terhadap tingginya kelimpahan mikroplastik di sedimen Sungai Code.

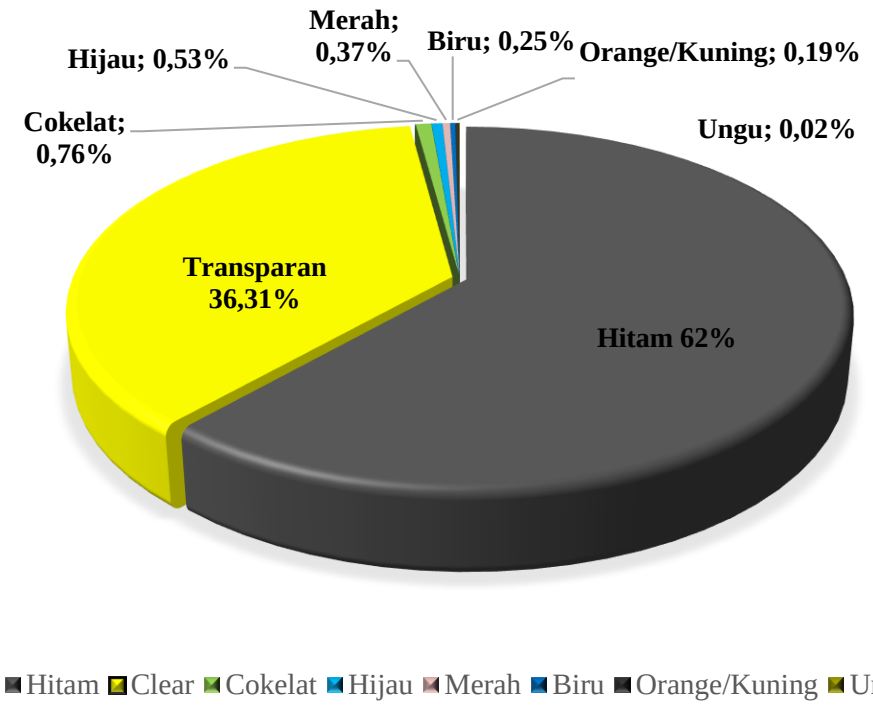
Titik S4, S5, S6, S7, S8, S9 yang mengalir dari bagian tengah menuju hilir memiliki jumlah *Pellet* dan *Fiber* yang lebih tinggi dibandingkan pada titik di bagian hulu. Tingginya kedua jenis mikroplastik ini berkaitan erat dengan adanya sumber pencemaran mikroplastik lainnya yang masuk ke sungai selain dari degradasi sampah plastik. Sumber ini berasal dari adanya saluran air limbah rumah tangga dan saluran drainase. Banyaknya mikroplastik bentuk *Fiber* yang ditemukan pada bagian tengah-hilir dibandingkan hulu disebabkan karena pada titik ini jenis sampah yang masuk ke sungai sudah mulai beragam bukan hanya sampah plastik tapi

juga ditemukan beberapa jenis sampah lainnya terutama sampah pakaian atau sampah dari barang yang menggunakan serat sintetis di pinggiran sungai seperti kain, pakaian dalam, baju, dan sampah yang berbahan serat lainnya. Selain itu, *Fiber* juga dapat berasal dari pipa saluran pembuangan air limbah rumah tangga terutama limbah bekas cuci pakaian yang langsung masuk ke sungai. Mikroplastik bentuk *Pellet* juga dapat berasal dari air limbah rumah tangga yang masuk ke sungai namun berbeda dengan *Fiber* sumber *Pellet* biasanya berasal dari kamar mandi dan wastafel yang disebabkan karena pemakain produk-produk perawatan diri, *detergent*, dan lain sebagainya yang mengandung mikroplastik bentuk *Pellet*.

Sebagian besar bentuk mikroplastik yang paling dominan di sedimen Sungai Code adalah mikroplastik yang berasal dari sumber sekunder seperti *Fragment*, *Film*, *Filament*, dan *Foam* dari hasil proses fragmentasi dan degradasi sampah plastik yang berukuran besar. Hal ini menguatkan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya pada bagian 4.2 bahwa sumber terbesar dari besarnya kelimpahan mikroplastik di sedimen Sungai Code adalah berasal dari pembuangan sampah domestik ke sungai. Sampah yang dibuang langsung ke sungai disebabkan karena buruknya manajemen pengelolaan sampah domestik oleh masyarakat sekitar serta kurangnya kesadaran masyarakat. Selain itu, sumber pencemar mikroplastik lainnya di Sungai Code berasal dari saluran drainase dan pembuangan air limbah rumah tangga ke sungai yang dikarakterisasi oleh mikroplastik bentuk *Pellet* dan *Fiber*.

Selain identifikasi mikroplastik berdasarkan bentuk dilakukan juga identifikasi mikroplastik berdasarkan warna yang ditemukan dari hasil pengamatan mikroskop. Pewarnaan pada plastik dilakukan dengan menambahkan warna tersebut melalui pigmen sehingga produk plastik dapat menjadi lebih menarik dan sesuai dengan peruntukannya. Pigmen warna ini berfungsi sebagai agen untuk menyerap sinar Ultraviolet (UV) untuk mencegah terjadinya fotodegradasi dari produk plastik tersebut (Zhao dkk., 2022). Warna pada mikroplastik memainkan peranan penting terutama di lingkungan perairan karena beberapa spesies yang hidup di lingkungan perairan dapat menelan MPs dan memiliki perilaku-perilaku spesifik terhadap preferensi warna MPs yang ada di lingkungan (Boriello dkk., 2023).

Adapun warna mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini adalah warna Hitam (61,57%), Transparan (36,31%), Cokelat (0,76%), Hijau (0,53%), Merah (0,37%), Biru (0,25%), Orange/Kuning (0,19%), dan Ungu (0,02%) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18. Warna orange dan kuning digabung menjadi satu kategori dikarenakan warna kuning yang ditemukan dalam penelitian ini sangat sedikit sekali.



Gambar 4. 18 Persentase Komposisi Warna Mikroplastik Sedimen Sungai Code

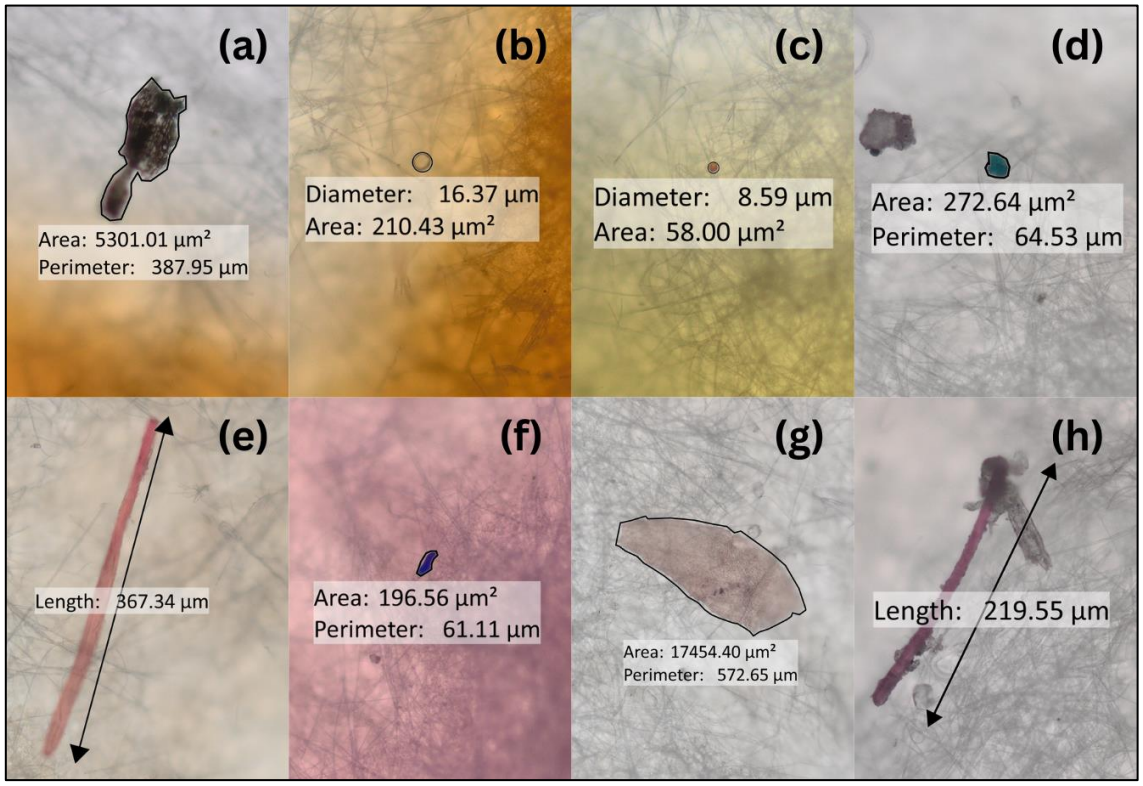
Warna hitam merupakan warna yang paling banyak ditemukan dalam penelitian ini. Beberapa penelitian pada sampel sedimen menunjukkan kelimpahan warna yang berbeda-beda seperti yang dirangkum dalam Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Keberagaman Persentase Warna Mikroplastik pada Sedimen Sungai Berbeda

No.	Lokasi Penelitian	Kelimpahan MPs berdasarkan Bentuk	Referensi
1.	Sungai Winongo, DIY	Hitam (44%), Transparan (30%), Merah (18%), Biru (4%), Lainnya (3%), Kuning (1%)	(Nouqih, 2022)
2.	Sungai Namibian	Transparan (30,5%), Cokelat (23,9%), Hitam (13,2%)	(Faulstich dkk., 2022)
3.	Sungai Opak, DIY	Hitam (44%), Cokelat (37%), Transparan (16%), Hijau (2%), Merah (1%)	(Kumalasari, 2023)
4.	Sungai Qara Su, Iran	Putih (36%), Cokelat (20%), dan Hitam (16%)	(Ghanbari dkk., 2022)

Warna hitam merupakan warna yang paling banyak ditemukan pada penelitian ini dan menempati persentase sebesar 61,57%. Penelitian lainnya yang dilakukan pada sedimen Sungai Winongo dan Sungai Opak juga menunjukkan hal serupa dimana warna hitam merupakan

warna yang paling banyak ditemukan yaitu menempati persentase sebesar 44% di kedua sungai ini. Namun, hal ini berbeda dengan yang ditemukan pada sedimen Sungai Namibian dan Sungai Qara Su yang dimana pada kedua sedimen sungai ini warna mikroplastik yang paling banyak ditemukan justru adalah warna Transparan. Penelitian yang dilakukan oleh Prabowo, (2020) pada sedimen Sungai Code di Tahun 2020 menunjukkan kelimpahan warna dimana warna Hitam > Transparan > Merah dan Biru > Cokelat dan Nila. Namun, pada tahun 2021 penelitian yang dilakukan oleh Utami dkk., (2021) pada sedimen Sungai Code menunjukkan kelimpahan warna yang berbeda dengan tahun sebelumnya dimana warna yang mendominasi adalah warna Transparan > Cokelat > Hitam > Abu-abu > Hijau > Merah dan Biru. Kelimpahan warna yang ditemukan pada penelitian ini dengan penelitian mikroplastik pada sedimen Sungai Code dari kedua tahun tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar warna mikroplastik yang mendominasi di Sungai Code adalah warna Hitam, Transparan, dan Cokelat. Selain itu, kelimpahan warna mikroplastik Hijau, Merah, Biru, dan Kuning/Nila memiliki kelimpahan yang sedikit pada penelitian ini yang dimana hal ini juga sama ditemukan dengan penelitian oleh Utami dkk., (2021) dan Prabowo, (2020). Adapun warna mikroplastik yang diperoleh dari penelitian ini berdasarkan hasil pengamatan mikroskop ditunjukkan oleh Gambar 4.19

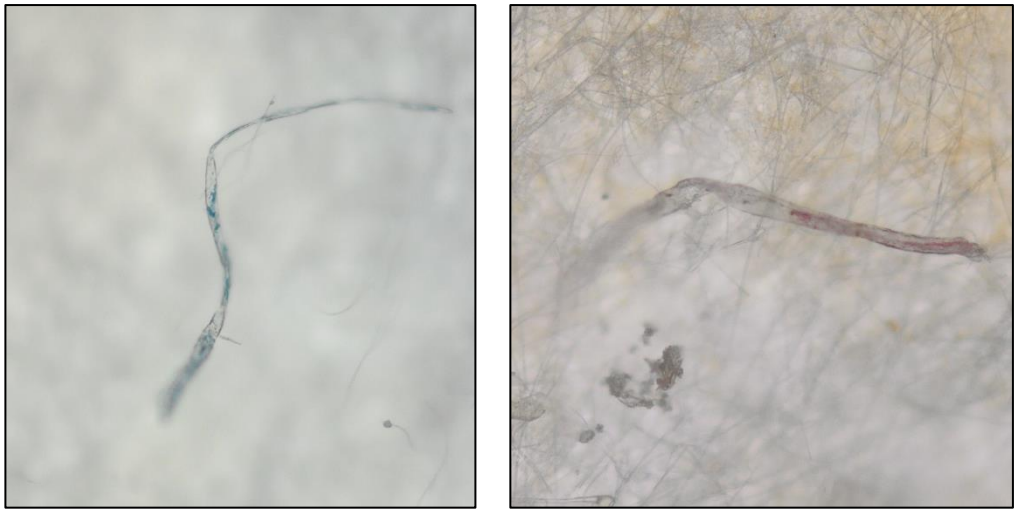


Gambar 4. 19 Warna Mikroplastik pada Sedimen Sungai Code

(a) Hitam, (b) Transparan, (c) Cokelat, (d)Hijau, (e) Merah, (f) Biru, (g) Orange, dan (h) Ungu

Zhao dkk., (2022) menyebutkan bahwa faktor utama yang mengakibatkan transmisi sinar UV terhadap plastik adalah kedalaman warna yang dimana kedalam warna ini direpresentasikan dengan L *value* atau *Lightness Value* sehingga semakin gelap warna plastik (L value rendah) maka semakin kuat kemampuan warna tersebut untuk menyerap cahaya yang mengakibatkan rendahnya transmisi sinar UV dan laju proses fotodegradasi sehingga ketika masuk ke lingkungan warna plastik tersebut akan sulit terdegradasi. Hal ini juga menjadi salah satu faktor dari banyaknya produk plastik yang diproduksi dengan pigmen warna hitam karena sifatnya yang awet. Namun, disisi lain sampah plastik berwarna hitam menjadi salah satu sumber terbesar dari total mikroplastik di lingkungan karena produksinya yang banyak dan kemudian berakhir di lingkungan (Huang dan Xu, 2022). Basri dkk., (2021) juga menyebutkan bahwa warna hitam merupakan warna yang paling banyak ditemukan di setiap studi mengenai mikroplastik serta warna ini dapat mengindikasikan jumlah kontaminan dan partikel organik yang terserap di permukaan mikroplastik. Mikroplastik yang berwarna hitam memiliki kemampuan yang tinggi dalam menyerap polutan dan mempengaruhi tekstur dari mikroplastik (Ismiyati dkk., 2022).

Selain warna hitam, warna transparan juga menduduki posisi kedua warna yang paling banyak ditemukan pada penelitian ini yaitu sebesar 36,31%. Warna partikel mikroplastik transparan disebabkan karena partikel ini telah mengalami proses fotokimia yang menyebabkan terjadinya perubahan dan hilangnya warna atau pigmen asli dari partikel mikroplastik ini (Tubagus dkk., 2020). Warna transparan juga banyak ditemukan di sedimen hal ini disebabkan karena adanya proses pelunturan warna asli dari plastik tersebut akibat proses yang terjadi di lingkungan (Li Y dkk., 2020). Plastik yang masuk ke lingkungan melalui beberapa proses yang dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari, arus air, abrasi, oksidasi secara termal, dan biodegradasi. Salah satu faktor utama penyebab adanya perubahan warna dari polimer plastik adalah fotodegradasi (Zhou dkk., 2022). Beberapa mikroplastik yang ditemukan dari pengamatan mikroskop menunjukkan adanya degradasi warna plastik dan memiliki warna yang tidak solid melainkan sedikit transparan bahkan ada warna yang hanya sedikit tersisa pada mikroplastik tersebut seperti pada Gambar 4.20.



(a) (b)

Gambar 4. 20 Mikroplastik yang Telah Mengalami Pelunturan Warna

(a) Warna Biru dan (b) Warna Merah

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Namun, mikroplastik dengan warna transparan juga disebabkan karena warna asli dari plastik tersebut seperti plastik sekali pakai, plastik pembungkus makanan, dan produk plastik lainnya yang diproduksi dengan warna transparan. Warna transparan pada mikroplastik juga dapat menjadi salah satu identifikasi awal dari jenis polimer Polypropylene (PP) (Nurfitriyani dkk., 2020). Selain warna hitam dan transparan ditemukan juga warna lainnya seperti Cokelat, Hijau, Merah, Biru, Orange dan Kuning, serta Ungu dengan persentase 0,76%, 0,53%, 0,37%, 0,25%, 0,19%, dan 0,02%. Warna cokelat dan warna kekuningan dari mikroplastik yang diperoleh pada penelitian ini dapat disebabkan karena adanya proses pelapukan yang terjadi. (Uoginte dkk., 2022). Mikroplastik dengan warna yang masih solid seperti warna hijau, merah, biru, orange dan kuning, serta ungu yang ditemukan pada penelitian ini ditemukan hanya >0,5%. Mikroplastik ini diduga belum terlalu lama berada di sedimen sehingga fotodegradasi yang terjadi masih berlangsung dan pigmen warna belum mengalami kerusakan. Manalu dkk., (2017) menyebutkan bahwa warna pada mikroplastik dapat meningkatkan resiko atau potensi mikroplastik tersebut terkonsumsi oleh organisme karena bentuknya yang mirip dengan makanan dari mikroplastik tersebut.

Berdasarkan hasil dari warna mikroplastik yang telah diperoleh dan dengan ditemukan hanya sedikit sekali warna mikroplastik yang memiliki pigmen warna yang masih solid dan belum terdegradasi maka diduga mikroplastik yang ditemukan pada sedimen Sungai Code telah terakumulasi dalam waktu yang lama dan telah mengalami proses fotodegradasi dimana hal ini

dapat menyebabkan hilangnya pigmen warna plastik serta adanya akumulasi kontaminan dan partikel organik yang terserap pada mikroplastik tersebut.

4.4 Identifikasi Mikroplastik Berdasarkan Jenis dan Ukuran

Identifikasi jenis mikroplastik berdasarkan komposisi polimer dilakukan dengan menggunakan alat berupa *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* atau FT-IR. Identifikasi polimer dari mikroplastik dapat digunakan untuk menentukan bagaimana plastik tersebut di lingkungan seperti pengaruh densitas dan ikatan-ikatan kimia yang dapat rusak apabila berada pada beberapa kondisi ketika masuk ke lingkungan. Selain itu, beberapa polimer plastik juga memiliki sifat-sifat tertentu terutama kemampuannya dalam menyerap polutan-polutan kimia yang ada di lingkungan sekitarnya (Jung dkk., 2018).

Cara kerja FT-IR dalam menentukan polimer plastik adalah dengan penyerapan sinar infrared dari ikatan kimia yang dimana sinar infrared yang terserap dan terukur akan menunjukkan nilai puncak (*Peaks)* yang sesuai dengan frekuensi getaran pada ikatan atom yang menyusun plastik tersebut (Veerasingam dkk., 2020). FT-IR sebagai alat atau instrumen yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi polimer plastik belum cukup efektif dibandingkan instrumen spektrofotometer lainnya seperti Spektrofotometer Raman. Spektrofotometer Raman dapat mengidentifikasi ukuran mikroplastik dalam ukuran yang sangat kecil dan juga dapat mengidentifikasi partikel yang gelap dan berwarna (Xu dkk., 2019)

Savino dkk., (2022) menyebutkan bahwa beberapa polimer plastik menunjukkan *Peak* pembacaan yang berbeda ketika telah mengalami proses degradasi atau pelapukan. Xu dkk., (2019) juga menambahkan bahwa sangat penting dilakukan investigasi terlebih dahulu terkait dengan pengaruh proses degradasi secara kimia terhadap spektra yang ditunjukan oleh ikatan plastik sebelum melakukan identifikasi MPs karena hal ini merupakan tantangan dalam pembacaan polimer plastik karena plastik yang telah mengalami proses pelapukan dan proses lainnya selama berada di lingkungan memiliki potensi dalam perubahan atau terjadinya modifikasi fitur spektra yang dihasilkan. Oleh karena itu grafik gelombang puncak atau *Peak* yang diperoleh dari hasil pembacaan FT-IR kemudian akan dibandingkan dengan *Peak* acuan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Beberapa karakteristik *Peak* acuan dari jenis-jenis polimer plastik yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah seperti yang telah dirangkum oleh beberapa penelitian yaitu Noda dkk., (2007); Peltzer dan Simoneau, (2013); Jung dkk., (2018); Veerasingam., (2020); dan Nava dkk., (2021).

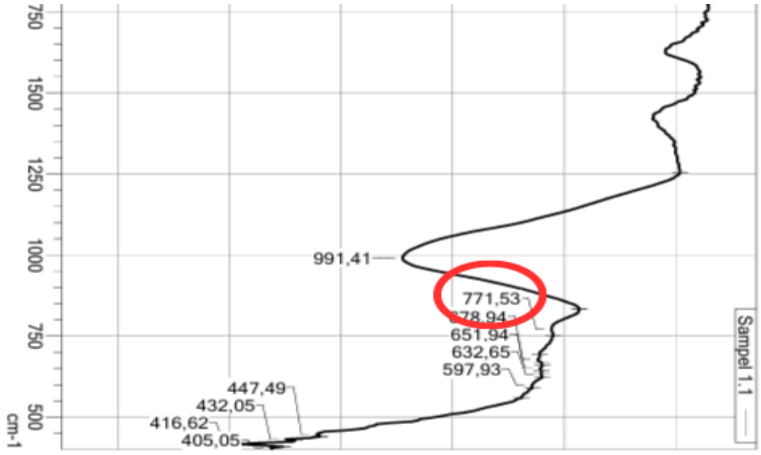
Hasil pengujian FT-IR dari kesembilan sampel pada sedimen Sungai Code terlampir pada Lampiran 6 serta perbandingan *Peak* yang telah diperoleh dan *Peak* acuan beserta dengan identifikasi polimer plastik dari *Peak* tersebut terlampir pada Lampiran 7. Pendugaan polimer

plastik yang teridentifikasi pada penelitian ini adalah *Polyethylene* (PE), *Polystyrene* (PS), *Polypropylene* (PP), *Polyvinyl chloride* (PVC), *Polytetrafluorethylene* (PTFE), *Polyvinylidene chloride* (PVDC), *Polymethyl methacrylate* (PMMA atau akrilik), *Polyethylene terephthalate* (PET) dan *Polyurethane* (PU).

Penjelasan mengenai praduga dari masing-masing polimer plastik yang teridentifikasi dan kegunaan dari polimer ini adalah sebagai berikut

1. *Polyethylene* (PE)

   Pendugaan polimer *Polyethylene* (PE) terkarakterisasi pada *Peak* 771,53 cm^{-1} yang terdapat pada grafik FT-IR di S1 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.21. Savino dkk., (2022) menyebutkan bahwa partikel plastik PE yang telah mengalami proses *weathering* atau pelapukan menunjukkan nilai *Peak* yang intens pada angka 777 cm^{-1} sehingga angka ini mendekati dengan nilai *Peak* yang ada di grafik yaitu pada angka 771,53 cm^{-1}



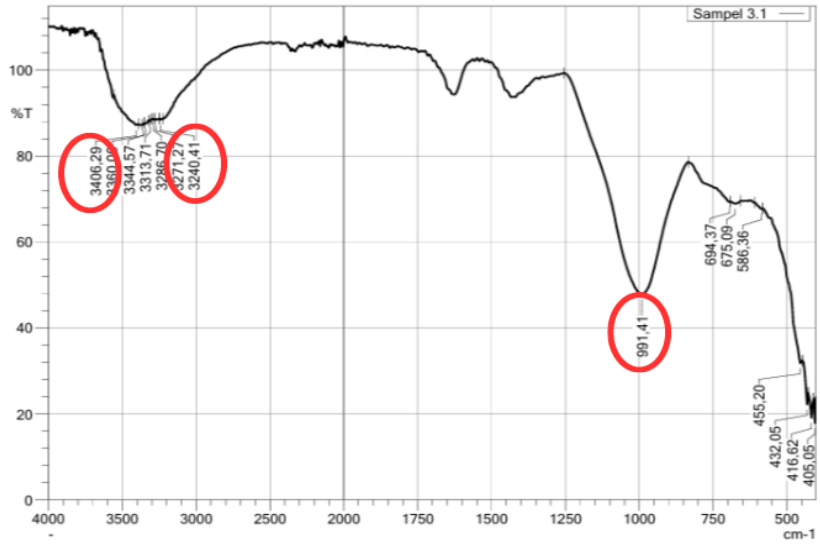
Gambar 4. 21 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PE

Polyethylene (PE) merupakan salah satu jenis polimer plastik yang memiliki struktur molekul yang paling sederhana dengan densitas sebesar 0,94 g/cm^3dan paling banyak dibutuhkan dan didistribusikan di dunia. PE biasanya digunakan untuk membuat kantong plastik, wadah penyimpanan makanan, botol deterjen dan botol plastik serta beberapa produk rumah tangga lainnya (Ashby, 2013). Keuntungan dari penggunaan PE dalam produk plastik adalah sifatnya yang felskibel dan ringan. Selain itu, PE juga banyak digunakan dalam plastik film untuk keperluan agrikultur (Wang dkk., 2023).

2. *Polypropylene* (PP)

   Pendugaan polimer *Polypropylene* (PP) terkarakterisasi pada beberapa *Peak* yang ditemukan di grafik FT-IR. Salah satu contohnya adalah pada grafik FT-IR di titik S3

pada *Peak* 3406,29 cm^{-1}, 3240,41 cm^{-1} dan 991,41 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PP

Peak acuan yang digunakan untuk praduga polimer PP disajikan dalam Tabel 4.5. Polimer PP teridentifikasi pada *Peak* 3406,29 cm^{-1} dan 3240,41 cm^{-1} dengan ikatan OH dan didukung oleh acuan *Peak* lainnya yaitu 991,41 cm^{-1} dengan ikatan C- C *stretching.*

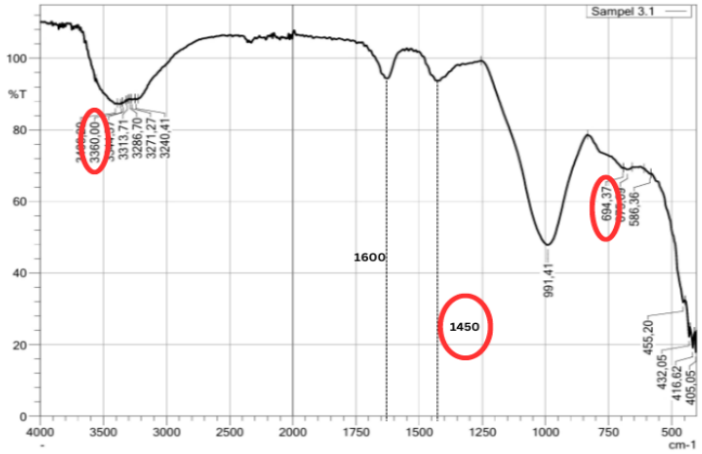
Tabel 4. 5 Acuan *Peak* Praduga Polimer PP

Peak dari Grafik FT-IR (cm^{-1})	*Peak* Acuan (cm^{-1})	Gugus Fungsi PP	Referensi
3406,29	3404	Ikatan OH	Savino dkk., (2022)
3240,41	3240	Ikatan OH	Veerasingam dkk., (2020)
991,41	997	C- C *stretching*	Veerasingam dkk., (2020)

Polypropylene (PP) merupakan jenis plastik yang banyak digunakan secara luas pada kemasan makanan. PP memiliki densitas yang rendah yaitu sebesar 0,91 g/cm^3. PP dapat digunakan untuk kegunaan sanitasi seperti popok dan pembalut wanita, kemasan produk makanan, tempat penyimpan makanan, botol, dan peralatan rumah tangga, alat pancing, dan lainnya (Maddah, 2016). Li dkk., (2016) juga menyebutkan bahwa PP banyak digunakan dalam pembuatan sedotan plastik. PP memiliki sifat lebih keras dan lebih padat dibandingkan PE sehingga plastik bahan PP juga banyak digunakan untuk kemasan makanan yang dapat di microwave (Peltzer dan Simoneau, 2013)

3. *Polystyrene* (PS)

Pendugaan polimer *Polystyrene* (PS) terkarakterisasi pada beberapa *Peak* yang ditemukan di grafik FT-IR. Salah satu contohnya adalah pada grafik FT-IR di titik S3 pada *Peak* 3360,00 cm^{-1}, 1450 cm^{-1} dan 694,37 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4. 23 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PS

Peak acuan yang digunakan untuk praduga polimer PS disajikan dalam Tabel 4.6. Polimer PS teridentifikasi pada *Peak* 3360,00 cm^{-1} dengan ikatan OH yang dimana *Peak* ini teridentifikasi pada polimer PS yang telah mengalami pelapukan (Veerasingam dkk., 2020). *Peak* pendukung selanjutnya adalah 1450 cm^{-1} dengan ikatan CH_2 *bending* dan 694,37 cm^{-1} dengan ikatan Aromatik CH.

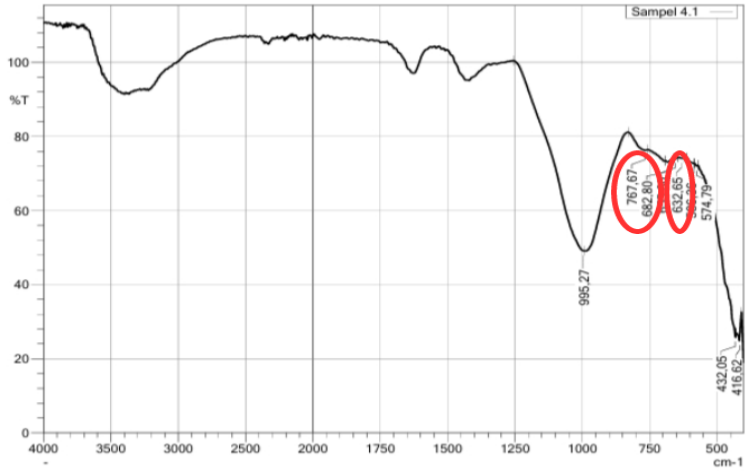
Tabel 4. 6 Acuan *Peak* Praduga Polimer PS

Peak dari Grafik FT-IR (cm^{-1})	*Peak* Acuan (cm^{-1})	Gugus Fungsi PS	Referensi
3360,00	3360	PS (*Aging*)	Veerasingam dkk., (2020)
1450	1450	CH_2 *bending*	Veerasingam dkk., (2020)
694,37	694	Aromatik CH	Veerasingam dkk., (2020)

Polystyrene atau PS merupakan salah satu termoplastik dengan densitas sebesar 1,050 g/cm^3 yang banyak digunakan setelah PE, PP, dan PVC. Polystyeren digunakan untuk plastik pembungkus makanan, perlengkapan rumah dan elektronik karena sifatnya yang tahan terhadap goresan, kaku, dan transparan sedangkan PS yang berbentuk foam digunakan untuk kemasan produk makanan dan minuman (Gausepohl dan Nießner, 2001). Selain itu, PS juga digunakan pada karton pembungkus telur dan peralatan makan plastik (Peltzer dan Simoneau, 2013)

4. *Polyvinyl chloride* (PVC)

Pendugaan polimer *Polyvinyl chloride* (PVC) terkarakterisasi pada beberapa *Peak* yang ditemukan di grafik FT-IR. Salah satu contohnya adalah pada grafik FT-IR di titik S4 pada *Peak* 767,67 cm^{-1}, 682,8 cm^{-1} dan 632,65 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 24 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PVC

Peak acuan yang digunakan untuk praduga polimer PVC disajikan dalam Tabel 4.7. Polimer PVC teridentifikasi pada *Peak* 767,67 cm^{-1}, 682,8 cm^{-1} dan 632,65 cm^{-1} dengan ikatan C – Cl yang merupakan ikatan gugus fungsi khas/khusus polimer PVC.

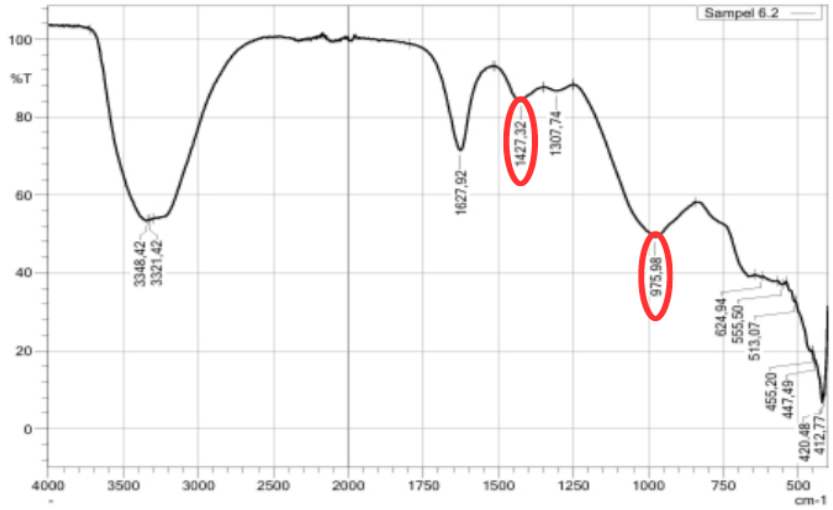
Tabel 4. 7 Acuan *Peak* Praduga Polimer PVC

Peak dari Grafik FT-IR (cm^{-1})	*Peak* Acuan (cm^{-1})	Gugus Fungsi PVC	Referensi
767,67	761	C – Cl *Stretch*	Noda dkk., (2007)
682,8	685	C – Cl *Stretch*	Noda dkk., (2007)
632,65	638	C – Cl *Stretch*	Nava dkk., (2021)

PVC merupakan jenis polimer plastik dengan densitas sebesar 1,1 – 1,4 g/cm^3 dan menjadi salah satau polimer termoplastik yang paling tua karena jenis plastik ini telah diproduksi pada tahun 1930an. PVC memiliki sifat yang tahan terhadap bahan kimia, air, dan kondisi cuaca serta memiliki biaya produksi yang rendah. PVC sering ditemukan dalam bentuk kaku atau fleksibel yang dimana PVC dengan sifat yang kaku dan keras biasanya digunakan untuk sheets, pipa air bersih dan air limbah sedangkan PVC yang bersifat fleksibel banyak digunakan produk mainan, alat tulis, kemasan, dan kontainer (Tueen dan Sin., 2023). Liu dkk., 2022 juga menambahkan bahwa PVC juga digunakan pada kulit buatan, mainan, botol air mineral, dan jas hujan

5. *Polyethylene terephthalate* (PET)

Pendugaan polimer *Polyethylene terephthalate* (PET) terkarakterisasi pada beberapa *Peak* yang ditemukan di grafik FT-IR. Salah satu contohnya adalah pada grafik FT-IR di titik S6 pada *Peak* 1307,74 cm^{-1} dan 975,98 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 25 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PET

Peak acuan yang digunakan untuk praduga polimer PET disajikan dalam Tabel 4.8. Polimer PET teridentifikasi pada *Peak* 1307,74 cm^{-1} dengan ikatan C=O dan C(O)-O. PET mengandung ikatan dari grup ester (O-C=O) yang dimana menjadi ciri khas dari polimer ini (Smith dan Peters, 2013). Selanjutnya *Peak* pendukung lainnya yaitu 975 cm^{-1} dengan ikatan transfigurasi C-O *Stretch*

Tabel 4. 8 Acuan *Peak* Praduga Polimer PET

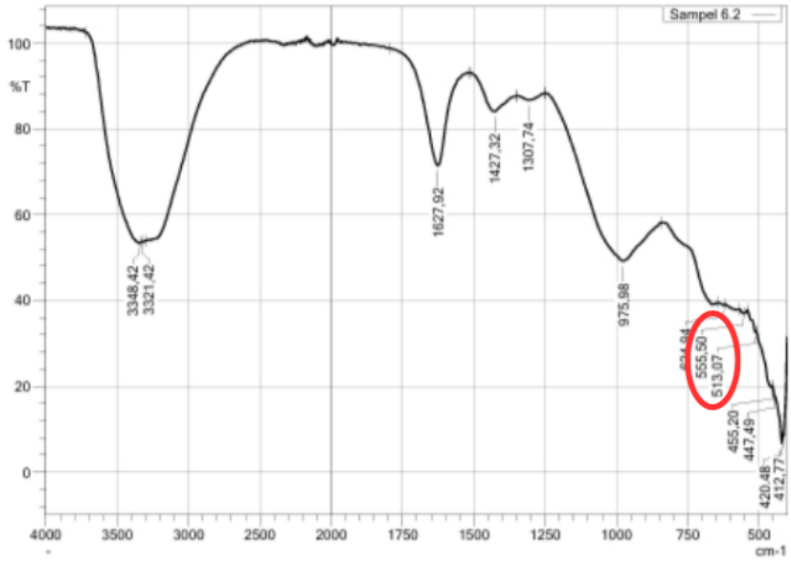
Peak dari Grafik FT-IR (cm^{-1})	*Peak* Acuan (cm^{-1})	Gugus Fungsi PET	Referensi
1307,74	1295	C=O dan C(O)-O	Nava dkk., (2021)
975,98	975	Transfigurasi C-O *Stretch*	Noda dkk., (2007)

PET merupakan polimer plastik dengan densitas sebesar 1,38 g/cm^3 yang digunakan untuk penggunaan botol minum sekali pakai dan kemasan (Karimpour dkk., 2021). PET banyak digunakan untuk kemasan minuman karena sifatnya yang ringan, tahan terhadap sinar UV, dan lebih kuat dibandingkan botol kaca (Benyathiar dkk., 2022). Tueen dan Sin., 2023 juga menambahkan bahwa itu karena sifatnya yang sangat kuat, tahan terhadap panas dan bahan kimia, stabilitas yang baik, dan memiliki permeasi gas yang lebih rendah dibandingkan polimer lainnya menyebabkan PET banyak digunakan

dalam pembuatan botol minuman berkarbonasi bahkan PET juga banyak digunakan pada kemasan minuman yang berbahan kertas karton sebagai film pelapis untuk menjaga produk agar gas dari luar tidak tembus dan bereaksi dengan produk di dalamnya

6. *Polytetrafluorethylene* (PTFE)

   Pendugaan polimer *Polyethylene terephthalate* (PET) terkarakterisasi pada beberapa *Peak* yang ditemukan di grafik FT-IR. Salah satu contohnya adalah pada grafik FT-IR di titik S6 pada *Peak* 555,5 cm^{-1} dan 513,07 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4. 26 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PTFE

Peak acuan yang digunakan untuk praduga polimer PTFE disajikan dalam Tabel 4.9. Polimer PET teridentifikasi pada *Peak* 555,5 cm^{-1} dengan ikatan CF_2 *Bending* dan 513,07 cm^{-1} dengan ikatan C-C-F *Bend*. PTFE memiliki struktur yang khas yang dapat membedakan polimer ini dengan polimer lainnya yaitu adanya ikatan C-F (Radulovic dan Wojcinski, 2014).

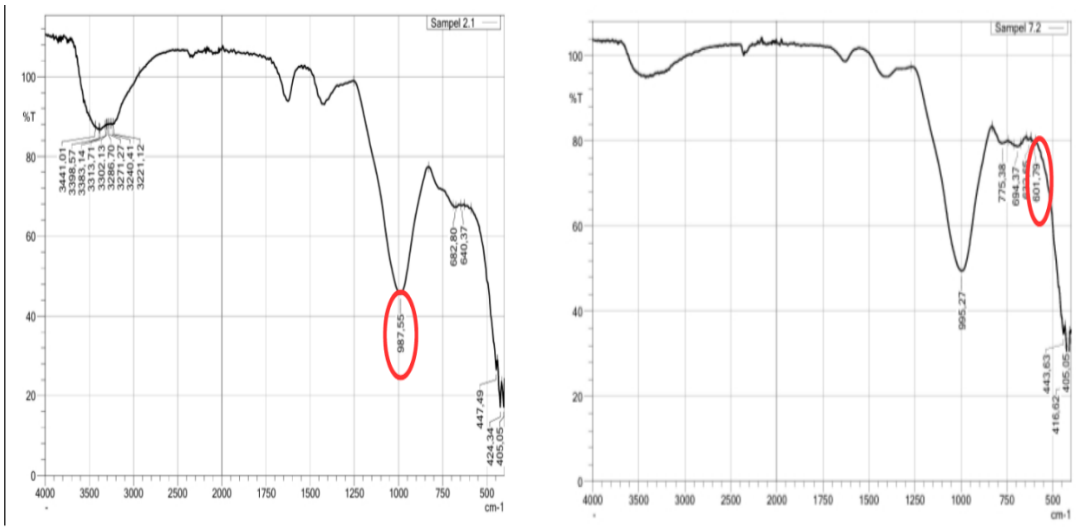
Tabel 4. 9 Acuan *Peak* Praduga Polimer PTFE

Peak dari Grafik FT-IR (cm^{-1})	*Peak* Acuan (cm^{-1})	Gugus Fungsi PTFE	Referensi
555,5	554	CF_2 *Bending*	Veerasingam dkk., (2020)
513,07	516	C-C-F *Bend*	Noda dkk., (2007)

PTFE merupakan polimer plastik yang memiliki densitas sebesar 2,2 g/cm^3 dan banyak digunakan untuk peralatan memasak seperti panci dan wajan sebagai bahan anti lengket dan komersil sebagai isolasi pada kabel listik (Radulovic dan Wojcinski, 2014).

7. *Polymethyl methacrylate* (PMMA atau akrilik)

Pendugaan polimer *Polymethyl methacrylate* (PMMA atau akrilik) terkarakterisasi pada beberapa *Peak* yang ditemukan di grafik FT-IR. Salah satu contohnya adalah pada grafik FT-IR di titik S2 dan S7 pada *Peak* 987,55 cm^{-1} dan 601,79 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4. 27 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PMMA

Peak acuan yang digunakan untuk praduga polimer PMMA disajikan dalam Tabel 4.10. Polimer PMMA teridentifikasi pada *Peak* 987,55 cm^{-1} dengan ikatan C-O-C *Stretch* dan 601,79 cm^{-1}. Ikatan C-O-C merupakan ikatan yang terdapat dalam struktur kimia PMMA (Ramesh dkk., 2014). Selain itu, terdapat *Peak* 601,79 cm^{-1} yang dimana Nava dkk., (2021) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa PMMA menunjukan getaran yang intens pada nilai *Peak* 601 cm^{-1} sehingga hal ini dapat dijadikan pendukung dari pendugaan polimer PMMA pada sampel.

Tabel 4. 10 Acuan *Peak* Praduga Polimer PMMA

Peak dari Grafik FT-IR (cm^{-1})	*Peak* Acuan (cm^{-1})	Gugus Fungsi PMMA	Referensi
987,55	554	C-O-C *Stretch*	Noda dkk., (2007)
601,79	516	-	Nava dkk., (2021)

PMMA merupakan polimer plastik dengan densitas sebesar 1,17 hingga 1,3 g/cm^3 yang memiliki sifat kuat, tahan panas, transparan dan kaku. PMMA atau yang dikenal dengan

akrilik juga banyak digunakan untuk produk interior dan dekorasi rumah seperti pajangan akrilik, cat tahan air (cat akrilik), wadah kosmetik, dan lain sebagainya

8. *Polyvinylidene chloride* (PVDC)

Pendugaan polimer *Polyvinylidene chloride* (PVDC) terkarakterisasi pada beberapa *Peak* yang ditemukan di grafik FT-IR. Salah satu contohnya adalah pada grafik FT-IR di titik S9 pada *Peak* 655,8 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4. 28 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PVDC

Peak acuan yang digunakan untuk praduga polimer PVDC disajikan dalam Tabel 4.11. Polimer PVDC teridentifikasi pada *Peak* 655,8 cm^{-1} dengan ikatan C-Cl2 *Stretch.* Ikatan C-Cl2 merupakan ikatan yang mengkarakterisasi dan terdapat dalam struktur kimia PVDC sehingga hal ini dapat membedakannya dengan PVC (Morris, 2017).

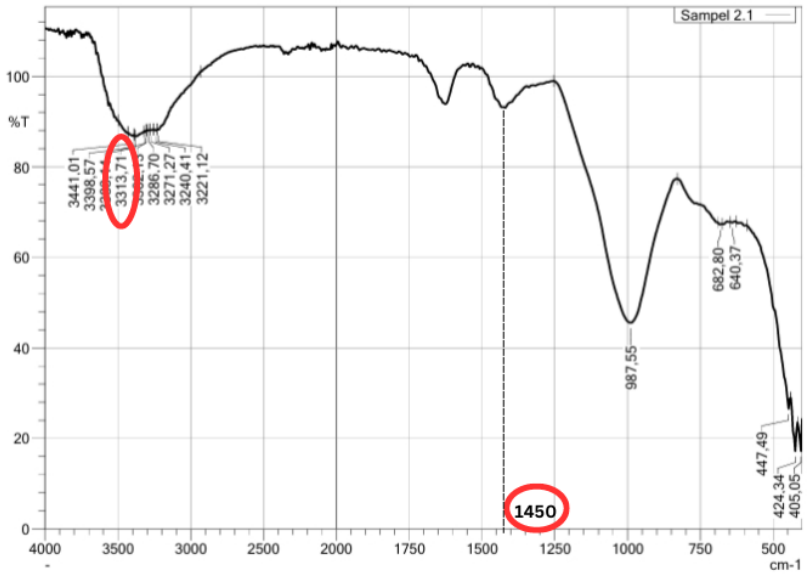
Tabel 4. 11 Acuan *Peak* Praduga Polimer PVDC

Peak dari Grafik FT-IR (cm^{-1})	*Peak* Acuan (cm^{-1})	Gugus Fungsi PVDC	Referensi
655,8	655	C-Cl_2	Peltzer dan Simoneau, 2013

PVDC memiliki densitas sebesar 1,675 g/cm^3 dan banyak digunakan sebagai plastik kemasan untuk pengawetan bahan makanan seperti daging merah, keju, sosis dan lainnya karena sifatnya yang kuat dapat mencegah dan menahan transmisi gas dari luar (Peltzer dan Simoneau, 2013)

9. *Polyurethane* (PU)

Pendugaan polimer *Polyurethane* (PU) terkarakterisasi pada beberapa *Peak* yang ditemukan di grafik FT-IR. Salah satu contohnya adalah pada grafik FT-IR di titik S2 pada *Peak* 3313,71 cm^{-1} dan 1450 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4. 29 *Peak* FT-IR Praduga Polimer PU

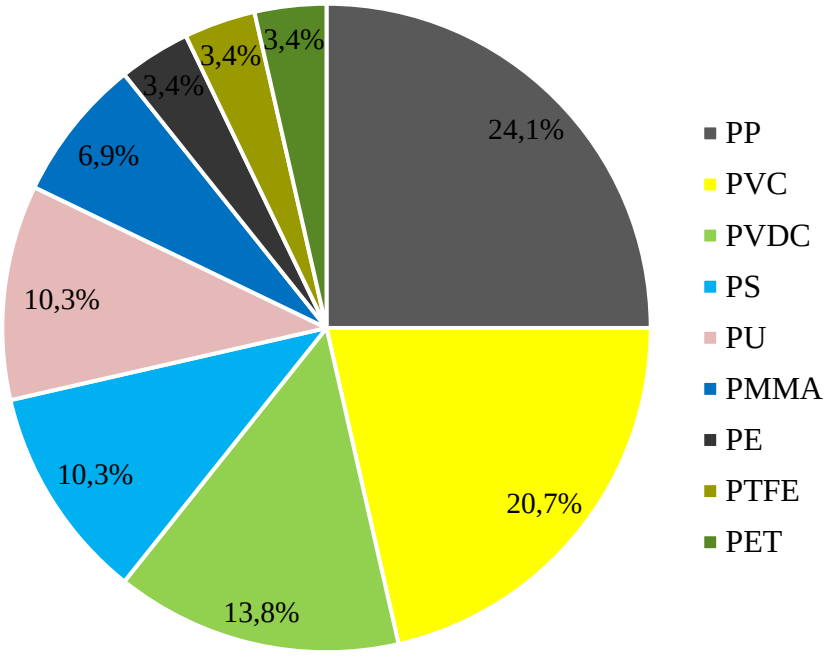
Peak acuan yang digunakan untuk praduga polimer PU disajikan dalam Tabel 4.12. Polimer PU teridentifikasi pada *Peak* 3313,71 cm^{-1} dengan ikatan NH *Stretch* dan *Peak* 1450 cm^{-1} dengan ikatan CH_2 *Bending*. Ikatan C-N merupakan ikatan yang mengkarakterisasi polimer PU yang dimana PU memiliki dua atau lebih grup isosianat dan grup hidroksil (Akindoyo dkk., 2016).

Tabel 4. 12 Acuan *Peak* Praduga Polimer PU

Peak dari Grafik FT-IR (cm^{-1})	*Peak* Acuan (cm^{-1})	Gugus Fungsi PU	Referensi
3313,71	3320	NH *Stretch*	Noda dkk., (2007)
1450	1451	CH2 *Bending*	Veerasingam dkk., (2020)

PU merupakan jenis polimer yang berbeda dari kebanyakan tipe plastik dengan densitas sebesar 0,05 – 1,7 g/cm^3. PU banyak digunakan utuk *Fiber*, busa baik yang bersifat fleksibel maupun yang bersifat kaku, PU banyak digunakan sebagai *foam* dengan tekstur yang bersifat kaku. Sebagian besar bahan PU digunakan dalam bentuk busa yang bersifat fleksibel untuk keperluan matras, bantal, dan lainnya

Polimer mikroplastik yang memiliki persentase paling besar adalah polimer PP diikuti dengan PVC, PS, PU, PMMA sedangkan polimer PE, PTFE, dan PET memiliki persentase yang sama. Persentase dari masing-masing polimer ditunjukkan pada Gambar 4.30

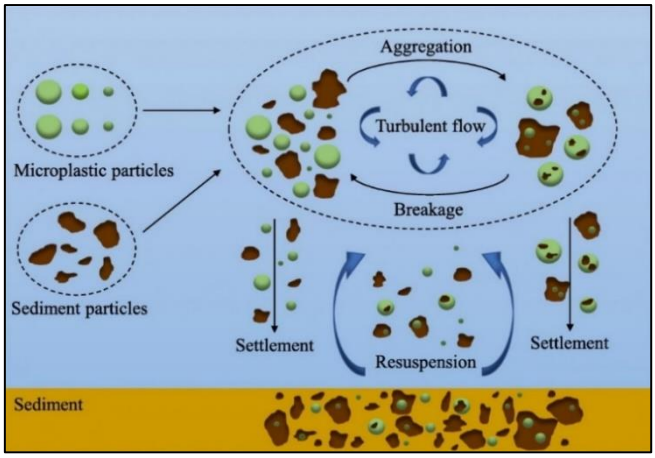


Gambar 4. 30 Persentase Polimer Plastik yang Teridentifikasi pada Sedimen

Menurut Browne dkk., (2011) pada penelitiannya menyebutkan bahwa polimer plastik seperti Polyester, akrilik, PP, PE, dan Polyamide mengkarakterisasi wilayah yang padat akan penduduk dan banyak sumber pencemaran dari air limbah. Selain itu, polimer PE, PP, PS, PET, dan PVC banyak digunakan dan diproduksi sebagai plastik kemasan sehingga menyebabkan kemungkinan pencemaran dari sampah plastik jenis polimer ini juga ikut tinggi (Andrady, 2011). Jenis mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini dibagi menjadi mikroplastik dengan densitas yang lebih ringan dan lebih berat dibandingkan densitas air. Mikroplastik yang memiliki densitas lebih ringan dibandingkan air (0,998 g/cm^3) adalah jenis PE dan PP sedangkan polimer yang memiliki densitas lebih berat daripada air adalah jenis PS, PVC, PET, PTFE, PMMA, PU, dan PVDC. Polimer plastik yang paling banyak ditemukan atau mendominasi pada sedimen Sungai Code adalah polimer-polimer dengan densitas yang lebih berat dibandingkan air. Hal ini sejalan dengan pernyataan dari Karimpour dkk., (2021) yang telah disebutkan pada Sub Bab 2.3 bahwa jenis polimer plastik yang paling banyak ditemukan adalah mikroplastik dengan densitas yang lebih tinggi. Polimer plastik yang memiliki densitas lebih besar dibandingkan air akan secara alami mengendap pada sedimen (Horton dan Dixon, 2017). Kooi dkk., (2017) melakukan studi terkait pemodelan dari jenis polimer plastik dan

ukurannya terhadap kecepatan pengendapan ke kedalaman 4000 m dasar laut dan menyebutkan bahwa pengendapan polimer plastik dengan densitas yang lebih berat dibandingkan air seperti PVC dan PS yang berukuran 10 mm membutuhkan waktu 1,6 menit (PVC) dan 23 menit (PS) untuk langsung mengendap ke dasar laut sedangkan untuk ukuran yang 0,1 mm membutuhkan waktu 10 hari (PVC) dan 23 hari (PS).

Hal ini berbeda dengan mikroplastik dengan densitas yang lebih ringan daripada air karena jenis mikroplastik ini cenderung untuk mengapung di air daripada terendap pada sedimen. Kehadiran mikroplastik dengan densitas yang rendah pada sedimen disebabkan karena beberapa hal yaitu adanya proses *Biofouling* dan pengendapan mikroplastik akibat terjadinya banjir. *Biofouling* dapat terjadi karena adanya peningkatan densitas mikroplastik akibat pembentukan biofilm pada permukaan mikroplastik. Penelitian yang dilakukan oleh Kaiser dkk., (2017) menunjukkan bahwa proses *Biofouling* dan *Makrofouling* terbukti dapat meningkatkan kecepatan pengendapan mikroplastik akibat adanya pembentukan biofilm dan makroorganisme yang melekat pada mikroplastik sehingga densitas mikroplastik dapat berubah. He dkk., (2021) juga menambahkan bahwa mikroplastik yang memiliki densitas lebih besar daripada air dapat mempengaruhi transpor mikroplastik secara vertikal menuju sedimen dan cenderung tertahan pada sedimen. Kooi dkk., (2018) juga menyebutkan polimer plastik PP memiliki kecepatan pengendapan lebih tinggi dibandingkan polimer ringan seperti LDPE dan HDPE karena densitas partikel PP setelah terjadi proses *Biofouling* lebih besar. Selain itu, faktor lainnya adalah terjadinya peristiwa banjir pada sungai juga dapat menyebabkan partikel mikroplastik baik yang ringan maupun tidak ringan terbawa dari air menuju dataran banjir dan terdeposit disana (Kaiser dkk., 2017). Li dkk., (2019) menjelaskan bahwa kondisi aliran turbulen dapat mendorong proses agregasi mikroplastik dengan sedimen dan partikel koloid lainnya yang dimana hal ini dapat menyebabkan proses pengendapan partikel mikroplastik lebih cepat dari kolom air. Proses agregasi antara partikel mikroplastik dengan partikel sedimen dijelaskan melalui Gambar 4.31 oleh Li dkk., (2022)



Gambar 4. 31 Proses Agregasi Partikel Mikroplastik dan Sedimen

Sumber: Li dkk., (2022)

Selain itu, polimer mikroplastik juga telah teridentifikasi dari beberapa penelitian yang tleah dilakukan sebelumnya pada sedimen sungai baik di Indonesia maupun di dunia yang dimana ditunjukkan pada Tabel 4.13

Tabel 4. 13 Polimer Plastik yang Ditemukan pada Sedimen Sungai Lain

No.	Lokasi Penelitian	Polimer Plastik Berdasarkan FT-IR	Referensi
1.	Sungai Opak, DIY	PS, *Polycarbonate* (PC), PTFE, *Nylon*, PET, PP, *High Density Polyethylene* (HDPE), dan *Low Density Polyethylene* (LDPE)	(Kumalasari, 2023)
2.	Sungai Musi, Sumatera Selatan	PP (36,36%) > PE (27,27%) > PES (18,18%) > PVC dan *Nylon* (9,09%)	(Purwiyanto dkk., (2020)
3.	Sungai Qara Su, Iran	PE dan PP	(Ghanbari dkk., 2022)
4.	Sungai Namibian,	PE (59,3%), PP (20,7%), dan PS (11,5%)	(Faulstich dkk., 2022)
5.	Sungai Brisbane, Australia	PE, PA, PP, PET	(He dkk. 2020(a))

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel bahwa polimer mikroplastik yang ditemukan dari pembacaan FT-IR pada penelitian ini memiliki kemiripan dengan polimer plastik yang ditemukan pada kelima sungai. Namun, hasil pembacaan FT-IR pada penelitian ini tidak ditemukan polimer jenis *Nylon, High Density Polyethylene* (HDPE), *Low Density Polyethylene* (LDPE), PES, PA dan *Polycarbonate* (PC). Perbedaan polimer plastik yang ditemukan dari pembacaan FT-IR disebabkan oleh beberapa hal seperti metode ekstraksi mikroplastik yang

berbeda, kemampuan dan ketepatan FT-IR dalam membaca polimer plastik, kondisi lingkungan dan karakteristik sungai beserta dengan sumber pencemarnya. Perbandingan polimer plastik yang ditemukan pada sedimen Sungai Code pada tahun sebelumnya yaitu tahun 2022 oleh Nasirudin dkk., (2023) menemukan polimer plastik dari pembacaan FT-IR yaitu Polyacetal, Polyethylene terphthalate (PET), Polyetherimide (PEI), Polyamide, dan Polyvinyl Chlroide (PVC). Polimer yang ditemukan dari pembacaan FT-IR pada Sungai Code tahun 2022 tidak beragam seperti yang ditemukan pada penelitian ini. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan metode ekstraksi mikroplastik yang digunakan, tahun pengambilan sampel, dan pembacaan oleh alat FT-IR.

Mikroplastik memiliki ukuran yang beragam bahkan dapat berukuran <10 nm atau yang disebut dengan Nanoplastik (NPs) akibat adanya proses fragmentasi secara mekanis. Fragmentasi mikroplastik secara mekanis memiliki kemampuan yang besar dalam membentuk mikroplastik dengan ukuran sangat kecil. Hal ini dapat terjadi karena adanya interaksi MPs dengan sedimen, bebatuan, gelombang, dan arus air akibat proses abrasi dan disintegrasi yang terjadi pada lingkungan perairan (Duan dkk., 2021). Zhang dkk., (2015) menyebutkan ukuran mikroplastik dikategorikan menjadi empat yaitu ukuran 112 – 300 μm, 300 – 500 μm, dan 500 μm – 1,6 mm namun ukuran mikroplastik sulit untuk dibandingkan dengan ukuran mikroplastik pada penelitian lainnya karena setiap peneliti menggunakan kategori ukuran yang berbeda-beda. Berdasarkan kategori ukuran oleh Zhang dkk., (2015) pada penelitian ini ditemukan ukuran mikroplastik yang bahkan lebih kecil dari 112 μm dan lebih besar dari 1,6 mm seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.14. Ukuran mikroplastik dari masing-masing bentuk mikroplastik diukur dari 10 ukuran mikroplastik yang paling kecil dan paling besar. Seperti yang terlihat pada Tabel 4.14 ukuran MPs yang ditemukan pada sedimen Sungai Code di penelitian ini memiliki ukuran yang masih tergolong ke dalam ukuran mikroplastik yaitu kurang dari 5 mm sebagaimana yang telah dibahas pada Sub Bab 2.2. Namun, ukuran *Pellet* memiliki kecenderungan mendekati ukuran Nanoplastik atau NPs yang dimana Gigault dkk., (2018) mendefinisikan ukuran NPs berada pada rentang 1 nm hingga 1000 nm (1 μm). Wu dkk., (2018) menyebutkan bahwa banyaknya mikroplastik yang ditemukan dalam ukuran kecil dapat mengindikasikan tingginya derajat pelapukan (*degree of weathering*) dari mikroplastik tersebut di lingkungan.

Tabel 4. 14 Ukuran Mikroplastik pada Setiap Sampel Sedimen Sungai Code

Nama Sampel	***Fragment* (µm)**		***Film* (µm)**		***Foam* (µm)**		***Pellet* (µm)**		***Filament* (µm)**		***Fiber* (µm)**	
	Perimeter		*Perimeter*		*Perimeter*		*Diameter*		*Length*		*Length*	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Sampel 1	22,33	246,75	34,25	622,5	96,58	150,63	4,43	14,33	199,79	4979,15	86,45	410,4
Sampel 2	17,45	450,92	48,11	271,42	67,05	287,78	6,41	12,34	169,55	2328,3	141,55	572,51
Sampel 3	37,79	247,03	45,36	701,87	54,76	187,49	4,73	10,69	75,67	4652,38	113,54	528,68
Sampel 4	14,38	288,5	39,79	329,17	56,85	165,95	5,91	13,81	263,41	1239,33	67,24	911,6
Sampel 5	19,46	127,24	34,35	466,59	143,71	143,71	4,81	12,17	187,8	4553,1	255,41	5799,38
Sampel 6	12,9	77,71	63,89	552,83	148,54	157,98	2,59	14,78	121,1	4861	74,31	4933,93
Sampel 7	22,32	283,6	43,14	572,65	81,8	111,65	2,57	14,78	71,55	3217,8	219,39	3672,6
Sampel 8	23,12	315,64	46,41	465,75	44,92	44,92	3,72	20,39	193,2	3670,5	93,35	494,06
Sampel 9	26,07	602,3	92,1	1204,48	34,38	231,21	2,62	28,04	221,46	2453,7	110,5	245,76
Min	12,90		34,25		34,38		2,57		71,55		67,24	
Max	602,30		1204,48		287,78		28,04		4979,15		5799,38	
Average	157,53		313,04		122,77		9,95		1858,82		1040,59	

4.5 Identifikasi Kandungan Logam Berat Fe, Mn, dan Cu pada Mikroplastik dan Sedimen

Mikroplastik dan logam berat merupakan dua jenis polutan yang berada di lingkungan dan dapat berinteraksi satu sama lain. Keberadaan logam berat yang ditemukan pada mikroplastik sebagian besar disebabkan karenanya ada zat aditif yang ditambahkan pada plastik pada saat produksi sebagai bahan pewarna dan lain sebagainya serta penyebab lainnya adalah dari logam berat di lingkungan sekitar (Brennecke dkk., 2016). Selain itu, faktor lain yang dapat menyebabkan penyerapan logam berat pada mikroplastik adalah pembentukan biofilm pada permukaan mikroplastik akibat proses biogeokimia yang dimana biofilm yang terbentuk di permukaan mikroplastik dapat mempengaruhi sifat kimia dan fisika dari mikroplastik yang dimana perubahan ini kemudian akan mempengaruhi penyerapan polutan-polutan kimiawi terhadap mikroplastik di lingkungan (Liu dkk., 2022; Tu dkk., 2020)

Logam berat Fe, Mn, dan Cu merupakan ketiga logam berat yang paling dominan pada Sungai Code berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini akan mengidentifikasi kandungan dari ketiga logam berat tersebut baik dari sampel sedimen dan sampel mikroplastik dari titik pengambilan sampel di area yang sama. Logam berat hadir di lingkungan berasal dari dua sumber yaitu sumber alamiah dan antropogenik. Sebagai kontaminan yang hadir di lingkungan logam berat dapat masuk ke lingkungan perairan secara terus menerus akibat sifatnya yang sulit untuk terdegradasi di lingkungan (Liu dkk., 2021). Logam berat masuk ke dalam lingkungan dan masuk ke wilayah perairan melalui proses deposisi basah/kering, dan erosi. Logam berat dapat terakumulasi ke dalam sedimen dan kemudian akibat adanya perubahan kondisi di sedimen kemudian logam berat yang terakumulasi dapat berpindah dan terlepas ke kolom air (Montalvo dkk., 2014). Selain itu, logam berat terakumulasi pada sedimen sungai diakibatkan karena adanya proses pergerakan fluvial yang bergerak secara terus menerus bersama dengan jalur sungai. Sumber pencemaran logam berat pada sedimen sungai dapat berasal dari agrikultur, industrial, kegiatan domestik, dan pesatnya proses urbanisasi di suatu wilayah (Sojka dan Jaskula, 2022).

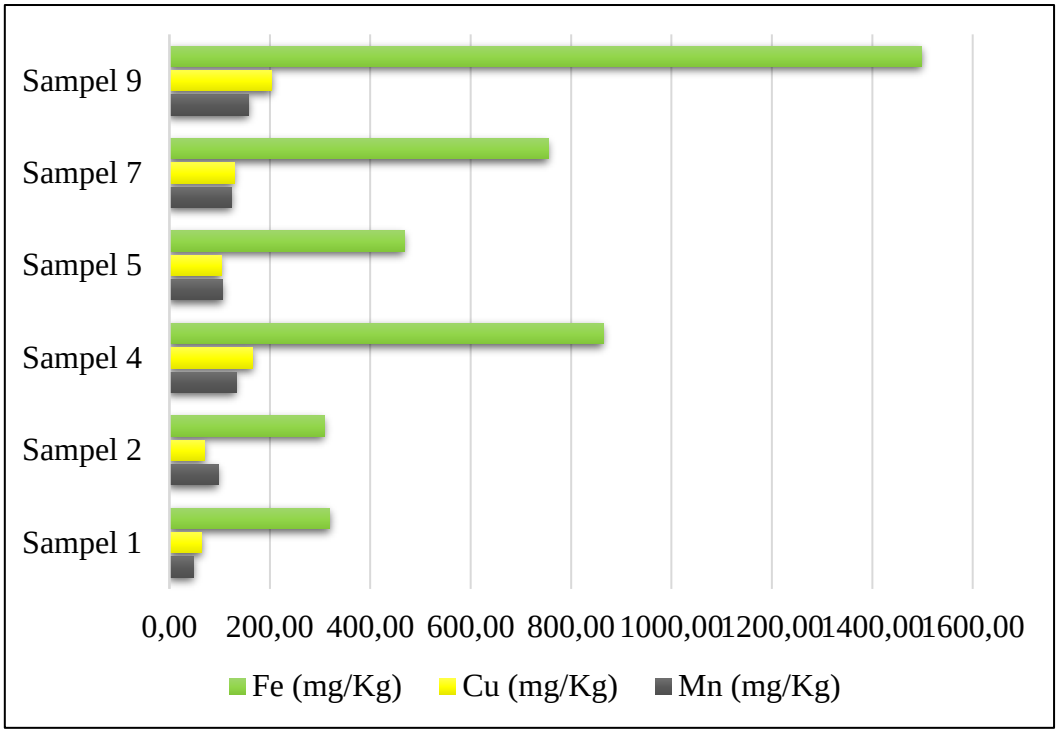
Uji korelasi juga dilakukan terhadap kandungan logam berat pada mikroplastik dengan logam berat pada sedimen Sungai Code. Uji korelasi dilakukan terhadap 6 sampel pada sedimen dan juga mikroplastik yaitu pada titik S1, S2, S4, S5, S7, dan S9. Pemilihan keenam sampel ini didasarkan kepada keenam titik ini dapat mewakili Sungai Code dari hulu menuju hilir. Uji korelasi bertujuan untuk mengetahui apakah ada korelasi atau hubungan antara kandungan logam berat pada kedua sampel tersebut.

4.5.1 Logam Berat di Sedimen

Konsentrasi logam berat Fe, Mn, dan Cu bervariasi pada titik S1, S2, S4, S5, S7, dan S9 seperti yang terlihat pada Gambar 4.32. Logam Fe memiliki rata-rata konsentrasi terbesar yaitu 702,13 ±451,54 mg/kg yang dimana konsentrasi terkecil logam Fe berada pada titik S2 dengan konsentrasi sebesar 308,34 mg/kg dan konsentrasi terbesar berada pada titik S9 yaitu 1498,34 mg/kg yang dimana konsentrasi ini masih berada di bawah Baku Mutu yang telah ditetapkan oleh *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario* pada Tabel 2.4 untuk logam Fe yaitu 20.000 mg/kg. Konsentrasi rata-rata logam Cu lebih kecil dibandingkan logam Fe yaitu sebesar 123,05 ±54,94 mg/kg dengan konsentrasi terbesar berada pada titik yang sama dengan titik Fe yaitu pada titik S9 dengan konsentrasi sebesar 157,34 mg/kg dan konsentrasi terendah berada pada titik S1 yaitu hanya sebesar 47,82 mg/kg. Konsentrasi logam Cu pada sedimen Sungai Code melebihi baku mutu SEL yaitu 110 mg/kg pada titik S4, S5, S7, dan S9. Selanjutnya adalah konsentrasi rata-rata logam Mn yang dimana konsentrasi Mn lebih kecil dibandingkan logam Fe dan Cu yaitu sebesar 111,11 ± 37,41 mg/kg dengan konsentrasi terbesar berada pada titik yang sama dengan logam Fe dan Cu yaitu pada titik S9 sebesar 203,99 mg/kg sedangkan yang terkecil berada pada titik yang sama dengan logam Mn yaitu pada titik S1 yaitu sebesar 64,40 mg/kg yang dimana konsentrasi logam Mn masih berada di bawah baku mutu.

Secara umum, konsentrasi logam Fe, Mn, dan Cu memiliki konsentrasi yang besar pada titik yang sama secara berurutan dari yang terbesar hingga terkecil yaitu S9, S4, S7, dan S5. Namun, terjadi perbedaan pada titik S1 dan S2 dimana konsentrasi logam Fe lebih besar pada titik S1 dibandingkan titik S2 sedangkan konsentrasi logam Mn dan Cu lebih besar pada titik S2 dibandingkan titik S1. Pada sedimen sungai, logam berat dapat melekat pada sedimen melalui beberapa proses seperti proses adsorpsi dan ko-presipitasi oleh oksihidrokisa besi dan mangan, senyawa organik, reaksi hidrolitik ion, dan mekanisme alami lainnya yang berkaitan dengan karakteristik fisikokimia dari sedimen itu sendiri (Montalvo dkk., 2014). Selain itu, ukuran partikel sedimen juga dapat menjadi salah satu pengaruh konsentrasi logam berat pada sedimen. Tansel dan Rafiuddin., (2016) melakukan penelitain pada sedimen Sungai Miami dan diperoleh hasil bahwa konsentrasi logam Cd, Hg, Zn, dan Pb menunjukkan konsentrasi 10x lebih tinggi pada sedimen butiran halus (<0,106 mm) dibandingkan dengan konsentrasinya pada sedimen yang berukuran lebih besar dari 0,850 mm. Hal ini dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat pada sedimen dengan butiran halus atau *fine sediment* menunjukkan kecenderungan untuk mengakumulasi logam berat. Ukuran partikel

mempengaruhi proses adsorpsi logam berat pada sedimen karena memiliki karakteristiknya masing-masing seperti luasan, bentuk dan komposisi mineral sehingga mempengaruhi interaksinya dengan logam berat. Sedimen yang memiliki ukuran lebih halus memiliki afinitas lebih besar terhadap logam berat karena kemampuannya untuk menyerap kation akibat kapasitas pertukaran kationnya yang tinggi pada permukaannya dan kemudian logam berat dapat terakumulasi dalam jumlah yang besar. Kapasitas Pertukaran kation merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi keberadaan logam berat di sedimen dimana proses ini merupakan suatu derajat kemampuan sedimen dalam pertukaran ion dan penyerapan logam berat. (Lee dan Cundy., 2001; Paramasivam dkk., 2015)



Gambar 4. 32 Konsentrasi Logam Fe, Mn, dan Cu Pada Sampel Sedimen

Tingginya konsentrasi logam berat pada titik S4, S5, S7 dan S9 disebabkan karena titik ini berada pada wilayah bagian hilir sungai yang padat akan pemukiman penduduk dan kegiatan industri. Penelitian yang dilakukan oleh Supriyantini dan Endrawati, (2015) pada sedimen di Perairan Tanjung Emas Semarang menyebutkan bahwa tingginya kandungan besi pada wilayah yang padat akan aktivitas antropogenik diduga disebabkan karena buangan air limbah rumah tangga dari penduduk sekitar yang banyak mengandung besi serta adanya korosi dari pipa-pipa air yang kemudian masuk ke wilayah perairan. Selain itu, tingginya kandungan Fe pada titik S9 dapat disebabkan karena adanya wilayah pertanian di sekitar titik tersebut serta tekstur sedimen yang dimiliki pada titik ini yaitu berupa *Fine Sand*. Wilayah pertanian dapat menjadi salah satu sumber logam berat di lingkungan. Penelitian yang dilakukan oleh Montalvo

dkk., (2014) pada sedimen Sungai Palizada memperkuat pernyataan bahwa kegiatan agrikultur dapat menjadi salah satu alasan tingginya beberapa logam berat pada sedimen seperti logam Mn dan Fe akibat penggunaan pupuk dan produk lainnya untuk aktivitas agrikultur dan kedua logam ini menunjukkan korelasi yang kuat antara Fe dan Mn dengan sedimen *clay* yang dimana hal ini menunjukkan semakin halus butiran sedimen maka konsentrasi logam berat akan terakumulasi semakin tinggi karena afinitas yang besar.

Konsentrasi logam Cu pada penelitian ini menunjukkan konsentrasi tertinggi dari yang terkecil hingga terbesar secara berurutan pada titik S1, S2, S5, S7, S4, dan S9 diduga disebabkan akibat sampah domestik yang dibuang ke sungai dan juga dapat berasal dari erosi batuan mineral (Rochyatun dkk., 2006). Salah satu sumber pencemaran logam Cu pada sedimen Sungai Code diduga akibat adanya saluran pembuangan air limbah rumah tangga yang langsung dibuang ke sungai yang dimana salah satunya berasal dari cairan pembersih lantai yang mengandung logam Cu dalam bentuk CuO (Mutia dkk., 2013). Penyebab pencemaran logam Cu pada sedimen perairan akibat air limbah domestik juga didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan Warni dkk., (2017) pada Pelabuhan Jetty Meulaboh yang menemukan bahwa faktor tingginya kandungan logam Cu disebabkan karena banyaknya buangan air limbah domestik di sekitar wilayah tersebut yang menyebabkan kelarutan logam Cu ke dalam sedimen ikut meningkat. Pan dkk., (2017) melakukan penelitian analisis logam berat pada debu di jalan perkotaan pada Xian, China menambahkan bahwa salah satu sumber logam Cu dapat disebabkan karena emisi dari asap kendaraan dan bantalan rem yang telah aus. Titik S4 dan S9 menunjukkan konsentrasi Cu yang tinggi karena area ini banyak dilalui kendaraan terutama pada titik S9 karena dekat dengan arena sirkuit *motorcross* dan diduga terjadi proses deposisi Cu dari debu di udara. Selain itu, pada titik S9 juga melalui wilayah pertanian yang dapat menjadi salah satu sumber logam berat Cu akibat penggunaan fungisida yang banyak mengandung logam Cu seperti CuO, $CuCl_2$, dan lain-lainnya (Rashid dkk., 2015). Penelitian terkait kandungan logam berat Fe, Mn, dan Cu juga telah dilakukan pada beberapa sungai baik di Indonesia maupun di dunia seperti yang telah dirangkum pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Konsentrasi Logam Fe, Mn, dan Cu di Sedimen Sungai Lain

No.	Lokasi Penelitian	Konsentrasi Logam Berat (mg/kg)	Referensi
1.	Sungai Kuin, Banjarmasin	Cu (40,774 – 78,47), Mn (278,274 – 359,456), dan Fe (1,450 – 11.883,117)	(Asrin dkk., 2022)

No.	Lokasi Penelitian	Konsentrasi Logam Berat (mg/kg)	Referensi
2.	Sungai Klagison, Kota Sorong	Cu (91,2 – 34,47), Mn (196,73 – 1.335,98). Fe (22.400 – 95.400)	(Nurbia dan Affandi., 2023)
3.	Sungai Winongo, DIY	Cu (6,68 – 111,74), Mn (0,04 – 431,37). Fe (1501,22 – 3257,51)	(Aprilia, 2021)
4.	Sungai Bartin, Turki	Cu (17 – 42), Mn (280 – 683). Fe (21.100 – 28.100)	(Gunes, 2021)

Konsentrasi logam Fe (308,34 – 1498,34 mg/kg) dan logam Mn (64,40 – 203,99 mg/kg) pada penelitian ini memiliki konsentrasi lebih rendah dibandingkan pada Sungai Kuin, Sungai Klagison, Sungai Winongo, dan Sungai Barti. Namun konsentrasi logam Cu pada penelitian ini lebih besar dibandingkan pada sungai-sungai tersebut kecuali Sungai Winongo yaitu sebesar 64,40 – 203,99 mg/kg.

4.5.2 Logam Berat di Mikroplastik

Kandungan logam berat Fe dan Mn pada mikroplastik yang diekstraksi dari sampel sedimen di Sungai Code menunjukkan hasil yang bervariasi pada setiap titiknya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.16. Logam Cu menunjukkan konsentrasi yang berada pada konsentrasi <LOD yaitu sebesar 0,77 mg/kg sehingga tidak dapat terdeteksi oleh alat SSA.

Tabel 4. 16 Konsentrasi Logam Fe, Mn, dan Cu Pada Mikroplastik Sedimen Sungai Code

Konsentrasi Logam Berat			
Nama Sampel	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Sampel 1	315,47	19,78	<0,77
Sampel 2	2067,74	23,84	<0,77
Sampel 3	880,21	14,63	<0,77
Sampel 4	345,42	22,31	<0,77
Sampel 5	248,22	14,71	<0,77
Sampel 6	2890,00	16,10	<0,77
Sampel 7	1606,64	16,18	<0,77
Sampel 8	2818,61	17,07	<0,77
Sampel 9	5307,61	19,88	<0,77

Dari ketiga logam tersebut logam Fe dan Mn memiliki kandungan yang paling tinggi dibandingkan logam Cu dengan rata-rata logam Fe sebesar 1831,10 mg/kg dan logam Mn sebesar 18,28 mg/kg. Pengukuran konsentrasi logam Fe pada sampel mikroplastik pada awalnya memiliki konsentrasi yang besar seperti yang dapat dilihat pada Lampiran 9. Namun, tingginya kandungan logam Fe pada sampel mikroplastik pada penelitian ini diduga disebabkan karena adanya penggunaan larutan Fe (II) 0,05 M pada saat proses WPO yang

kemudian larutan ini meninggalkan residu yang masih tertinggal pada kertas saring untuk proses destruksi. Hal ini dapat terlihat dari larutan awal destruksi kertas saring yang berwarna sedikit orange pada saat proses destruksi dan kemudian logam Fe dari residu larutan ini diduga ikut larut pada sampel dan mempengaruhi konsentrasi logam Fe sebenarnya pada sampel mikroplastik. Oleh karena itu, diperlukan larutan blanko yang diperlakukan sama untuk mengukur konsentrasi logam Fe dari residu yang tertinggal pada kertas saring. Konsentrasi logam Fe pada kedua larutan blanko adalah sebesar 2223,76 mg/kg dan 791,85 mg/kg lalu kemudian dari kedua konsentrasi tersebut dirata-rata dan diperoleh konsentrasi logam Fe dari larutan blanko adalah sebesar 1507,8 mg/kg. Kemudian setelah diperoleh konsentrasi logam Fe dari larutan blanko kemudian dikurangi dengan konsentrasi logam Fe yang telah diperoleh sebelumnya dan diperoleh hasil seperti yang disajikan dalam Tabel 4.16.

Penelitian terkait kandungan logam berat Fe, Mn, dan Cu juga telah dilakukan pada beberapa mikroplastik di sedimen baik di Indonesia maupun di dunia. Li dkk., (2019) melakukan penelitian mengenai kontaminasi logam berat pada mikroplastik di sedimen perairan Hongkong terhadap logam As, Zn, Cd, Ni, Fe, Mn, dan Cu yang dimana ditemukan konsentrasi logam berat paling tinggi adalah Fe diikuti dengan Zn, Mn dan konsentrasi logam berat yang terkecil adalah logam Cu dan Ni sedangkan logam As dan logam Cd berada pada konsentrasi <LOD. Selain itu, pada sungai di Indonesia Purwiyanto dkk., (2020) juga melakukan penelitian terhadap konsentrasi dan adsorpsi logam berat Pb dan Cu pada mikroplastik di air Sungai Musi yang menemukan rata-rata konsentrasi logam Pb adalah sebesar 0,0347 mg/L dan logam Cu sebesar 0,0138 mg/L. Perbedaan konsentrasi logam Pb dan Cu di air sungai pada penelitian ini disebabkan karena perbedaan fungsi dari kedua logam ini untuk organisme di air dimana logam Cu merupakan salah satu logam esensial bagi organisme. Konsentrasi dari kedua logam ini pada mikroplastik adalah Pb adalah sebesar 0,470 mg/kg dan Cu adalah sebesar 0,091 mg/kg yang dimana konsentrasi ini lebih besar dibandingkan dengan sedimen.

Brennecke dkk., (2016) menyebutkan bahwa dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa keberadaan logam berat yang ditemukan pada mikroplastik disebabkan oleh dua faktor yaitu yang pertama adalah dapat disebabkan karena adanya zat aditif yang ditambahkan pada plastik pada saat produksi sebagai bahan pewarna dan lain sebagainya serta yang kedua adalah pengaruh dari logam berat di lingkungan sekitarnya. Selain itu, faktor lain yang dapat menyebabkan penyerapan logam berat pada mikroplastik adalah dengan adanya pengaruh dari mikroorganisme dengan pembentukan biofilm pada

permukaan mikroplastik akibat proses biogeokimia yang dimana biofilm yang terbentuk di permukaan mikroplastik dapat mempengaruhi sifat kimia dan fisika dari mikroplastik itu sendiri dan perubahan yang terjadi kemudian akan mempengaruhi penyerapan polutan-polutan kimiawi terhadap mikroplastik di lingkungan (Liu dkk., 2022 ; Tu dkk., 2020).

Selain dari pengaruh lingkungan sekitar dan mikoplastik itu sendiri, karakteristik dari masing-masing logam Fe, Mn, dan Cu juga mempengaruhi tinggi dan rendahnya konsentrasi ketiga logam ini pada mikroplastik. Purwiyanto dkk., (2020) menyebutkan bahwa perbedaan karakteristik dari masing-masing logam seperti reaktifitas, kapasitas pertukaran ion, dan koefisien partisi mempengaruhi bagaimana logam-logam tersebut dapat terserap ke dalam mikroplastik. Penelitian yang dilakukan oleh (Chen dkk., 2022) menemukan bahwa konsentrasi Fe pada mikroplastik linear dengan derajat degradasi dari mikroplastik sehingga meningkatnya konsentrasi logam Fe pada partikel plastik berkaitan erat dengan proses degradasi dan pembentukan lapisan lapukan pada partikel tersebut yang kemudian membuat tempat-tempat untuk logam berat Fe terikat pada partikel mikroplastik. Hal ini juga dapat menjadi salah satu faktor tingginya konsentrasi logam Fe yang terakumulasi pada mikroplastik sedimen Sungai Code pada penelitian ini. Konsentrasi rata-rata logam Fe pada sedimen yang telah dibahas pada bagian 4.6.1 sebelumnya tentang konsentrasi logam berat pada sedimen juga menunjukkan bahwa konsentrasi logam Fe pada sedimen sungai code memiliki konsentrasi paling tinggi dibandingkan logam lainnya di sedimen yang menyebabkan logam Fe memiliki sumber yang lebih besar untuk berinteraksi dengan mikroplastik dibandingkan logam lainnya. Koefisien determinasi (KD) juga dapat mempengaruhi keberadaan dan kecenderungan logam berat pada sedimen yang dimana logam Fe memiliki nilai koefisien determinasi lebih tinggi dibandingkan logam Pb, Zn, Cu, Cd, dan Ni yang dimana nilai KD yang besar pada logam Fe menunjukkan bahwa logam ini dapat berikatan secara kuat dengan sedimen daripada logam berat lainnya (Manova dan Wardhani, 2023).

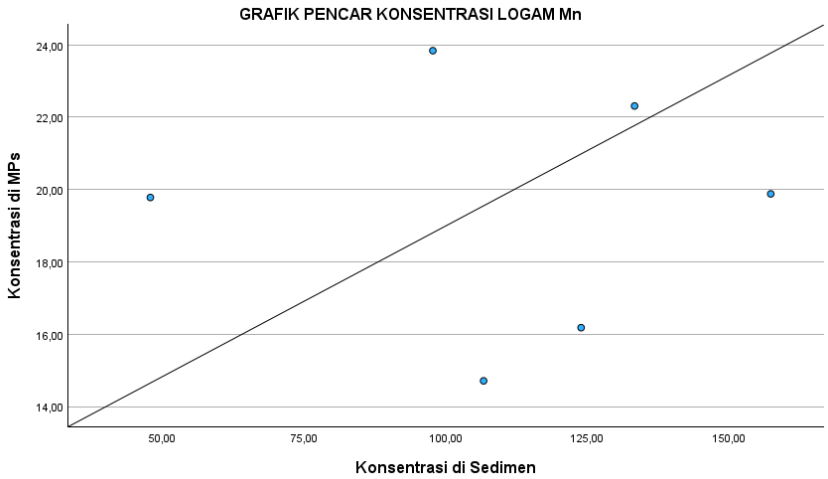
Logam Mn juga merupakan salah satu logam yang ada pada mikroplastik di sedimen Sungai Code yang dimana konsentrasi dari logam ini pada mikroplastik memiliki rata-rata konsentrasi yang lebih kecil dibandingkan dengan yang ada di sedimen. Logam Mn digunakan dalam produksi plastik sebagai bahan pewarna (Chen dkk., 2022). Konsentrasi logam Mn yang ditemukan pada mikroplastik diduga berasal dari kemampuan logam Mn untuk berikatan dengan mikroplastik. Hal ini dapat ditunjukkan dari hasil penelitian oleh Gao dkk., (2019) dengan menghitung Koefisien Partisi (KP) yang dapat mendeskripsikan laju penyerapan dari masing-masing logam Cr, Mn, Cu, Zn, As, Cd, dan Pb dan logam Mn memiliki nilai KP yang

paling besar dibandingkan logam lainnya terhadap PP dan PVC yaitu sebesar 9019,34 pada PP dan 5183,26 pada PVC sedangkan logam seperti Cu memiliki KP hanya sebesar 62,98 pada PP dan 39,81 pada PVC

Pada penelitian ini konsentrasi logam Cu pada mikroplastik berada pada < 0,77 mg/kg dari pengujian oleh SSA. Kecilnya konsentrasi logam Cu pada mikroplastik di penelitian ini diduga disebabkan karena kemampuan dan karakteristik dari logam Cu itu sendiri untuk terikat pada mikroplastik. Penelitian yang dilakukan oleh Kuhn dkk., (2018) pada skala laboratorium menunjukkan bahwa logam Cu memiliki kemampuan mengikat (*binding ability*) yang rendah dibandingkan logam lainnya. Gao dkk., (2019) melakukan studi terhadap kemampuan dan karakteristik logam berat terakumulasi pada mikroplastik yang dimana dalam studi ini menunjukkan bahwa logam lain seperti Pb dan Cd menunjukkan peningkatan yang sejalan antara waktu adsorpsi dan konsentrasi logam berat namun hal ini berbeda dengan logam Cu. Penyerapan logam Cu terhadap plastik pada awalnya meningkat dan kemudian menurun secara perlahan seiring dengan berjalannya waktu. Pada permukaan plastik, terjadi peningkatan proses adsorpsi hingga kemudian mencapai titik keseimbangan dan jumlah adsorpsi logam Cu pun menurun. Selain itu, pada percobaan ini juga ditemukan fenomena terjadinya persaingan antara logam Pb, Cu, dan Cd dalam proses adsorpsi ke permukaan mikroplastik dimana logam Cu memiliki kemampuan mengikat yang sangat rendah ketika berada di antara persaingan logam lainnya. Penelitian yang dilakukan oleh Kuhn dkk., (2018) dan Gao dkk., (2019) memperkuat pernyataan bahwa logam Cu memiliki kemampuan mengikat yang rendah dibandingkan logam lainnya. Chen dkk., (2023) menambahkan bahwa beberapa logam dapat terakumulasi dalam konsentrasi yang banyak ketika partikel plastik tersebut telah mengalami proses pelapukan karena keberadaannya di lingkungan dalam waktu yang lama. Namun, hal ini berbeda dengan logam Cu karena semakin tingginya derajat degradasi plastik maka konsentrasi Cu semakin menurun. Salah satu faktor yang menyebabkan proses penyerapan logam Cu oleh sedimen menurun saat derajat degradasi plastik terjadi adalah dikarenakan terjadi proses *leaching* dari *Dissolved Organic Carbon* (DOC) atau bahan organik terlarut dari hasil fotodegradasi mikroplastik. Penelitian yang dilakukan oleh Herath dkk., (2023) menunjukkan bahwa DOC memiliki afinitas yang lebih besar dalam membentuk ikatan kompleks dengan logam berat yang ada di sekitarnya sehingga logam berat yang berada di sekitar lingkungan berinteraksi dengan DOC dibandingkan dengan partikel mikroplastik.

Salah satu faktor yang mempengaruhi keberadaan logam berat pada mikroplastik adalah dari logam berat di lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, untuk melihat apakah terdapat

hubungan antara konsentrasi logam berat pada mikroplastik dengan lingkungan sekitarnya maka pada penelitian ini akan dilakukan uji korelasi terhadap konsentrasi logam Fe, Mn, dan Cu pada sedimen dan mikroplastik Sungai Code pada keenam titik yaitu titik S1, S2, S4, S5, S7, dan S9. Uji korelasi dilakukan dengan korelasi antara variabel x (konsentrasi logam berat di sedimen) dengan variabel y (konsentrasi logam berat di mikroplastik) menggunakan SPSS dengan Korelasi Spearman. Grafik pencar dari hasil korelasi salah satu logam yaitu logam Mn dapat dilihat pada Gambar 4.33



Gambar 4. 33 Grafik Pencar Logam Mn

Hasil koefisien korelasi menggunakan korelasi Spearman dan diperoleh hasil dan interpretasi hubungan dimana korelasi antara konsentrasi dari ketiga logam ini pada sedimen dengan mikroplastik memiliki hubungan positif lemah untuk logam Fe dan lemah untuk logam Mn serta hubungan negatif lemah untuk logam Cu. Gao dkk., (2019) melakukan percobaan terhadap pengaruh waktu antara adsorpsi logam Cr, Pb, Cu, dan Mn dari lingkungan sekitarnya yaitu air laut dengan mikroplastik dan menemukan bahwa terjadi peningkatan dan penurunan konsentrasi logam dalam 6 hingga 9 bulan percobaan yang dimana hal ini dapat mengindikasikan bahwa proses adsorpsi logam dari lingkungan sekitar memiliki proses yang sangat dinamis yang dimana selalu terjadi proses pertukaran ion antara permukaan mikroplastik dengan lingkungan sekitarnya yang dipengaruhi oleh beberapa hal seperti terjadinya kompetisi di antara proses adsorpsi logam berat terhadap mikroplastik, konsentrasi ion, waktu adsorpsi, dan ukuran partikel yang kemudian diperlukan penelitian atau studi lebih lanjut mengenai hal ini. Li dkk., (2020) dan Mohsen dkk., (2019) dalam penelitiannya juga menemukan bahwa konsentrasi logam berat pada mikroplastik lebih rendah dibandingkan konsentrasinya di sedimen. Mohsen dkk., (2019) menyatakan bahwa tidak ada korelasi yang signifikan antara konsentrasi logam berat di sedimen dengan konsentrasi logam berat di mikroplastik yang

dimana hal ini menunjukkan bahwa tidak ada indikator yang dapat menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat di sedimen berasosiasi dengan logam berat di MPs. Li dkk., (2020) juga menambahkan bahwa perilaku adsorpsi logam berat terhadap mikroplastik dan sedimen sangat berbeda dan banyak faktor yang dapat mempengaruhinya seperti ukuran, komposisi kimia, kandungan senyawa organik dan faktor lainnya mengingat bahwa komposisi kimia dari mikroplastik sangat bervariasi. Nilai koefisien korelasi dan tingkat signifikansi dari masing-masing konsentrasi logam telah dirangkum pada Tabel 4.17

Tabel 4. 17 Koefisien Korelasi Logam Berat di Sedimen dan Mikroplastik

Parameter	Koefisien Korelasi	Nilai Signifikansi ($\alpha > 0,05$)	Interpretasi Hubungan
Logam Fe	r = 0,314 *Low*	$\alpha = 0,544$	Konsentrasi logam Fe di sedimen berhubungan positif lemah dan tidak signifikan terhadap konsentrasi logam Fe di mikroplastik.
Logam Mn	r = 0,086 *Very Low*	$\alpha = 0,872$	Konsentrasi logam Mn di sedimen berhubungan positif sangat lemah dan tidak signifikan terhadap konsentrasi logam Mn di mikroplastik.
Logam Cu	r = -0,371 *Low*	$\alpha = 0,468$	Konsentrasi logam Cu di sedimen berhubungan negatif lemah dan tidak signifikan terhadap konsentrasi logam Mn di mikroplastik.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis data yang telah dilakukan dari penelitian Analisis Kandungan Mikroplastik dan Logam Berat Fe, Mn, dan Cu pada Sedimen di Sungai Code, Daerah Istimewa Yogyakarta dapat diperoleh kesimpulan adalah sebagai berikut

1. Kelimpahan mikroplastik yang ditemukan pada sampel sedimen Sungai Code paling tinggi berada pada Jembatan Ponggok yaitu sebanyak 1030,95 partikel/gram sedangkan yang paling sedikit berada pada Jembatan Perak yaitu 169,8 partikel/gram dengan karakteristik mikroplastik yang ditemukan adalah sebagai berikut:
   - Persentase kelimpahan bentuk mikroplastik yang paling banyak berturut-turut adalah *Fragment* (73,5%) dengan ukuran terkecil 12,90 µm dan terbesar 602,3 µm , *Film* (24,4%) dengan ukuran terkecil 34,25 µm dan terbesar 1204,48 µm, *Pellet* (0,97%) dengan ukuran terkecil 2,57 µm dan terbesar 28,04 µm, *Filamen*t (0,8%) dengan ukuran terpendek 71,55 µm dan terpanjang 4979,15 µm, *Foam* (0,2%) dengan ukuran terkecil 34,38 µm dan terpanjang 287,78 µm, dan *Fiber* (0,12%) dengan ukuran terpendek 67,24 µm dan terpanjang 5799,38 µm.
   - Warna mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah warna Hitam yaitu sebesar 61,55% diikuti dengan warna Transparan 36,32%, Cokelat 0,76%, Hijau 0,53%, Merah 0,37%, Biru 0,25%, Orange/Kuning 0,19% dan yang paling sedikit adalah warna Ungu 0,02%.
   - Jenis atau polimer plastik yang ditemukan pada penelitian ini adalah PE, PP, PS, PVC, PET, PTFE, PMMA, PU, dan PVDC.
2. Kandungan logam berat Fe, Mn, dan Cu pada sedimen Sungai Code memiliki konsentrasi besar pada aliran bagian tengah dan hilir yang berada di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul daripada konsentrasi di bagian hulu yang berada di Kabupaten Sleman.
3. Konsentrasi logam berat Fe, Mn, dan Cu pada mikroplastik adalah sebagai berikut:
   - Kandungan logam berat Fe pada mikroplastik pada penelitian ini diduga dapat berasal dari residu penggunaan larutan Fe (II) pada saat proses WPO oleh karena itu diperlukan larutan blanko untuk melihat berapa konsentrasi logam Fe sebagai residu yang tertinggal di kertas saring dan diperoleh konsentrasi logam Fe di

mikroplastik memiliki rata-rata yang lebih besar dibandingkan sedimen yaitu 1831,1 mg/kg

- Konsentrasi logam Mn di mikroplastik lebih rendah (102,98 mg/kg) dibandingkan sampel sedimen (111,1 mg/kg).
- Konsentrasi logam Cu pada mikroplastik berada pada rentang nilai yang sangat kecil sekali <0,77 mg/kg (di bawah nilai batas deteksi alat SSA).

4. Nilai koefisien korelasi, logam Fe berkorelasi positif dengan hubungan Lemah/*Low* dan tidak signifikan, logam Mn berkorelasi positif dengan hubungan Sangat Lemah/*Very Low* tidak signifikan sedangkan logam Cu berkorelasi negatif dengan hubungan Lemah/*Low* tidak signifikan.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan berdasarkan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai hubungan logam berat dan mikroplastik pada sedimen Sungai Code dengan beberapa parameter pendukung lainnya yang dapat membantu penjelasan mengenai hubungan antara kedua polutan ini seperti faktor dari pengaruh polimer plastik dan ukuran secara spesifik pada polimer atau ukuran tertentu.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai konsentrasi logam berat lainnya seperti Pb, Cd, Cr, Zn, As, Hg, dan logam lainnya pada mikroplastik di sedimen Sungai Code.
3. Penggunaan larutan Fe(II) 0,05 M pada saat proses WPO diduga mempengaruhi kandungan logam Fe pada mikroplastik pada penelitian ini karena larutan ini berperan sebagai katalis namun ternyata meninggalkan residu pada kertas saring sehingga saran untuk kedepannya untuk pengujian logam Fe pada mikroplastik diharapkan untuk tidak menggunakan larutan yang dapat mengkontaminasi dan mengurangi validitas konsentrasi logam Fe pada sampel.
4. Untuk mengurangi potensi sumber pencemaran mikroplastik pada Sungai Code diperlukan adanya sosialisasi kepada Masyarakat yang bermukim di bantaran Sungai Code untuk mengelola sampah domestik sesuai dengan manajemen pengelolaan sampah yang baik. Selain itu, bagi pemerintah diharapkan untuk membuat beberapa program manajemen pengelolaan sampah terutama bagi masyarakat di sekitar bantaran Sungai Code sebagai implementasi dari beberapa produk hukum yang telah diberlakukan untuk mengurangi sampah plastik di lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

Akindoyo, J. O. dkk. (2016) 'Polyurethane types, synthesis and applications – a review', *RSC Advances*, 6(115), pp. 114453–114482. doi: 10.1039/C6RA14525F.

de Almeida, M. P. dkk. (2023) 'The prevalence of microplastics on the earth and resulting increased imbalances in biogeochemical cycling', *Water Emerging Contaminants & Nanoplastics*, 2(2), p. 7. doi: 10.20517/wecn.2022.20.

Amaral-Zettler, L. A. dkk. (2021) 'Biofouling impacts on polyethylene density and sinking in coastal waters: A macro/micro tipping point?', *Water Research*, 201, p. 117289. doi: 10.1016/j.watres.2021.117289.

Amrutha, K. dkk. (2022) 'Assessment of pollution and risks associated with microplastics in the riverine sediments of the Western Ghats: a heritage site in southern India', *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), pp. 32301–32319. doi: 10.1007/s11356-022-24437-z.

Andrady, A. L. (2011) 'Microplastics in the marine environment', *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), pp. 1596–1605. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.

Aprilia, Putri W. (2021). Analisis Logam Berat dalam Sedimen Berdasarkan *Geoaccumulation Index* (Ige) di Sungai Winongo, D.I Yogyakarta. [Skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia. Diakses dari https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/33587

Ashby, M. F. (2013) 'Material profiles', *Materials and the Environment*, pp. 459–595. doi: 10.1016/b978-0-12-385971-6.00015-4.

Asrin Wibowo, M. dkk. (2022) 'Analisis Logam Berat (Mn,Pb,Cu,Fe) pada Air dan Sedimen di Perairan Sungai Kuin Kota Banjarmasin', *EnviroScienteae*, p. 100. doi: 10.20527/es.v18i2.14247.

Azwarman. (2013) 'Kajian Pergerakan Sedimen Dasar dan Gerusan Pada Saluran Lurus Alluvial', Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi, 13(4).

Basri, K. dkk. (2021) 'Microplastic Pollution in Waters and Its Impact on Health and Environment in Indonesia: A Review', *Jounral pof Public Health For Tropical and Coastal Region*, Vol 4 No.2, http:/ejournal2.undip.ac.id/index.php/jphtr/index

Bayo, J. dkk. (2017) 'Microbeads in Commercial Facial Cleansers: Threatening the Environment', *CLEAN – Soil, Air, Water*, 45(7). doi: 10.1002/clen.201600683.

Behmanesh, M., Chamani, A. dan Chavoshi, E. (2023) 'Sedimentary abundance and major determinants of river microplastic contamination in the central arid part of Iran', *Applied Water Science*, 13(12), p. 239. doi: 10.1007/s13201-023-02038-6.

Benyathiar, P. dkk. (2022) 'Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review', *Polymers*, 14(12), p. 2366. doi: 10.3390/polym14122366.

Biaggi, A.M. (2022). 'Pengaruh Hujan terhadap Konsentrasi Logam dalam Sedimen Sungai Code'. [Skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia. Diakses dari https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/38554

Borriello, L. dkk. (2023) 'Microplastics, a Global Issue: Human Exposure through Environmental and Dietary Sources', *Foods*, 12(18), p. 3396. doi: 10.3390/foods12183396.

Brennecke, D. dkk. (2016) 'Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, pp. 189–195. doi: 10.1016/j.ecss.2015.12.003.

Browne, M. A. dkk. (2011) 'Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks', *Environmental Science & Technology*, 45(21), pp. 9175–9179. doi: 10.1021/es201811s.

Cao, Y. dkk. (2021) 'A critical review on the interactions of microplastics with heavy metals: Mechanism and their combined effect on organisms and humans', *Science of The Total Environment*, 788, p. 147620. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147620.

Chen, Q. dkk. (2023) 'Factors Affecting the Adsorption of Heavy Metals by Microplastics and Their Toxic Effects on Fish', *Toxics*, 11(6), p. 490. doi: 10.3390/toxics11060490.

Chen, Xi dkk. (2022) 'Characterization and source analysis of heavy metals contamination in microplastics by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy', *Chemosphere*, 287, p. 132172. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132172.

Chubarenko, I. dkk. (2016) 'On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment', *Marine Pollution Bulletin*, 108(1–2), pp. 105–112. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.048.

Cole, M. dkk. (2011) 'Microplastics as contaminants in the marine environment: A review', *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), pp. 2588–2597. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.

Crossgrove, J. dan Zheng, W. (2004) 'Manganese toxicity upon overexposure', *NMR in Biomedicine*, 17(8), pp. 544–553. doi: 10.1002/nbm.931

Dimassi, S. N. dkk. (2022) 'Degradation-fragmentation of marine plastic waste and their environmental implications: A critical review', *Arabian Journal of Chemistry*, 15(11), p. 104262. doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104262.

Ding, L. dkk. (2019) 'Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China', *Science of The Total Environment*, 667, pp. 427–434. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.332.

Duan, J. dkk. (2021) 'Weathering of microplastics and interaction with other coexisting constituents in terrestrial and aquatic environments', *Water Research*, 196, p. 117011. doi: 10.1016/j.watres.2021.117011.

Edo, C. dkk. (2021) 'Honeybees as active samplers for microplastics', *Science of The Total Environment*, 767, p. 144481. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144481

Febrina, A. and Astrid, A. (2014) 'Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik', Jurnal Teknologi, 7(1), pp. 36–44. Available at: https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/download/369/341

Faulstich, L. dkk. (2022) 'Microplastics in Namibian river sediments – a first evaluation', *Microplastics and Nanoplastics*, 2(1), p. 24. doi: 10.1186/s43591-022-00043-1.

Gao, F. dkk. (2019) 'Study on the capability and characteristics of heavy metals enriched on microplastics in marine environment', *Marine Pollution Bulletin*, pp. 61–67. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.04.039.

Gerolin, C. R. dkk. (2020) 'Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil', *Science of The Total Environment*, 749, p. 141604. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141604.

GESAMP (2019) *Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean.* Edited by P. Kershaw, A. Turra, and F. Galgani. London, UK: United Nations Environment Programme (UNEP). Available at: http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean.

Ghanbari, N. dkk. (2022) 'Microplastic pollution in sediments in the urban section of the Qara Su River, Iran', Applied Water Science, 12(8). doi: 10.1007/s13201-022-01712-5.

Gigault, J. dkk. (2018) 'Current opinion: What is a nanoplastic?', *Environmental Pollution*, 235, pp. 1030–1034. doi: 10.1016/j.envpol.2018.01.024.

Gunes, G. (2021) 'The change of metal pollution in the water and sediment of the Bartın River in rainy and dry seasons', *Environmental Engineering Research*, 27(2), pp. 200701–0. doi: 10.4491/eer.2020.701.

Harris, P. T. (2020) 'The fate of microplastic in marine sedimentary environments: A review and synthesis', *Marine Pollution Bulletin*, 158, p. 111398. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111398.

He, B. dkk. (2020)a 'Abundance, distribution patterns, and identification of microplastics in Brisbane River sediments, Australia', *Science of The Total Environment*, 700, p. 134467. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134467.

He, B. dkk. (2020)b 'Influence of Microplastics on Nutrient and Metal Concentrations in River Sediments', Environmental Pollution, 263, p. 114490. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114490

He, B. dkk. (2020)c 'Influential factors on microplastics occurrence in river sediments', *Science of The Total Environment*, 738, p. 139901. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139901.

He, B. dkk. (2021) 'Dispersal and transport of microplastics in river sediments', Environmental Pollution, 279, p. 116884. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116884.

Henny, C. dkk. (2022) 'Microplastic pollution in lower Cimandiri River, Indonesia: early detection on the occurrence, abundance and distribution', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1036(1), p. 012114. doi: 10.1088/1755-1315/1036/1/012114.

Herath, A. dkk. (2023) 'Partitioning of heavy metals in sediments and microplastics from stormwater runoff', *Chemosphere*, 332, p. 138844. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.138844.

Hidalgo-Ruz, V. dkk. (2012) 'Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification', *Environmental Science & Technology*, 46(6), pp. 3060–3075. doi: 10.1021/es2031505

Horton, A. A. dan Dixon, S. J. (2018) 'Microplastics: An introduction to environmental transport processes', *WIREs Water*, 5(2). doi: 10.1002/wat2.1268.

Huang, Y. dan Xu, E. G. (2022) 'Black microplastic in plastic pollution: undetected and underestimated?', *Water Emerging Contaminants & Nanoplastics*, 1(3), p. 14. doi: 10.20517/wecn.2022.10.

Hurley, R. dkk. (2018) 'Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding', *Nature Geoscience*, 11(4), pp. 251–257. doi: 10.1038/s41561-018-0080-1.

Huntington, A. dkk. (2020) 'A first assessment of microplastics and other anthropogenic particles in Hudson Bay and the surrounding eastern Canadian Arctic waters of Nunavut', *FACETS*. Edited by B. Favaro, 5(1), pp. 432–454. doi: 10.1139/facets-2019-0042.

Horton, A. A. dan Dixon, S. J. (2018) 'Microplastics: An introduction to environmental transport processes', *WIREs Water*, 5(2). doi: 10.1002/wat2.1268.

Ibrahim, F. T., Suprijanto, J. dan Haryanti, D. (2023) 'Analisis Kandungan Mikroplastik pada Sedimen di Perairan Semarang, Jawa Tengah', Journal of Marine Research, 12(1), pp. 144–150. doi: 10.14710/jmr.v12i1.36506.

Ismanto, A. dkk. (2023) 'First evidence of microplastics in the water and sediment of Surakarta city river basin, Indonesia', *Marine Pollution Bulletin*, 196, p. 115677. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115677.

Ismiyati, I. dkk. (2023) 'Microplastics pollution in sediment of Serang River Kulon Yogyakarta Province', *Jurnal Rekayasa Proses*. doi: 10.22146/jrekpros.73233.

Jabłońska-Czapla, M., Zerzucha, P. dan Grygoyć, K. (2020) 'Impact of River Water and Bottom Sediment Pollution on Accumulation of Metal(loid)s and Arsenic Species in the Coastal Plants Stuckenia pectinata L., Galium aparine L., and Urtica dioica L.: A Chemometric and Environmental Study', *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 79(1), pp. 60–79. doi: 10.1007/s00244-020-00727-w.

Janelle C dan W. Zheng. (2004) 'Review artikel: manganese toxicity upon overexposure', Indiana-USA: John Wiley & Sons, Ltd

Jian, M. dkk. (2022) 'How do microplastics adsorb metals? A preliminary study under simulated wetland conditions', *Chemosphere*, 309, p. 136547. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136547.

Jung, M. R. dkk. (2018) 'Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms', *Marine Pollution Bulletin*, 127, pp. 704–716. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.12.061.

Kaiser, D., Kowalski, N. dan Waniek, J. J. (2017) 'Effects of biofouling on the sinking behavior of microplastics', *Environmental Research Letters*, 12(12), p. 124003. doi: 10.1088/1748-9326/aa8e8b

Karimpour, S. dkk. (2021) 'The Fate and Transport of Microplastics in Aquatic Ecosystems: Synthesis and Directions for Future Research Team Members', Canadian Institutes of Health Research.

Khalid, N. dkk. (2021) 'Interactions and effects of microplastics with heavy metals in aquatic and terrestrial environments', Environmental Pollution, 290(August), p. 118104. doi: 10.1016/j.envpol.2021.118104.

Kooi, M. dkk. (2018) 'Modeling the Fate and Transport of Plastic Debris in Freshwaters: Review and Guidance', in, pp. 125–152. doi: 10.1007/978-3-319-61615-5_7.

Kristanti, R. A. dkk. (2023) 'Overview of microplastics in the environment: type, source, potential effects and removal strategies', *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 46(3), pp. 429–441. doi: 10.1007/s00449-022-02784-y.

Kumar, R. dkk. (2021) 'Effect of Physical Characteristics and Hydrodynamic Conditions on Transport and Deposition of Microplastics in Riverine Ecosystem', *Water*, 13(19), p. 2710. doi: 10.3390/w13192710

Kumalasari. (2023). Identifikasi Mikroplastik pada Sedimen di Sungai Opak, D.I. Yogyakarta. [Skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia. Diakses dari https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/47447

Kurniati, A dan Ikhsan, J (2019) 'Analisis Kualitas Air Sungai dan Angkutan Sedimen Pada Sungai Code Hulu', (Disertasi Doktoral, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2019) Diakses dari *https://repository.umy.ac.id/handle/123456789/28904*

Kye, H. dkk. (2023) 'Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards', *Heliyon*, 9(3), p. e14359. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14359

Lambert, S. dan Wagner, M. (2018) 'Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview', in, pp. 1–23. doi: 10.1007/978-3-319-61615-5_1.

Lee, S. dan Cundy, A. (2001) 'Heavy Metal Contamination and Mixing Processes in Sediments from the Humber Estuary, Eastern England', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(5), pp. 619–636. doi: 10.1006/ecss.2000.0713.

Lehmann, A. dkk. (2021) 'Microplastics have shape- and polymer-dependent effects on soil aggregation and organic matter loss – an experimental and meta-analytical approach', *Microplastics and Nanoplastics*, 1(1), p. 7. doi: 10.1186/s43591-021-00007-x.

LI, W. C., TSE, H. F. dan FOK, L. (2016) 'Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects', *Science of The Total Environment*, 566–567, pp. 333–349. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.084

Li, W. dkk. (2020) 'Heavy metals contamination of sedimentary microplastics in Hong Kong', *Marine Pollution Bulletin*, 153, p. 110977. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.110977

Li, W. dkk. (2022) 'Migration behaviors of microplastics in sediment-bearing turbulence: Aggregation, settlement, and resuspension', *Marine Pollution Bulletin*, 180, p. 113775. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113775

Li, Y. dkk. (2019) 'Interactions between nano/micro plastics and suspended sediment in water: Implications on aggregation and settling', *Water Research*, 161, pp. 486–495. doi: 10.1016/j.watres.2019.06.018.

Li, Y. dkk. (2020) 'Microplastics in surface water and sediments of Chongming Island in the Yangtze Estuary, China', *Environmental Sciences Europe*, 32(1), p. 15. doi: 10.1186/s12302-020-0297-7.

Li, Y. dkk (2021). 'Microplastics in surface waters and sediments from Guangdong coastal areas, South China', In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 5, pp. 1–15). https://doi.org/10.3390/su13052691

Ling, C. (2022) 'Microplastics In The River Basin, Malaysia: Sources, Loads, and Fate'. Available at: https://eprints.nottingham.ac.uk/73598/.

Liro, M. dkk. (2020) 'Macroplastic storage and remobilization in rivers', Water (Switzerland), 12(7), pp. 22–29. doi: 10.3390/w12072055.

Liu, B. dkk. (2021) 'Ecological risk assessment and heavy metal contamination in the surface sediments of Haizhou Bay, China', Marine Pollution Bulletin, 163 (September 2020), p. 111954. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111954.

Liu, S. dkk. (2021) 'Interactions Between Microplastics and Heavy Metals in Aquatic Environments: A Review', Frontiers in Microbiology, 12 (April), pp. 1–14. doi: 10.3389/fmicb.2021.652520.

Liu, S. dkk. (2022) 'Integrated effects of polymer type, size and shape on the sinking dynamics of biofouled microplastics', *Water Research*, 220, p. 118656. doi: 10.1016/j.watres.2022.118656.

Maddah, A. S. (2016) 'Polypropylene as a Promising Plastic: A Review', American Journal of Polymer Science 6(1), pp. 1-11. doi: 10.5923/j.ajps.20160601.01

Mainita, Y. P. dan Dewata, I. (2024) 'Optimasi Konsentrasi Fe(II) pada Metode Wet Peroxide Oxidation (WPO) untuk Identifikasi Mikroplastik Polypropylene (PP)', *MASALIQ*, 4(1), pp. 314–319. doi: 10.58578/masaliq.v4i1.2518.

Manalu A. dkk. (2017). 'Microplastics abundance in coastal sediments of Jakarta Bay, Indonesia'. AACL Bioflux 10(5):1164-1173

Manova, A. N. dan Wardhani, E. (2023), 'Penentuan Koefisien Determinasi (KD) pada Air dan Sedimen Sungai Cipanawuan', *FTSP Series: Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2023*. Institut Teknologi Nasional Bandung. Available at: https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/2804 .

Manuhana, R. J. dan Dibyosaputro, S. (2017) 'Kajian Muatan Sedimen Tersuspensi di Sungai Code', Jurnal Bumi Indonesia, 6(4), pp. 1–9. Available at: http://lib.geo.ugm.ac.id/ojs/index.php/jbi/article/view/901/874.

Masura, J., dkk. (2015). 'Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments'. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

Meiwinda, E. R., Lucyana dan Destiarini (2023) 'Distribusi dan Sebaran Mikroplastik di Sedimen Perairan Sungai Ogan Kabupaten Ogan Komering Ulu', *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2), pp. 387–392. doi: 10.14710/jil.21.2.387-392.

Ministry of the Environment, Japan. (2021) 'Good Practices by Japanese Companies for Reducing Microplastics'. Available at: https://www.env.go.jp/content/000090081.pdf.

Mohsen, M. dkk. (2019) 'Heavy metals in sediment, microplastic and sea cucumber Apostichopus japonicus from farms in China', *Marine Pollution Bulletin*, 143, pp. 42–49. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.04.025.

Montalvo, C. dkk. (2014) 'Metal Contents in Sediments (Cd, Cu, Mg, Fe, Mn) as Indicators of Pollution of Palizada River, Mexico', *Environment and Pollution*, 3(4). doi: 10.5539/ep.v3n4p89.

Morris, B. A. (2017) 'Commonly Used Resins and Substrates in Flexible Packaging', in *The Science and Technology of Flexible Packaging*. Elsevier, pp. 69–119. doi: 10.1016/B978-0-323-24273-8.00004-6.

Mutia Oktarina Permai Yenny dkk. (2020) 'Assessment of heavy metals pollution in sediment of Citarum River, Indonesia', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(4), pp. 584–593. doi: 10.29244/jpsl.10.4.584-593.

Nasirudin. dkk. (2023). Microplastic characterization of sediment in Code River, Yogyakarta City. AACL Bioflux 16(5):2562-2571.

Nava, V. dkk. (2021) 'Raman Spectroscopy for the Analysis of Microplastics in Aquatic Systems', *Applied Spectroscopy*, 75(11), pp. 1341–1357. doi: 10.1177/00037028211043119.

Nkosi, M. S. dkk. (2023) 'Microplastic abundance, distribution, and diversity in water and sediments along a subtropical river system', *Environmental Science and Pollution Research*, 30(39), pp. 91440–91452. doi: 10.1007/s11356-023-28842-w.

Noda, I. dkk. (2007) 'Group Frequency Assignments for Major Infrared Bands Observed in Common Synthetic Polymers', in *Physical Properties of Polymers Handbook*. New York, NY: Springer New York, pp. 395–406. doi: 10.1007/978-0-387-69002-5_22.

Nurbia, N. dan Affandi, S. (2024) 'Study of heavy metal in sediment of The Klagison River, Sorong City', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 14(1), pp. 25–34. doi: 10.29244/jpsl.14.1.25-34.

Nurfitriyani Sulistyo, E. dkk. (2020) 'Identification of the Existence and Type of Microplastic in Code River Fish, Special Region of Yogyakarta', *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 1(1), pp. 85–91. doi: 10.20885/eksakta.vol1.iss1.art13.

Pan, H., Lu, X. dan Lei, K. (2017) 'A comprehensive analysis of heavy metals in urban road dust of Xi'an, China: Contamination, source apportionment and spatial distribution', *Science of The Total Environment*, 609, pp. 1361–1369. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.004.

Paramasivam, K., Ramasamy, V. dan Suresh, G. (2015) 'Impact of sediment characteristics on the heavy metal concentration and their ecological risk level of surface sediments of Vaigai river, Tamilnadu, India', *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 137, pp. 397–407. doi: 10.1016/j.saa.2014.08.056.

Parulian, A. 2009. Monitoring dan Analisis Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) Pada Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal. Medan: Pascasarjana Universitas Sumatera Utara (USU).

Peltzer, M. A. dan Simoneau, C. (2013) 'Report of an inter-laboratory comparison from the European Reference Laboratory for Food Contact Materials: ILC 002 2013: Identification of Polymeric Materials', pp. 11–12.

Pemerintah Republik Indonesia, 2011, Peraturan Pemerintah No. 38 Tahun 2011 Tentang Sungai, Lembaran Negara RI Tahun 2011, Sekretariat Negara, Jakarta.

Prabowo, Naufal P. (2020). Identifikasi Keberadaan dan Bentuk Mikroplastik pada Sedimen dan Ikan di Sungai Code, D.I. Yogyakarta. [Skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia. Diakses dari https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/30745

Purwiyanto, A. I. S. dkk. (2020) 'Concentration and adsorption of Pb and Cu in microplastics: Case study in aquatic environment', *Marine Pollution Bulletin*, 158, p. 111380. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111380.

Radulovic, L. L. dan Wojcinski, Z. W. (2014) 'PTFE (Polytetrafluoroethylene; Teflon®)', in *Encyclopedia of Toxicology*. Elsevier, pp. 1133–1136. doi: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00970-2.

Rahmawati, S. dkk. (2023) 'Identification of microplastics in fish from the local fish market of Yogyakarta Province, Indonesia', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1263(1), p. 012043. doi: 10.1088/1755-1315/1263/1/012043.

Rakib, M. R. J. dkk. (2022) 'Spatial distribution and risk assessments due to the microplastics pollution in sediments of Karnaphuli River Estuary, Bangladesh', *Scientific Reports*, 12(1), p. 8581. doi: 10.1038/s41598-022-12296-0.

Ramesh, S. dkk. (2014) 'Preparation and characterization of poly (ethyl methacrylate) based polymer electrolytes doped with 1-butyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate', *Measurement*, 48, pp. 263–273. doi: 10.1016/j.measurement.2013.11.025.

Rashid, A. dkk. (2023) 'Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health', *Agronomy*, 13(6), p. 1521. doi: 10.3390/agronomy13061521.

Rochyatun, Endang. dkk. (2006) 'Distribusi Logam Berat Dalam Air dan Sedimen Di Perairan Muara Sungai Cisadane' Makara Journal of Science: Vol. 10: Iss. 1, Article 17.

Rodiana, yayah dkk. (2013) 'PENGKAJIAN METODE UNTUK ANALISIS TOTAL LOGAM BERAT DALAM SEDIMEN MENGGUNAKAN MICROWAVE DIGESTION', *Jurnal Ecolab*, 7(2), pp. 71–80. doi: 10.20886/jklh.2013.7.2.71-80.

Rosal, R. (2021) 'Morphological description of microplastic particles for environmental fate studies', *Marine Pollution Bulletin*, 171, p. 112716. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112716

Safar, Hamidi. (2022). 'Tugas Akhir Analisis Status Mutu Air Sungai Code Menggunakan Metode STORET'. D.I. Yogyakarta. [Skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia. Diakses dari https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/37633

Sari Dewi, I., Aditya Budiarsa, A. dan Ramadhan Ritonga, I. (2015) 'Distribusi mikroplastik pada sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara', *Depik*, 4(3). doi: 10.13170/depik.4.3.2888.

Savino, I. dkk. (2022) 'Effects and Impacts of Different Oxidative Digestion Treatments on Virgin and Aged Microplastic Particles', *Polymers*, 14(10), p. 1958. doi: 10.3390/polym14101958.

Scherer, C. dkk. (2020) 'Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large European river', *Science of The Total Environment*, 738, p. 139866. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139866

Sembiring, A. E. dkk. (2014). Analisis Sedimentasi di Muara Sungai Panasen. Jurnal Sipil Statik, 2(3).

Setyaningsih, L. W. N., Rizkiyaningrum, U. M. dan Andi, R. (2017) 'Pengaruh Konsentrasi Katalis Dan Reusability Katalis Pada Sintesis Triasetin Dengan Katalisator Lewatit', *Teknoin*. doi: 10.20885/teknoin.vol23.iss1.art7.

Setyowati P dan Muzaki. (2021) 'Gambaran Pengelolaan Sanitasi Lingkungan di Sungai Code Yogyakarta'. UNM Environmental Journals, 4(April), pp. 87–94. doi: 10.1016/j.envpol.2021.118104.

Smith, R., Inomata, H. dan Peters, C. (2013) 'Historical Background and Applications', in, pp. 175–273. doi: 10.1016/B978-0-444-52215-3.00004-0.

Sojka, M. dan Jaskuła, J. (2022) 'Heavy Metals in River Sediments: Contamination, Toxicity, and Source Identification—A Case Study from Poland', International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(17). doi: 10.3390/ijerph191710502.

Stumm, W. dan Morgan, J. (1996) 'Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. Third Edit'. New York: John Wiley and Sons.

Sudira, I. W., Mananoma, T., & Manalip, H. (2013). Analisis Angkutan Sedimen pada Sungai Mansahan. Jurnal Ilmiah Media Engineering, 3(1).

Supriyantini, E. dan Endrawati, H. (2015) 'Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (Perna viridis) Di Perairan Tanjung Emas Semarang', *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1), pp. 38–45. doi: 10.14710/jkt.v18i1.512.

Ta, A. T. dan Babel, S. (2020) 'Microplastics pollution with heavy metals in the aquaculture zone of the Chao Phraya River Estuary, Thailand', Marine Pollution Bulletin, 161(July), p. 111747. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111747.

Talbot, R. dkk. (2022) 'Spatial and temporal variations of microplastic concentrations in Portland's freshwater ecosystems', *Science of The Total Environment*, 833, p. 155143. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155143.

Tan, Y. dkk. (2023) 'Occurrence of microplastic pollution in rivers globally: Driving factors of distribution and ecological risk assessment', *Science of The Total Environment*, 904, p. 165979. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165979.

Tanaka, K. dan Takada, H. (2016) 'Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters', *Scientific Reports*, 6(1), p. 34351. doi: 10.1038/srep34351.

Tansel, B. dan Rafiuddin, S. (2016) 'Heavy metal content in relation to particle size and organic content of surficial sediments in Miami River and transport potential', *International Journal of Sediment Research*, 31(4), pp. 324–329. doi: 10.1016/j.ijsrc.2016.05.004.

Torres, P. dkk. (2023) 'Environmental Impact of Cadmium in a Volcanic Archipelago: Research Challenges Related to a Natural Pollution Source', Journal of Marine Science and Engineering, 11(1). doi: 10.3390/jmse11010100.

Tu, C. dkk. (2020) 'Biofilm formation and its influences on the properties of microplastics as affected by exposure time and depth in the seawater', Science of the Total Environment, 734. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139237.

Tubagus, W. dkk. (2020) 'Identification of Microplastic Composition on Clams (Gafrarium tumidum) and Sediments in Seribu Island, Pari Island Area, DKI Jakarta', *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 25(3), pp. 115–120. doi: 10.14710/ik.ijms.25.3.115-120.

Turner, A. dan Holmes, L. A. (2015) 'Adsorption of trace metals by microplastic pellets in fresh water', Environmental Chemistry, 12(5), pp. 600–610. doi: 10.1071/EN14143.

Uogintė, I. dkk. (2022) 'Seasonal variation and complex analysis of microplastic distribution in different WWTP treatment stages in Lithuania', *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(11), p. 829. doi: 10.1007/s10661-022-10478-x.

Utami, I. dkk. (2021) 'Initial investigation of microplastic pollution in river sediments at Yogyakarta City Indonesia', Sustinere: Journal of Environment and Sustainability, 5(3), pp. 155–165. doi: 10.22515/sustinere.jes.v5i3.178

Van Cauwenberghe, L. dkk. (2015) 'Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects', Marine Environmental Research, 111, pp. 5–17. doi: 10.1016/j.marenvres.2015.06.007.

Veerasingam, S. dkk. (2021) 'Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(22), pp. 2681–2743. doi: 10.1080/10643389.2020.1807450.

Wahyuningsih, H., Bangun, A. P. dan Muhtadi, A. (2018) 'The relation of sediment texture to macro- and microplastic abundance in intertidal zone', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 122, p. 012101. doi: 10.1088/1755-1315/122/1/012101.

Wang, J. dkk. (2017) 'Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: Composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals', Chemosphere, 171, pp. 248–258. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.12.074.

Wang, T. dkk. (2023) 'The aging of polyethylene mulch films in the presence of cadmium', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 266, p. 115569. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115569.

Waldschläger, K. dkk. (2020) 'The way of microplastic through the environment – Application of the source-pathway-receptor model (review)', Science of the Total Environment, 713, p. 136584. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136584.

Warni, D., Karina, S. dan Nurfadillah, N. (2017) 'Analisis Logam Pb, Mn, Cu dan Cd pada Sedimen di Pelabuhan Jetty Meulaboh, Aceh Barat', *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2(2), pp. 246–253.

Watkins, L. dkk. (2019) 'The effect of dams on river transport of microplastic pollution', *Science of The Total Environment*, 664, pp. 834–840. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.028.

Wei, H dkk. (2023) 'Heavy Metal in River Sediments of Huanghua City in Water Diversion Area from Yellow River, China: Contamination, Ecological Risks, and Sources', Water, 15, 58. https://doi.org/ 10.3390/w15010058

Widodo, Ribut L., dan Donan W (2010) 'Pengelolaan Kawasan Sungai Code Berbasis Masyarakat'. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan, Vol 2 (7-20).

Widowati, W. (2008) 'Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran', Yogyakarta: Penerbit Andi.

Wu, C., Zhang, K. dan Xiong, X. (2018) 'Microplastic Pollution in Inland Waters Focusing on Asia', in, pp. 85–99. doi: 10.1007/978-3-319-61615-5_5.

Wu, H., Hou, J. dan Wang, X. (2023) 'A review of microplastic pollution in aquaculture: Sources, effects, removal strategies and prospects', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 252, p. 114567. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114567.

Xu, J.-L. dkk. (2019) 'FTIR and Raman imaging for microplastics analysis: State of the art, challenges and prospects', *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 119, p. 115629. doi: 10.1016/j.trac.2019.115629.

Xu, Q. dkk. (2020) ‘Microplastics in sediments from an interconnected river-estuary region’, *Science of The Total Environment*, 729, p. 139025. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139025.

Zhang, B. dkk. (2021) ‘Variation characteristics of ocean sediment Fe levels and their relationship with grain sizes in culture areas over a long period’, *Helgoland Marine Research*, 75(1), p. 9. doi: 10.1186/s10152-021-00554-z.

Zhang, C. dkk. (2014) ‘Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability’, *Environment International*, 73, pp. 270–281. doi: 10.1016/j.envint.2014.08.010.

Zhang, K. dkk. (2015) ‘Accumulation of floating microplastics behind the Three Gorges Dam’, *Environmental Pollution*, 204, pp. 117–123. doi: 10.1016/j.envpol.2015.04.023.

Zhao, X. dkk. (2022) ‘Color: An Important but Overlooked Factor for Plastic Photoaging and Microplastic Formation’, *Environmental Science & Technology*, 56(13), pp. 9161–9163. doi: 10.1021/acs.est.2c02402.

Zhou, Q. dkk. (2020) ‘Characteristics and distribution of microplastics in the coastal mangrove sediments of China’, *Science of The Total Environment*, 703, p. 134807. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134807.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Sampel



Lampiran 2 Tekstur Sedimen Tiap Titik Pengambilan Sampel

No	Nama Sampel	Tekstur Sedimen	Gambar
1.	Sampel 1 (S1)	*Fine Sand*	
2.	Sampel 2 (S2)	*Fine Sand*	
3.	Sampel 3 (S3)	*Sand*	
4.	Sampel 4 (S4)	*Coarse Sand*	

No	Nama Sampel	Tekstur Sedimen	Gambar
			
5.	Sampel 5 (S5)	*Sand*	
6.	Sampel 6 (S6)	*Coarse Sand*	

No	Nama Sampel	Tekstur Sedimen	Gambar
7.	Sampel 7 (S7)	*Fine Sand*	
8.	Sampel 8 (S8)	*Fine Sand*	
9.	Sampel 9 (S9)	*Fine Sand*	

Lampiran 3 Perhitungan Kebutuhan Larutan

Perhitungan yang dilakukan untuk membuat larutan Fe (II) 0,05 M dan Larutan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) 30%

A. Pembuatan Larutan Fe (II) 0,05 M

Perhitungan:

Diketahui:

Larutan yang dibutuhkan = 180 mL

Berat Molar Fe = 278,06 gr/mol

Kebutuhan Molar =0,05 M

- Berat $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ yang diperlukan untuk membuat Fe (II) 0,05 180 mL

$$Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O \text{ (gram)}: 0{,}05 \text{ M x } 278{,}06 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} = 13{,}903 \text{ gram/L}$$

$$\text{Fe (II)}0{,}05\ 180 \text{ mL}: \frac{180\ mL}{1000\ mL}\ x\ 13{,}903 = 2{,}50254\ gram$$

B. Pembuatan Larutan (H_2O_2) 30%

Larutan Hidrogen Peroksida 30% dibuat dengan melakukan pengenceran terhadap Hidrogen Peroksida 50%.

Perhitungan:

Diketahui:

Volume yang dibutuhkan = 180 mL

M_1 = 50% = 0,5

M_2 = 30% = 0,3

- Pengenceran H_2O_2 50% menjadi 30%

$$\text{Rumus Pengenceran: } V_1 \text{ x } M_1 = V_1 \text{ x } M_1$$

$$V_1 \text{ x } 0{,}5 = 180 \text{ mL x } 0{,}3$$

$$V_1 \text{ x } 0{,}5 = 54 \text{ mL}$$

$$V_1 \text{ x } 0{,}5 = 54 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{54 \text{ mL}}{0{,}5} = 108 \text{ mL}$$

Sehingga dibutuhkan 108 mL H_2O_2 50% yang dibutuhkan untuk membuat larutan H_2O_2 30% sebanyak 180

Lampiran 4 Data Pengamatan Mikroplastik dan Perhitungan Kelimpahan

a. Data Pengamatan

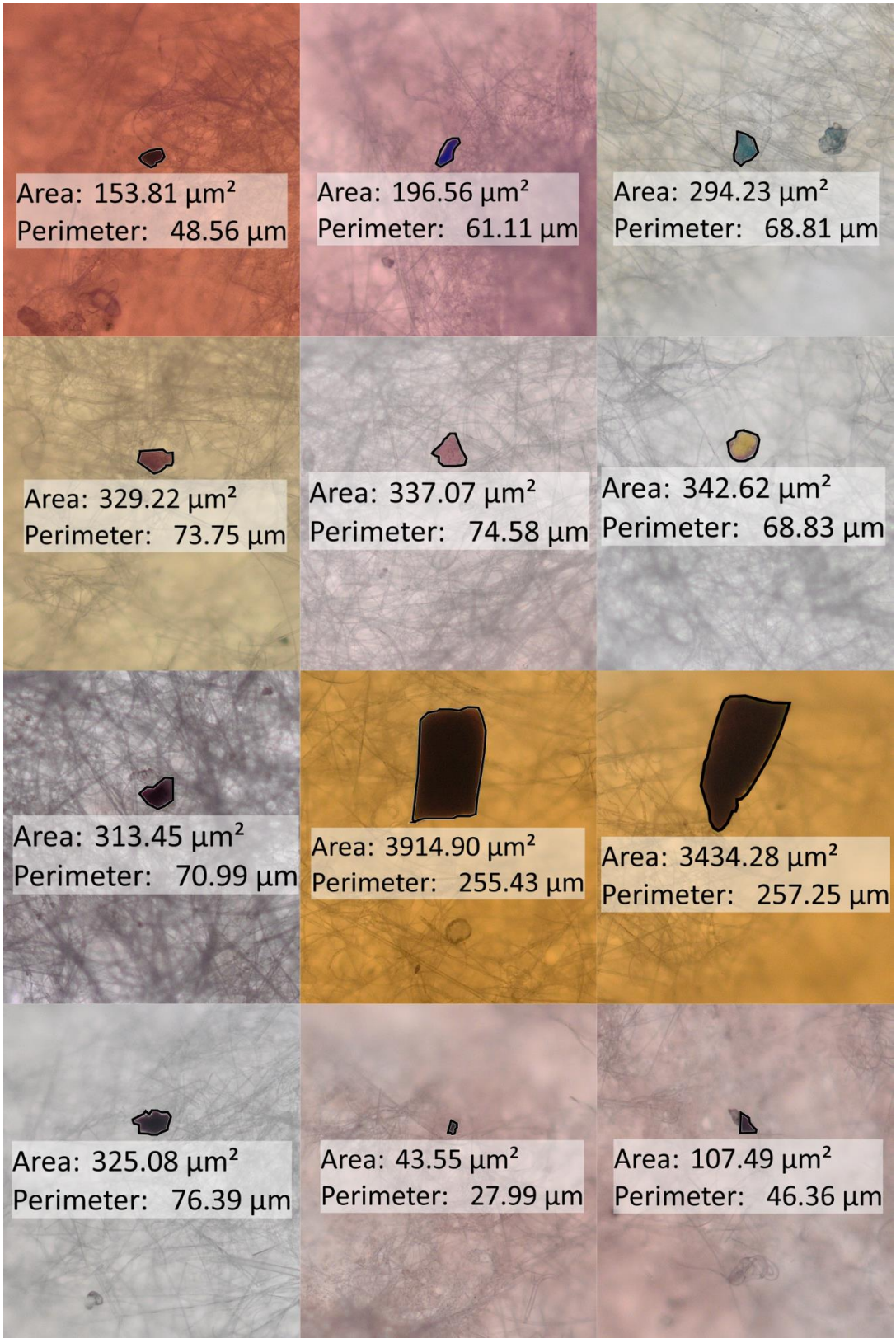
Bentuk Mikroplastik	Hitam	Clear	Hijau	Cokelat	Biru	Orange	Kuning	Ungu	Merah
Fragment	50424	10122	421	552	160	22	0	17	255
Pellet	630	135	11	6	14	3	0	0	21
Fiber	72	18	0	1	3	0	1	2	5
Filament	217	411	4	4	22	1	0	0	14
Film	404	19950	8	82	9	134	2	2	20
Foam	183	0	0	0	0	0	0	0	0

b. Perhitungan Kelimpahan

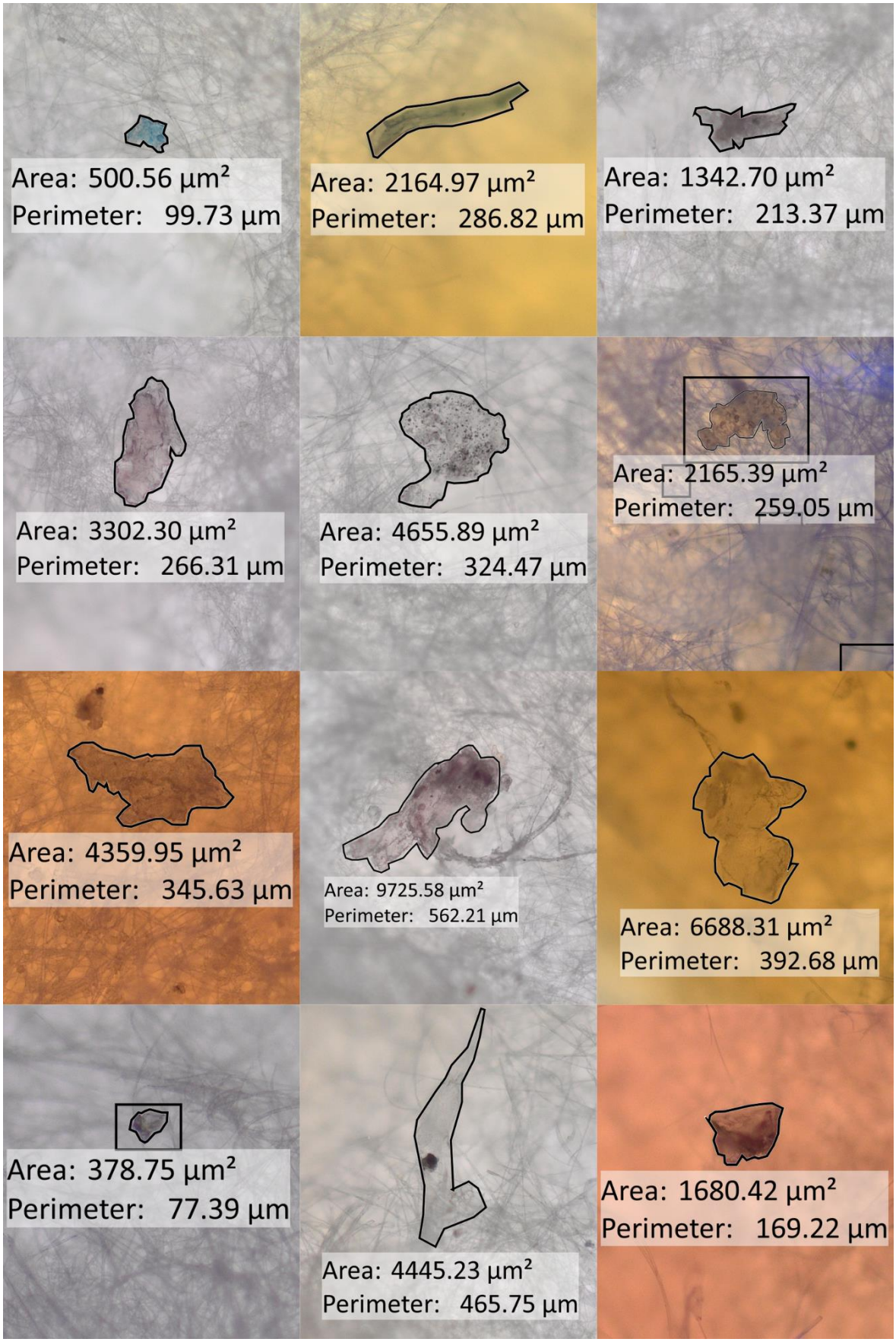
Nama Sampel	Jenis Mikroplastik (partikel/20 gram)						Jumlah partikel/sampel	Berat Kering Sampel (gram)	Kelimpahan (Partikel/Gram)
	Fragment	*Pellet*	*Fiber*	*Filament*	*Film*	*Foam*			
S1	3011	23	5	85	238	34	3396	20	169,8
S2	3151	26	7	84	243	12	3513	20	175,65
S3	3492	45	5	104	430	43	4119	20	205,95
S4	5873	107	13	51	548	6	6598	20	329,9
S5	5739	100	8	70	340	12	6269	20	313,45
S6	10029	200	15	83	3004	23	13354	20	667,7
S7	9864	145	16	83	3961	28	14097	20	704,85
S8	9425	58	11	56	2826	11	12387	20	619,35
S9	11389	116	22	57	9021	14	20619	20	1030,95

Lampiran 5 Data Pengamatan Bentuk Mikroplastik

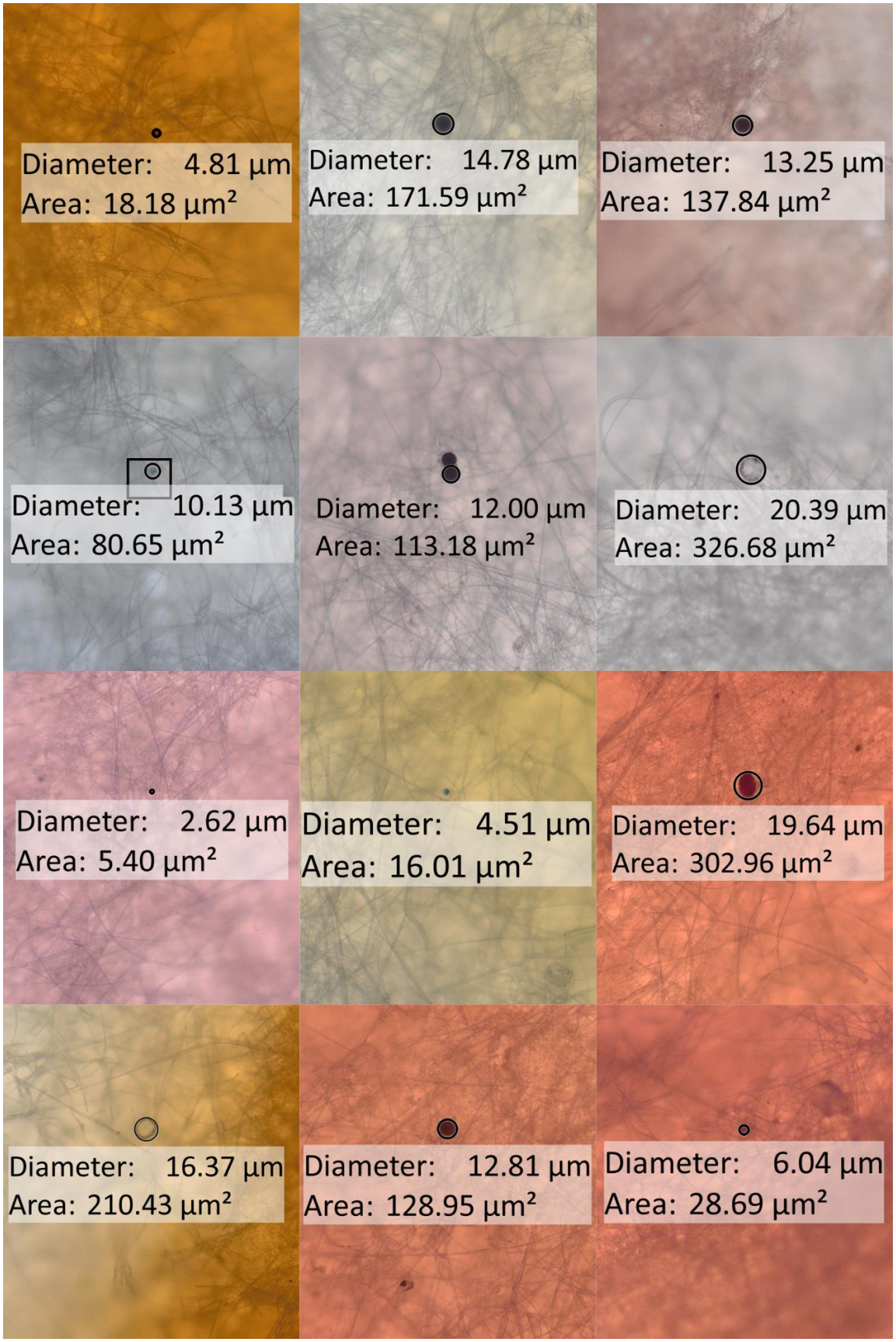
A. *Fragment*



B. *Film*


Area: 500.56 µm²
Perimeter: 99.73 µm
Area: 2164.97 µm²
Perimeter: 286.82 µm
Area: 1342.70 µm²
Perimeter: 213.37 µm
Area: 3302.30 µm²
Perimeter: 266.31 µm
Area: 4655.89 µm²
Perimeter: 324.47 µm
Area: 2165.39 µm²
Perimeter: 259.05 µm
Area: 4359.95 µm²
Perimeter: 345.63 µm
Area: 9725.58 µm²
Perimeter: 562.21 µm
Area: 6688.31 µm²
Perimeter: 392.68 µm
Area: 378.75 µm²
Perimeter: 77.39 µm
Area: 4445.23 µm²
Perimeter: 465.75 µm
Area: 1680.42 µm²
Perimeter: 169.22 µm

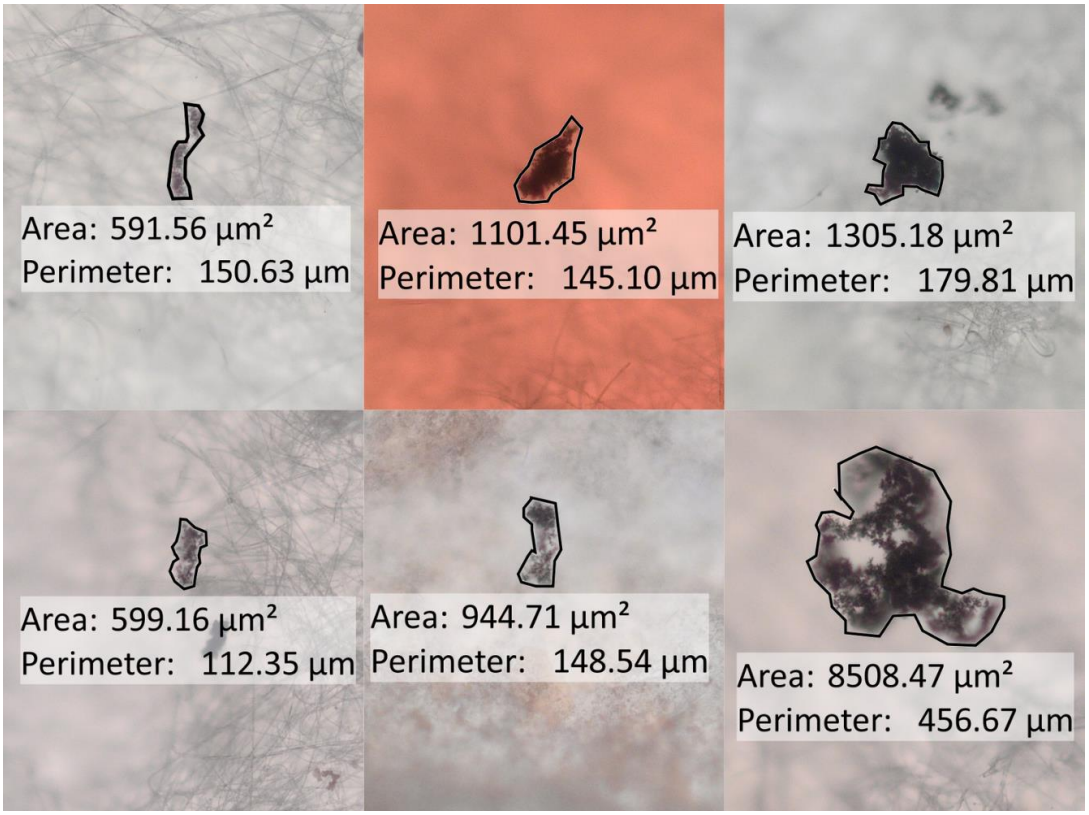
C. *Pellet*


Diameter: 4.81 µm
Area: 18.18 µm²
Diameter: 14.78 µm
Area: 171.59 µm²
Diameter: 13.25 µm
Area: 137.84 µm²
Diameter: 10.13 µm
Area: 80.65 µm²
Diameter: 12.00 µm
Area: 113.18 µm²
Diameter: 20.39 µm
Area: 326.68 µm²
Diameter: 2.62 µm
Area: 5.40 µm²
Diameter: 4.51 µm
Area: 16.01 µm²
Diameter: 19.64 µm
Area: 302.96 µm²
Diameter: 16.37 µm
Area: 210.43 µm²
Diameter: 12.81 µm
Area: 128.95 µm²
Diameter: 6.04 µm
Area: 28.69 µm²

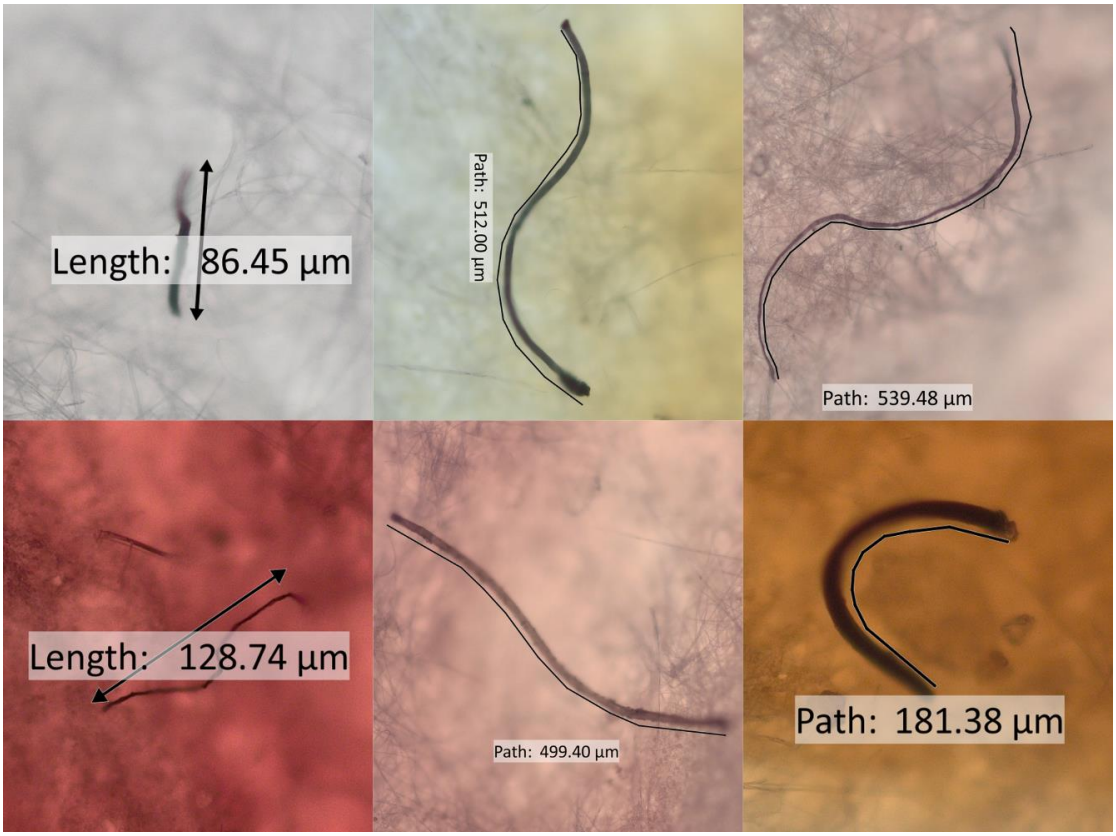
D. *Filament*


Length: 394.64 µm
Path: 630.60 µm
Length: 296.03 µm
Length: 0.77 mm
Length: 632.64 µm
Length: 587.94 µm
Path: 523.70 µm
Path: 558.37 µm
Length: 367.34 µm
Path: 649.87 µm
Length: 413.23 µm
ength: 193.19 µm

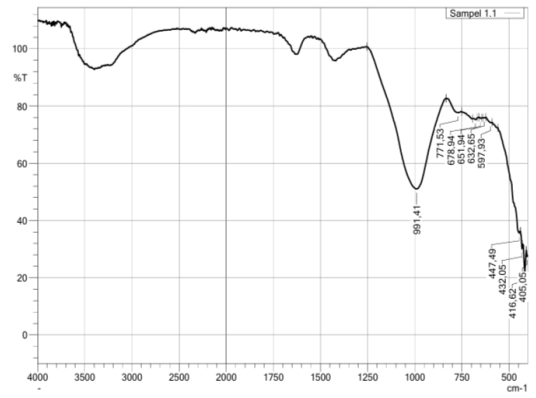
E. *Foam*



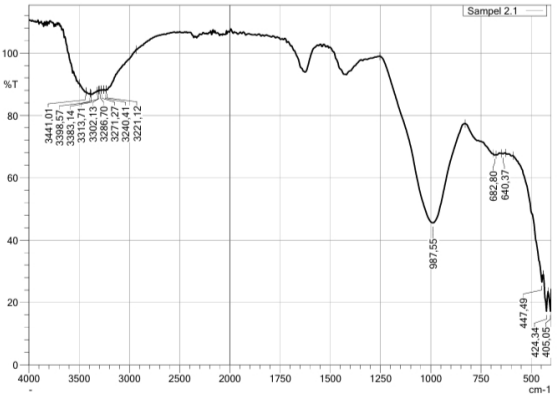
F. *Fiber*



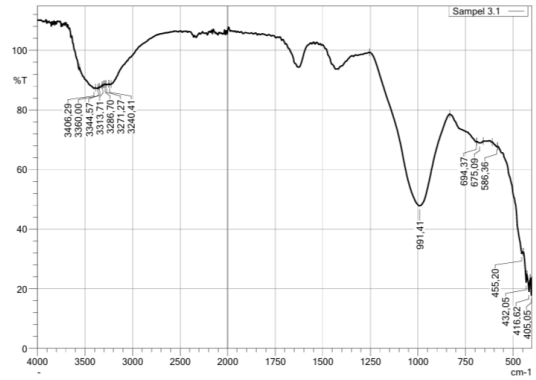
Lampiran 6 Grafik Hasil FT-IR



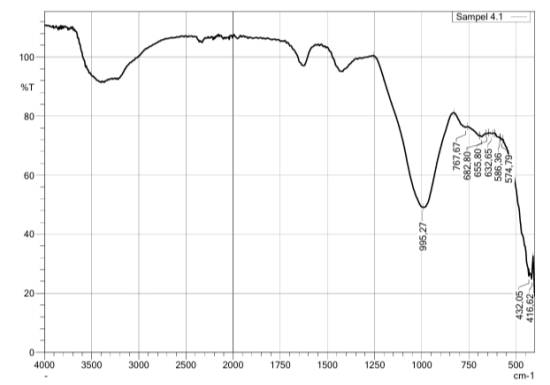
(a)



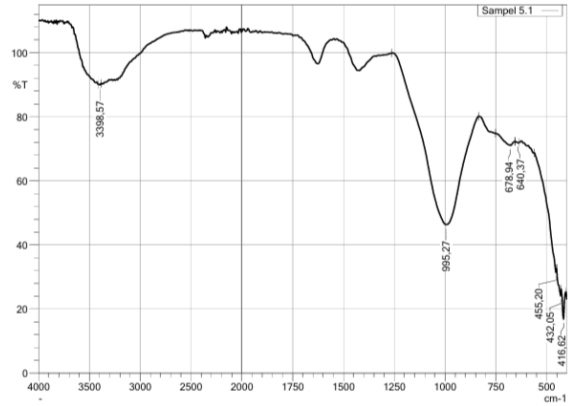
(b)



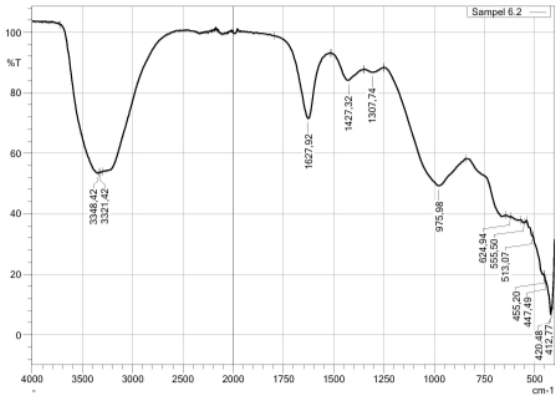
(c)



(d)



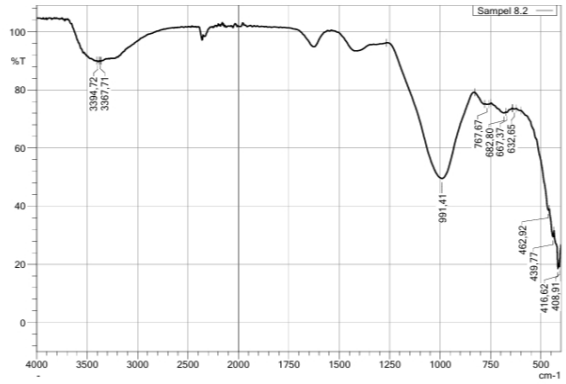
(e)



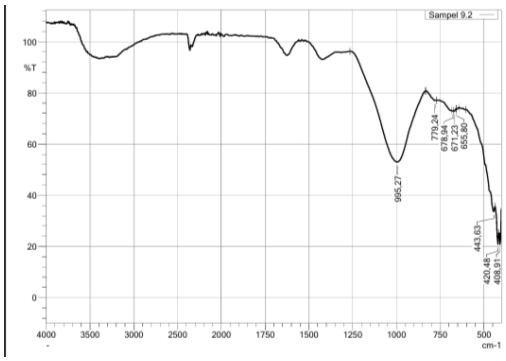
(f)



(g)



(h)



(i)

(a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3, (d) Sampel 4, (e) Sampel 5, (f) Sampel 6, (g) Sampel 7, (h) Sampel 8, dan (i) Sampel 9

Lampiran 7 Pengolahan Data *Peaks* FT-IR

SAMPEL 1					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
991,41	990	Polybutadiene	*In-phase out of plane CH wag*	(Noda dkk., 2007)	*Polyethylene (PE), PVDC*
	997	Polypropylene (PP)	*C- C stretching*	(Veerasingam., 2020)	
	988	PMMA	*C-O-C stretch*	(Noda dkk., 2007)	
771,53	777	Polyetilen (PE)	*Weathered, Aging PE particles*	(Savino dkk., 2022)	
	795	Polystyrene (PS)	*CH deformation out of plane*	(Nava dkk., 2021)	
	809	Polypropylene (PP)	*Ch2 rocking, C-C stretching C-CH3*	(Nava dkk., 2021)	
651,94	655	PVDC	*C - Cl2 stretching*	(Peltzer dan Simoneau, 2013)	
	636	PTFE	*C- C- F blend*	(Noda dkk., 2007)	
	638	PVC	*C- CL stretching*	(Nava dkk., 2021)	

SAMPEL 2					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
3441,01	3440	PP (Fragment/Pellets) (aged)	*OH bending*	(Savino dkk., 2022)	Polypropylene (PP), Polyurethane, Polystyrene, PMMA
	3436	PHB	*C =O stretch, crystalline*	(Noda dkk., 2007)	
	3458	PE pellet (aged)	*Hydroxyl Groups*	Savino dkk., 2022)	
3313,71	3320	Polyurethane (Polyester based)	*NH stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	3298	Nylon 6 (type of polyamide)	*N-H stretch*	(Jung dkk., 2018)	
	3300	Celullose Acetate	*OH stretch*	(Noda dkk., 2007)	
1600	1600	Polycarbonate	*Para aromatic ring quadrant strecth*	(Noda dkk., 2007)	
	1601	Polystyrene	*ring quadrant strecth*	(Noda dkk., 2007)	
1450	1451	Polystyrene	*CH2 bending*	(Veerasingam., 2020)	
	1451	Polyurethane (PU)	*CH2 bending*	(Veerasingam., 2020)	
	1455	Polypropylene (PP)	*CH2 bending*	(Veerasingam., 2020)	

987,55	988	PMMA	*C-O-C stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	990	Polybutadiene	*In-phase out-of-plane CH wag*	(Noda dkk., 2007)	
	997	Polypropylene (PP)	*Ch3 rock, CH3 bend, CH bend*	(Jung dkk., 2018)	
682,8	685	PVC	*C-Cl stretch, isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	687	Nylon 6 (type of polyamide)	*NH bend, C = O bend*	(Jung dkk., 2018)	
	697	Polystyrene	*Mono-substituted ring out-of-plane bend*	(Noda dkk., 2007)	
640,37	636	PTFE	*C- C- F bend*	(Noda dkk., 2007)	
	620	PVC	*C-Cl stretch, isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	560	Polysulfone	*SO2 scissors deformation*	(Noda dkk., 2007)	

SAMPEL 3					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
3406,29	3404	PP (Fragment/Pellets) (aged)	*OH Bending*	(Savino dkk., 2022)	Polypropylene (PP), Polyurethane (PU), Polystyrene (PS), PVC
3360,0	3360	PVC	*O-H stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	3360	Polystyrene (aging)	*Hydroxyl (OH) groups*	(Veerasingam., 2020)	
	3370	Polypropylene (aging)	*Hydroxyl (OH) groups*	(Veerasingam., 2020)	
3313,71	3300	Celullose Acetate	*OH stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	3320	Polyurethane (Polyester based)	*N-H stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	3298	Nylon 6 (type of polyamide)	*N-H stretch*	(Jung dkk., 2018)	
3240,41	3240	Polypropylene (aging)	*Hydroxyl groups*	(Veerasingam., 2020)	
1600	1600	Polycarbonate	*Para aromatic ring quadrant strecth*	(Noda dkk., 2007)	
	1601	Polystyrene	*ring quadrant strecth*	(Noda dkk., 2007)	
1450	1451	Polystyrene	*CH2 bending*	(Veerasingam., 2020)	

	1451	Polyurethane (PU)	*CH2 bending*	(Veerasingam., 2020)	
	1455	Polypropylene (PP)	*CH2 bending*	(Veerasingam., 2020)	
991,41	990	Polybutadiene	*In-phase out of plane CH wag*	(Noda dkk., 2007)	
	997	Polypropylene (PP)	*C- C stretching*	(Veerasingam., 2020)	
	988	PMMA	*C-O-C stretch*	(Noda dkk., 2007)	
694,37	694	Polyestyrene (PS)	*Aromatic CH out of plane blend*	(Veerasingam., 2020)	
	690	Polysulfone	*Aromatic ring bend*	(Noda dkk., 2007)	
	693	PVC	*C-Cl stretch, syndiotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	

SAMPEL 4					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
3450	3458	PE pellet (aged)	*Hydroxyl Groups*	Savino dkk., 2022)	PP, PVDC, PVC
	3440	PP (Fragment/Pellets) (aged)	*OH bending*	(Savino dkk., 2022)	
	3436	PHB	*C =O stretch, crystalline*	(Noda dkk., 2007)	
995,27	997	Polypropylene (PP)	*Ch3 rock, CH3 bend, CH bend*	(Jung dkk., 2018)	
	990	Polybutadiene	*In-phase out-of-plane CH wag*	(Noda dkk., 2007)	
	988	PMMA	*C-O-C stretch*	(Noda dkk., 2007)	
767,67	761	PVC	*C-Cl stretches*	(Peltzer dan Simoneau, 2013)	
	755	Polylacticacid	*skeletal vibration*	(Noda dkk., 2007)	
	758	Polyestyrene (PS)	*Mono-substituted ring in-phase H wag*	(Noda dkk., 2007)	
682,8	685	PVC	*C-Cl stretch, Isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	687	Nylon	*NH bend, C = O bend*	(Jung dkk., 2018)	
	690	Polysulfone	*Aromatic ring bend*	(Noda dkk., 2007)	
655,8	655	PVDC	*C - Cl2 stretching*	(Peltzer dan Simoneau, 2013)	
	636	PTFE	*C- C- F blend*	(Noda dkk., 2007)	
	638	PVC	*C- CL stretching*	(Nava dkk., 2021)	
632,65	638	PVC	*C- CL stretching*	(Nava dkk., 2021)	
	636	PTFE	*C- C- F blend*	(Noda dkk., 2007)	
	621	Polystyrene (PS)	*Ring deformation mode*	(Nava dkk., 2021)	

SAMPEL 5					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
3398,57	3404	PP (Fragment/Pellets) (aged)	*OH Bending*	(Savino dkk., 2022)	Polypropylene (PP), PVDC
	3436	PHB	*C =O stretch, crystalline*	(Noda dkk., 2007)	
	3440	PP (Fragment/Pellets) (aged)	*OH bending*	(Savino dkk., 2022)	
995,27	997	Polypropylene (PP)	*Ch3 rock, CH3 bend, CH bend*	(Jung dkk., 2018)	
	990	Polybutadiene	*In-phase out-of-plane CH wag*	(Noda dkk., 2007)	
	988	PMMA	*C-O-C stretch*	(Noda dkk., 2007)	
655,8	655	PVDC	*C - Cl2 stretching*	(Peltzer dan Simoneau, 2013)	
	636	PTFE	*C- C- F blend*	(Noda dkk., 2007)	
	638	PVC	*C- CL stretching*	(Nava dkk., 2021)	
640,37	638	PTFE	*C- C- F blend*	(Jung dkk., 2018)	
	620	PVC	*C-Cl stretch, isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	600	PVDC	*C - Cl2 stretching*	(ILC, 2013)	

SAMPEL 6					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
3348,42	3337	Thermoplastic Polyurethane	-	(Nava dkk., 2021)	PP, PVC, Polyurethane , PET, PTFE
	3360	Polystyrene (PS) (aging)	*Hydroxyl (OH) groups*	(Veerasingam., 2020)	
	3320	Polyurethane (Polyester based)	*NH stretch*	(Noda dkk., 2007)	
3321,42	3320	Polyurethane (Polyester based)	*N-H stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	3298	Nylon 6 (type of polyamide)	*N-H stretch*	(Jung dkk., 2018)	
	3300	Celullose Acetate	*OH stretch*	(Noda dkk., 2007)	

SAMPEL 6					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
1627,92	1617	Thermoplastic Polyurethane	-	(Nava dkk., 2021)	
	1617	PVC	*Virgin materials*	(Savino dkk., 2022)	
	1615	PET	*Ring Mode*	(Nava dkk., 2021;Savino dkk., 2022)	
1427,32	1424	PVC	*C-Cl stretchm isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	1417	Polyetylene (PE)	*twisting CH2 dan Wagging CH2*	(Nava dkk., 2021)	
	1458	Polypropylene (PP)	*Asymmetric bending of CH3 and CH2 bending*	(Nava dkk., 2021)	
1307,74	1295	PET	*C=O dan C(O)-O*	(Nava dkk., 2021)	
	1303	Polyethylene (PE)	*twisting CH2 dan Wagging CH2*	(Noda dkk., 2007)	
	1306	Polypropylene (PP)	-	(Nava dkk., 2021)	
975,98	973	Polypropylene (PP)	*CH3 R0cking dan C- C Stretching*	(Nava dkk., 2021)	
	975	PET	*Trans configuration C-O stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	970	PVC	*CH3 rock*	(Noda dkk., 2007)	
624,94	620	PVC	*C-Cl stretch isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	621	Polystyrene (PS)	*Ring Deformation Mode*	(Nava dkk., 2021)	
	600	Celullose Acetate	*O-H bending*	(Veerasingam., 2020)	
555,5	554	PTFE	*CF2 bending*	(Veerasingam., 2020)	
	540	Polystyrene atactic (PS)	*Out of Plane ring bend*	(Noda dkk., 2007)	
	560	Polysulfone	*SO2 scissors deformation*	(Noda dkk., 2007)	
513,07	516	PTFE	*C-C-F bend*	(Noda dkk., 2007)	
	515	Polyacylonitrile (PAN)	*shoulder*	(Nava dkk., 2021)	
	540	Polystyrene atactic (PS)	*Out of Plane ring bend*	(Noda dkk., 2007)	

SAMPEL 7					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
995,27	997	Polypropylene (PP)	*Ch3 rock, CH3 bend, CH bend*	(Jung dkk., 2018)	PMMA, Polystyrene (PS), PVC
	990	Polybutadiene	*In-phase out-of-plane CH wag*	(Noda dkk., 2007)	
	988	PMMA	*C-O-C stretch*	(Noda dkk., 2007)	
775,38	753	Poly methyl methacrylate	*skeletal + CH2 rock*	(Noda dkk., 2007)	
	750	PMMA	*CH rock, C=O bend*	(Jung dkk., 2018)	
	758	Polystyrene (PS)	*Mono substituted ring in phase H wag*	(Noda dkk., 2007)	
694,37	694	Polyestyrene (PS)	*Aromatic CH out of plane blend*	(Veerasingam., 2020)	
	690	Polysulfone	*Aromatic ring bend*	(Noda dkk., 2007)	
	693	PVC	*C-Cl stretch, syndiotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
632,65	638	PTFE	*C- C- F blend*	(Jung dkk., 2018)	
	610	PVC	*C-Cl stretch, syndiotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	620	PVC	*C-Cl stretch, Isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
601,79	601	PMMA (most intense vibrations)	-	(Nava dkk., 2021)	
	603	PVC	*C-Cl stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	600	Celullose Acetate	*O-H bending*	(Veerasingam., 2020)	

SAMPEL 8					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
3394,72	3360	PVC	*O-H stretch*	(Noda dkk., 2007)	PVC, Polypropylene (PP)
	3360	Polystyrene (aging)	*Hydroxyl (OH) groups*	(Veerasingam., 2020)	
	3370	Polypropylene (aging)	*Hydroxyl (OH) groups*	(Veerasingam., 2020)	
3367,7	3360	PVC	*O-H stretch*	(Noda dkk., 2007)	
	3360	Polystyrene (aging)	*Hydroxyl (OH) groups*	(Veerasingam., 2020)	
	3370	Polypropylene (aging)	*Hydroxyl (OH) groups*	(Veerasingam., 2020)	
991,41	990	Polybutadiene	*In-phase out of plane CH wag*	(Noda dkk., 2007)	
	997	Polypropylene (PP)	*C- C stretching*	(Veerasingam., 2020)	
	988	PMMA	*C-O-C stretch*	(Noda dkk., 2007)	
767,67	759	Acrylonitrile butadiene styrene	*Aromatic CH out-of-plane*	(Veerasingam., 2020)	
	755	Polylacticacid	*Skeletal Vibration*	(Noda dkk., 2007)	
	758	Polyestyrene (PS)	*Mono-substituted ring in-phase H wag*	(Noda dkk., 2007)	
682,8	685	PVC	*C-Cl stretch, Isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	687	Nylon	*NH bend, C = O bend*	(Jung dkk., 2018)	
	690	Polysulfone	*Aromatic ring bend*	(Noda dkk., 2007)	
667,37	685	PVC	*C-Cl stretch, Isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	687	Nylon	*NH bend, C = O bend*	(Jung dkk., 2018)	
	690	Polysulfone	*Aromatic ring bend*	(Noda dkk., 2007)	
632,65	638	PVC	*C- CL stretching*	(Nava dkk., 2021)	
	636	PTFE	*C- C- F blend*	(Noda dkk., 2007)	
	621	Polystyrene (PS)	*Ring deformation mode*	(Nava dkk., 2021)	

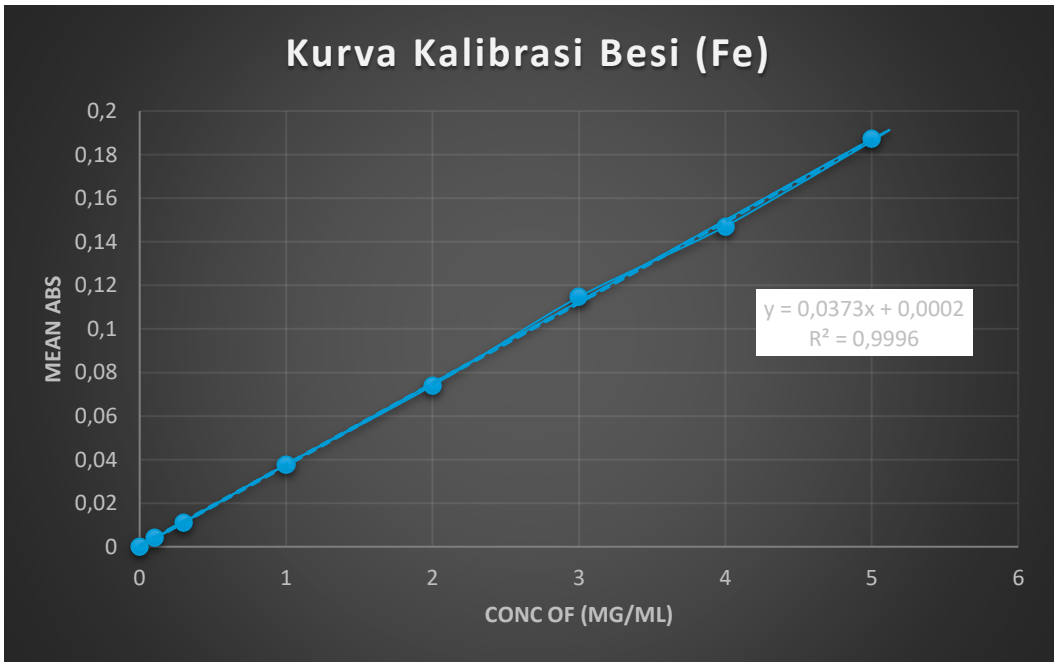
SAMPEL 9					
***Peak* /cm**	***Peak* Acuan /cm**	**Polimer Dugaan**	***Functional Group***	**Referensi**	**Polimer Per Sampel**
995,27	997	Polypropylene (PP)	*Ch3 rock, CH3 bend, CH bend*	(Jung dkk., 2018)	PP, PVC, PVDC
	990	Polybutadiene	*In-phase out-of-plane CH wag*	(Noda dkk., 2007)	
	988	PMMA	*C-O-C stretch*	(Noda dkk., 2007)	
779,24	753	Poly methyl methacrylate	*skeletal + CH2 rock*	(Noda dkk., 2007)	
	750	PMMA	*CH rock, C=O bend*	(Jung dkk., 2018)	
	758	Polystyrene (PS)	*Mono substituted ring in phase H wag*	(Noda dkk., 2007)	
678,94	694	Polystyrene (PS)	*Aromatik CH out-of-plane bend*	(Jung dkk., 2018)	
	685	PVC	*C-Cl stretch, isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	687	Nylon	*NH bend, C = O bend*	(Jung dkk., 2018)	
682,8	685	PVC	*C-Cl stretch, Isotactic segment*	(Noda dkk., 2007)	
	687	Nylon	*NH bend, C = O bend*	(Jung dkk., 2018)	
	690	Polysulfone	*Aromatic ring bend*	(Noda dkk., 2007)	
655,8	655	PVDC	*C - Cl2 stretching*	(Peltzer dan Simoneau, 2013)	
	636	PTFE	*C- C- F blend*	(Noda dkk., 2007)	
	638	PVC	*C- CL stretching*	(Nava dkk., 2021)	

Lampiran 8 Data Pengujian Logam Berat di Sedimen

1. **Logam Fe**

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Logam Fe		
Kurva Kalibrasi Larutan Standar		
Sample Lable	Conc (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0,000	0,0000
Standard 1	0,300	0,0110
Standard 4	1,000	0,0378
Standard 5	2,000	0,074
Standard 6	3,000	0,1147
Standard 7	4,000	0,1471
Standard 8	5,000	0,1872
Standard 7	0,100	0,0040



DATA ANALISIS KURVA KALIBRASI			
Slope	0,03730	**STEYVX**	0,00148
Intercept	0,00016		

LOD dan LOQ Fe pada Sedimen ***Satuan dalam: mg/kg**	
LOD	0,1194
LOQ	0,3979

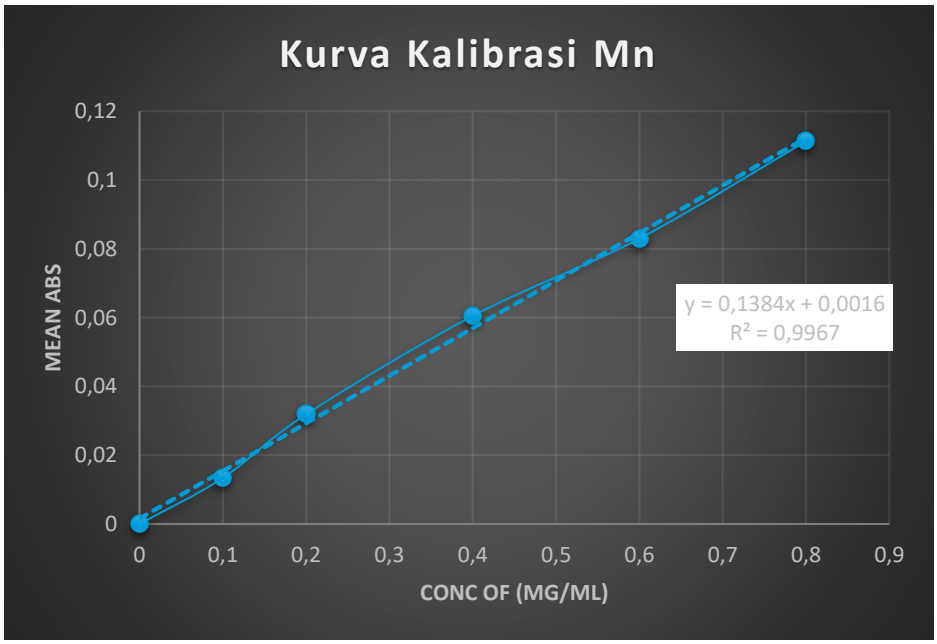
- Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Fe di SSA

LOGAM FE			
HASIL UJI AAS			
Sample Lable	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.
Sample Blank	0,000	3,55	-0,0258
Sampel 1	1,915	1,96	0,0716
Sampel 2	0,925	9,26	0,0347
Sampel 4	5,197	0,34	0,1940
Sampel 5	1,404	0,34	0,0526
Sampel 7	4,533	1,57	0,1692
Sampel 9	4,504	2,12	0,1681

2. Logam Mn

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pengujian Sampel Sedimen 1, 4, 7, 9

Logam Mn		
Kurva Kalibrasi Larutan Standar		
Sample Lable	Conc (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0,000	0,0000
Standard 1	0,100	0,0134
Standard 2	0,200	0,0319
Standard 3	0,400	0,0605
Standard 4	0,600	0,083
Standard 5	0,800	0,1113

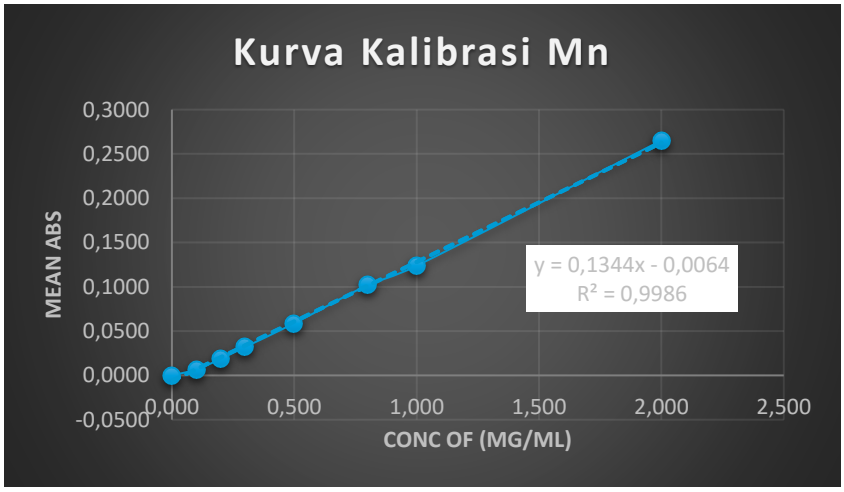


DATA ANALISIS KURVA KALIBRASI			
Slope	0,1384	**STEYVX**	0,0197083
Intercept	0,00159		

LOD dan LOQ Mn pada Sedimen *Satuan dalam: mg/kg	
LOD	0,4273
LOQ	1,4243

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pengujian Sampel Sedimen 2 dan 5

Logam Mn		
Kurva Kalibrasi Larutan Standar		
Sample Lable	Conc (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0,000	0,0000
Standard 1	0,100	0,0067
Standard 2	0,200	0,0187
Standard 3	0,300	0,0322
Standard 4	0,500	0,0588
Standard 5	0,800	0,102
Standard 6	1,000	0,1237
Standard 7	2,000	0,2652



DATA ANALISIS KURVA KALIBRASI			
Slope	0,1344	**STEYVX**	0,02685053
Intercept	-0,00643		

LOD dan LOQ Mn pada Sedimen *Satuan dalam: mg/kg	
LOD	0,5991
LOQ	1,9971

- Hasil Pengujian SSA Konsentrasi Logam Mn di Sedimen 1, 4, 7, 9

Logam Mn			
HASIL UJI AAS			
Sample Lable	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.
Sample Blank	0,000	HIGH	-0,0008
Sampel 1	0,283	5,77	0,0413
Sampel 4	0,805	1,89	0,1125
Sampel 7	0,746	0,17	0,1045
Sampel 9	0,471	3,48	0,0670

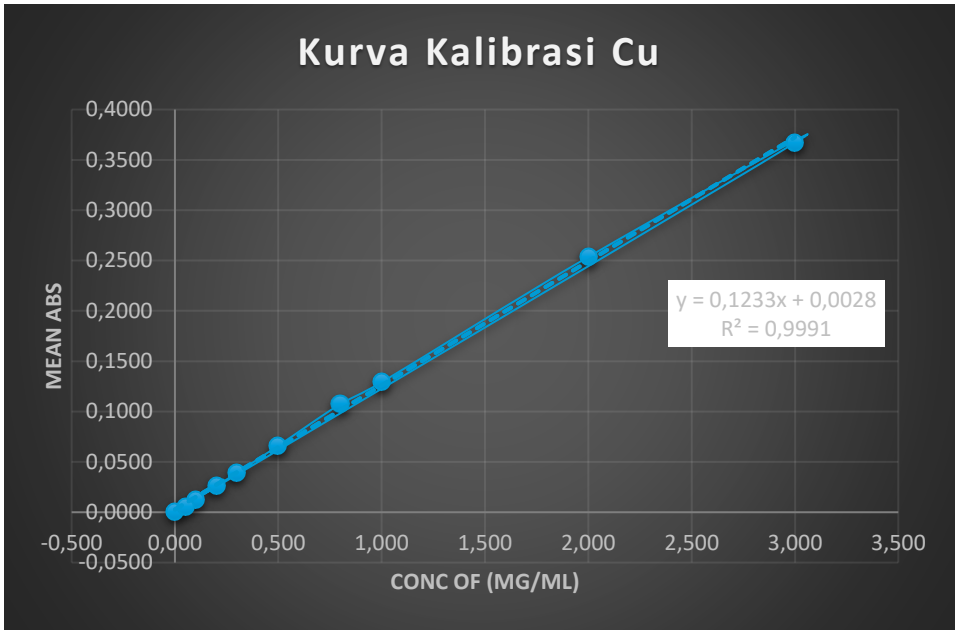
- Hasil Pengujian SSA Konsentrasi Logam Mn di Sedimen 2 dan 5

Logam Mn			
HASILUJI AAS			
Sample Lable	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.
Sampel 2	0,305	4,44	0,033
Sampel 5	0,332	1,26	0,0366

3. Logam Cu

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pengujian Sampel Sedimen

Logam Cu		
Kurva Kalibrasi Larutan Standar		
Sample Lable	Conc (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0,000	0,0000
Standard 1	0,200	0,0260
Standard 2	0,300	0,0392
Standard 3	0,500	0,0661
Standard 4	0,800	0,1075
Standard 5	1,000	0,1291
Standard 6	2,000	0,2536
Standard 7	3,000	0,367
Standard 8	0,100	0,013
Standard 9	0,050	0,006



DATA ANALISIS KURVA KALIBRASI			
Slope	0,1233	**STEYVX**	0,0316861
Intercept	0,0028		

LOD dan LOQ Cu pada Sedimen ***Satuan dalam: mg/kg**	
LOD	0,771147
LOQ	2,570492

- Hasil Pengujian SSA Konsentrasi Logam Cu di Sedimen

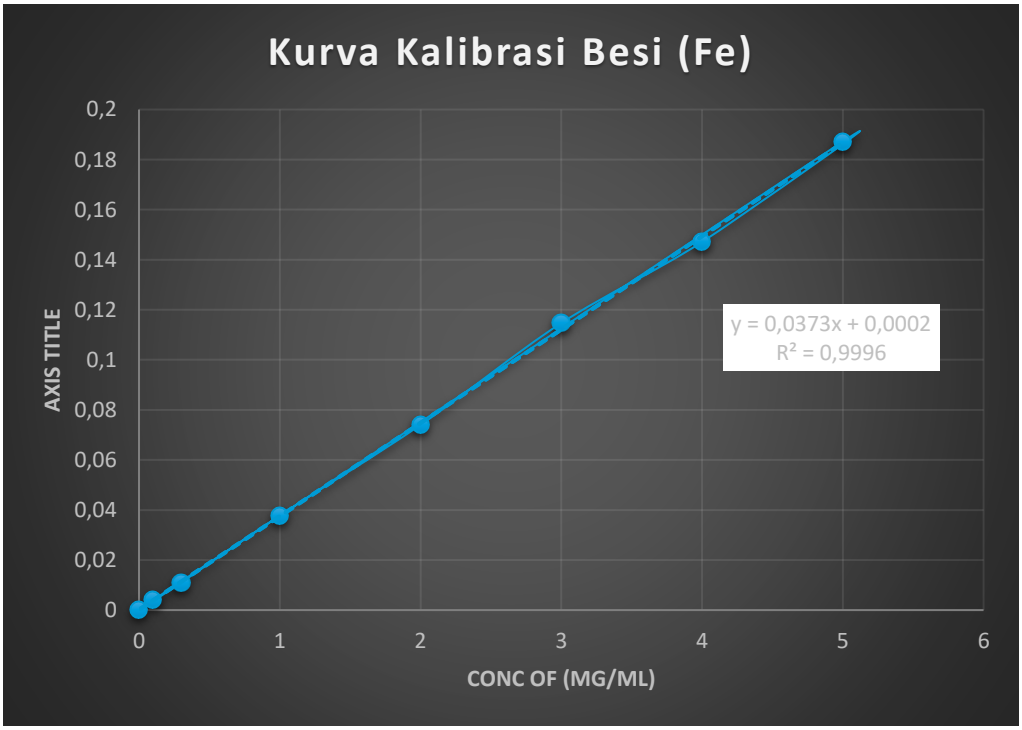
Logam Cu			
HASILUJI AAS			
Sample Lable	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs
Sample Blank	0,000	HIGH	0,0002
Sampel 1	0,383	6,20	0,0504
Sampel 2	0,418	3,52	0,0547
Sampel 4	0,998	1,48	0,1261
Sampel 5	0,618	1,84	0,0794
Sampel 7	0,776	2,19	0,0988
Sampel 9	0,61	0,73	0,0783

Lampiran 9 Data Pengujian Logam Berat di Mikroplastik

1. Logam Fe

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar

Logam Fe		
Kurva Kalibrasi Larutan Standar		
Sample Lable	Conc (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0,000	0,0000
Standard 1	0,300	0,0110
Standard 4	1,000	0,0378
Standard 5	2,000	0,074
Standard 6	3,000	0,1147
Standard 7	4,000	0,1471
Standard 8	5,000	0,1872
Standard 7	0,100	0,0040



DATA ANALISIS KURVA KALIBRASI			
Slope	0,03730	**STEYVX**	0,00148
Intercept	0,00016		

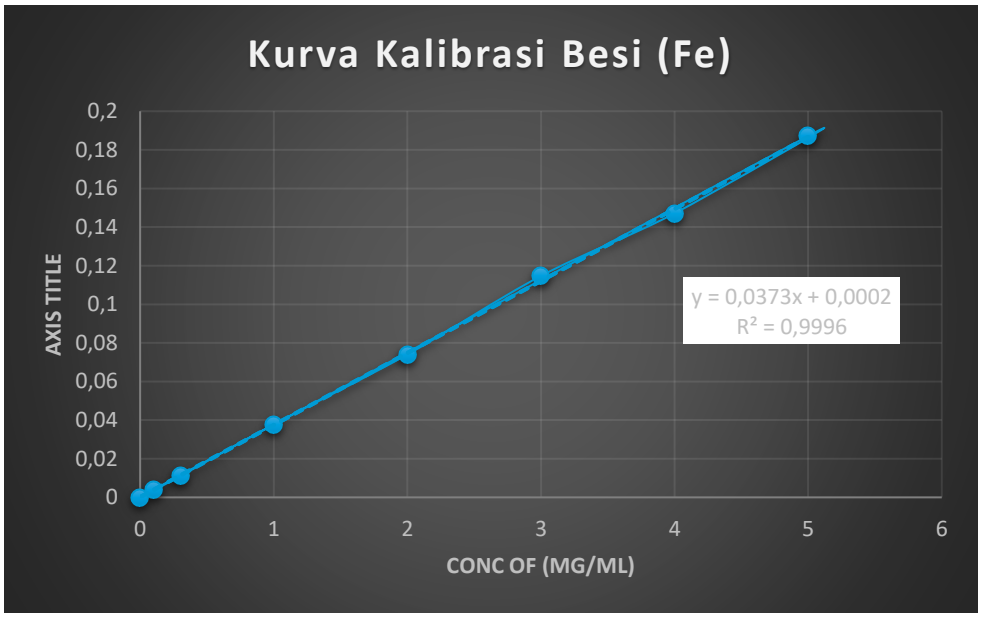
LOD dan LOQ Fe pada Sedimen ***Satuan dalam: mg/kg**	
LOD	0,1194
LOQ	0,3979

- Hasil Pengujian SSA Konsentrasi Logam Fe di Mikroplastik

Logam Fe			
HASIL UJI AAS			
Sample Lable	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.
Sample Blank	0,000	HIGH	-0,0052
Sampel 1	0,553	5,99	0,0208
Sampel 2	1,143	6,66	0,0429
Sampel 3	0,796	5,76	0,0299
Sampel 4	0,586	6,49	0,0221
Sampel 5	0,518	10,94	0,0196
Sampel 6	2,273	3,2	0,0850
Sampel 7	0,861	11,4	0,0323
Sampel 8	1,226	4,06	0,0460
Sampel 9	1,905	1,42	0,0712

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar Sampel Blanko

Logam Fe		
Kurva Kalibrasi Larutan Standar		
Sample Lable	Conc (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0,000	0,0000
Standard 1	0,300	0,0110
Standard 4	1,000	0,0378
Standard 5	2,000	0,074
Standard 6	3,000	0,1147
Standard 7	4,000	0,1471
Standard 8	5,000	0,1872
Standard 7	0,100	0,0040



DATA ANALISIS KURVA KALIBRASI			
Slope	0,03730	**STEYVX**	0,00148
Intercept	0,00016		

LOD dan LOQ Fe pada Sedimen ***Satuan dalam: mg/kg**	
LOD	0,1194
LOQ	0,3979

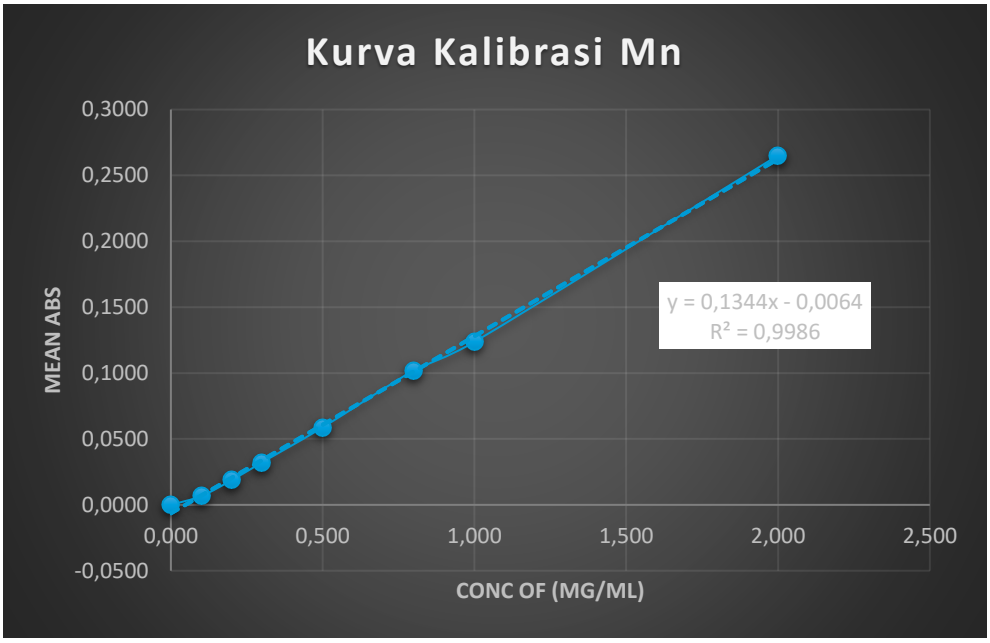
- Hasil Pengujian SSA Konsentrasi Logam Fe di Blanko

Logam Fe			
HASILUJI AAS			
Sample Lable	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.
Sample Blank	0,000	HIGH	-0,0048
Blanko 1	1,449	1,66	0,0543
Blanko 2	1,103	4,75	0,0382

2. Logam Mn

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pengujian Sampel Mikroplastik

Logam Mn		
Kurva Kalibrasi Larutan Standar		
Sample Lable	Conc (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0,000	0,0000
Standard 1	0,100	0,0067
Standard 2	0,200	0,0187
Standard 3	0,300	0,0322
Standard 4	0,500	0,0588
Standard 5	0,800	0,102
Standard 6	1,000	0,1237
Standard 7	2,000	0,2652



DATA ANALISIS KURVA KALIBRASI			
Slope	0,1344	**STEYVX**	0,02685053
Intercept	-0,00643		

LOD dan LOQ Mn pada Sedimen ***Satuan dalam: mg/kg**	
LOD	0,5991
LOQ	1,9971

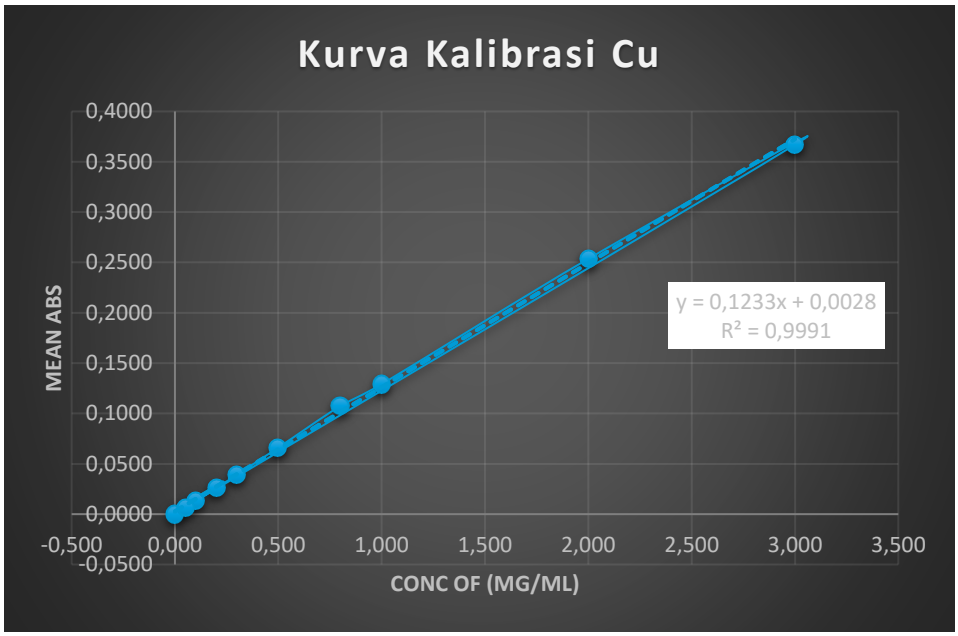
- Hasil Pengujian SSA Konsentrasi Logam Mn di MPs

Logam Mn			
HASILUJI AAS			
Sample Lable	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.
Sample Blank	0,000	HIGH	0,0002
Sampel 1	0,134	6,45	0,0097
Sampel 2	0,167	5,43	0,0141
Sampel 3	0,112	13,82	0,0067
Sampel 4	0,156	2,6	0,0126
Sampel 5	0,102	HIGH	0,0053
Sampel 6	0,113	13,02	0,0068
Sampel 7	0,104	9,29	0,0056
Sampel 8	0,111	7,8	0,0066
Sampel 9	0,126	16,91	0,0085

3. Logam Cu

- Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pengujian Sampel Mikroplastik

Logam Cu		
Kurva Kalibrasi Larutan Standar		
Sample Lable	Conc (µg/ml)	Mean Abs.
Table Blank	0,000	0,0000
Standard 1	0,200	0,0260
Standard 2	0,300	0,0392
Standard 3	0,500	0,0661
Standard 4	0,800	0,1075
Standard 5	1,000	0,1291
Standard 6	2,000	0,2536
Standard 7	3,000	0,367
Standard 8	0,100	0,013
Standard 9	0,050	0,006



DATA ANALISIS KURVA KALIBRASI			
Slope	0,1233	**STEYVX**	0,0316861
Intercept	0,0028		

LOD dan LOQ Cu pada Sedimen ***Satuan dalam: mg/kg**	
LOD	0,771147
LOQ	2,570492

- Hasil Pengujian SSA Konsentrasi Logam Cu di Mikroplastik

Logam Cu			
HASILUJI AAS			
Sample Lable	Conc (µg/ml)	%RSD	Mean Abs
Sample Blank	0,000	HIGH	0,0002
Sampel 1	-0,026	HIGH	0,0001
Sampel 2	-0,047	17,11	-0,0025
Sampel 3	-0,042	HIGH	-0,0019
Sampel 4	-0,046	6,20	-0,0024
Sampel 5	-0,042	6,20	-0,0019
Sampel 6	-0,043	6,20	-0,002
Sampel 7	-0,039	6,20	-0,0014
Sampel 8	-0,021	6,20	0,0008
Sampel 9	-0,041	6,20	-0,0018

Lampiran 9 Data Perhitungan Logam Berat di Sedimen

A. Data Perhitungan Konsentrasi Logam Berat

a. Logam Fe

- **Sampel Sedimen**

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sample Lable	Berat Sampel (g)	Berat Sampel (Kg)	Fp	Conc AAS (µg/ml)	Volume (mL)	Volume (L)	Conc (mg/kg)
Sample Blank	-	-	-	0,000	-	-	-
Sampel 1	3,0011	0,0030011	10	1,915	50	0,05	319,0409487
Sampel 2	3,0025	0,0030025	20	0,926	50	0,05	308,3396127
Sampel 4	3,0066	0,0030066	10	5,196	50	0,05	864,1084112
Sampel 5	3,0013	0,0030013	20	1,406	50	0,05	468,3387495
Sampel 7	3,0023	0,0030023	10	4,531	50	0,05	754,6309183
Sampel 9	3,0045	0,0030045	20	4,502	50	0,05	1498,342393

- **Sampel MPs**

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sample Lable	Berat Sampel (g)	Berat Sampel (Kg)	Fp	Conc (µg/ml)	Volume (mL)	Volume (L)	Conc (mg/kg)
Sample Blank	-	-	-	0,000	50	0,05	-
Sampel 1	0,3034	0,000303	20	0,553	50	0,05	1823,27
Sampel 2	0,3204	0,000320	20	1,146	50	0,05	3575,54
Sampel 3	0,3338	0,000334	20	0,797	50	0,05	2388,01
Sampel 4	0,3173	0,000317	20	0,588	50	0,05	1853,23
Sampel 5	0,2967	0,000297	20	0,521	50	0,05	1756,02

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sampel 6	0,3057	0,000306	20	2,274	50	0,05	7439,17
Sampel 7	0,2766	0,000277	20	0,861	50	0,05	3114,44
Sampel 8	0,284	0,000284	20	1,229	50	0,05	4326,42
Sampel 9	0,2794	0,000279	20	1,904	50	0,05	6815,41

- **Sampel Blanko**

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sample Lable	Berat Sampel (g)	Berat Sampel (Kg)	Fp	Conc (µg/ml)	Volume (mL)	Volume (L)	Conc (mg/kg)
Sample Blank	-	-	-	-	-	-	-
Blanko 1	0,3258	0,000326	10	1,449	50	0,05	2223,76
Blanko 2	0,3214	0,000321	5	1,018	50	0,05	791,85
Rata-rata							1507,8

- Konsentrasi Fe di mikroplastik setelah Blanko

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)		
HASIL UJI AAS		
Sample Lable	Conc awal (mg/kg)	Conc setelah blanko (mg/kg)
Sample Blank	-	-
Sampel 1	1823,27	315,47
Sampel 2	3575,54	2067,74
Sampel 3	2388,01	880,21
Sampel 4	1853,23	345,42

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)		
HASIL UJI AAS		
Sampel 5	1756,02	248,22
Sampel 6	7439,17	5931,37
Sampel 7	3114,44	1606,64
Sampel 8	4326,42	2818,61
Sampel 9	6815,41	5307,61

b. Logam Mn

- **Sampel Sedimen**

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sample Lable	Berat Sampel (g)	Berat Sampel (Kg)	Fp	Conc AAS (µg/ml)	Volume (mL)	Volume (L)	Conc (mg/Kg)
Sample Blank	-	-	-	0,000	50	0,05	-
Sampel 1	3,0011	0,0030011	10	0,287	50	0,05	47,82
Sampel 2	3,0025	0,0030025	20	0,293	50	0,05	97,69
Sampel 4	3,0066	0,0030066	10	0,802	50	0,05	133,30
Sampel 5	3,0013	0,0030013	20	0,320	50	0,05	106,65
Sampel 7	3,0023	0,0030023	10	0,744	50	0,05	123,86
Sampel 9	3,0045	0,0030045	20	0,473	50	0,05	157,34

- **Sampel Mikroplastik**

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sample Lable	Berat Sampel (g)	Berat Sampel (Kg)	Fp	Conc (µg/ml)	Volume (mL)	Volume (L)	Conc (mg/Kg)
Sample Blank	-	-	-	-	50	0,05	-

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sampel 1	0,3034	0,0003034	1	0,120	50	0,05	19,778
Sampel 2	0,3204	0,0003204	1	0,153	50	0,05	23,835
Sampel 3	0,3338	0,0003338	1	0,098	50	0,05	14,634
Sampel 4	0,3173	0,0003173	1	0,142	50	0,05	22,310
Sampel 5	0,2967	0,0002967	1	0,087	50	0,05	14,709
Sampel 6	0,3057	0,0003057	1	0,098	50	0,05	16,101
Sampel 7	0,2766	0,0002766	1	0,090	50	0,05	16,181
Sampel 8	0,284	0,0002840	1	0,097	50	0,05	17,069
Sampel 9	0,2794	0,0002794	1	0,111	50	0,05	19,879

a. Logam Cu

- **Sampel Sedimen**

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sample Lable	Berat Sampel (g)	Berat Sampel (Kg)	Fp	Conc AAS (µg/ml)	Volume (mL)	Volume (L)	Conc (mg/Kg)
Sample Blank	-	-	-	HIGH	50	0,05	-
Sampel 1	3,0011	0,0030011	10	0,387	50	0,05	64,40
Sampel 2	3,0025	0,0030025	10	0,421	50	0,05	70,18
Sampel 4	3,0066	0,0030066	10	1,001	50	0,05	166,41
Sampel 5	3,0013	0,0030013	10	0,622	50	0,05	103,59
Sampel 7	3,0023	0,0030023	10	0,779	50	0,05	129,76
Sampel 9	3,0045	0,0030045	20	0,613	50	0,05	203,99

- **Sampel MPs**

KONSENTRASI LOGAM (MG/KG)							
HASIL UJI AAS							
Sample Lable	Berat Sampel (g)	Berat Sampel (Kg)	Fp	Conc AAS (µg/ml)	Volume (mL)	Volume (L)	Conc (mg/Kg)
Sample Blank	-	-	-	HIGH	50	0,05	-
Sampel 1	0,3034	0,0003034	1	-0,022	50	0,05	-3,54
Sampel 2	0,3204	0,0003204	1	-0,043	50	0,05	-6,65
Sampel 3	0,3338	0,0003338	1	-0,038	50	0,05	-5,65
Sampel 4	0,3173	0,0003173	1	-0,042	50	0,05	-6,59
Sampel 5	0,2967	0,0002967	1	-0,038	50	0,05	-6,36
Sampel 6	0,3057	0,0003057	1	-0,039	50	0,05	-6,30
Sampel 7	0,2766	0,0002766	1	-0,034	50	0,05	-6,09
Sampel 8	0,284	0,0002840	1	-0,016	50	0,05	-2,79
Sampel 9	0,2794	0,0002794	1	-0,037	50	0,05	-6,61

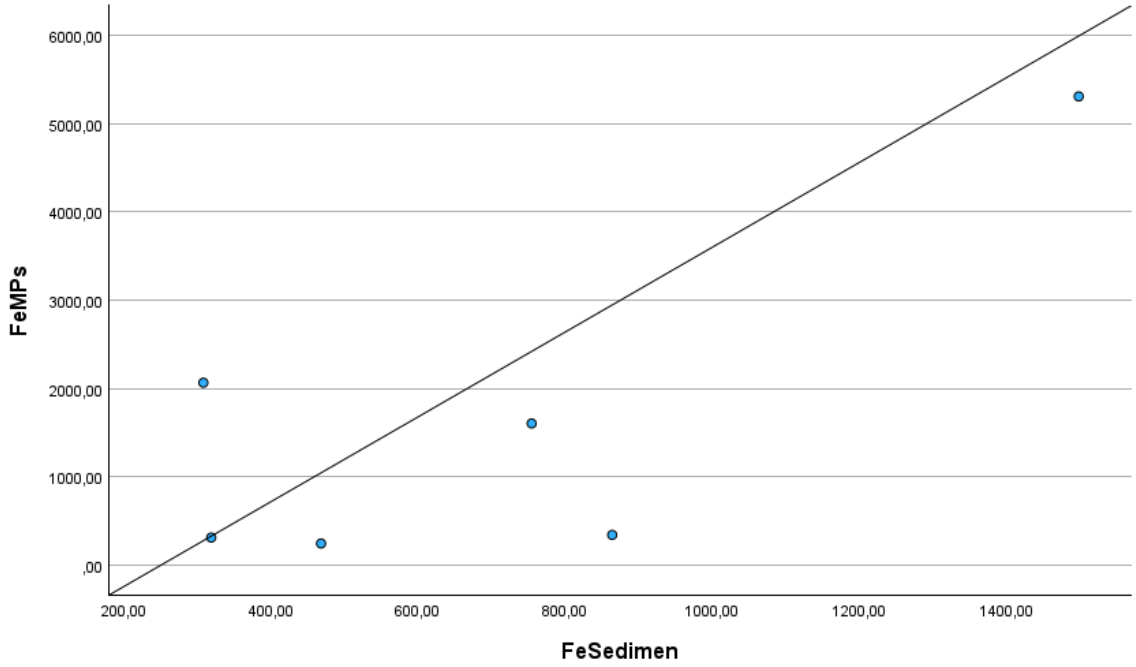
Lampiran 10 Data Pengujian Korelasi Logam Berat SPSS

a. Logam Fe

LOGAM BERAT Fe (Conc (mg/kg)		
Sampel	Sampel Sedimen	Sampel Mps
1	319,04	315,47
2	308,34	2067,74
4	864,11	345,42
5	468,34	248,22
7	754,63	1606,64
9	1498,34	5307,61

Correlations

			FeSedimen	FeMPs
Spearman's rho	FeSedimen	Correlation Coefficient	1,000	,314
		Sig. (2-tailed)	.	,544
		N	6	6
	FeMPs	Correlation Coefficient	,314	1,000
		Sig. (2-tailed)	,544	.
		N	6	6

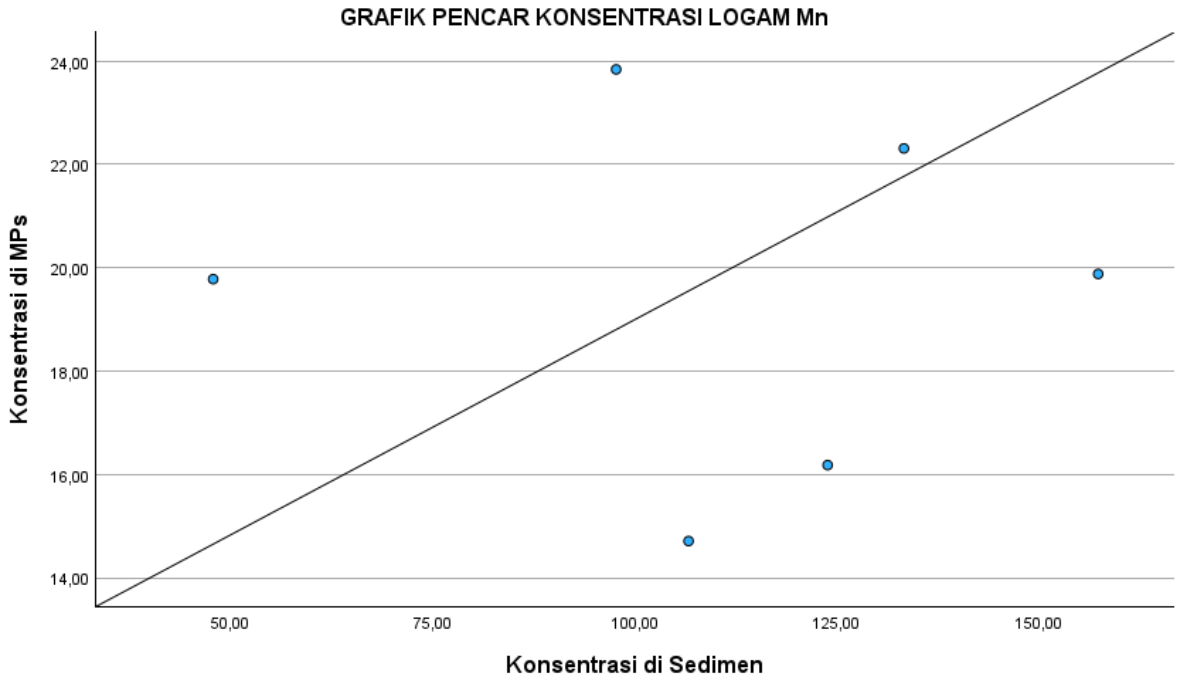


b. Logam Mn

LOGAM BERAT Mn (Conc (mg/kg)		
Sampel	Sampel Sedimen	Sampel Mps
Sampel 1	47,82	19,78
Sampel 2	97,69	23,84
Sampel 4	133,30	22,31
Sampel 5	106,65	14,71
Sampel 7	123,86	16,18
Sampel 9	157,34	19,88

Correlations

			MnSedimen	MnMPs
Spearman's rho	MnSedimen	Correlation Coefficient	1,000	,086
		Sig. (2-tailed)	.	,872
		N	6	6
	MnMPs	Correlation Coefficient	,086	1,000
		Sig. (2-tailed)	,872	.
		N	6	6



c. Logam Cu

LOGAM BERAT Cu (Conc (mg/kg)		
Sampel	Sampel Sedimen	Sampel Mps
Sampel 1	64,40	-3,54
Sampel 2	70,18	-6,65
Sampel 4	166,41	-6,59
Sampel 5	103,59	-6,36
Sampel 7	129,76	-6,09
Sampel 9	203,99	-6,61

Correlations				
			MnSedimen	MnMPs
Spearman's rho	MnSedimen	Correlation Coefficient	1,000	-,371
		Sig. (2-tailed)	.	,468
		N	6	6
	MnMPs	Correlation Coefficient	-,371	1,000
		Sig. (2-tailed)	,468	.
		N	6	6

