TA/TL/2024/1835

TUGAS AKHIR

Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Cuprum (Cu) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta

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

Muhammad Rafli Firdaus
20513232

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2024

TUGAS AKHIR

Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Cuprum (Cu) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta

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

Muhammad Rafli Firdaus
20513232

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIK. 155130112
Tanggal: 22 · 08 · 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res. Eng.), Ph.D.
NIK. 045130401
Tanggal : 22 . 08 . 2024

HALAMAN PENGESAHAN

Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Cuprum (Cu) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Kamis
Tanggal: 22. 8 . 2024

Disusun Oleh:

Muhammad Rafli Firdaus
20513232

Tim Penguji :

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIK. 155130112 ( ) 22/8 '24

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.,
NIK. 155131313 ( ) 22/8 '24

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.
NIK. 155130507 ( ) 22/8 '24

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 Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program software komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. (apabila menggunakan software khusus)
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sangsi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Mei 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rafli Firdaus

20513232

PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirrabbil 'alamin segala puji bagi Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir berjudul "Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Cuprum (Cu) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta". Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dan menyelesaikan studi di Universitas Islam Indonesia.

Selama proses pengerjaan laporan ini, penulis menghadapi berbagai tantangan dan hambatan, namun berkat bimbingan, dukungan, semangat, dan dorongan dari banyak pihak, penulis akhirnya dapat menyelesaikannya. Oleh karena itu, dengan tulus penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada Allah SWT yang selalu memberikan rahmat, kesehatan, dan kelancaran, sehingga penulis dapat mengerjakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kepada kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa tanpa henti.
3. Kepada dosen pembimbing Tugas Akhir Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D., serta dosen penguji Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T., dan Bapak Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D., atas segala waktu, kesempatan, saran, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis.
4. Kepada seluruh dosen, staf, dan Keluarga Besar Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, UII yang telah memberikan bantuan, pengajaran, dan berbagi pengalaman dengan penulis.
5. Kepada seluruh staf Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan yang selalu memberikan bantuan, arahan, dan bimbingan selama penulis melakukan penelitian di laboratorium.
6. Kepada teman-teman angkatan 2020 Program Studi Teknik Lingkungan.

7. Kepada teman pengerjaan Tugas Akhir, Esty dan Almira.
8. Kepada pihak TPA Piyungan yang telah memberikan izin dan bantuan selama proses pengambilan sampel.
9. Kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan namun tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Demikian kata pengantar yang dapat penulis sampaikan. Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, yang disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kesalahan dari penulis. Oleh karena itu, penulis sangat membutuhkan kritik dan saran yang membangun untuk melengkapi dan memperbaiki laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, Mei 2024

Penulis,

Muhammad Rafli Firdaus

ABSTRAK

MUHAMMAD RAFLI FIRDAUS. Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Cuprum (Cu) pada Mikroplastik di Air Lindi TPA Piyungan, Yogyakarta. Dibimbing oleh Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Air lindi pada TPA berbahaya bagi lingkungan apabila pengolahannya tidak dilakukan dengan baik dan benar. Di dalam air lindi terdapat banyak kandungan yang bersifat toksik bagi lingkungan seperti: mikroplastik, logam berat, kandungan organik, dan lain-lain. Pada air lindi, partikel mikroplastik dapat mengikat logam berat sehingga dapat berkali-kali lipat berbahaya bagi makhluk hidup maupun lingkungan. Oleh karena itu, pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan mikroplastik dan kandungan logam berat (Cu dan Cd) di dalam mikroplastik pada air lindi TPA Piyungan, Yogyakarta. Titik sampel yang diidentifikasi meliputi: inlet IPL 1, outlet IPL1, inlet IPL 2, dan outlet IPL 2 pada TPA Piyungan, Yogyakarta. Analisis mikroplastik dilakukan berdasarkan metode NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dengan beberapa modifikasi di dalamnya. Mikroplastik diidentifikasi berdasarkan kelimpahan, jenis, dan warna. Jenis yang diidentifikasi meliputi: fiber, pellet, film, fragment, dan foam. Sedangkan warna mikroplastik yang ditemukan meliputi: hitam, abu-abu, transparant, biru, merah, oren, dan coklat. Dari keempat titik sampel, mikroplastik paling banyak ditemukan pada sampel titik outlet IPL 2 sebanyak 3430 partikel/liter. Polimer yang ditemukan berdasarkan analisis menggunakan FT-IR antara lain yaitu: *Polystyrene* (PS), Poly (methyl methacrylate) (PMMA), *Polypropylene* (PP), *Polyvinyl chloride* (PVC), dan *Nylon* (*all polyamides*). Sedangkan kandungan logam berat Cu tertinggi di dalam mikroplastik terdapat pada titik otlet 2 sebesar 0,0117 mg/g, begitu pula dengan kandungan logam berat Cd tertinggi di dalam mikroplastik paling banyak ditemukan di dalam mikroplastik terdapat pada titik outlet 2 sebesar 0,0092 mg/g.

Kata Kunci: Air lindi, Logam Berat, Mikroplastik

ABSTRACT

MUHAMMAD RAFLI FIRDAUS. *Analysis of the Heavy Metal Content Cadmium (Cd) and Cuprum (Cu) in Microplastics in Piyungan Landfill Leachate, Yogyakarta. Supervised by* Puji Lestari, S.Sc., M.Sc., Ph.D.

Leachate in landfills is dangerous for the environment if its processing is not carried out properly and correctly. In leachate there are many contents that are toxic to the environment, such as: microplastics, heavy metals, organic contents, and others. In leachate, microplastics can bind heavy metals which can be many times dangerous for living things and the environment. Therefore, this research aims to identify the presence of microplastics and the content of heavy metals (Cu and Cd) in microplastics in the leachate of Piyungan landfill, Yogyakarta. The sample points identified include: IPL 1 inlet, IPL1 outlet, IPL 2 inlet, and IPL 2 outlet at Piyungan TPA, Yogyakarta. Microplastic analysis was carried out based on the NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) method with several modifications. Microplastics are identified based on abundance, type and color. Types identified include: fiber, pellet, film, fragment, and foam. Meanwhile, the colors of microplastics found included: black, grey, transparent, blue, red, orange and brown. Of the four sample points, the most microplastics were found in the IPL 2 outlet sample at 3430 particles/liter. Polymers found based on analysis using FT-IR include: Polystyrene (PS), Poly (methyl methacrylate) (PMMA), Polypropylene (PP), Polyvinyl chloride (PVC), and Nylon (all polyamides). Meanwhile, the highest content of heavy metal Cu in microplastics is found at outlet point 2 at 0.0117 mg/g, likewise the highest content of heavy metal Cd in microplastics is found at outlet point 2 at 0.0092 mg/g. g.

Keywords: Leachate, Microplastics, Heavy metals

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
HALAMAN PENGESAHAN i
LEMBAR PERNYATAAN iii
PENGANTAR iv
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
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 Air Lindi (Leachate) pada TPA 5
2.2 Mikroplastik pada Air Lindi 6
2.3 Logam Berat pada Air Lindi 10
2.4 Interaksi Mikroplastik dan Logam Berat 12
2.5 Dampak Mikroplastik dan Logam Berat 12
2.6 Penelitian Terdahulu 14

BAB III METODE PENELITIAN 16
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian 16
3.2 Alur Penelitian 19
3.3 Pengumpulan Data 20
3.4 Analisis Sampel 20
3.4.1 Pengambilan Sampel Air Lindi TPA Piyungan 20
3.4.2 Pengujian Sampel 21
3.5 Analisis Data 26
3.5.1 Analisis Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan 26
3.5.2 Analisis Kandungan Logam Berat (Cu dan Cd) pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan 29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 30
4.1 Karakteristik Air Lindi 30
4.2 Identifikasi Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan berdasarkan Jumlah, Jenis, dan Warna 35
4.2.1 Identifikasi Kelimpahan Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan 36
4.2.2 Identifikasi Jenis Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan 38
4.2.3 Identifikasi Warna Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan 42
4.2.4 Identifikasi Polimer Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan 48
4.3 Identifikasi Logam Berat pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan 49
4.3.1 Konsentrasi Logam Berat pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan 50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 52
5.1 Kesimpulan 52
5.2 Saran 52
DAFTAR PUSTAKA 53

LAMPIRAN 59

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis polimer berdasarkan spesifik gravitasi dan penggunaannya 6
Tabel 2. 2 Jenis-jenis Mikroplastik 7
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu 14
Tabel 3. 1 Refrensi serapan panjang gelombang tiap jenis polimer..... 28
Tabel 4. 1 Penjelasan Sampel.....31
Tabel 4. 2 Kondisi sampel..... 33
Tabel 4. 3 Hasil identifikasi logam berat (Cu dan Cd)..... 34
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan kelimpahan mikroplastik tiap titik sampel..... 36
Tabel 4. 5 Hasil identifikasi jenis mikroplastik..... 39
Tabel 4. 6 Hasil identifikasi warna mikroplastik 43
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan kandungan logam berat pada mikroplastik..... 50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Peta lokasi pengambilan sampel 17
Gambar 3. 2 Kondisi eksisting titik pengambilan sampel 18
Gambar 3. 3 Tahap Alur Penelitian 19
Gambar 3. 4 Alur pengujian Cu dan Cd pada air lindi 22
Gambar 3. 5 Alur pengujian mikroplastik pada air lindi 24
Gambar 3. 6 Alur pengujian Cu dan Cd pada mikroplastik air lindi 26
Gambar 4. 1 Denah IPL TPA Piyungan 30
Gambar 4. 2 Diagram alir proses pengolahan IPL TPA Piyungan 31
Gambar 4. 3 Peta lokasi IPL dan sumber air lindi 32
Gambar 4. 4 Hasil perhitungan kelimpahan mikroplastik tiap titik sampel 36
Gambar 4. 5 Hasil identifikasi jenis mikroplastik 39
Gambar 4. 6 Contoh masing-masing jenis mikroplastik 40
Gambar 4. 7 Hasil identifikasi warna mikroplastik 43
Gambar 4. 8 Contoh masing-masing warna mikroplastik 45
Gambar 4. 9 Kombinasi warna tiap jenis mikroplastik 47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh perhitungan kelimpahan mikroplastik 59
Lampiran 2 Contoh perhitungan persentase warna dan jenis mikroplastik 59
Lampiran 3 Contoh perhitungan kandungan logam berat Cu dan Cd pada mikroplastik 59
Lampiran 4 Contoh pengukuran mikroplastik dengan software imageraster 60
Lampiran 5 Pengukuran logam berat Cd pada air lindi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) 61
Lampiran 6 Pengukuran logam berat Cu pada air lindi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) 62
Lampiran 7 Pengukuran logam berat Cd pada mikroplastik di air lindi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) 63
Lampiran 8 Pengukuran logam berat Cu pada mikroplastik di air lindi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) 64
Lampiran 9 Hasil pembacaan polimer mikroplastik sampel inlet 1 dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FT-IR)..... 65
Lampiran 10 Hasil pembacaan polimer mikroplastik sampel outlet 1 dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FT-IR)..... 66
Lampiran 11 Hasil pembacaan polimer mikroplastik sampel inlet 2 dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FT-IR)..... 67
Lampiran 12 Hasil pembacaan polimer mikroplastik sampel outlet 2 dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FT-IR)..... 68

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah lingkungan menjadi perhatian utama di era modern ini, terutama masalah sampah plastik. Menurut data dari Kementerian Perindustrian (2013), sekitar 1,9 juta ton plastik diproduksi di Indonesia pada tahun 2013, dengan rata-rata produksi tahunan sebesar 1,65 juta ton. Peningkatan ini disebabkan oleh persepsi masyarakat bahwa penggunaan plastik lebih efektif dan efisien karena sifatnya yang tahan korosi, kuat, awet, dan praktis. Saat ini, plastik mendominasi sampah di lautan dunia, dengan diperkirakan sekitar 80 hingga 95% sampah di laut adalah plastik. Konsumsi plastik yang tinggi berdampak signifikan terhadap jumlah sampah plastik yang dihasilkan. Sebagai contoh, pada tahun 2011, Kota Jakarta dengan populasi 9 juta jiwa menghasilkan 5000 ton sampah per hari, dimana 400 ton di antaranya adalah sampah plastik (Sahwan et al., 2011). Banyaknya sampah plastik ini dapat membahayakan lingkungan, terutama bagi makhluk hidup, dengan potensi timbulnya penyakit kronis akibat mikroplastik.

Menurut Lusher & Peter (2017), mikroplastik didefinisikan sebagai partikel plastik berukuran 5 mm atau lebih kecil. Mikroplastik dapat ditemukan di berbagai lingkungan, termasuk udara, tanah, air tawar, dan laut. Sumber mikroplastik berasal dari sampah plastik domestik, industri, perdagangan, dan sampah pada tempat pembuangan akhir (TPA) yang terdegradasi di alam. Di TPA, mikroplastik sering ditemukan terutama pada air lindi. Air lindi adalah air limbah yang terbentuk dari air eksternal, seperti air hujan, yang masuk ke dalam timbunan sampah dan melarutkan berbagai macam kontaminan seperti kandungan organik, mikroplastik, logam berat dari hasil dekomposisi sampah. Proses degradasi plastik menjadi mikroplastik di air lindi TPA berlangsung selama sekitar 20 tahun, dipengaruhi oleh suhu tinggi, radiasi sinar UV, dan oksigen di landfill TPA (Kilponen, 2016).

Salah satu tempat pembuangan akhir (TPA) terbesar di Indonesia yang masih menghadapi masalah pengolahan sampah adalah TPA Piyungan di Yogyakarta, yang juga menjadi lokasi penelitian ini. TPA Piyungan dibangun pada tahun 1995

dan mulai beroperasi pada tahun 1996. Menurut Dewi, MA (2015), keberadaan TPA Piyungan menyebabkan penurunan kualitas air tanah dan air permukaan. Berdasarkan penelitian Kasam (2011), penurunan kualitas air permukaan di sekitar TPA Piyungan disebabkan oleh pembuangan limbah cair ke sungai, sedangkan penurunan kualitas air tanah disebabkan oleh pengolahan air lindi yang kurang efektif, sehingga rembesan air lindi dapat masuk ke lapisan dasar TPA. Hal ini berdampak pada flora, fauna, dan manusia yang menggunakan air tersebut untuk kebutuhan sehari-hari. Air yang tercemar oleh lindi di sekitar TPA mengandung mikroplastik. Penelitian oleh Utami & Agustina (2022) menunjukkan bahwa beberapa titik air sumur yang berjarak 1-3 km dari TPA Piyungan telah tercemar mikroplastik dengan kelimpahan tertinggi mencapai 146 ± 109 partikel/L. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin dekat jarak titik sumur dengan TPA, semakin tinggi kelimpahan mikroplastik. Hal ini menegaskan bahwa air lindi memiliki pengaruh besar dalam pencemaran air tanah, khususnya air sumur di sekitar TPA.

Mikroplastik dapat menimbulkan masalah besar bagi lingkungan dengan menyebabkan toksisitas, baik akut maupun kronis, terutama jika terpapar secara rutin dan dalam jumlah besar. Mikroplastik berisiko menimbulkan toksisitas kronis, seperti gangguan kardiovaskular, hepatotoksisitas, dan neurotoksisitas. Masalah lain yang ditimbulkan oleh mikroplastik adalah kemampuannya membawa logam berat dengan menempel pada permukaannya. Menurut Qian Liu (2022), mikroplastik dapat membawa logam berat dan meningkatkan pengangkutan kontaminan dalam air tawar. Contoh logam berat yang dapat menempel pada mikroplastik adalah cuprum (Cu) dan cadmium (Cd). Keberadaan logam berat pada mikroplastik menimbulkan masalah yang semakin besar bagi makhluk hidup. Khususnya di TPA Piyungan, pengolahan air lindi masih terbatas dan belum dirancang secara khusus untuk menghilangkan kandungan mikroplastik maupun logam berat di dalamnya. Penelitian mengenai keberadaan mikroplastik dan koeksistensinya dengan logam berat dalam air lindi di TPA masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis

kelimpahan mikroplastik dalam air lindi TPA Piyungan dan menyelidiki keberadaan logam berat pada partikel mikroplastik tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kelimpahan (warna, jenis, polimer) mikroplastik yang terdapat pada air lindi TPA Piyungan?
2. Berapa konsentrasi logam berat (Cu dan Cd) pada mikroplastik di air lindi TPA Piyungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian kali ini, yaitu :

1. Untuk mengidentifikasi dan mengetahui kelimpahan (warna, jenis, ukuran) mikroplastik yang terdapat pada air lindi TPA Piyungan,
2. Untuk mengidentifikasi dan mengetahui konsentrasi logam berat (Cu dan Cd) yang terdapat pada mikroplastik di air lindi TPA Piyungan,

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan masyarakat. Berikut merupakan manfaat dari penelitian ini, yaitu :

1. Dapat memberikan pengalaman dan ilmu pengetahuan baru bagi peneliti,
2. Dapat mengetahui dan memberikan informasi terkait keberadaan, persebaran, jenis mikroplastik dan konsentrasi logam berat pada mikroplastik dan pada air lindi TPA Piyungan,
3. Dapat digunakan sebagai acuan dan referensi sebagai pembelajaran bahkan penelitian selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup

Berikut merupakan ruang lingkup dari penelitian ini, yaitu :

1. Ruang Lingkup Materi

Penelitian ini membahas mengenai jumlah, jenis, dan warna mikroplastik pada air lindi dengan metode Wet Peroxida Oxidation (WPO). Jenis mikroplastik yang diidentifikasi berupa fiber, foam, film, fragmen, dan pelet. Warna mikroplastik yang diamati adalah hitam, biru, abu-abu, merah, oren , transparan, coklat, dan lainnya.

2. Ruang Lingkup Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan Yogyakarta yang beralamat di Kampung Bendo, RT:04/RW:44, Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul dan tahap analisis sampel uji dilakukan pada laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia.

3. Ruang Lingkup Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada kurun waktu selama 5 bulan terhitung dari bulan Maret-Agustus 2024.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Lindi (Leachate) pada TPA

Air lindi adalah cairan limbah yang terbentuk ketika air eksternal, seperti air hujan, meresap ke dalam tumpukan sampah. Contohnya, air hujan dapat melarutkan dan membilas materi organik yang terdekomposisi (Rowe dan Booker, 1997). Menurut Tchobanoglous (1993), air lindi adalah cairan yang meresap melalui timbunan sampah, membawa serta material terlarut maupun tersuspensi. Di banyak tempat pembuangan akhir (TPA), air lindi terbentuk dari cairan yang masuk ke area landfill dari sumber eksternal seperti aliran permukaan, hujan, air tanah, serta cairan yang dihasilkan dari dekomposisi sampah. Dalam kondisi normal, air lindi ditemukan di dasar landfill dan bergerak melalui dasar landfill menuju ke instalasi pengolahan lindi. Pada IPL air lindi akan dilakukan suatu proses pengolahan agar kontaminan-kontaminan dalam air lindi berkurang, sebelum air lindi dibuang ke lingkungan.

Air lindi mengandung polutan padat yang tersuspensi maupun terlarut, serta berbagai zat kimia organik dan anorganik dengan konsentrasi tinggi seperti amonia, nitrit, nitrat, sulfida, nitrogen, logam berat, dan lainnya. Karena tingginya konsentrasi zat-zat tersebut, air lindi memiliki potensi besar untuk mencemari lingkungan.Kualitas air lindi dipengaruhi oleh komposisi sampah, usia sampah, kondisi hidrogeologi, dan iklim, yang menyebabkan variasi dalam kualitas air tersebut (Said dan Hartaja, 2015). Air lindi memiliki karakteristik khusus, yaitu tingginya kandungan bahan organik, logam, asam, garam terlarut, dan mikroorganisme. Karakteristik ini menjadikan air lindi sangat berbahaya bagi lingkungan karena potensi kontaminasinya yang lebih tinggi dibandingkan beberapa jenis limbah industri.

2.2 Mikroplastik pada Air Lindi

Plastik adalah bahan yang di dalamnya terkandung polimer tinggi seperti *polistirin* (PS), *polipropilen* (PP), *polietilen* (PE), *polivinil klorida* (PVC) yang disertasi bahan tambahan (aditif) seperti pigmen dan penstabil guna meningkatkan kualitas plastik tersebut (Andrady dan Neal, 2009). Plastik dapat diartikan sebagai polimer sintesis yang sangat sulit terurai dalam lingkungan sehingga butuh ratusan tahun untuk dalam penguraiannya (Guo et al., 2020). Berikut pada **Tabel 2.1** merupakan jenis polimer berdasarkan spesifik gravitasi dan penggunaannya

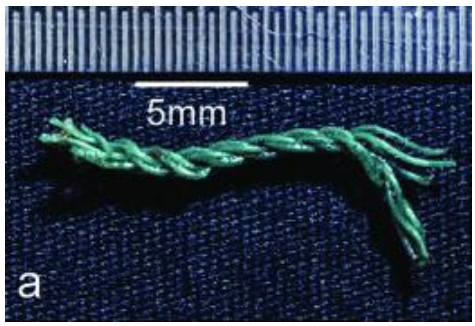
Tabel 2. 1 Jenis polimer berdasarkan spesifik gravitasi dan penggunaannya

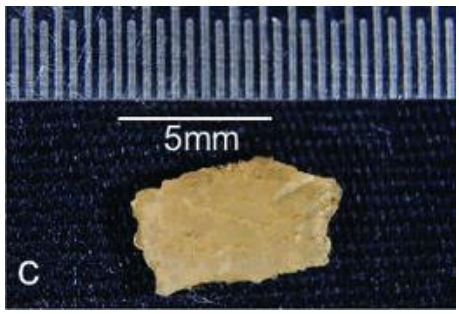
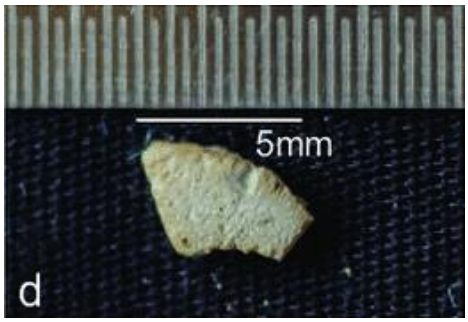
Jenis Plastik	Penggunaan	Spesifik Gravitasi
Polyethylene (PE)	Wadah penyimpanan, kantong plastik	0,91 – 0,95
Polypropylene (PP)	Tutup botol, kantong plastik, alat pancing, kemasan, pengikat	0,90 – 0,92
Polystyrene (Luas)	Pelampung, kotak pendingin, gelas	1,01 – 1,05
Polystyrene	Peralatan, kotak pendingin	1,04 – 1,09
Polyvinyl Chloride (PVC)	Kontainer, pipa, Tirai toilet	1,16 – 1,30
Polyamide (Nilon)	Jala ikan, tali	1,13 – 1,15
Polyethylene Terephthalate	Pengikat, botol, tekstil	1,34 – 1,39
Asetat Selulosa	Filter rokok	1,22 – 1,24
Resin Poliester + serat kaca	Pelampung, tekstil	> 1,35
Air Jernih		1
Air Laut		1,027

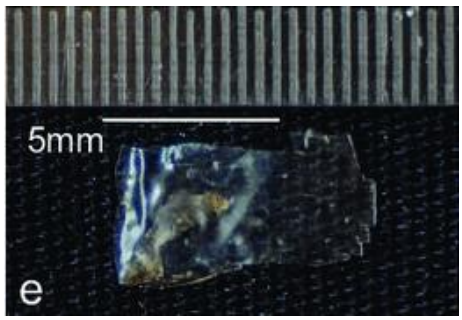
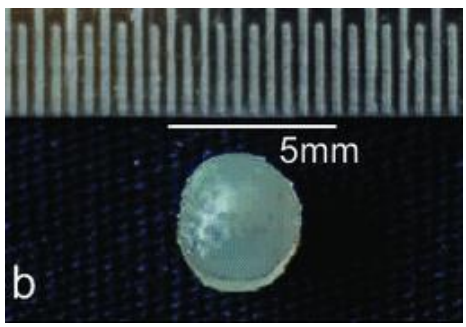
Sumber: Widianarko & Hantoro, 2018

Menurut Ismi et al. (2019), plastik dapat terdegradasi melalui proses fisik, kimiawi, atau biologis hingga menjadi mikroplastik. Lusher & Peter (2017) mendefinisikan mikroplastik sebagai partikel plastik kecil berukuran 5 mm atau lebih kecil. Berdasarkan sumbernya, mikroplastik dibagi menjadi dua jenis, yaitu mikroplastik primer dan sekunder. Mikroplastik primer adalah produk yang sengaja dibuat dengan ukuran mikro, seperti microbeads dalam produk perawatan kulit berbentuk scrub. Sementara itu, mikroplastik sekunder adalah hasil dari fragmentasi plastik yang lebih besar, dan berbentuk serat, fragmen, granula, atau film. Mikroplastik telah banyak ditemukan di berbagai lingkungan, termasuk udara, tanah, air laut, dan air tawar (Lusher et al., 2017). Berikut pada **Tabel 2.2** merupakan tabel jenis-jenis mikroplastik, yaitu :

Tabel 2. 2 Jenis-jenis Mikroplastik

No	Jenis	Karakteristik	Gambar
1	Fiber	- Bentuk: Panjang, tipis, dan sering kali berbentuk serat. - Ukuran: Diameter sangat kecil, biasanya beberapa mikrometer hingga beberapa milimeter. - Sifat: Fleksibel dan lentur. - Sumber: Biasanya berasal dari serat tekstil sintetis seperti polyester atau nylon. - Tersebar: Dapat ditemukan di air, tanah, dan udara. - Dampak: Bisa menempel pada organisme dan masuk ke dalam rantai makanan.	

2	Fragmen	- Bentuk: Beragam, bisa berbentuk tidak teratur. - Ukuran: Bervariasi, namun umumnya kecil hingga menengah. - Sifat: Kekuatan dan struktur bervariasi tergantung pada plastik asalnya. - Sumber: Berasal dari fragmentasi plastik besar. - Tersebar: Dapat tersebar di berbagai lingkungan, termasuk air, tanah, dan udara. - Dampak: Dapat memperburuk pencemaran lingkungan dan membahayakan organisme hidup.	
3	Foam	- Bentuk: Berpori dengan tekstur yang ringan. - Ukuran: Bervariasi, namun cenderung kecil hingga menengah. - Sifat: Mudah terapung di permukaan air. - Sumber: Bahan berbusa seperti styrofoam. - Tersebar: Rentan tersebar pada ekosistem air seperti	

		danau, sungai, dan laut. - Dampak: Dapat menyerap zat berbahaya dan menjadi sumber pencemaran.	
4	Film	- Bentuk: Tipis, datar, dan transparan. - Ukuran: Bervariasi, namun umumnya sangat tipis. - Sifat: Fleksibel dan lentur. - Sumber: Dapat berasal dari bungkus plastik atau produk plastik lainnya. - Tersebar: Dapat terurai dan tersebar di lingkungan, termasuk air dan tanah. - Dampak: Dapat merusak ekosistem dan menjadi ancaman bagi kehidupan laut.	
5	Pelet	- Bentuk: Berbentuk bulat atau silinder, awalnya dalam bentuk granul atau pelet. - Ukuran: Bervariasi, namun biasanya sangat kecil hingga ke mikroskopis. - Sifat: Rentan terapung di air. - Sumber: Biasanya berasal dari industri plastik sebagai bahan baku. - Tersebar: Rentan tersebar di lingkungan perairan dan	

		darat. - Dampak: Dapat mengkontaminasi lingkungan, terutama di wilayah pesisir.	

Sumber : Alvarez, Juan et al., 2020

Menurut World Health Organization (WHO) (2019), mikroplastik dapat bergabung ke lingkungan air tawar melalui berbagai cara, salah satunya adalah melalui air lindi. Air lindi yang mengandung mikroplastik dapat meresap ke dalam tanah dan mencemari air tanah, sehingga berpotensi memasuki rantai makanan makhluk hidup (Sari dan Afdal, 2017).Mikroplastik sangat berpotensi mencemari air tawar khususnya air tanah pada sekitaran wilayah TPA. Sumber mikroplastik pada air lindi dapat melalui berbagai mekanisme seperti dari limbah rumah tangga, industri, dan sistem pengolahan limbah yang tidak efektif. Proses masuknya mikroplastik ke dalam air lindi yaitu diawali dengan penggunaan produk plastik seperti botol air, kemasan makanan, kantong plastik, dan barang barang plastik lainnya yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Mikroplastik dapat terbentuk ketika plastik pada lingkungan/landfill pada ruang terbuka terurai karena paparan radiasi sinar ultraviolet (UV) dan proses degradasi mekanik. Radiasi UV akibat paparan sinar matahari dapat mengakibatkan pemutusan ikatan polimer dan juga oksidasi pada struktur polimer. Sebagai contoh, polipropilena (PP) yang terpapar sinar UV selama tiga bulan mengalami keretakan dan muncul serpihan di permukaannya (Susanto dan Trihadiningrum, 2020). Beberapa mikroorganisme juga dapat menyebabkan degradasi plastik seperti bakteri dan jamur yang dapat mengeluarkan enzim atau senyawa kimia lain yang dapat merombak struktur plastik. Suhu dan cuaca ekstrim juga dapat berpengaruh dalam laju degradasi plastik pada air lindi.

2.3 Logam Berat pada Air Lindi

Logam adalah unsur kimia yang memiliki sifat kekuatan, kekerasan, dan kemampuan menghantarkan listrik atau panas. Logam dapat dibagi menjadi dua

kategori, yaitu logam berat dan logam ringan. Logam berat adalah logam dengan densitas 5 g/cm³ atau lebih, sementara logam ringan adalah logam dengan densitas kurang dari 5 g/cm³ (Darmono, 1995). Meskipun logam berat merupakan unsur yang penting untuk mendukung metabolisme tubuh manusia, penggunaannya harus dalam jumlah yang tepat agar tidak berlebihan, jika kadar melebihi batas dapat menimbulkan efek toksik bagi tubuh manusia. Logam berat tidak dapat didegradasi karena merupakan komponen alami yang terdapat dalam lingkungan. Logam berat dapat masuk ke dalam air lindi melalui berbagai mekanisme, seperti: melalui limbah industri, limbah rumah tangga, pembakaran sampah, sumber alam, aktivitas pertanian, dan sumber lainnya.

Logam berat pada air lindi dapat dihasilkan dari limbah industri berbahan dasar logam berat atau logam berat tersebut bagian dari proses produksi. Selain itu, limbah domestik juga dapat mengandung logam berat dari penggunaan produk-produk seperti baterai, cat, atau produk pembersih rumah yang mengandung logam berat. Pembakaran sampah juga dapat menghasilkan logam berat ke dalam udara dan endapan limbah, yang kemudian dapat masuk ke air lindi melalui hujan atau proses air limpasan. Logam betrat juga dapat dihasilkan dari sumber alam seperti batuan dan alami dari dalam tanah, dengan aktivitas pertambangan dan penggalian dapat meningkatkan konsentrasi logam berat dalam air lindi melalui aliran air. Limbah dari aktivitas pertanian seperti pupuk dan pestisida juga dapat menghasilkan logam berat.

Beberapa contoh logam berat yang terdapat di air lindi yaitu kadmium (Cd) dan tembaga/cuprum (Cu). Tembaga atau *copper* merupakan salah satu unsur logam yang memiliki bentuk kristal berwarna kemerahan serta memiliki nama kimia cupprum dengan simbol kimia Cu. Logam ini dapat menghantarkan listrik dan energi panas dengan baik. Senyawa tembaga banyak digunakan pada peralatan rumah tangga. Senyawa tembaga juga banyak digunakan dalam industri cat sebagai antifoling, industri instektisida dan fungisida, sebagai katalis, elektroda, baterai, penarik sulfur, dan sebagai pigmen serta pencegah pertumbuhan lumpur (Apriliani, 2010). Tembaga dapat masuk ke dalam air lindi

melalui limbah industri, limbah elektronik, limbah rumah tangga, pertambangan, dan penggunaan pestisida.

Kadmium (Cd) adalah logam berat dengan nomor atom 48 dan memiliki simbol kimia Cd. Logam kadmium berwarna putih kebiruan dan lunak, bersifat tidak mudah korosi sehingga banyak digunakan sebagai lapisan pelindung. Dalam bentuk curah kadmium bersifat tidak larut dalam air, namun dalam bentuk serbuknya dapat mudah terbakar dan melepaskan asap beracun. Kadmium biasanya memiliki kegunaan menjadi bahan baku macam-macam industri, seperti: baterai, pengolahan logam, cat, dan berbagai industri lainnya. Kadmium dalam air lindi dapat masuk dalam beberapa sumber, antara lain: industri, limbah elektronik, pertambangan, pembakaran sampah, penggunaan pupuk fosfat, dan limbah rumah tangga.

2.4 Interaksi Mikroplastik dan Logam Berat

Interaksi antara mikroplastik dan logam berat melibatkan kemampuan mikroplastik untuk mengadsorpsi unsur logam berat di sekitarnya. Giyatmi (2008) menjelaskan bahwa adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap, yang menyebabkan substansi tersebut masuk dan terkumpul dalam zat penyerap. Mikroplastik dapat menyerap logam berat seperti Hg, Pb, Cr, Cu, Cd, dan Zn dari lingkungan sekitarnya. Kemampuan mikroplastik untuk mengadsorpsi logam berat ini tergantung pada sifat-sifat mikroplastik seperti ukuran pori, luas permukaan, dan jenis mikroplastik (Sugandi et al., 2021). Di perairan, mikroplastik dapat mengadsorpsi logam berat dalam air, yang kemudian dapat masuk ke dalam berbagai organisme perairan. Penelitian oleh Oz et al. (2019) menunjukkan bahwa logam berat Timbal (Pb) II dan Aluminium (Al) III dapat teradsorpsi oleh tiga jenis mikroplastik, yaitu PA (Polyamide), PET (Polyethylene terephthalate), dan EVA (Etilen vinil asetat).

2.5 Dampak Mikroplastik dan Logam Berat

Logam berat yang teradsorpsi oleh mikroplastik dapat dengan mudah berpindah dari lingkungan ke tubuh makhluk hidup, termasuk manusia. Proses

transfer ini dapat terjadi baik secara primer maupun sekunder. Transfer primer berarti logam berat masuk langsung dari lingkungan ke dalam tubuh manusia dalam bentuk inorganik, sementara transfer sekunder terjadi melalui rantai makanan, di mana organisme yang terkontaminasi mikroplastik dan logam berat dikonsumsi oleh manusia. Transfer primer biasanya terjadi melalui sistem pencernaan (digestif) atau pernapasan (inhalasi), sedangkan transfer sekunder umumnya hanya melalui sistem pencernaan. Transfer primer sering terjadi ketika manusia mengonsumsi air minum atau makanan yang tercemar mikroplastik (Supit et al., 2022). Penelitian Mintenig et al. (2018) menemukan kontaminasi mikroplastik berukuran 1-10 μm di pabrik air minum, baik sebelum maupun setelah proses pemurnian. Mikroplastik juga banyak ditemukan dalam kemasan minuman komersial, baik yang berbahan plastik, karton, maupun gelas. Air dalam kemasan botol plastik memiliki kadar kontaminasi mikroplastik tertinggi, diikuti oleh air minum dalam kemasan kaca dan karton. Hal ini menunjukkan bahwa air dapat langsung mentransmisikan partikel mikroplastik ke dalam tubuh manusia (Schymanski et al., 2018). Penelitian Liebmann et al. (2018) juga menunjukkan adanya mikroplastik dalam feses manusia di 8 negara, baik di Eropa maupun Asia, dengan jenis mikroplastik yang paling umum adalah PP dan PET.

Mikroplastik secara primer juga dapat memasuki tubuh manusia melalui saluran pernapasan (inhalasi), dengan menghirup udara yang mengandung partikel mikroplastik di dalamnya. Karena berat jenis yang ringan, mikroplastik dapat melayang bersamaan dengan udara. Sumber utama mikroplastik pada udara berasal dari debu hasil tekstil sintetis, ban mobil, dan produk plastik lain yang terdegradasi di ruang terbuka. Bahkan menurut (Gasperi, et al., 2015) 7% cemaran mikroplastik di laut berasal dari udara. Pada sistem pernapasan, mikroplastik dianggap sebagai benda asing yang akan dikeluarkan olrh tubuh melalui aksi mekanik (bersin/batuk). Namun tidak semua partikel mikroplastik dapat keluar melalui cara tersebut. Banyak partikel yang akan terdeposit di saluran pernapasan dikarenakan impaksi (himpitan dinding saluran nafas), sedimentasi (endapan akibat gravitasi), dan intersepsi (kontak dengan rambut-rambut halus pada saluran) (Prata, 2018). Partikel-partikel mikroplastik yang terdeposit tadi dapat

memicu rekasi radang yang pada akhirnya dapat berpotensi transformasi karsinogenik (Chang, 2010).

2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut pada **Tabel 2.3** merupakan penelitian terdahulu berisi tentang penelitian mikroplastik maupun logam berat pada mikroplastik, yaitu :

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	(Utami dan Agustina, 2022)	DETEKSI PENCEMARAN MIKROPLASTIK PADA AIR LINDI DI TPA PIYUNGAN YOGYAKARTA INDONESIA	Dari penelitian tersebut, seluruh sampel air lindi baik pada bak inlet maupun bak outlet pengolahan air lindi TPA Piyungan memiliki kandungan mikroplastik dengan kelimpahan tertinggi sebesar 154,80 ± 21,22 partikel/L. Jenis mikroplastik yang teridentifikasi pada kolam lindi meliputi : fiber, film, fragmen, dan granula dengan jenis polimer Polyethylene (PE), Polystyrene (PS), dan Polyvinyl Chloride (PVC).
2	(Puthchareon and Leungprasert, 2019)	DETERMINATION OF MICROPLASTICS IN SOIL AND LEACHATE FROM THE LANDFILLS	Rata-rata kandungan mikroplastik pada sampel tanah maupun air lindi TPA di Thailand ditemukan hasil kelimpahan sebesar 1457,99 ± 489,71 pertikel/kg berat kering dan 20,90 ± 4,96 pertikel /1 kg berat kering. Jenis-jenis mikroplastik yang ditemukan berupa granul, fragmen, film, fiber, dan pelet. Pada sampel ini ditemukan polimer mikroplasti bberupa PE, PP, dan PET.

3	(Oz, et al., 2019)	INVESTIGATION OF HEAVY METALS ADSORBTION ON MICROPLASTICS	Logam berat Aluminium (Al) III dan Timbal (Pb) II dapat teradsorpi oleh tiga jenis mikroplastik seperti PA (Polyamide), PET (Polyethylene terephthalate), dan EVA (Etilen vinil asetat).

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam kurun waktu 6 bulan dimulai pada bulan Januari hingga Juni 2024 dengan analisis sampel dilakukan mulai bulan Februari s/d April 2024 yang terdiri dari pengambilan sampel di TPA Piyungan, Yogyakarta, dan pengujian sampel di laboratorium kualitas lingkungan. Lokasi pengambilan sampel terletak pada Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) TPA Piyungan, Yogyakarta. IPL TPA Piyungan dibagi menjadi dua bagian, yaitu: IPL 1 dan IPL 2. IPL 1 merupakan pengolahan air lindi yang bersumber dari *landfill* zona lama dan IPL 2 merupakan pengolahan air lindi yang bersumber dari *landfill* zona transisi. Pengambilan sampel dilakukan lebih tepatnya pada empat titik IPL yaitu: inlet IPL 1, outlet IPL 1, inlet IPL 2, dan outlet IPL 2. IPL TPA Piyungan ini beralamat di Kampung Bendo, RT:04/RW:44, Dusun Ngablak, Desa Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dan selanjutnya dilakukan tahap analisis sampel uji pada laboratorium kualitas lingkungan Universitas Islam Indonesia. Berikut pada **Gambar 3.2** merupakan peta lokasi pengambilan sampel, yaitu :



Gambar 3. 1 Peta lokasi pengambilan sampel

Berikut pada **Gambar 3.2** merupakan kondisi eksisting titik *sampling*:



(a) (b)

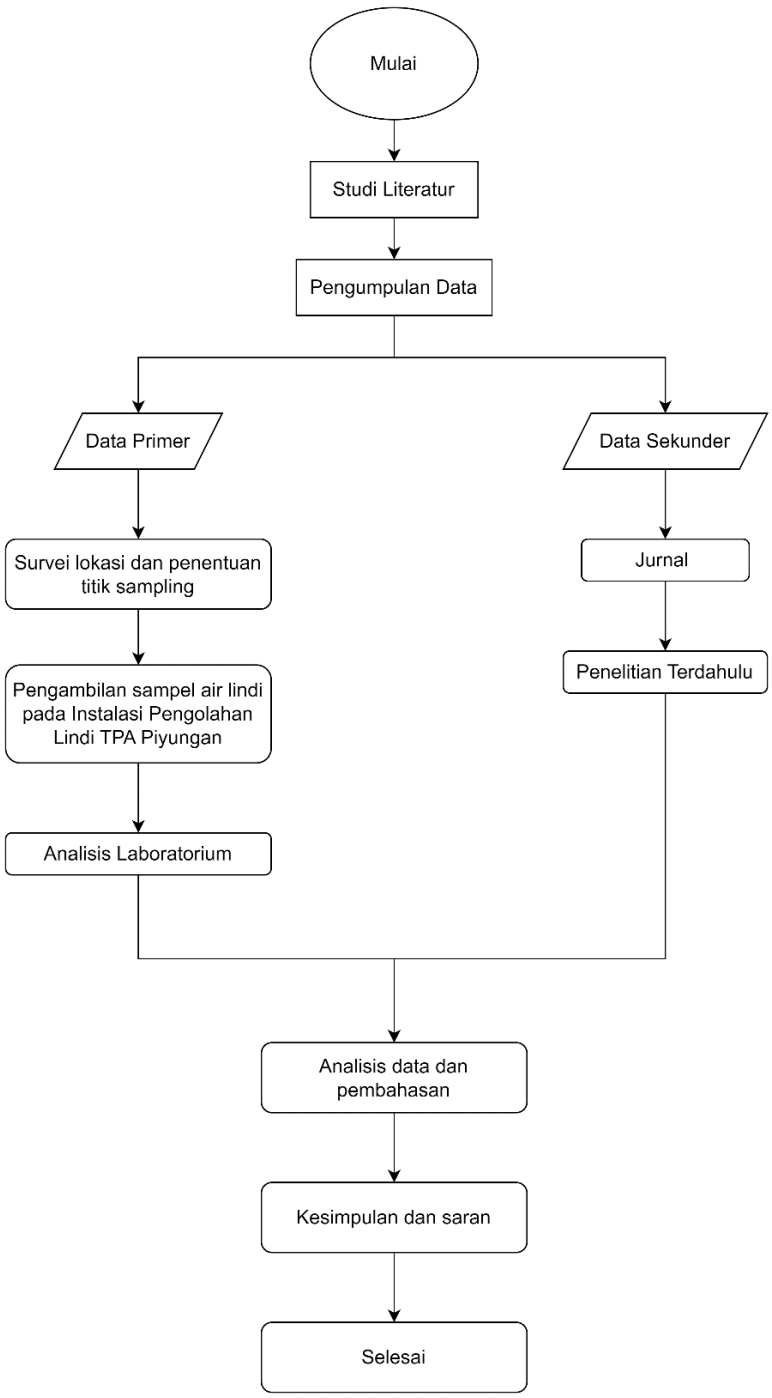


(c) (d)

Gambar 3. 2 Kondisi eksisting titik pengambilan sampel (a) inlet 1, (b) outlet 1, (c) inlet 2, (d) oulet 2

3.2 Alur Penelitian

Berikut pada **Gambar 3.3** merupakan proses alur penelitian dalam bentuk diagram alir, yaitu :



Gambar 3. 3 Tahap Alur Penelitian

3.3 Pengumpulan Data

Data dikumpulkan untuk mengetahui informasi yang relevan dengan topik penelitian yang dilakukan. Sehingga dengan data tersebut dapat menjadi acuan agar tercapainya tujuan dari penelitian. Data yang disertakan mencakup:

a. Data Primer

Data yang digunakan yaitu dengan melakukan observasi dan survei lokasi TPA Piyungan untuk mengetahui bagaimana kondisi eksisting lokasi sampling sebelum kemudian dilakukan pengambilan sampel. Dari survei lokasi ini dapat ditentukan titik pengambilan sampel. Selain itu, data primer juga diperoleh dari pengambilan sampel air lindi di Instalasi Pengolahan Limbah TPA Piyungan, Yogyakarta. Dari pengambilan sampel ini didapatkan hasil sampling berupa sampel air lindi untuk uji mikroplastik dan sampel air lindi untuk uji logam berat. Setelah sampel didapatkan, data selanjutnya yaitu berasal dari analisis sampel air lindi pada laboratorium. Data yang didapat dari analisis laboratorium meliputi: mikroplastik pada air lindi, konsentrasi logam berat (Cd dan Cu) pada mikroplastik, dan konsentrasi logam berat (Cd dan Cu) pada air lindi TPA Piyungan.

b. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan untuk menganalisis, memperluas pengetahuan, menginterpretasikan, dan melengkapi kebutuhan data penelitian. Data sekunder didapatkan dari jurnal, buku, SNI, penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini, dan lain-lain.

3.4 Analisis Sampel

3.4.1 Pengambilan Sampel Air Lindi TPA Piyungan

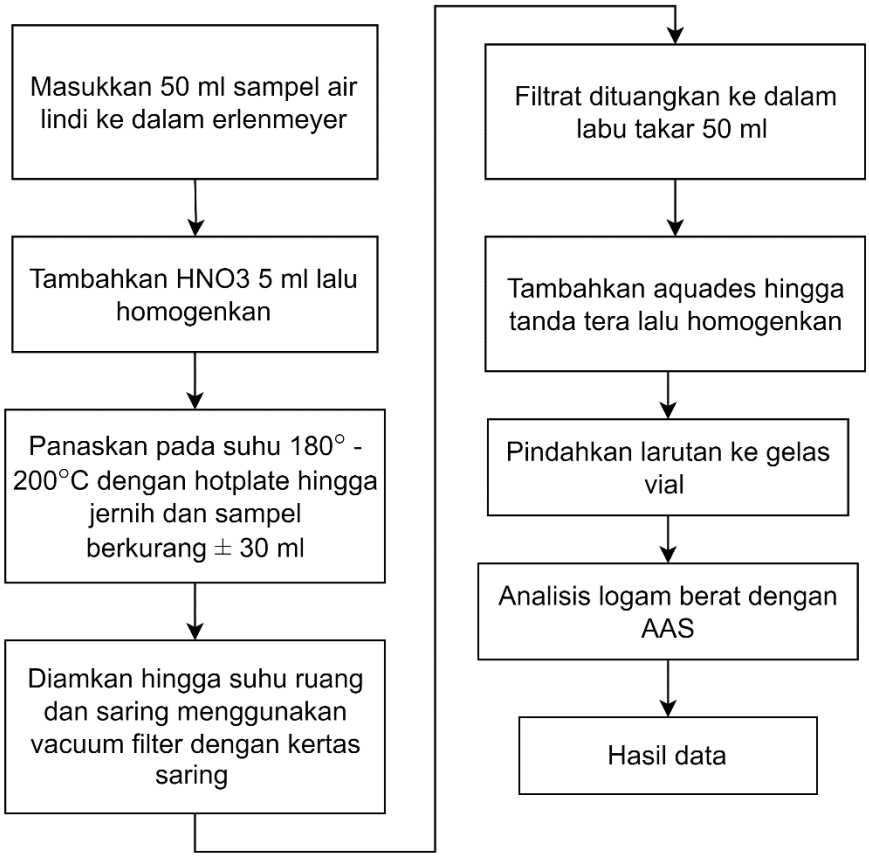
Dasar prosedur pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Air dan Air Limbah bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Sebelum mengambil sampel, botol terlebih dahulu dibilas dengan air sampel kemudian dibuang kembali. Hal ini dilakukan untuk membuang kandungan lain dalam botol selain air sampel. Setelah sampel didapatkan dilakukan pengujian

insitu dengan parameter pH menggunakan pH universal dan parameter suhu dengan menggunakan termometer. Sampel air lindi untuk pengujian mikroplastik diletakkan pada botol kaca berukuran 350 ml sedangkan sampel air lindi untuk pengujian logam berat diletakkan pada botol plastik berukuran 350 ml. Setelah dilakukan sampling, sampel kemudian diawetkan dengan menggunakan larutan HNO3 hingga pH sampel berubah menjadi 2. Kemudian sampel diletakkan ke dalam kulkas untuk pengawetan.

3.4.2 Pengujian Sampel

3.4.2.1 Pengujian Logam Berat (Cd dan Cu) pada Air Lindi TPA Piyungan

Pada pengujian logam berat memerlukan destruksi sampel untuk memutuskan ikatan antara senyawa organik dan logam yang akan dianalisis (Cu dan Cd). Proses destruksi ini bertujuan untuk mengubah bentuk senyawa logam menjadi bentuk logam anorganik atau memecah senyawa menjadi unsur-unsurnya, sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis (Kristianingrum, 2012). Pengujian sampel dimulai dengan memasukkan 50 ml sampel lindi dan dicampur dengan HNO3 5 ml di dalam erlenmeyer lalu dihomogenkan. HNO3 berfungsi untuk melarutkan kandungan-kandungan logam yang ada pada larutan dalam air lindi serta mencegah adanya pengendapan. Setelah penambahan HNO3, sampel lalu dipanaskan pada suhu 180° - 200°C dengan hotplate hingga jernih dan sampel berkurang ± 30 ml. Pemanasan ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dalam sampel. Setelah selesai dipanaskan, sampel kemudian didiamkan hingga suhu ruang dan dilanjutkan dengan penyaringan mengguanakn kertas saring pada *vacum filter*. Filtrat hasil penyaringan tersebut dituangkan kedalam labu takar berukuran 50 ml untuk selanjutnya dikembalikan kepada volume awal dengan menambahkan aquades hingga tanda tera, lalu dihomogenkan. Setelah itu, sampel dipindahkan ke gelas vial dan analisis logam berat (Cu dan Cd) dapat dilakukan. Berikut pada **Gambar 3.4** merupakan alur pengujian logam berat (Cu dan Cd) pada air lindi TPA Piyungan dalam bentuk diagram alir:

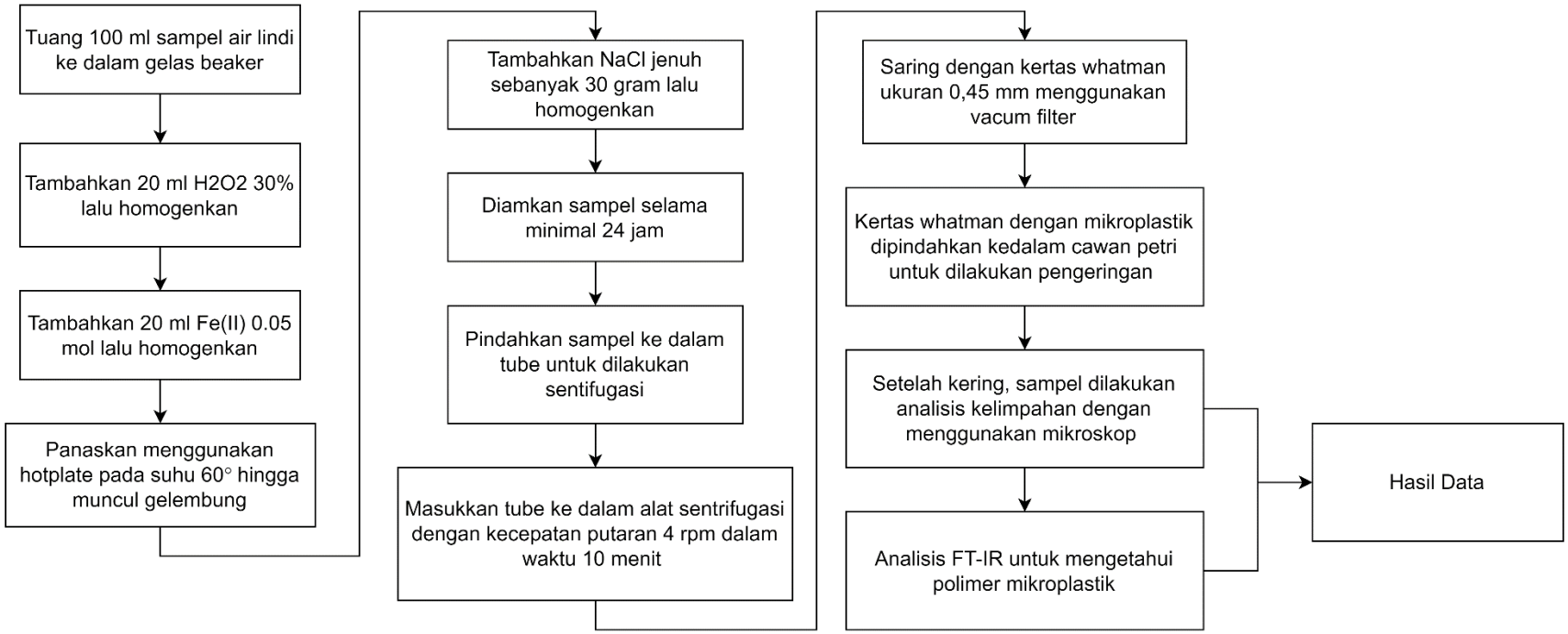


Gambar 3. 4 Alur pengujian logam berat pada air lindi

3.4.2.2 Pengujian Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan menuangkan 100 ml sampel air lindi ke dalam gelas beker kemudian dilakukan proses *Wet Peroxide Oxidation* (WPO). Proses WPO dilakukan dengan cara ditambahkan larutan H2O2 30% 20 ml pada sampel air lindi lalu homogenkan, kemudian ditambahkan larutan Fe (II) 0,05 M 20 ml. H2O2 30% pada proses WPO bertujuan untuk menghilangkan zat organik sedangkan larutan Fe (II) 0,05 M memiliki fungsi untuk mempercepat reaksi (katalis). Proses WPO dilakukan pada suhu 60°C dengan menggunakan *hot plate* hingga warna sampel berubah menjadi lebih jernih. Langkah berikutnya adalah melakukan pemisahan densitas dengan menambahkan NaCl jenuh (6 gram NaCl jenuh per 20 ml sampel), kemudian mencampurkannya secara merata dan membiarkannya selama 24 jam (Ayuningtyas dkk., 2019).

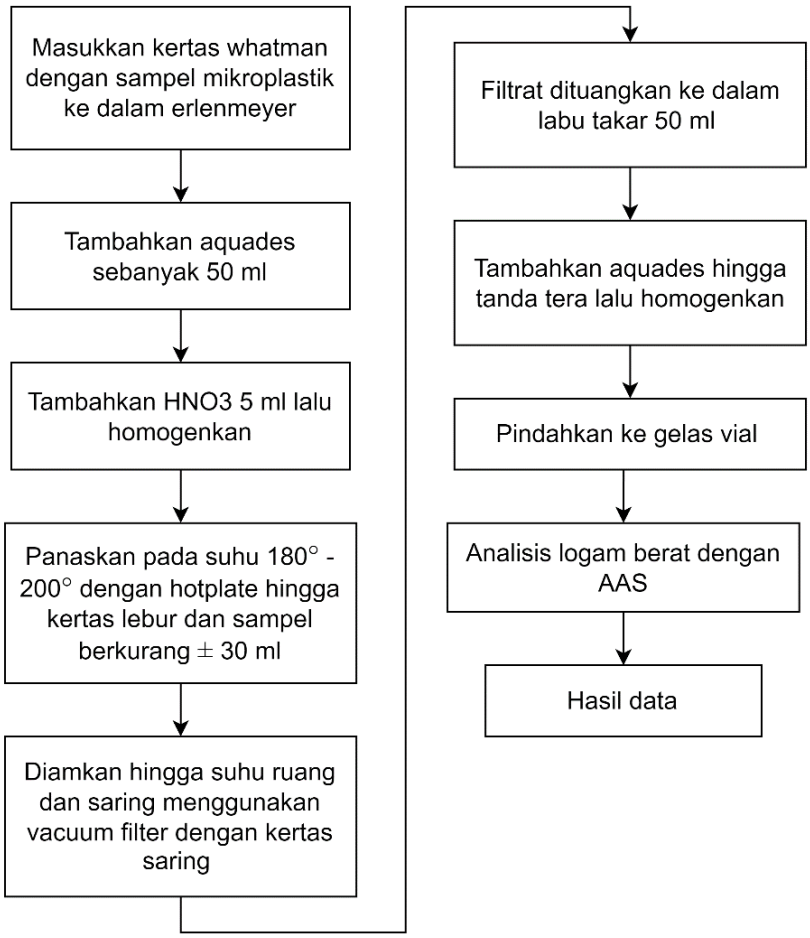
Langkah selanjutnya yaitu setelah sampel didiamkan selama 24 jam, sampel dipindahkan ke dalam 12 tube masing-masing 10 ml untuk dilakukan sentrifugasi. Sentrifugasi dilakukan menggunakan alat sentrifugator dengan kecepatan perputaran 4 rpm kurun waktu 10 menit. Hal ini dilakukan guna memisahkan sampel dengan pengotor lain yang masih tersisa. Selanjutnya sampel disaring dengan kertas *whatman* 0,45 mm menggunakan alat *vacum filter* agar sampel mikroplastik tertinggal di kertas *whatman*. Hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam menganalisis mikroplastik dalam mikroskop. Sebelum dianalisis dengan mikroskop, kertas *whatman* dengan kandungan mikroplastik dikeringkan pada cawan petri. Lalu dilanjutkan dengan analisis mikroskop agar diketahui jenis, warna, serta kelimpahan mikroplastik. Setelah itu dilanjutkan dengan analisis *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FT-IR) untuk mengetahui polimer mikroplastik yang terdapat pada sampel air lindi TPA Piyungan. Untuk lebih jelasnya, berikut pada **Gambar 3.5** merupakan alur pengujian sampel mikroplastik air lindi TPA Piyungan dalam bentuk diagram alir:



Gambar 3. 5 Alur pengujian mikroplastik pada air lindi TPA Piyungan

3.4.2.3 Pengujian Logam Berat (Cu dan Cd) pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan

Sampel kertas whatman hasil pengujian mikroplastik pada air lindi dimasukkan ke dalam erlenmeyer untuk dilakukan destruksi. Tujuan dari destruksi adalah untuk memutuskan ikatan antara senyawa organik dan logam yang akan dianalisis (Cu dan Cd). Proses destruksi ini bertujuan untuk mengubah senyawa logam menjadi bentuk logam anorganik atau memecah senyawa menjadi unsur-unsurnya, sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis (Kristianingrum, 2012). Setelah memasukkan kertas whatman, kemudian sampel ditambahkan aquades sebanyak 50 ml dan HNO_3 sebanyak 5 ml lalu dihomogenkan. Panaskan sampel tersebut pada suhu 180° - 200° dengan *hotplate* hingga kertas lebur dan sampel berkurang ± 30 ml. Hal ini dilakukan agar logam berat (Cu dan Cd) pada sampel berikatan dengan HNO_3 dan aquades pada sampel menguap, sehingga larutan yang tersisa merupakan HNO_3 dan logam berat. Setelah selesai dipanaskan, sampel didiamkan hingga suhu ruang. Apabila sampel sudah memiliki temperatur suhu ruang, kemudian sampel disaring dengan kertas saring menggunakan *vacum filter*. Filtrat hasil penyaringan dituangkan ke dalam labu takar 50 ml. Lalu kembalikan kepada volume awal yaitu 50 ml dengan menambahkan aquades hingga tanda tera pada labu ukur dan dihomogenkan. Pindahkan larutan tadi kedalam gelas vial untuk selanjutnya dilakukan analisis logam berat (Cu dan Cd) menggunakan AAS agar diketahui besaran konsentrasi logam berat tersebut. Berikut pada **Gambar 3.6** merupakan alur pengujian logam berat (Cu dan Cd) yang terkandung di dalam mikroplastik air lindi TPA Piyungan dalam bentuk diagram alir:



Gambar 3. 6 Alur pengujian logam berat (Cu dan Cd) pada mikroplastik air lindi TPA Piyungan

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan

Analisis bersifat kuantitatif dengan mengidentifikasi karakteristik mikroplastik pada air lindi TPA Piyungan Yogyakarta berdasarkan kelimpahan, jenis, warna,, dan analisa gugus fungsi dengan menggunakan FTIR. Klasifikasi jenis ditentukan berdasarkan beberapa jenis berikut, antara lain : fragment, foam, pelet, film, dan fiber. Sementara itu, klasifikasi warna berdasarkan warna berikut, antara lain : hitam, abu-abu, transparan, biru, merah, oren, coklat, dan lain-lain.

Menurut National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), untuk menentukan kelimpahan mikroplastik (MPs) dalam air lindi, dapat dilakukan dengan membandingkan jumlah partikel mikroplastik dalam setiap sampel dengan total volume air yang telah disaring, menggunakan rumus berikut:

$$Kelimpahan\ Mikroplastik\ (\frac{partikel}{l}) = \frac{Jumlah\ partikel\ MPs\ (n)}{Volume\ air\ tersaring\ (l)}$$

Hasil yang didapatkan dari analisis mikroplastik berdasarkan warna dan jenis berupa persentase. Untuk mengetahui persentase jenis dan warna mikroplastik pada air lindi dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Persentase\ (\%) = \left(\frac{jumlah\ partikel\ jenis\ atau\ warna\ (partikel)}{total\ keseluruhan\ partikel\ jenis\ atau\ warna\ (partikel)}\right) x\ 100$$

Analisis gugus fungsi dengan menggunakan FTIR menghasilkan gugus fungsi senyawa dan polimer, disesuaikan dengan referensi untuk mencari turunan senyawa. Sehingga dapat diketahui berasal dari mana mikroplastik tersebut atau sumber pencemaran mikroplastik. Berikut pada **Tabel 3.1** merupakan referensi serapan panjang gelombang tiap jenis polimer, yaitu:

Tabel 3. 1 Refrensi serapan panjang gelombang tiap jenis polimer

Jenis Polimer	Panjang Gelombang Terserap (cm^{-1})	Gugus Fungsi
High Density Polyethylene (HDPE)	2915	*C-H stretch*
	1472	*CH2 bend*
	717	*CH2 rock*
Low Density Polyethylene (LDPE)	2845	*C-H stretch*
	1377	*CH3 bend*
	717	*CH2 rock*
Polyethylene Terephtalate (PET) / (PETE)	1713	*C=O*
	1241	*C-O stretch*
	720	*Aromatic CH out-of-plane bend*
Polypropylene (PP)	2950	*C-H stretch*
	1166	*CH bend, CH3 rock, C-C stretch*
	808	*CH2 rock, C-C stretch, C-CH stretch*
Polystyrene (PS)	3024	*Aromatic C-H stretch*
	1492	*Aromatic ring stretch*
	1027	*Aromatic CH bend*
Polyvinyl Chloride (PVC)	1427	*CH2 bend*
	1331	*CH bend*
	616	*CH2 rock*
Polyurethane (PU)	2865	*C-H stretch*
	1531	*C-N stretch*
	1223	*C(=O)O stretch*
Nylon	3298	*N-H stretch*
	1538	*NH bend, C-N stretch*
	687	*NH bend, C=O bend*
Polycarbonate (PC)	2966	*CH stretch*
	1409	*Aromatic ring stretch*
	828	*Aromatic CH out-of-plane bend*
Selulosa Asetat (CA)	1743	*C=O stretch*
	1308	*CH3 bend*
	600	*O-H bend*

(Sumber: Jung et al., 2018)

3.5.2 Analisis Kandungan Logam Berat (Cu dan Cd) pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan

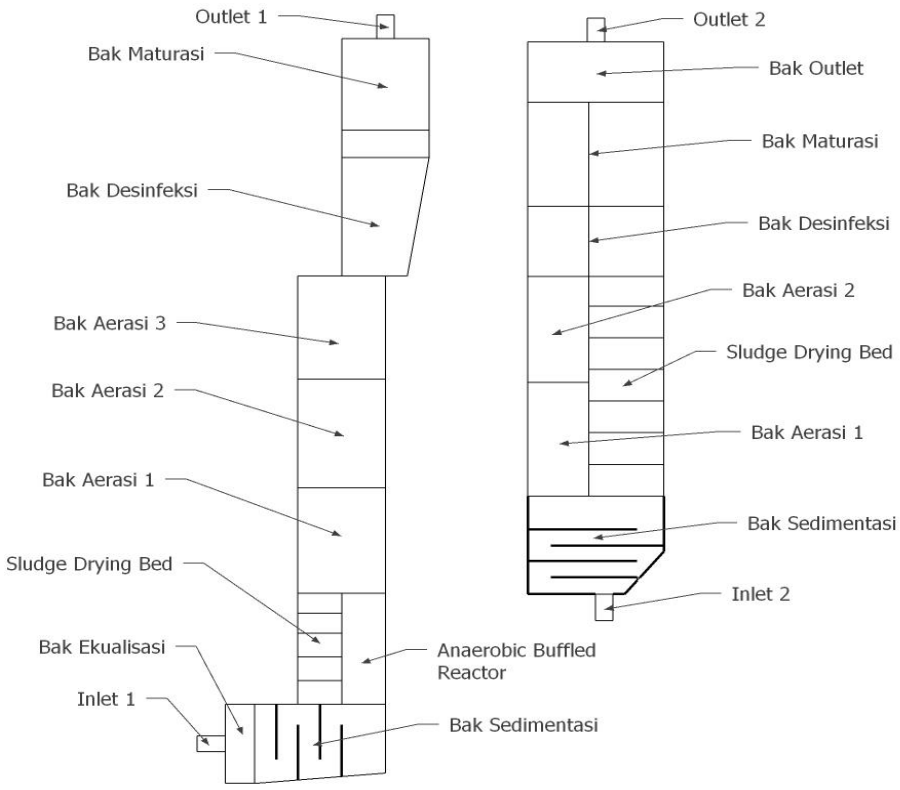
Analisis bersifat kuantitatif dengan mengidentifikasi konsentrasi logam berat pada mikroplastik. Analisis data diawali dengan menggunakan AAS untuk menentukan kadar logam berat pada mikroplastik dan didapatkan hasil konsentrasi (mg/l). Dari konsentrasi logam berat pada sampel mikroplastik tersebut, kemudian hasil dari konsentrasi dibagi dengan berat sampel mikroplastik pada kertas whatman dikurang dengan berat kertas whatman kosong. Untuk mengetahui kandungan logam berat pada setiap gram mikroplastik dilakukan dengan rumus berikut :

$$Kandungan\ Cu\ atau\ Cd\ pada\ Mps\ \left(\frac{mg}{g}\right) = \frac{Konsentrasi\ Cu\ atau\ Cd\left(\frac{mg}{l}\right)\ x\ V\ sampel\ pada\ AAS\ (l)}{Berat\ Mps\ (g)}$$

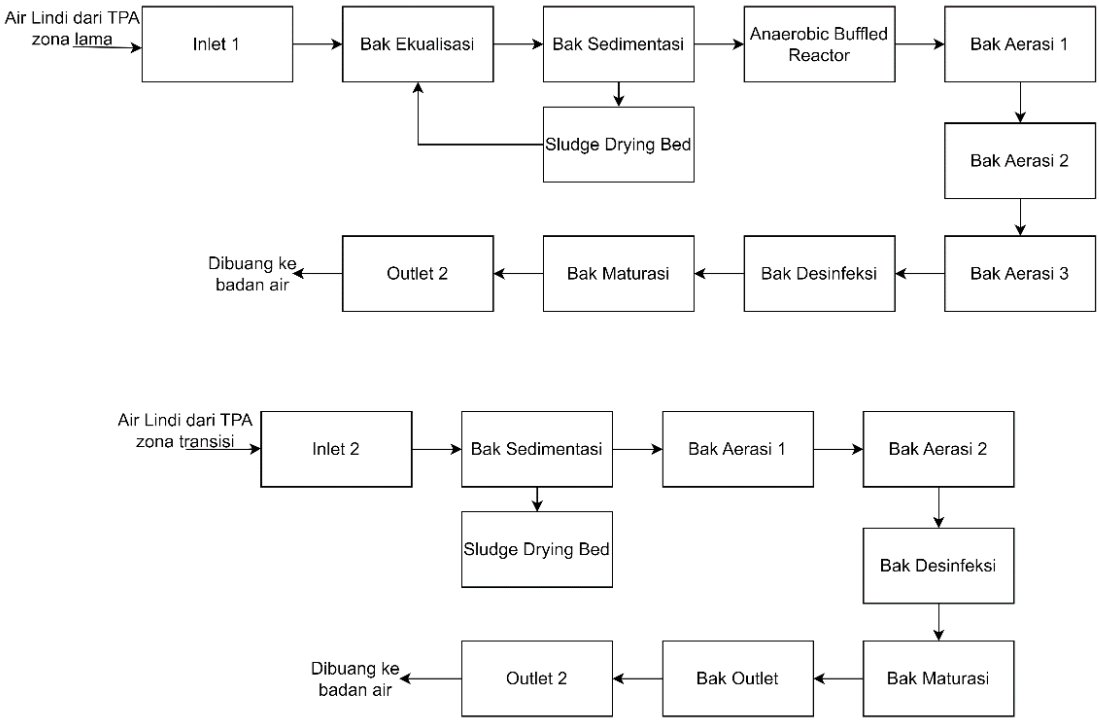
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Air Lindi

Pengambilan sampel dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan Yogyakarta. Instalasi ini terbagi menjadi dua bagian: IPL 1, yang mengolah air lindi dari TPA lama, dan IPL 2, yang mengolah air lindi dari TPA peralihan. Sampel diambil dari inlet dan outlet masing-masing IPL. Instalasi Pengolahan Air Lindi mencakup berbagai proses, termasuk satu bar screen dan tujuh kolam pengolahan utama. Kolam pertama dan kedua adalah kolam sedimentasi, kolam ketiga, keempat, dan kelima adalah kolam aerasi dengan diffuser, sementara kolam keenam dan ketujuh berfungsi sebagai kolam desinfeksi dan kolam maturasi. Berikut pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** merupakan denah dan diagram alir proses pengolahan pada IPL TPA Piyungan:



Gambar 4. 1 Denah IPL TPA Piyungan

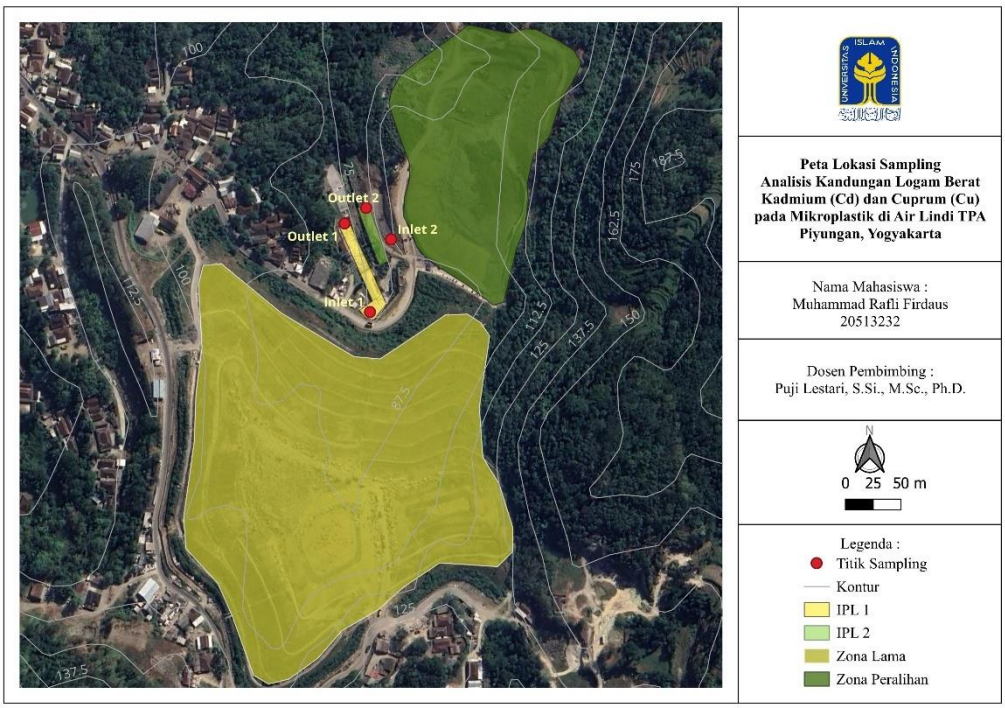


Gambar 4. 2 Diagram alir proses pengolahan IPL TPA Piyungan

Pengambilan sampel pada keempat titik tersebut dirasa cukup untuk mewakili keseluruhan kondisi air lindi dari TPA tersebut. Berikut pada **Tabel 4.1** dan **Gambar 4.3** merupakan penjelasan sampel dan peta lokasinya:

Tabel 4. 1 Penjelasan Sampel

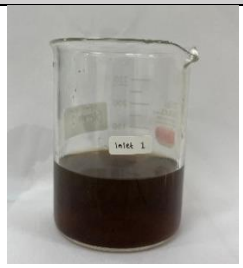
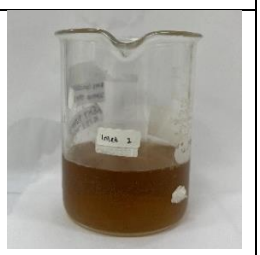
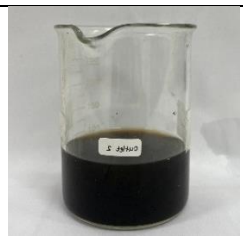
Sampel	Pengolahan	Sumber Air Lindi
Inlet 1	IPL 1	Zona TPA Lama
Outlet 1		
Inlet 2	IPL 2	Zona TPA Peralihan
Outlet 2		



Gambar 4. 3 Peta lokasi IPL dan sumber air lindi

Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Januari di titik inlet dan outlet IPL TPA Piyungan. Warna air lindi pada inlet dan outlet hampir sama, yaitu coklat tua, dan keduanya memiliki bau yang tidak sedap. Air lindi adalah cairan berwarna gelap dengan bau tidak sedap, yang umumnya mengandung konsentrasi tinggi bahan organik dan anorganik (Yao, 2013). Warna air lindi dipengaruhi oleh kadar bahan organik yang terkandung di dalamnya. Semakin gelap warna air lindi, semakin tinggi kandungan bahan organik yang ada di dalamnya. Berikut pada **Tabel 4.2** merupakan kondisi sampel pada saat sampling di IPL TPA Piyungan:

Tabel 4. 2 Kondisi sampel

Sampel	Lokasi	Keterangan	Gambar
Inlet 1	7°52'07"S 110°25'49"E	pH : 8 Suhu : 25°C Warna : Coklat Pekat Transparan Bau : Menyengat	
Outlet 1	7°52'03"S 110°25'48"E	pH : 6 Suhu : 28°C Warna : Coklat Terang Transparan Bau : Sedikit Menyengat	
Inlet 2	7°52'03"S 110°25'50"E	pH : 8 Suhu : 26°C Warna : Coklat Gelap Bau : Sangat Menyengat	
Outlet 2	7°52'07"S 110°25'49"E	pH : 8 Suhu : 25°C Warna : Hitam Pekat Bau : Sangat Menyengat	

Berikut pada **Tabel 4.3** merupakan hasil identifikasi logam berat (Cu dan Cd) pada air lindi TPA Piyungan, yaitu:

Tabel 4. 3 Hasil identifikasi logam berat (Cu dan Cd)

No	Sampel	Konsentrasi Cu (mg/L)	Konsentrasi Cd (mg/L)
1	Inlet 1	0.0689	0.0637
2	Outlet 1	0.0385	0.0205
3	Inlet 2	0.0445	0.0310
4	Outlet 2	0.0341	0.0181

Hasilnya menunjukkan bahwa sampel mengandung konsentrasi logam berat (Cu dan Cd) yang tinggi. Berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No. 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY, yang sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 mengenai Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, baku mutu untuk logam berat Cu dan Cd adalah 0,02 mg/L untuk Cu dan 0,01 mg/L untuk Cd. Dari hasil yang didapatkan, konsentrasi masih jauh di atas baku mutu baik di inlet maupun outlet. Hal ini dapat dikarenakan oleh pengolahan air lindi yang belum memenuhi standar. Banyaknya sampah yang masuk ke TPA dengan kandungan Cu dan Cd, juga dapat berpengaruh pada keberadaan logam berat tersebut pada air lindi TPA Piyungan.

Menurut Ashar et al. (2014), logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan besi (Fe) yang terdapat dalam air lindi berasal dari sampah yang telah dibuang ke TPA. Perbedaan kandungan Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) dalam air lindi TPA Piyungan memiliki nilai konsentrasi yang tidak begitu signifikan, hal itu dikarenakan kedua logam tersebut berasal dari sampah yang sama seperti plastik, baterai, *electroplating*, cat, dan limbah industri tekstil.

Limbah tekstil memiliki variasi komposisi kimia yang beragam, karena berbagai bahan kimia dan logam berat, termasuk Cu dan Cd, digunakan dalam proses pewarnaan tekstil (Swarnkumar Reddy & Osborne, 2020). Pewarna pada benang tekstil yang terdegradasi ke dalam tanah dapat mengganggu transmisi

cahaya, menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air, menurunkan pH menjadi asam, serta menyebabkan masalah lainnya (Sutrisno, 2014). pH asam pada air lindi dapat mempengaruhi kelarutan dan mobilitas logam berat. Pergerakan logam berat Cu dan Cd melalui lapisan tanah dapat dipercepat oleh infiltrasi air hujan yang tinggi, yang meningkatkan mobilitas logam tersebut (Setyoningrum et al., 2014).

Pada sampel inlet 1, konsentrasi logam berat (Cu dan Cd) adalah yang tertinggi dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa air lindi dari inlet 1 berasal dari TPA lama yang sudah ditutup. Selama bertahun-tahun, TPA lama menerima berbagai jenis limbah, termasuk limbah industri, elektronik, dan rumah tangga. Limbah-limbah ini dapat mengandung logam berat yang kemudian terakumulasi di tanah dan air lindi di TPA Piyungan.

4.2 Identifikasi Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan berdasarkan Jumlah, Jenis, dan Warna

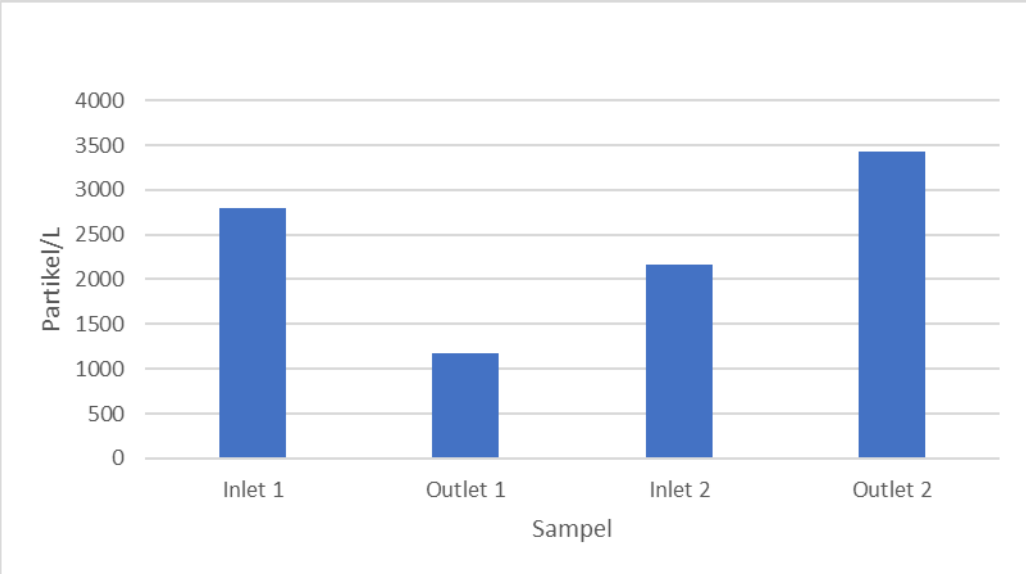
Sampel dianalisis di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dengan memulai proses Wet Peroxide Oxidation (WPO), menggunakan larutan H2O2 30% dan Fe (II) 0,05 M untuk menghilangkan zat organik yang terdapat dalam sampel air lindi. Selanjutnya dilakukan *density separation* dengan menggunakan NaCl jenuh dan didiamkan selama 24 jam untuk memisahkan mikroplastik dengan kandungan lain dengan memanfaatkan massa jenis dari zat. Agar sampel benar-benar bersih dan memastikan yang tertinggal pada sampel hanya kandungan mikroplastik, maka dilakukan sentrifugasi. Setelah itu, sampel disaring dengan kertas *whatman* melalui *vacum filter* dan sampel siap untuk dilakukan analisis dengan menggunakan mikroskop. Setelah mikroplastik pada whatman selesai dilakukan identifikasi dengan mikroskop, sampel kemudian dilakukan analisis polimer dengan menggunakan FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*).

4.2.1 Identifikasi Kelimpahan Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan

Kelimpahan mikroplastik dihitung dalam satuan partikel/L. Hasil dari identifikasi dengan mikroskop, ditemukan partikel mikroplastik pada seluruh sampel dengan kelimpahan bervariasi. Berikut pada **Tabel 4.4** dan **Gambar 4.4** merupakan hasil perhitungan kelimpahan mikroplastik pada air lindi TPA Piyungan tiap titik sampling, yaitu:

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan kelimpahan mikroplastik tiap titik sampel

Sampel	Total mikroplastik pada sampel (partikel/0.1L)	V sampel tersaring (L)	Total kelimpahan (partikel/L)
Inlet 1	279	0.1	2790
Outlet 1	118		1180
Inlet 2	216		2160
Outlet 2	343		3430



Gambar 4. 4 Hasil perhitungan kelimpahan mikroplastik tiap titik sampel

Hasil perhitungan kelimpahan mikroplastik pada sampel Outlet 2 teridentifikasi memiliki kelimpahan paling tinggi yaitu 3.430 partikel/L. Sementara itu, sampel dengan jumlah mikroplastik terendah ditemukan pada Outlet 1, yaitu 1.180 partikel/L. Kelimpahan mikroplastik pada sampel cukup tinggi dikarenakan pengambilan sampel dilakukan pada masa penghujan. Menurut

Nurhasanah et al. (2022), ada kemungkinan pelepasan mikroplastik menjadi lebih tinggi apabila curah hujan meningkat.

Pada sampel dari IPL 1 (inlet 1 dan outlet 1) memiliki kelimpahan sebesar 2.790 partikel/L dan 1.180 partikel/L. Pada IPL ini, terdapat beberapa proses pengolahan yang sudah berjalan dengan baik. Tergantung pada metode pengolahannya, proses pengolahan lindi dapat mencapai tingkat penghilangan mikroplastik antara 3% hingga 100% (Kabir S. M. et al., 2023). Dapat disimpulkan pada IPL 1, sampel outlet 1 memiliki jumlah kelimpahan mikroplastik di bawah inlet 1 dikarenakan proses pengolahan air lindi yang sudah berjalan. Hal itu dibuktikan dengan penelitian terdahulu oleh Utami dan Agustina (2021) didapatkan hasil kelimpahan mikroplastik pada inlet air lindi adalah 154,80 partikel/L dan berkurang menjadi 135,60 partikel/L pada outlet. Berbeda dengan IPL 1, pada sampel IPL 2 (inlet 2 dan outlet 2) memiliki kelimpahan sebesar 2.160 partikel/L dan 3.430 partikel/L. Hal ini dikarenakan pada IPL 2 memiliki pengolahan air lindi yang belum berjalan sepenuhnya. Dapat dilihat pada gambar di dalam **Tabel 4.2**, sampel outlet 2 memiliki warna lebih hitam pekat dibandingkan dengan inlet 2. Karena proses pengolahan yang belum optimal, hal ini dapat menyebabkan proses akumulasi mikroplastik pada kolam akhir yaitu outlet 2, sehingga hal ini yang menyebabkan outlet 2 memiliki kelimpahan mikroplastik lebih tinggi dibandingkan dengan inlet 2. Menurut Waddell et al. (2020) dan Alam et al. (2021), pengolahan air lindi dapat mengurangi mikroplastik hingga 58,1%. Hal ini disebabkan karena mikroplastik terperangkap dalam lumpur di kolam pengolahan atau terakumulasi di sedimen.

Beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah mikroplastik dalam air lindi adalah jenis TPA, usia TPA, jumlah sampah plastik yang diterima TPA, proses fragmentasi, kadar bahan organik dalam air lindi, dan metode pengolahan lindi (Kilponen, 2016). IPL 1 merupakan pengolahan air lindi yang bersumber dari TPA lama, dimana TPA ini sudah ditutup dan tidak beroperasi dikarenakan kapasitas TPA yang sudah melebihi daya tampung. Sedangkan pada IPL 2 mengolah air lindi yang berasal dari zona TPA peralihan, dimana TPA ini baru beroperasi pada tahun 2023 sehingga degradasi sampah plastik menjadi

mikroplastik tidak sebesar yang terjadi pada TPA lama dibuktikan dengan kelimpahan mikroplastik pada inlet 1 lebih besar dibandingkan dengan kelimpahan mikroplastik pada inlet 2.

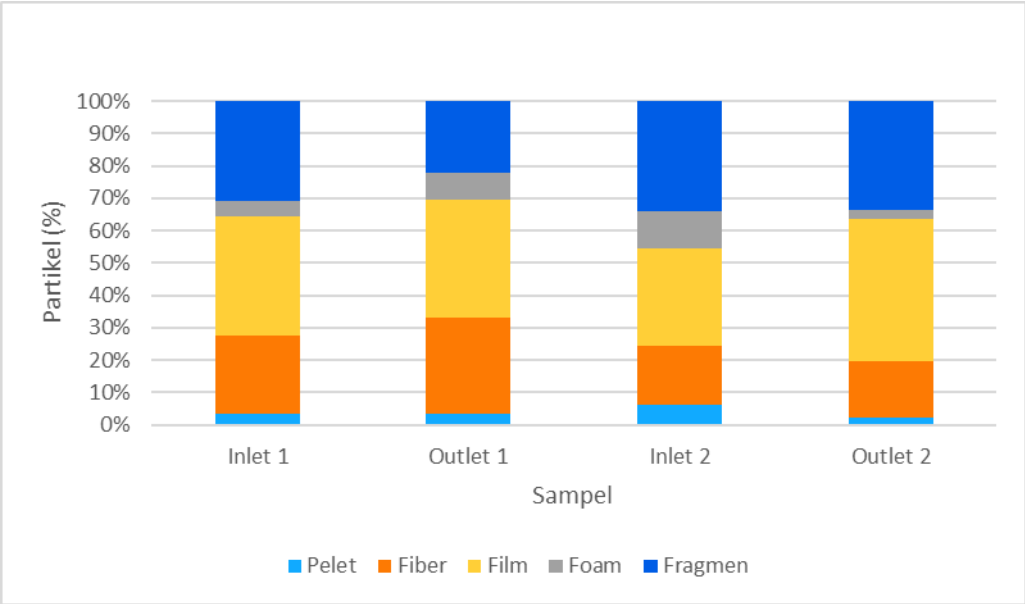
Meskipun TPA 1 telah ditutup, namun TPA tersebut masih menghasilkan air lindi. Pada masing-masing inlet IPL, inlet IPL 1 memiliki kelimpahan lebih tinggi dibandingkan dengan inlet IPL 2 yaitu 2.790 partikel/L dan 2.160 partikel/L. Hal ini disebabkan oleh IPL 1 yang mengolah lindi dari TPA lama dengan umur TPA yang jauh lebih lama dibandingkan dengan umur TPA peralihan. Namun, mikroplastik pada inlet 2 yang berasal dari TPA Peralihan juga masih tergolong tinggi, hal itu dapat disebabkan oleh pengaruh lain. Menurut Shen et al., (2022) sampah plastik yang terkubur di TPA secara bertahap dipecah dan diurai menjadi mikroplastik akibat pengaruh fisik, kimia, dan biologis. Sehingga pada TPA peralihan ini, sampah plastik banyak melalui degradasi fisik, dengan tipe TPA open damping yang dapat menyebabkan tingginya paparan UV pada sampah, masuknya air hujan, sehingga dengan penyebab tersebut mengakibatkan tingginya laju degradasi. Apalagi penggunaan botol sekali pakai atau kantong plastik yang mudah sekali terdegradasi saat ini sangat meningkat penggunaanya begitu pula pada sampah yang berakhir di TPA, hal itu dapat menjadi penyebab tingginya mikroplastik pada air lindi TPA yang baru beroprasi.

4.2.2 Identifikasi Jenis Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan

Berikut pada **Tabel 4.5** dan **Gambar 4.5** merupakan hasil identifikasi jumlah mikroplastik berdasarkan jenis pada air lindi TPA Piyungan tiap titik sampling, yaitu :

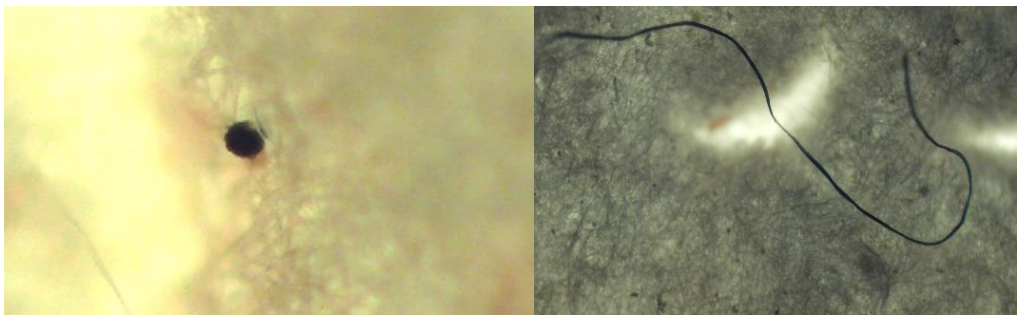
Tabel 4. 5 Hasil identifikasi jenis mikroplastik

Jenis	Inlet 1		Outlet 1		Inlet 2		Outlet 2	
	Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
Pelet	10	4%	4	3%	14	6%	8	2%
Fiber	67	24%	35	30%	39	18%	60	17%
Film	102	37%	43	36%	65	30%	150	44%
Foam	14	5%	10	9%	25	12%	11	3%
Fragmen	86	31%	26	22%	73	34%	114	33%

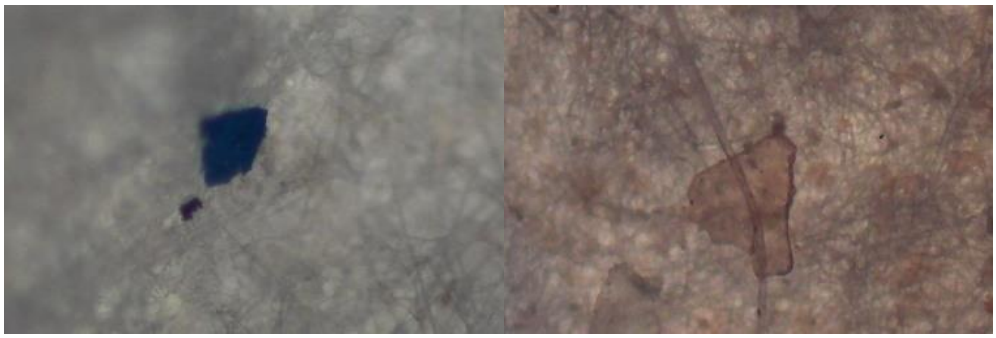


Gambar 4. 5 Hasil identifikasi jenis mikroplastik

Berikut pada **Gambar 4.3** merupakan contoh gambar masing-masing jenis mikroplastik pada TPA Piyungan:



(a) (b)



(c) (d)



(e)

Gambar 4. 6 Contoh masing-masing jenis mikroplastik: (a) pellet, (b) fiber, (c) fragmen, (d) film, (e) foam

Terdapat beberapa jenis mikroplastik yang ditemukan berdasarkan hasil pengamatan visual menggunakan mikroskop. Bentuk dan jenis mikroplastik yang ditemukan antara lain: pellet, fiber, fragmen, film, dan foam. Seperti yang terlihat pada **Gambar 4.5** sampel inlet 1 didominasi mikroplastik dengan jenis film dengan persentase 37% atau sebanyak 109 partikel/0,1L. Jenis mikroplastik yang paling sering ditemukan kedua yaitu fragmen dengan persentase 31% atau sebanyak 86 partikel/0,1L. Untuk jenis mikroplastik lain seperti fiber, foam, dan *pellet* ditemukan masing-masing sebesar 24%, 4.9%, dan 4% atau sebanyak 67, 14, dan 10 partikel/0,1L sampel. Sementara itu, pada sampel outlet 1 didominasi mikroplastik dengan jenis film dengan persentase 36% atau sebanyak 43 partikel/0,1L. Fiber adalah jenis mikroplastik yang paling sering ditemukan kedua

dengan persentase 30% atau sebanyak 35 partikel/0,1L. Untuk jenis mikroplastik lain seperti fragmen, foam, dan *pellet* ditemukan masing-masing sebesar 22%, 8.6%, dan 3% atau sebanyak 26, 10, dan 4 partikel/0,1L sampel.

Sampel selanjutnya yaitu sampel inlet 2 didominasi mikroplastik dengan jenis fragmen dengan persentase 34% atau sebanyak 73 partikel/0,1L. Film adalah jenis mikroplastik yang paling sering ditemukan kedua dengan persentase 30% atau sebanyak 65 partikel/0,1L. Untuk jenis mikroplastik lain seperti fiber foam dan *pellet* ditemukan masing-masing sebesar 18%, 11.5%, dan 6% atau sebanyak 39, 25, dan 14 partikel/0,1L sampel. Dan sampel terakhir yaitu sampel outlet 2 didominasi mikroplastik dengan jenis film dengan persentase 44% atau sebanyak 150 partikel/0,1L. Jenis mikroplastik yang paling sering ditemukan kedua yaitu fragmen dengan persentase 33% atau sebanyak 115 partikel/0,1L. Untuk jenis mikroplastik lain seperti fiber, foam, dan *pellet* ditemukan masing-masing sebesar 17%, 3.1%, dan 2% atau sebanyak 60, 11, dan 8 partikel/0,1L sampel.

Dari penelitian ini, ditemukan bahwa jenis mikroplastik terbanyak adalah film. Menurut Berdasarkan Kingfisher (2011), mikroplastik film merupakan polimer plastik sekunder yang terbentuk dari pecahan kantong plastik atau kemasan plastik dan memiliki densitas rendah. Salah satu contoh, pada **Gambar 4.6 (d)** merupakan mikroplastik berjenis film, dengan luas 18.546,05 μm^2. Film banyak ditemukan di TPA Piyungan karena adanya sampah plastik seperti kantong plastik, bungkus plastik, dan produk plastik lainnya, serta tingkat degradasinya yang lebih cepat dibanding jenis mikroplastik lainnya. Film memiliki tingkat degradasi yang lebih cepat dibandingkan serat (fiber) dan fragmen, menurut Ling et al. (2019).

Fragmen merupakan jenis mikroplastik yang paling banyak ditemukan kedua pada penelitian ini. Mikroplastik jenis fragmen, menurut Ling et al. (2019), memiliki struktur yang mirip dengan potongan plastik yang lebih besar dan banyak pori-pori, yang memungkinkan fragmen untuk membawa ion logam.Pada TPA Piyungan, mikroplastik jenis fragmen berasal dari limbah plastik domestik maupun industri yang masuk ke dalam area pemrosesan akhir. Menurut Changbo et al. (2019), fragment berasal dari limbah padat seperti tenda dan bendera.

Antunes et al. (2013) juga menyatakan bahwa sumber fragment dapat berasal dari dekomposisi sampah plastik, peralatan pertanian, kemasan plastik, anyaman plastik, dan kantong plastik. Terlihat pada **Gambar 4.6 (c)** merupakan salah satu contoh mikroplastik berjenis *fragmen* pada air lindi TPA Piyungan, dengan luas 1.704,68 µm².

Jenis mikroplastik selanjutnya yang terdeteksi pada penelitian kali ini yaitu *fiber*. *Fiber* memiliki warna yang bervariasi tergantung pada sumber penggunaannya. *Fiber* memiliki bentuk yang menyerupai tali atau serabut dengan panjang yang beragam. Pada TPA Piyungan, fiber dapat berasal dari limbah tekstil, seperti pakaian sintetis yang terbuat dari bahan polyester atau nilon. Dikarenakan degradasi fisika maupun kimia seperti oksidasi jangka panjang pada lingkungan, jenis mikroplastik ini memiliki permukaan yang kasar dan retak (Ling et al., 2019). Terlihat pada **Gambar 4.6 (b)** merupakan salah satu contoh mikroplastik berjenis *fiber* pada air lindi TPA Piyungan, dengan panjang 2.541,87 µm.

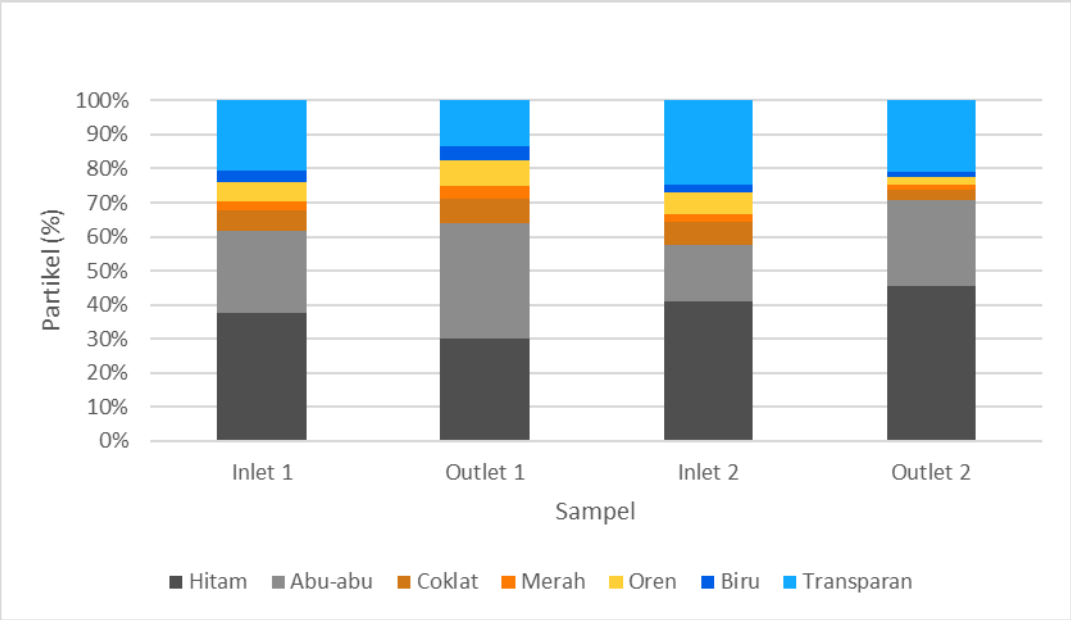
Pellet dan *foam* merupakan jenis mikroplastik yang paling sedikit ditemukan pada penelitian ini. Mikroplastik berjanis *pellet* merupakan mikroplastik primer atau yang sengaja dibuat sebagai bahan dasar produk plastik. *Pellet* memiliki bentuk silinder dengan ukuran yang sangat kecil (makroskopis) (Ambarsari dan Anggiani, 2022). *Pellet* ini bersumber dari limbah sektor industry plastik, pembuatan bahan plastik, dan barang-barang konsumen dengan bahan dasar plastik berbentuk *pellet*. Fiore et al., (2022) menyatakan bahwa mikroplastik berjenis *foam*, merupakan jenis mikroplastik sekunder terbentuk dari bahan seperti *styrofoam*, dengan tekstur yang lembut. Jenis *foam* dapat bersumber dari limbah rumah tangga dan kemasan *styrofoam*. Pada penelitian ini ditemukan *pellet* dan *foam* seperti pada **Gambar 4.6 (a)(e)**. Pada gambar tersebut, mikroplastik *pellet* memiliki ukuran luas 515,29 µm². Sedangkan mikroplastik *foam* memiliki ukuran luas 4204,16 µm².

4.2.3 Identifikasi Warna Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan

Berikut pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.7** merupakan hasil identifikasi warna mikroplastik pada air lindi TPA Piyungan pada tiap titik sampling, yaitu :

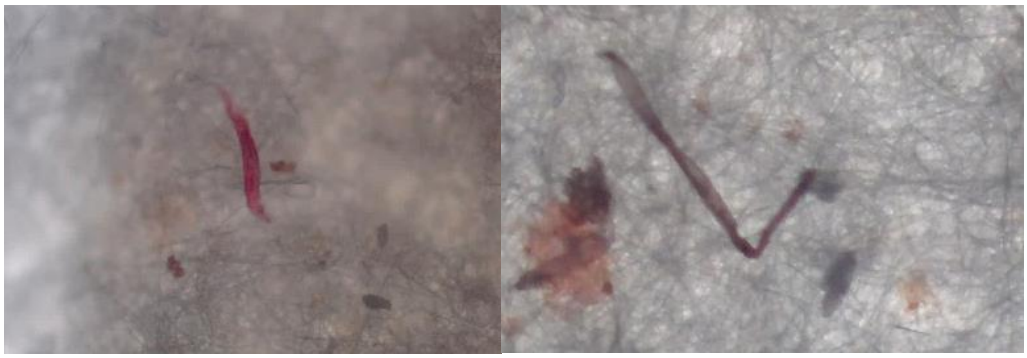
Tabel 4. 6 Hasil identifikasi warna mikroplastik

Warna	Inlet 1		Outlet 1		Inlet 2		Outlet 2	
	Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%	Jumlah	%
Hitam	104	37%	36	31%	89	41%	156	45%
Abu-abu	68	24%	39	33%	35	16%	86	25%
Coklat	17	6%	9	8%	15	7%	11	3%
Merah	7	3%	4	3%	5	2%	6	2%
Oren	16	6%	9	8%	14	6%	7	2%
Biru	9	3%	5	4%	5	2%	5	1%
Transparan	58	21%	16	14%	53	25%	72	21%

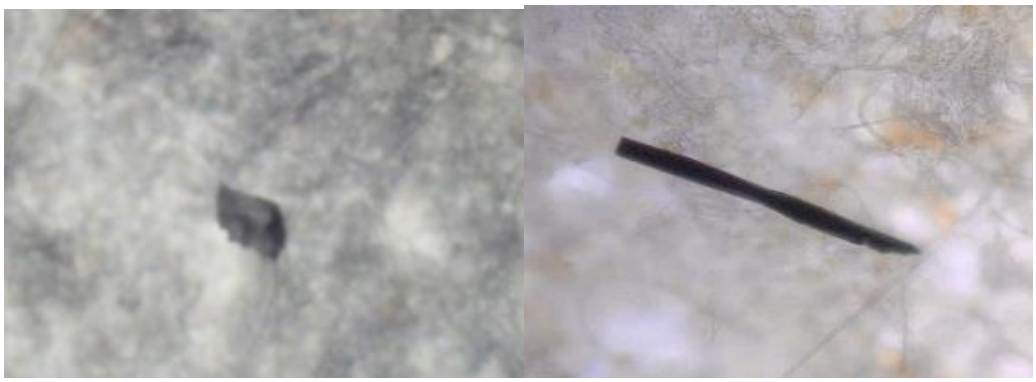


Gambar 4. 7 Hasil identifikasi warna mikroplastik

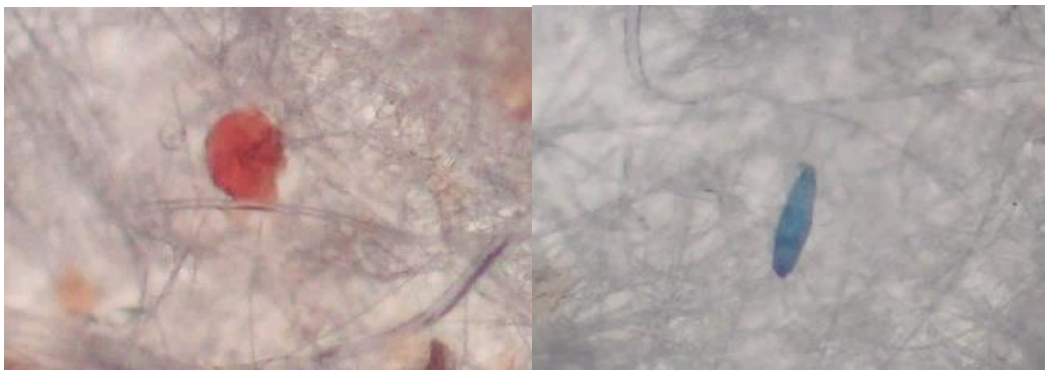
Berikut pada **Gambar 4.8** merupakan contoh gambar masing-masing warna mikroplastik pada TPA Piyungan:



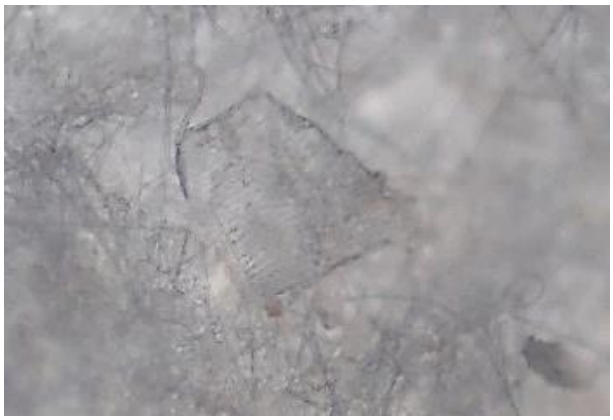
(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)



(g)

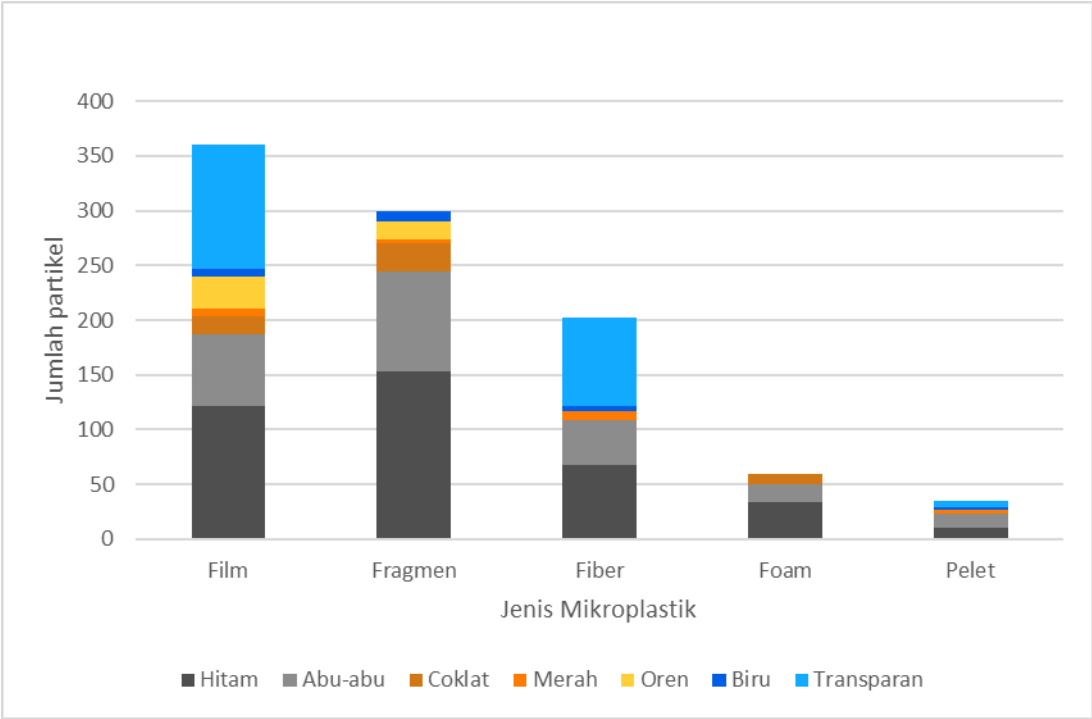
Gambar 4. 8 Contoh masing-masing warna mikroplastik (a) merah, (b) coklat, (c) abu-abu, (d) hitam, (e) oren, (f) biru, (g) transparan

Berdasarkan hasil observasi secara visual dengan menggunakan mikroskop, ditemukan beberapa warna mikroplastik. Mikroplastik yang ditemukan memiliki warna-warna seperti: hitam, abu-abu, biru, oren, merah, coklat, dan transparan. Dapat dilihat pada **Gambar 4.7** sampel inlet 1 didominasi mikroplastik warna hitam dengan persentase 37% atau sebanyak 104 partikel/0,1L. Warna mikroplastik yang paling sering ditemukan kedua yaitu abu-abu dengan persentase 24% atau sebanyak 68 partikel/0,1L. Untuk warna mikroplastik lain seperti transparan, oren, coklat, biru, dan merah ditemukan masing-masing sebesar 21%, 6%, 6%, 3%, dan 3% atau sebanyak 58, 16, 17, 9, dan 7 partikel/0,1L sampel. Sementara itu, pada sampel outlet 1 didominasi mikroplastik warna abu-abu dengan persentase 34% atau sebanyak 40 partikel/0,1L. Hitam adalah warna mikroplastik yang paling sering ditemukan kedua, dengan persentase 30% atau sebanyak 36 partikel per 0,1L. Untuk warna mikroplastik lain seperti transparan, coklat, oren, biru, dan merah ditemukan masing-masing sebesar 13%, 7%, 7%, 4%, dan 4% atau sebanyak 16, 9, 9, 5, dan 4 partikel/0,1L sampel.

Sampel selanjutnya yaitu sampel inlet 2 didominasi mikroplastik warna hitam dengan persentase 41% atau sebanyak 89 partikel/0,1L. Transparan

merupakan warna mikroplastik yang paling sering ditemukan kedua dengan persentase 25% atau sebanyak 53 partikel/0,1L. Untuk warna mikroplastik lain seperti abu-abu, coklat, oren, biru, dan merah ditemukan masing-masing sebesar 16%, 7%, 6%, 2%, dan 2% atau sebanyak 35, 35, 15, 5, dan 5 partikel/0,1L sampel. Sampel terakhir yaitu sampel outlet 2 didominasi mikroplastik warna hitam dengan persentase 46% atau sebanyak 156 partikel/0,1L. Warna mikroplastik yang paling sering ditemukan kedua yaitu abu-abu dengan persentase 25% atau sebanyak 86 partikel/0,1L. Untuk warna mikroplastik lain seperti transparan, coklat, oren, biru, dan merah ditemukan masing-masing sebesar 21%, 7%, 3%, 2%, dan 1% atau sebanyak 72, 11, 7, 5, dan 5 partikel/0,1L sampel.

Hasil dari perhitungan mikroplastik berdasarkan warna pada penelitian ini didapatkan hitam sebagai warna terbanyak dan abu-abu merupakan warna terbanyak kedua. Menurut Hiwari et al. (2019), mikroplastik berwarna gelap seperti hitam dan abu-abu memiliki kapasitas baik untuk menyerap ion logam, zat organik, dan polutan. Pigmen warna mikroplastik juga dapat dipengaruhi oleh penyerapan logam berat ini. Warna lain yang cukup banyak ditemukan yaitu transparan. Proses degradasi mikroplastik yang telah berlangsung lama akibat paparan sinar ultraviolet (UV) dapat dilihat pada mikroplastik yang berwarna transparan. Perubahan warna mikroplastik setelah terdegradasi akan dipengaruhi oleh keberadaan logam berat dalam plastik (Massos & Turner, 2019). Warna mikroplastik bergantung pada warna plastik asal. Selain itu juga warna mikroplastik juga dapat bergantung pada masa pakai plastik. Berikut pada **Gambar 4.9** merupakan grafik kombinasi antara warna tiap jenis mikroplastik pada seluruh sampel:



Gambar 4. 9 Kombinasi warna tiap jenis mikroplastik

Salah satu contoh warna transparan pada mikroplastik fiber merupakan fragmentasi dari tali pancing atau jaring, sementara mikroplastik berwarna mencolok kemungkinan berasal dari pecahan plastik yang umum digunakan, seperti tekstil, plastik kemasan, dan lain-lain (Wang Z. et al., 2020). Warna mikroplastik sewaktu-waktu juga dapat berubah tergantung proses yang terjadi disekitarnya, seperti pelapukan, paparan sinar UV, dan lain-lain. Warna mikroplastik juga dapat memperlihatkan seberapa lama plastik tinggal di TPA. Menurut Sun J. et al., 2021, kelimpahan warna transparan dan kekuningan yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar partikel telah lama berada dalam sistem TPA. Selain itu, warna mikroplastik juga dapat memberikan informasi mengenai kandungan didalam mikroplastik. Warna kekuningan mengindikasikan adanya jumlah bahan organik yang tinggi di dalam sampel mikroplastik (Kilponen J., 2016).

4.2.4 Identifikasi Polimer Mikroplastik pada Air Lindi TPA Piyungan

Analisis polimer dilakukan dengan menggunakan FT-IR. Nilai puncak gelombang pada sampel inlet 1 diperoleh berdasarkan hasil uji FT-IR yaitu: 3394.72 cm^{-3}, 1635.64 cm^{-3}, dan 987.55 cm^{-3} sehingga dari puncak tersebut didapatkan polimer yaitu: *Polystyrene* (PS) dan *Poly* (*methyl methacrylate*) (PMMA *or acrylic*). Selanjutnya pada sampel outlet 1 diperoleh puncak gelombang yaitu: 3398.57 cm^{-3}, 1635.64 cm^{-3}, 1396.46 cm^{-3}, dan 987.55 cm^{-3}, sehingga dari puncak tersebut didapatkan polimer yaitu: *Polypropylene* (PP) dan *Poly* (*methyl methacrylate*) (PMMA *or acrylic*). Pada sampel inlet 2 diperoleh puncak gelombang yaitu: 3394.72 cm^{-3}, 1635.64 cm^{-3}, dan 987.55 cm^{-3}, sehingga dari puncak tersebut didapatkan polimer yaitu: *Polystyrene* (PS) dan *Poly* (*methyl methacrylate*) (PMMA *or acrylic*). Dan pada sampel terakhir yaiitu sampel outlet 2 diperoleh puncak gelombang yaitu: 3394.72 cm^{-3}, 1639.49 cm^{-3}, 1419.61 cm^{-3},1338.6 cm^{-3},dan 975.98 cm^{-3}, sehingga dari puncak gelombang tersebut didapatkan polimer yaitu: *Polyvinyl chloride* (PVC), dan *Nylon (all polyamides)*.

Adanya ikatan menunjukkan bahwa polimer Poly (methyl methacrylate) (PMMA) teridentifikasi, ikatan tersebut antara lain: CH_3 *bending*, CH_3 *rocking*, C-H *bending*. Polimer ini ditemukan pada tiga sampel yaitu: sampel inlet 1, outlet 1, dan inlet 2. Pecahan plastik akrilik dapat menjadi sumber dari mikroplastik dengan polimer PMMA (Ebewele, 2000). Polimer *Polystyrene* (PS) ditunjukkan dengan adanya ikatan aromatic ring stretching, ditemukan pada sampel inlet 1 dan inlet 2. Polystyrene (PS), salah satu jenis polimer yang umum digunakan untuk wadah gelas plastik, memiliki potensi untuk melepaskan styrene (Kilponen, 2016). Styrene dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf dan otak, serta mempengaruhi genetik, paru-paru, hati, dan kekebalan tubuh jika terkena suhu panas (Warlina, 2019). Selain itu, jenis polimer ini juga dapat menjadi rapuh jika terkena sinar UV secara langsung selama lebih dari 350 jam (Fitriya, 2018).

Deteksi polimer *Polypropylene* (PP) ditunjukkan dari beberapa ikatan seperti: CH_2 bending, CH_3 bending, dan CH_3 rocking. Polimer mikroplastik ini ditemukan pada sampel outlet 1. Menurut Rahmawati, (2023) polimer *Polypropylene* (PP) digunakan sebagai bahan kimia untuk kemasan plastik

makanan. Menurut Amalia et al., (2014), *Polypropylene* (PP) merupakan bahan yang memiliki titik leleh yang tinggi, tahan korosi, mudah diproses, biaya proses murah, dapat didaur ulang, serta mudah diperoleh di pasaran dan banyak digunakan sebagai perabotan rumah tangga, adalah karakteristik dari bahan tersebut. Pada sampel outlet 2 ditemukan jenis polimer Polyvinyl chloride (PVC), yang ditunjukkan oleh ikatan CH_2 bending dan CH bending. Polimer PVC memiliki kandungan klorin yang membuatnya tidak mudah terbakar dan biasanya diproduksi untuk penggunaan industri serta konsumsi, seperti kabel, pakaian, jok mobil, pipa paralon, dan lain-lain (Kilponen, 2016). Polimer Polyvinyl Chloride (PVC) mengandung DEHA, yang dapat bereaksi dengan makanan yang dikemas jika bersentuhan langsung dengan plastik berbahan PVC. Kontak ini dapat membahayakan ginjal, hati, serta menyebabkan penurunan berat badan (Karuniastuti, 2013). Polimer terakhir yang ditemukan yaitu *Nylon* (*all polyamides*) pada sampel outlet 2. Polimer ini ditunjukkan dengan ikatan C=O stretching dan CH2 bending. Polimer Nylon biasa digunakan dalam membuat pakaian, tali, dan kain industri, selain itu juga biasa digunakan untuk produk sikat gigi, alat olah raga, dan lain-lain. Temuan mikroplastik dengan polimer *nylon* ini didukung dengan banyaknya jenis mikroplastik *fiber* pada sampel tersebut.

4.3 Identifikasi Logam Berat pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan

Sampel dianalisis pada Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dimulai dengan menimbang sampel kertas whatman kosong dan dilanjut dengan menimbang sampel mikroplastik pada kertas whatman kering. Fungsi dari penimbangan ini adalah untuk mengetahui berat mikroplastik yang ditemukan di sampel lindi. Selanjutnya dilakukan destruksi sampel mikroplastik pada kertas whatman dengan cara menambahkan aquades sebanyak 50 ml dan larutan HNO_3 sebanyak 5 ml lalu dipanaskan dengan hotplate pada suhu 180°-200°C hingga sampel kertas whatman melebur dan larutan berkurang ±30 ml . Hal ini dilakukan agar kandungan logam berat pada mikroplastik benar-benar terikat dengan larutan HNO_3. Setelah suhu ruang, sampel disaring agar larutan sampel bersih dari leburan kertas whatman. Sampel yang tersaring tadi kemudian

dikembalikan ke volume awal dengan penambahan aquades hingga mencapai tanda tera pada labu ukur berukuran 50 ml. Kemudian sampel dipindahkan ke gelas vial untuk selanjutnya dilakukan analisis logam berat dengan menggunakan AAS.

4.3.1 Konsentrasi Logam Berat pada Mikroplastik Air Lindi TPA Piyungan

Berikut pada **Tabel 4.7** merupakan hasil perhitungan kandungan logam berat (Cu dan Cd) pada mikroplastik air lindi TPA Piyungan, yaitu:

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan kandungan logam berat pada mikroplastik

No	Sampel	Kandungan Cu (mg/g)	Kandungan Cd (mg/g)
1	Inlet 1	0.0047	0.0046
2	Outlet 1	0.0024	0.0016
3	Inlet 2	0.0025	0.0023
4	Outlet 2	0.0117	0.0092

Hasil menunjukkan bahwa sampel mikroplastik memiliki kandungan logam berat dan mikroplastik dapat menjadi vektor logam berat Cuprum (Cu) dan Cadmium (Cd). Kandungan logam berat dihitung dengan satuan berat logam (miligram) per berat mikroplastik (gram). Hasil analisis AAS pada sampel Inlet 1 menunjukkan kandungan Cu sebesar 0.0047 mg/g dan kandungan Cd sebesar 0.0046 mg/g. Pada sampel outlet 1, hasil analisis AAS menunjukkan kandungan Cu sebesar 0.0024 mg/g dan kandungan Cd sebesar 0.0016 mg/g. Untuk sampel Inlet 2, kandungan Cu yang didapatkan adalah 0.0025 mg/g dan kandungan Cd adalah 0.0023 mg/g. Sedangkan pada sampel outlet 2, hasil analisis AAS menunjukkan kandungan Cu sebesar 0.117 mg/g dan kandungan Cd sebesar 0.0092 mg/g.

Hasil penelitian didukung oleh penelitian sebelumnya pada perairan hongkong, didapatkan hasil kandungan logam berat Cu pada mikroplastik memiliki hasil berkisar antara 0,43 – 8,53 mg/kg atau 0,00043 – 0,00853 mg/g (Li et al., 2020). Pada outlet 2 memiliki kandungan Cu dan Cd jauh lebih tinggi dibanding dengan sampel lain dikarenakan air lindi pada outlet 2 mengalir sangat

kecil bahkan bisa dikatakan tidak mengalir berdasarkan pengamatan pada saat pengambilan sampel, sehingga kandungan logam akan terakumulasi pada bak outlet 2. Penelitian Rasud A., (2021) mendukung pernyataan tersebut, bahwa kandungan logam berat yang terdapat di mikroplastik air perairan Ancol lebih tinggi akibat bentuk perairan ancol yang semi tertutup, sehingga aliran air tidak terjadi secara deras.

Semakin lama mikroplastik terpapar logam berat, maka mikroplastik akan semakin banyak memiliki kandungan logam berat di dalamnya. Menurut Gao et al., (2019) menyatakan bahwa kandungan logam akan semakin banyak seiring dengan lamanya waktu partikel mikroplastik yang terpaparkan. Akumulasi logam berat pada mikroplastik terjadi karena adanya biofilm pada permukaan mikroplastik (Rochman et al., 2014). Kandungan logam berat pada mikroplastik memiliki jumlah yang berbeda-beda pada setiap sampel. Hal ini dikarenakan akumulasi logam berat pada mikroplastik dipengaruhi oleh reaksi yang terdapat pada permukaan partikel mikroplastik (Turner dan Holmes, 2012). Warna dan jenis mikroplastik juga dapat berpengaruh terhadap adsorpsi logam berat terhadap mikroplastik di air lindi. Mikroplastik berwarna gelap, seperti hitam dan abu-abu, memiliki kemampuan baik dalam menyerap ion logam, zat organik, dan polutan (Hiwari et al., 2019). Selain itu, Ling et al. (2019) menyebutkan bahwa mikroplastik jenis fragmen memiliki struktur yang mirip dengan potongan plastik yang lebih besar dan banyak pori-pori, sehingga memungkinkan fragmen tersebut untuk membawa ion logam.

Pada outlet 1 memiliki kandungan logam berat paling kecil dikarenakan sampel air lindi tersebut memiliki pH yang paling kecil dibandingkan dengan sampel lain. Sampel outlet 2 tersebut memiliki pH 6 sedangkan pada sampel lain memiliki pH 8. Penelitian yang dilakukan Turner dan Holmes, (2012) mendukung hal ini yang menyatakan bahwa peningkatan pH mempengaruhi laju penyerapan logam berat pada mikroplastik. Hal ini dikarenakan pH berpengaruh terhadap interaksi daya tarik menarik ion antara logam berat dengan mikroplastik pada air lindi. Semakin rendah pH air lindi, semakin lemah daya tarik menarik ion antara logam berat dengan mikroplastik di air lindi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penulis dapat menyimpulkan bahwa, berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelimpahan mikroplastik tertinggi terdapat pada sampel outlet 2, dengan jumlah 3.340 partikel/L. Pada analisis mikroplastik berdasarkan jenis, didapatkan variasi jenis dari yang terbanyak yaitu: film, fragmen, fiber, foam, dan pelet, dengan variasi warna dari yang tebanyak yaitu: hitam, abu-abu, transparan, oren, coklat, biru, dan merah. Serta pada analisis polimer mikroplastik dengan FT-IR didapatkan beberapa polimer yaitu: *Poly (methyl methacrylate)* (PMMA), *Polypropylene* (PP), *Polyvinyl chloride* (PVC), *Polystyrene* (PS), *dan Nylon (all polyamides),*
2. Pada penelitian konsentrasi logam berat pada mikroplastik air lindi TPA Piyungan, sampel Outlet 2 menunjukkan konsentrasi tertinggi untuk Cu dan Cd, yaitu sebesar 0,0117 mg/g dan 0,0092 mg/g. Rata-rata konsentrasi Cu adalah 0,0053 mg/g, sementara rata-rata konsentrasi Cd adalah 0,0044 mg/g.

5.2 Saran

1. Identifikasi mikroplastik pada IPL 2 TPA Piyungan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut setelah proses pengolahan pada IPL tersebut diresmikan dan berjalan sesuai prosedur,
2. Perlu dilakukan penelitian polimer dengan menggunakan makroplastik agar pembacaan pada FT-IR lebih akurat,
3. Melakukan penelitian lebih lanjut terkait tingkat toksisitas mikroplastik yang memiliki kandungan logam berat tinggi, serta dampaknya bagi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Gasperi, J., Dris, R., Mirande-Bret, C., Mandin, C., Langlois , V., & Tassin, B. (2015). First overview of microplastics in indoor and outdoor air.

Liebmann, B., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Reiberger, T., & Schwabl, P. (2018). Assessment Of Microplastic Concentrations In Human Stool Final Results Of A Prospective Study. *In Microplastics. Ascona, Swiss*.

Alam, F. C., Sembiring, E., Muntalif, B. S., & Suendo, V. (2019). Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area (case study: Ciwalengke River, Majalaya district, Indonesia). *Chemosphere, 224: 637-645.*

Alvarez Zeferino, J., Cruz Salas, Arely, Vazquez, A., & Ojeda-Benitez, S. (2020). Method For Quantifying and Characterization of Microplastics in Sand Beaches. *Revista Internacional de Conraminacion Ambiental*.

Ambarsari, D., & Anggiani, M. (2022). Kajian kelimpahan mikroplastik pada sedimen di Perairan Laut Indonesia. *Jurnal Oseana, 47(1): 20-28.*

Andrady, A., & Neal, M. (2009). Applications and Societal benefits of Plastics. *Phil.Trans R.Soc.B, 364, 1977 -1984.*

Apriliani. (2010). Pemanfaatan Arang dari Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah. . *Skripsi. Jakarta : Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.*

Ashar, Y., Naria, E., & Dharma, S. (2014). ANALISIS KANDUNGAN KADMIUM (Cd) DALAM UDANG WINDU (Penaeus monodon) YANG BERADA DI TAMBAK SEKITAR TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH KELURAHAN TERJUN KOTA MEDAN TAHUN 2014. *Universitas Sumatera Selatan*.

Chang, C. (2010). The immune effects of naturally occuring and synthetic nanoparticles. *Journal of Autoimmunity 34(3), J234-J246.*

Darmono. (1995). Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. *UI Press, Jakarta.*

Dewi, M. A. (2018). Dampak Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) di Piyungan Terhadap Sustainable Development. *Yogyakarta: Government Affairs and Administration Universitas Muhammadiyah Yogyakarta* .

Ebewele, R. (2000). Polymer science and technology. *CRC Press, Boca Raton.*

Fitriya, N. (2018). Sintesis Carbon Nanodots (C-Dots) Berbahan Dasar Styrofoam. *Bachelor thesis. Semarang: Unessa.* .

Guo, J., Huang, X., Xiang, L., Wang, Y., Li, Y., Li, H., . . . Wong, M. (2020). Source, migration and toxicology of microplastics in soil. . *Environment International, 137, 1-13.*

Hiwari, H., Purba, N., Ihsan , Y., Yuliadi, L., & Mulyani, P. (2019). Kondisi sampah mikroplastik di permukaan air laut sekitar Kupang dan Rote , Provinsi Nusa Tenggara Timur . *Condition of microplastic garbage in sea surface water at around Kupang and Rote , East Nusa Tenggara Province. 5, 165–171.*

Ismi, H., Amalia, A., Sari, N., Gesriantuti, N., & Badrun, Y. (2019). Dampak Mikroplastik terhadap Makrozoobentos; Suatu Ancaman Bagi Biota di Sungai Siak, Pekanbaru. . *Prosiding Sains TeKes Semnas MIPAKes UMRi. Riau, Indonesia. Agustus 2019. Riau: Universitas Muhammadiyah Riau. Hlm: 92-104.*

Jung, M., Horgen, F., Orski, S., Rodriguez, V., & Beers, K. (2018). Validation of ATR FT-IR to Identify Polymers of Plastic Marine Debris, Including Those Ingested by Marine Organisms. *Marine Pollution Bulletin, Vol. 127: 704-716.*

Kabir, M. S., Wang, H., Luster-Teasley, S., Zhang, L., & Zhao, R. (2023). Microplastics in landfill leachate: Sources, detection, occurrence, and removal. *ELSIEVER Environmental Science and Ecotechnology*.

Karuniastuti, N. (2013). Bahaya plastik terhadap kesehatan dan lingkungan. *Forum Teknologi, 3(1): 6-14.* .

Kasam. (2011). Analisis Resiko Lingkungan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Piyungan Bantul). *Yogyakarta: Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan.* .

Kementrian Perindustrian dan Perdagangan. (2013). Diambil kembali dari Konsumsi plastik 1,9 juta ton: http://www.kemenperin.go.id/artikel/6262/Semester-I,KonsumsiPlastik-1,9-Juta-Ton.

Kilponen, J. (2016). Microplastics and Harmful Substances in Urban Runoffs and Landfill Leachates. *Finlandia: Lathi University of Applied Sciences*.

Kristianingrum, S. (2012). Kajian Berbagai Proses Destruksi Sampel dan Efeknya. . *Seminar Nasional Penelitian. Pendidikan dan Penerapan MIPA, 2(3): 195–202* .

Li, W., Lo, H., Wong, H., Zhou, M., Wong, C., Tam, N., & Cheung, S. (2020). Heavy metals contamination of sedimentary microplastics in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin, 153, 110977*.

Ling, D., Mao, R., Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., & Yang, C. (2019). Microplastics In Surface Waters And Sediments Of The Wei River, In The Northwest Of China. *Science of the Total Enviroment 667 : 427 – 434*.

Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza, J. (2017). Microplastics in Fisheries and 81 Agriculture. *Roma: Food and Agriclture Organization of The United Nations*.

Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture. . *Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations. ISBN: 978-92-5-109882-0*.

Massos, A., & Turner, A. (2017). Cadmium , lead and bromine in beached microplastics. *Environmental Pollution, 227, 139–145.* .

Mintenig, S. M., Löder,, M. J., Primpke, S., & Gerdts, G. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of The Total Environment, 648, 631-635.* .

Nurhasanah, Cordova, M., & Riani, E. (2021). Micro- and Mesoplastics Release From The Indonesian Municipal Solid Waste Landfill Leachate to The Aquatic Environment: Case Study in Galuga Landfill Area, Indonesia. . *Marine Pollution Buletin*, 163 (111986).

Oz, N., Kadizade, G., & Yurtsever, M. (2019). Investigation of Heavy Metal Adsorption on Microplastics,. *Engineering Faculty, Sakarya University. Turkey,*.

Peraturan Gubernur DIY No. 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi DIY. (t.thn.).

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. (t.thn.).

Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution, 234, 115-126*.

Qian Liu, e. a. (2022). Adsorption mechanism of trace heavy metals on microplastics and simulating their effect on microalgae in river. *Dongguan: Environmental Research. .*

Rahmawati, A. (2023). Mikroplastik : Wujudnya Tak Nampak Dan Dampaknya Tak Terduga. *Kemenkes*.

Rasud, A. A. (2021). Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Mikropalstik di Air, Sedimen, dan Ikan Kembung Rastrelliger kanagurta (Cuvier, 1817) di Perairan Ancol dan Muara Baru, Teluk Jakarta. *Skripsi FMIPA UI*.

Rochman, C., Hentschel, B., & The, S. (2014). Long-term sorption of metal is similar among plastic types: implication for plastic debris in aquatic environments. *Plos One 9*.

Rowe, & Booker. (1997). Clayey barrier system forwastedisposalfacilities. *E&FNSpon. p.I-45*.

Sahwan, F. L. (2011). Sistem Pengelolaan Limbah Plastik di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan,* 6 (1).

Said, N. I., & Hartaja, D. K. (2015). PENGOLAHAN AIR LINDI DENGAN PROSES BIOFILTER ANAEROB-AEROB DAN DENITRIFIKASI. *JAI Vol 8. No. 1. 2015*.

Sari, R. N., & Afdal. (2017). *Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang.* Jurnal Fisika Universitas Andalas, 6 (1), 93-99.

Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research, 129, 154-162*.

Sugandi, D., Agustiawan, D., Shafira, F. V., Yudi, Y., & Wahyuni, N. (2021). Identifikasi Jenis Mikroplastik dan Logam Berat di Air Sungai Kapuas Kota Pontianak . *POSITRON Vol. 11, No. 2 (2021), Hal. 112 - 120* .

Sun, J., Zhu, Z., Li, W., Yan, X., Wang, L., Zhang, L., . . . Ni, B. (2021). Revisiting microplastics in landfill leachate: unnoticed tiny microplastics and their fate in treatment works,. *Water Res. 190, 116784.*

Supit, A., Tompodung, L., & Kumaat, S. (2022). Microplastic as an Emerging Contaminant and its Toxic Effects on Health. *Jurnal Kesehatan Volume 13, Nomor 1, Tahun 2022*.

Swarnkumar, R., & Osborne , W. (2020). Heavy metal determination and aquatic toxicity evaluation of textile dyes and effluents using Artemia salina. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, .*

Tchobanoglous, V. T. (1993). Integrated Solid Waste Management. *McGraw-Hill: Inc. 1993*.

Turner , A., & Holmes, L. (2015). Environ. Cherm. 12, 600-610. *Adsorption of trace metals by microplastic pellets in fresh water*.

Utami, I., & Agustina. (2022). Deteksi Pencemaran Mikroplastik pada Air Lindi di TPA Piyungan Yogyakarta Indonesia. *Florea: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya, 9*.

Waddell, M., Grassineau, N., Brakeley, J., & Clemitshaw, K. (2020). Microplastics in a UK Landfill: Developing Methods and Assessing Concentrations in Leachate, Hydrogeology, and Release to the Environtment. *EGU General Assembly 2020, Online*.

Wang, Z., Lin, T., & Chen, W. (2020). Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP), Sci. *Total Environ. 700, 134520*.

Warlina, L. (2019). Pengelolaan Sampah Plastik untuk Mitigasi Bencana Lingkungan. . *Dalam Seminar Nasional FST Universitas Terbuka. Yogyakarta: Universitas Terbuka.*

WHO. (2019). *Microplastics in drinking water*. Switzerland: L'IV Com Sarl.

Widianarko, B., & Hantoro, I. (2018). Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa, Semarang. *Universitas Katolik Soegijapranata*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh perhitungan kelimpahan mikroplastik

$$Kelimpahan\ Mikroplastik\ \left(\frac{partikel}{l}\right)$$
$$= \frac{Jumlah\ partikel\ MPs\ (n)}{Volume\ air\ tersaring\ (l)}$$
$$= \frac{343\ (n)}{0.1\ (l)}$$
$$= 3430\ partikel/liter$$

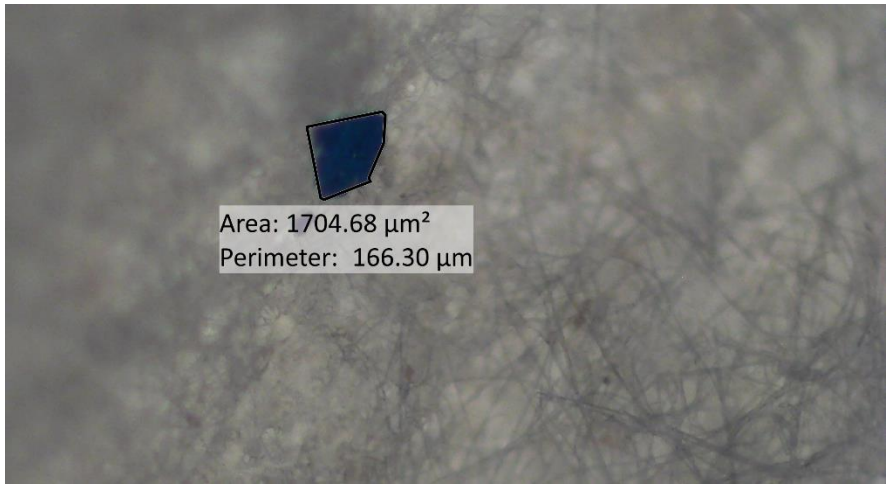
Lampiran 2 Contoh perhitungan persentase warna dan jenis mikroplastik

$$Persentase\ (\%)\ warna\ dan\ jenis\ mikroplastik$$
$$= \left(\frac{jumlah\ partikel\ jenis\ atau\ warna\ (partikel)}{total\ keseluruhan\ partikel\ jenis\ atau\ warna\ (partikel)}\right) x\ 100$$
$$= \left(\frac{102\ (partikel)}{279\ (partikel)}\right) x\ 100$$
$$= 37\%$$

Lampiran 3 Contoh perhitungan kandungan logam berat Cu dan Cd pada mikroplastik

$$Kandungan\ Cu\ atau\ Cd\ pada\ Mps\ \left(\frac{mg}{g}\right)$$
$$= \frac{Konsentrasi\ Cu\ atau\ Cd\left(\frac{mg}{l}\right)\ x\ V\ sampel\ pada\ AAS\ (l)}{Berat\ Mps\ (g)}$$
$$= \frac{0{,}0281\left(\frac{mg}{l}\right)\ x\ 0{,}05\ (l)}{0{,}2989\ (g)}$$
$$= 0{,}0047\ mg/g$$

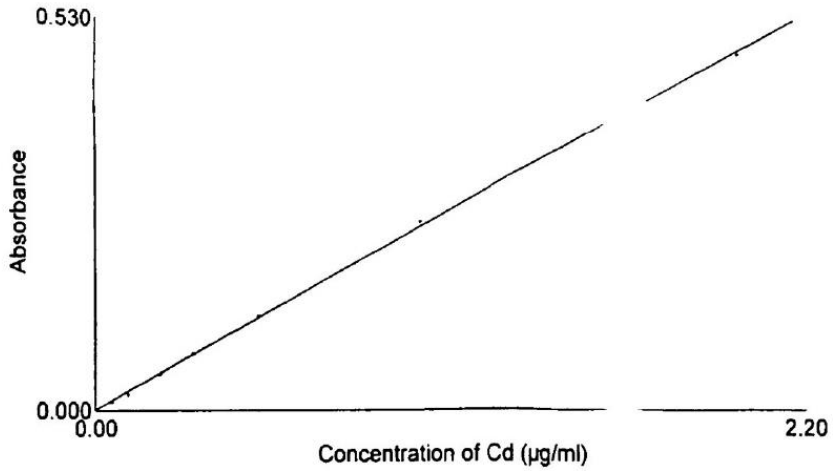
Lampiran 4 Contoh pengukuran mikroplastik dengan software imageraster



Lampiran 5 Pengukuran logam berat Cd pada air lindi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

Results File	D:\GBC AAS\2024\Mahasisv. i\44_cd_2024.res
Analysis	
Filename	C:\Program Files\GBC Avanl i Ver 2.02\Analysis1.anl
Element	Cd,
Date	Mon Aug 12 23:44:03 2002
Full Calibration	
Calibration Mode	Linear Least Squares Max E ror : 0.0310 R^2 : 0.9994 R : 0.9997
	Conc = -0.0001 + 4.1146 * A s

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0100	
Standard 2	0.100	-----	0.0203	
Standard 3	0.200	-----	0.0476	
Standard 4	0.300	-----	0.0749	
Standard 5	0.500	-----	0.1240	
Standard 6	0.800	-----	0.1940	
Standard 7	1.000	-----	0.2506	
Standard 8	2.000	-----	0.4820	



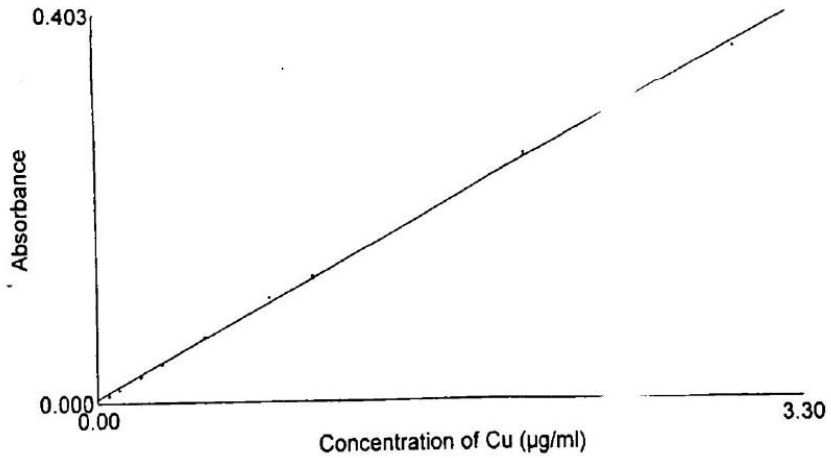
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Sample Blank	----	HIGH	0.0006	0.0 02	0.0007	0.0009
Inlet 1 e	0.054	17.39	0.0132	0.0 05	0.0145	0.0145
Inlet 2 e	0.021	19.80	0.0051	0.0 41	0.0052	0.0061
Outlet 1 e	0.010	HIGH	0.0025	0.0 16	0.0036	0.0023
Outlet 2 e	0.008	HIGH	0.0019	0.0 26	0.0021	0.0012

Lampiran 6 Pengukuran logam berat Cu pada air lindi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

Results File	D:\GBC AAS\2024\Mahasisw i\45_Cu_2024.res
Analysis	
Filename	C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element	Cu,
Date	Mon Aug 12 23:37:08 2002
Full Calibration	
Calibration Mode	Linear Least Squares Max Error : 0.0469 R^2 : 0.9991 R : 0.9995
	Conc = -0.0269 + 8.1317 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	eplicates
Table Blank	-----	-----	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	-----	0.3670	
Standard 8	0.100	-----	0.0130	
Standard 9	0.050	-----	0.0060	

LOD = 0,098



Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	eplicates	
Sample Blank	-----	HIGH	-0.0002	0.0 01	-0.0003 -0.0005
Inlet 1 e	0.041	3.65	0.0084	0.0 86	0.0085 0.0080
Inlet 2 e	0.015	1.30	0.0051	0.0 52	0.0051 0.0051
Outlet 1 e	0.008	11.01	0.0043	0.0 47	0.0044 0.0038
Outlet 2 e	0.003	3.67	0.0037	0.0 37	0.0038 0.0035

Lampiran 7 Pengukuran logam berat Cd pada mikroplastik di air lindi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

Results File D:\GBC AAS\2024\Mahasisv...\56. cd_2024.res

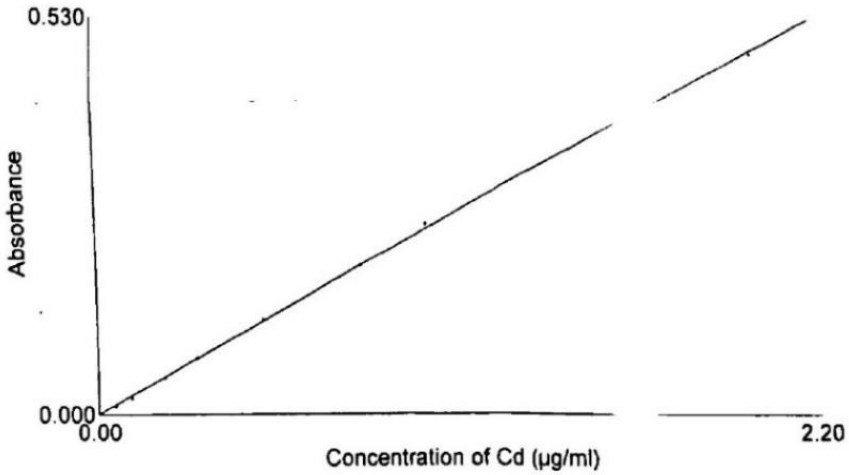
Analysis

Filename C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element Cd,
Date Sun Sep 08 23:02:37 2002

Full Calibration

Calibration Mode Linear Least Squares Max Error : 0.0310 R^2 : 0.9994 R :
Conc = -0.0001 + 4.1146 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	----	-----	0.0000	
Standard 1	0.050	-----	0.0100	
Standard 2	0.100	-----	0.0203	
Standard 3	0.200	-----	0.0476	
Standard 4	0.300	-----	0.0749	
Standard 5	0.500	-----	0.1240	
Standard 6	0.800	-----	0.1940	
Standard 7	1.000	-----	0.2506	
Standard 8	2.000	-----	0.4820	



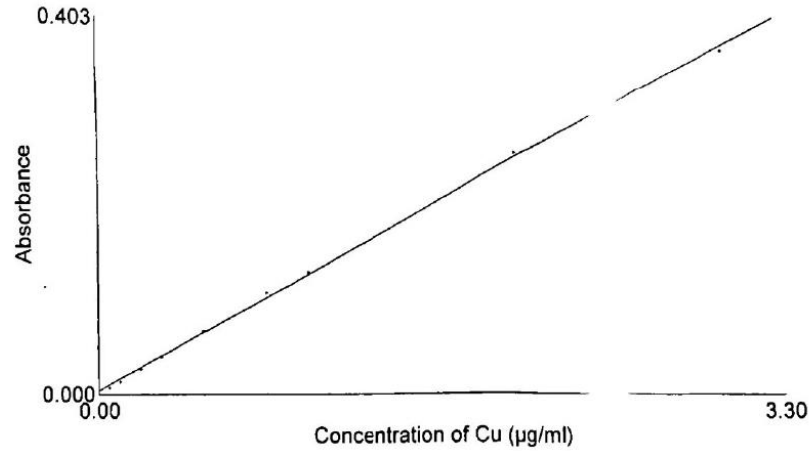
Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates		
Inlet 1 e	0.018	HIGH	0.0044	0.0053	0.0059	0.0032
Inlet 2 e	0.017	HIGH	0.0041	0.0047	0.0068	0.0025
outlet 1 e	0.019	HIGH	0.0047	0.0062	0.0047	0.0079
outlet 2 e	0.026	HIGH	0.0063	0.0022	-0.0009	0.0004
aq	0.002	HIGH	0.0005	0.0052	0.0016	-0.0009
wt	0.004	HIGH	0.0010	0.0028	0.0059	0.0055
	0.019	HIGH	0.0047			

Lampiran 8 Pengukuran logam berat Cu pada mikroplastik di air lindi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

Cu

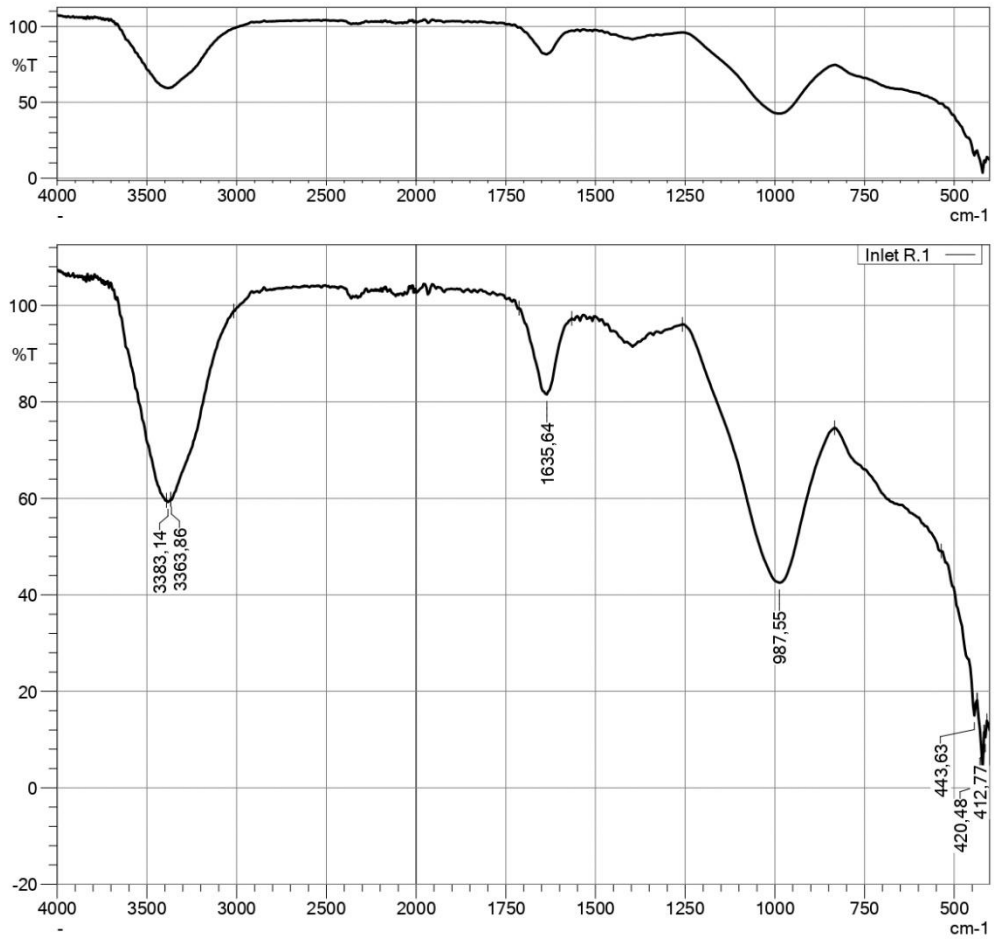
Results File	D:\GBC AAS\2024\Mahasiswa\55_cu_2024.res
Analysis	
Filename	C:\Program Files\GBC Avanta Ver 2.02\Analysis1.anl
Element	Cu,
Date	Sun Sep 08 22:48:40 2002
Full Calibration	
Calibration Mode	Linear Least Squares Max Error : 0.0469 R^2 : 0.9991 R : 0
	Conc = -0.0269 + 8.1317 * Abs

Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates
Table Blank	-----	-----	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	-----	0.3670	
Standard 8	0.100	-----	0.0130	
Standard 9	0.050	-----	0.0060	

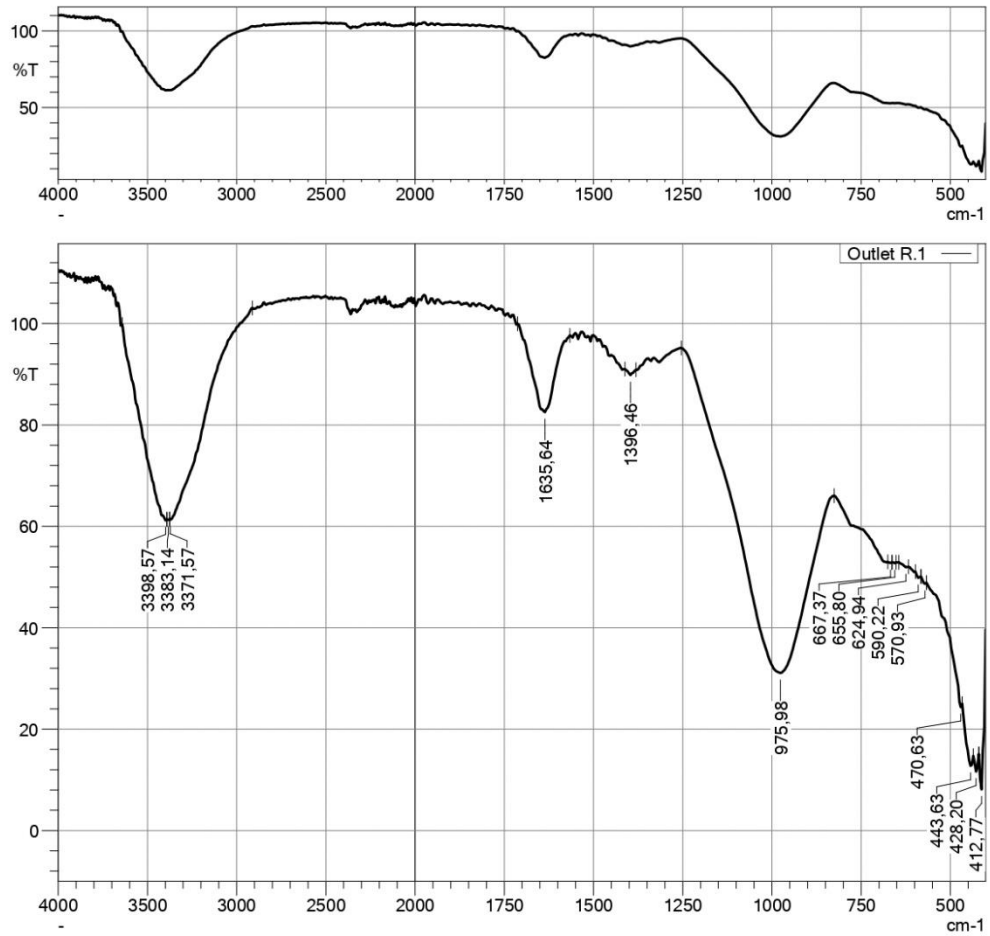


Sample Label	Conc. (µg/ml)	%RSD	Mean Abs.	Replicates			
Inlet 1 e	-0.004	8.12	0.0028	0.0029	0.0025	0.0137	0.0028
Inlet 2 e	-0.006	10.92	0.0025	0.0028	0.0023	0.0025	
outlet 1 e	-0.013	HIGH	0.0017	0.0014	0.0027	0.0009	
outlet 2 e	-0.003	15.07	0.0029	0.0025	0.0029	0.0034	
aq	-0.002	15.98	0.0031	0.0035	0.0033	0.0025	
wt	-0.009	HIGH	0.0022	0.0019	0.0028	0.0020	

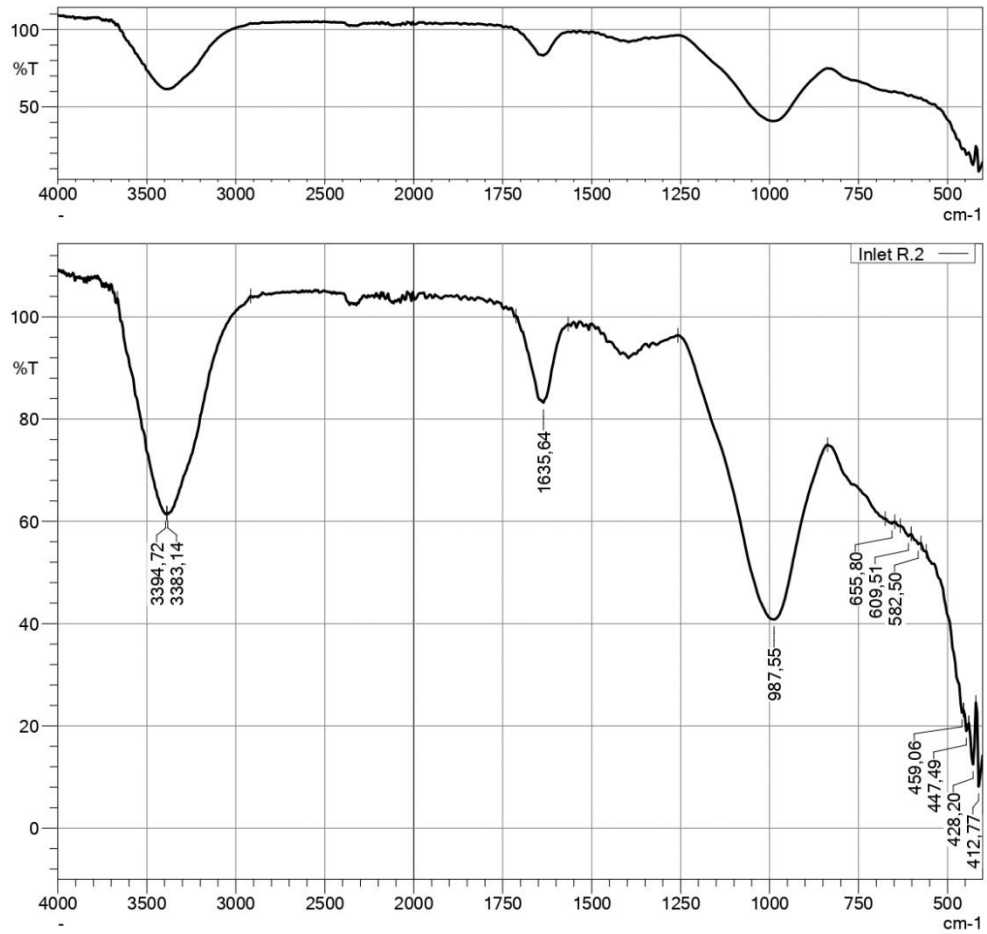
Lampiran 9 Hasil pembacaan polimer mikroplastik sampel inlet 1 dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FT-IR)



Lampiran 10 Hasil pembacaan polimer mikroplastik sampel outlet 1 dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FT-IR)



Lampiran 11 Hasil pembacaan polimer mikroplastik sampel inlet 2 dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FT-IR)



Lampiran 12 Hasil pembacaan polimer mikroplastik sampel outlet 2 dengan menggunakan Fourier Transform Infra Red (FT-IR)

