

TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDI PENYISIHAN MIKROPLASTIK PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR MINUM TEGAL BESAR DI PDAM
TIRTA PANDALUNGAN KABUPATEN JEMBER**

BERLIANA KHANSA SALSABILA
0321184000007

Dosen Pembimbing
Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD
NIP. 1980201712041

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya



TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDI PENYISIHAN MIKROPLASTIK PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR MINUM TEGAL BESAR DI PDAM
TIRTA PANDALUNGAN KABUPATEN JEMBER**

BERLIANA KHANSA SALSABILA
0321184000007

Dosen Pembimbing
Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD
NIP. 1980201712041

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT - RE 184804

**STUDY ON MICROPLASTIC REMOVAL IN TEGAL
BESAR DRINKING WATER TREATMENT PLANT IN
PDAM TIRTA PANDALUNGAN JEMBER DISTRICT**

BERLIANA KHANSA SALSABILA
0321184000007

Advisor
Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD
NIP. 1980201712041

Department of Environmental Engineering
Faculty of Civil Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENYISIHAN MIKROPLASTIK PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM TEGAL BESAR DI PDAM TIRTA PANDALUNGAN KABUPATEN JEMBER

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Berliana Khansa Salsabila**
NRP. 0321184000007

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ervin Nurhayati, ST., MT., PhD

Pembimbing

2. Adhi Yuniarto ST., MT., PhD

Penguji

3. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

Penguji

4. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc

Penguji



APPROVAL SHEET

STUDY ON MICROPLASTIC REMOVAL IN TEGAL BESAR DRINKING WATER TREATMENT PLANT IN PDAM TIRTA PANDALUNGAN JEMBER DISTRICT

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Undergraduate at
Undergraduate Study Program of Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Civil Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **Berliana Khansa Salsabila**
NRP. 0321184000007

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Ervin Nurhayati, ST., MT., PhD

Advisor

2. Adhi Yuniarto ST., MT., PhD

Examiner

3. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

Examiner

4. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc

Examiner



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Berliana Khansa Salsabila / 0321184000007
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing / NIP : Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD / 1980201712041

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Studi Penyisihan Mikroplastik pada Instalasi Pengolahan Air Minum Tegal Besar di PDAM Tirta Pandalungan Kabupaten Jember” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.


Surabaya, 18 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD)
NIP. 1980201712041

Mahasiswa,



(Berliana Khansa Salsabila)
NRP. 0321184000007

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of Student / NRP : Berliana Khansa Salsabila / 0321184000007
Department : Environmental Engineering
Advisor / NIP : Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD / 1980201712041

hereby declare that the Final Project with the title of “Study on Microplastic Removal in Tegal Besar Drinking Water Treatment Plant in PDAM Tirta Pandalungan Jember District” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 18th 2022

Acknowledged
Advisor



(Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD)
NIP. 1980201712041

Student



(Berliana Khansa Salsabila)
NRP. 0321184000007

STUDI PENYISIHAN MIKROPLASTIK PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM TEGAL BESAR DI PDAM TIRTA PANDALUNGAN KABUPATEN JEMBER

Nama Mahasiswa / NRP : Berliana Khansa Salsabila / 0321184000007
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK - ITS
Dosen Pembimbing : Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD

ABSTRAK

IPAM Tegal Besar PDAM Tirta Pandalungan Kabupaten Jember menyediakan kebutuhan air bersih bagi masyarakat Jember. IPAM Tegal Besar mengambil air Sungai Bedadung sebagai air baku. Air Sungai Bedadung mengalami penurunan kualitas akibat pembuangan sampah plastik ke sungai. Plastik yang berukuran besar dapat terdegradasi menjadi mikroplastik. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kelimpahan dan mengidentifikasi karakteristik mikroplastik pada air dan lumpur hasil pengolahan IPAM Tegal Besar serta mengevaluasi penyisihan mikroplastik pada unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi, unit filtrasi, dan unit desinfeksi IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember.

Penelitian ini dilakukan terhadap air dan lumpur dari unit-unit operasi IPAM Tegal Besar yang terdiri atas unit intake, inlet unit flokulasi, outlet unit sedimentasi, outlet unit filtrasi, inlet unit reservoir, saluran lumpur backwash, dan saluran lumpur sedimentasi. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode komposit lokasi dan komposit waktu. Ekstraksi sampel mikroplastik menggunakan hidrogen peroksida dan larutan NaCl. Partikel mikroplastik dipisahkan secara manual, diamati, dan disortasi menggunakan mikroskop digital untuk menganalisis kelimpahan dan karakteristik mikroplastik. Jenis polimer mikroplastik ditentukan dengan FTIR.

Kelimpahan mikroplastik pada air baku IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember sebanyak 10-17 partikel/L dan mengalami penurunan akibat adanya pengolahan pada unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi, unit filtrasi, dan unit desinfeksi menjadi 4-5 partikel/L di air produksi dengan efisiensi penyisihan mikroplastik total sebesar 60-70,6%. Sedangkan pada lumpur backwash ditemukan mikroplastik sebanyak 4-12 partikel/L dan pada lumpur sedimentasi ditemukan mikroplastik sebanyak 5-10 partikel/L. Karakteristik mikroplastik yang diamati berupa bentuk, warna, dan ukuran. Bentuk mikroplastik baik pada air baku, air hasil pengolahan, dan lumpur hasil pengolahan IPAM Tegal Besar didominasi oleh filamen/fiber sebesar 50-86%. Warna mikroplastik yang paling banyak ditemukan adalah warna hitam sebesar 60-86%. Sedangkan ukuran mikroplastik pada air dan lumpur didominasi oleh ukuran 51 μm -100 μm sebesar 23-100%. Jenis mikroplastik yang ditemukan seluruhnya berjenis LDPE atau Low Density Polyethylene.

Kata Kunci : air minum, IPAM, karakteristik, kelimpahan, lumpur, mikroplastik

STUDY ON MICROPLASTIC REMOVAL IN TEGAL BESAR DRINKING WATER TREATMENT PLANT IN PDAM TIRTA PANDALUNGAN JEMBER DISTRICT

Student Name / NRP : Berliana Khansa Salsabila / 0321184000007
Department : Environmental Engineering F- CIVPLAN - ITS
Advisor : Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD

ABSTRACT

The Tegal Besar Water Treatment Plant of PDAM Tirta Pandalungan Jember provides clean water for the people of Jember. Tegal Besar Water Treatment Plant takes water from Bedadung River as raw water. Bedadung River water quality has decreased due to plastic waste disposal into the river. Large plastic can be degraded into microplastics. This study aims to calculate the abundance and identify the characteristics of microplastics in water and sludge from the Tegal Besar Water Treatment Plant and evaluate the removal of microplastics in the coagulation-flocculation-sedimentation unit, filtration unit, and disinfection unit of the Tegal Besar Water Treatment Plant of PDAM Jember.

This study was conducted on water and sludge from the Tegal Besar Water Treatment Plant operating units consisting of the intake unit, flocculation unit inlet, sedimentation unit outlet, filtration unit outlet, reservoir unit inlet, backwash sludge channel, and sedimentation sludge channel. Sampling was conducted using location composite and time composite methods. Extraction of microplastic samples using hydrogen peroxide and NaCl solution. Microplastic particles were manually separated, observed, and sorted using a digital microscope to analyze the abundance and characteristics of microplastics. The polymer type of microplastics was determined by FTIR.

The abundance of microplastics in the raw water of the Tegal Besar Water Treatment Plant of the Jember Regency PDAM was 10-17 particles/L and decreased due to treatment in the coagulation-flocculation-sedimentation unit, filtration unit, and disinfection unit to 4-5 particles/L in production water with a total microplastic removal efficiency of 60-70.6%. Meanwhile, in the backwash sludge, microplastics were found to be 4-12 particles/L and in the sedimentation sludge, microplastics were found to be 5-10 particles/L. The characteristics of microplastics observed are shape, color, and size. The shape of microplastics in both raw water, treated water, and sludge from the Tegal Besar Water Treatment Plant is dominated by filaments/fiber as much as 50-86%. The most common color of microplastics is black at 60-86%. While the size of microplastics in water and sludge is dominated by the size of 51 μm -100 μm by 23-100%. The types of microplastics found were all LDPE or Low Density Polyethylene.

Keywords : abundance, characteristics, drinking water, drinking water treatment plant, microplastic, sludge

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang Maha Esa, karena berkat limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Shalawat dan salam penulis curahkan kepada Rasulullah SAW, yang telah membimbing umat manusia menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu pengetahuan.

Tugas Akhir yang berjudul “Studi Penyisihan Mikroplastik pada Instalasi Pengolahan Air Minum Tegal Besar di PDAM Tirta Pandalungan Kabupaten Jember”, ditulis sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi program sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama penulisan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ibu Ervin Nurhayati, ST., MT, PhD selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan nasihatnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng., Bapak Adhi Yuniarto, ST., MT., PhD., dan Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran diawal penelitian penulis
3. IPAM Tegal Besar PDAM Tirta Pandalungan Kabupaten Jember yang telah membantu penulis dalam penyediaan data dan tenaga untuk membantu dalam pengambilan sampel yang digunakan selama penelitian
4. Bapak Dr. R. Irwan Bagyo Santoso M.T. selaku dosen wali penulis yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama penulis berkuliah di ITS
5. Seluruh dosen Program Sarjana Teknik Lingkungan ITS yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama penulis menjalani perkuliahan
6. Laboran Departemen Teknik Lingkungan ITS Laboratorium Teknologi Pengolahan Air dan Limbah B3 yang telah membantu menyediakan peralatan dan bahan yang dibutuhkan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini
7. Orang tua, kakak, dan adik penulis yang selalu mendukung, memberi nasihat, memberi saran, serta mendoakan penulis dalam setiap pengerjaan tugas akhir ini
8. Elemenesia yang telah memberikan bantuan dana melalui Elemenesia Research Scholarship sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan
9. Teman-teman satu asistensi, yaitu Iftinan, Fernando, dan Reinata serta laboratorium teknologi pengolahan air dan limbah B3 yang telah berjuang bersama-sama, membantu, dan memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini
10. Seluruh teman-teman invisible yang telah memberikan dukungan dan doa kepada penulis
11. Sahabat-sahabat saya, yaitu Stephen Aderama, Fachry Muza, Fernando, Rafimarsa, dan Anita Catur yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini

Dalam penyusunan laporan ini tentunya masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga laporan yang penulis susun ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
APPROVAL SHEET	vi
PERNYATAAN ORISINALITAS	vii
STATEMENT OF ORIGINALITY	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang	17
1.2 Rumusan Masalah	18
1.3 Tujuan Penelitian	18
1.4 Manfaat Penelitian	18
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	18
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	20
2.1 Pengertian Sampah Plastik.....	21
2.2 Pengertian dan Karakteristik Mikroplastik	21
2.2.1 Bentuk Mikroplastik	21
2.2.2 Dampak Mikroplastik.....	22
2.2.3 Sumber Mikroplastik.....	23
2.2.4 Karakteristik Mikroplastik	24
2.2.5 Transpor Mikroplastik.....	25
2.3 Perusahaan Daerah Air Minum	26
2.4 Instalasi Pengolahan Air Minum Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember	26
2.5 Unit Pengolahan Air Minum Konvensional.....	29
2.5.1 Bangunan Penangkap Air (Intake)	29
2.5.2 Unit Koagulasi	30
2.5.3 Unit Flokulasi.....	31
2.5.4 Unit Sedimentasi	32
2.5.5 Unit Filtrasi	33
2.5.6 Desinfeksi.....	33
2.5.7 Reservoir	34
2.6 Kemampuan Unit Pengolahan Air dalam Menyisihkan Mikroplastik	34
2.6.1 Unit Koagulasi, Flokulasi, dan Sedimentasi	34
2.6.2 Unit Filtrasi	34
2.7 Perkembangan Terbaru Analisis Mikroplastik	35
2.8 Penelitian Terdahulu	36
2.9 Spektroskopi Fourier-Transform InfraRed (FTIR)	39
BAB 3 METODE PENELITIAN	41
3.1 Tahapan Penelitian	41

3.1.1 Lokasi Sampling	42
3.2 Pengumpulan Data.....	45
3.2.1 Data Primer	45
3.2.2 Data Sekunder.....	45
3.3 Analisis Sampel	45
3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan	46
3.3.2 Ekstraksi Mikroplastik pada Air	47
3.3.3 Ekstraksi Mikroplastik pada Lumpur	47
3.3.4 Pengamatan Mikroskopik	47
3.3.5 Preparasi Analisis FTIR.....	48
3.4 Analisis Data dan Pembahasan	48
3.5 Kesimpulan dan Saran	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1. Kekeuhan dan TSS (Total Suspended Solid) pada Unit Operasi IPAM Tegal Besar	49
4.2 Kelimpahan Mikroplastik	50
4.5 Jenis Mikroplastik.....	56
4.6 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik di Setiap Unit IPAM Tegal Besar.....	58
4.6.1 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Unit Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi.....	65
4.6.2 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Unit Filtrasi.....	67
4.6.3 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Unit Desinfeksi	69
4.7 Optimalisasi Penyisihan Mikroplastik pada IPAM Tegal Besar	74
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN A	89
LAMPIRAN B	91
LAMPIRAN C	95
LAMPIRAN D	96
LAMPIRAN E	100
LAMPIRAN F	103
LAMPIRAN G.....	105
LAMPIRAN H.....	109
LAMPIRAN I	113
LAMPIRAN J.....	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Mikroplastik di Mikroskop dengan Perbesaran 10 Kali.....	22
Gambar 2.2 Sumber Mikroplastik di Alam.....	24
Gambar 2.3 Karakteristik Warna Mikroplastik	25
Gambar 2.4 Transpor dan Fate Mikroplastik di Perairan	25
Gambar 2.5 Gedung Kantor PDAM Jember, Jl. Trunojoyo No. 73 Jember.....	26
Gambar 2.6 Unit Intake IPAM Tegal Besar	27
Gambar 2.7 Unit Koagulasi-Flokulasi IPAM Tegal Besar.....	28
Gambar 2.8 Unit Sedimentasi IPAM Tegal Besar.....	28
Gambar 2.9 Unit Filtrasi IPAM Tegal Besar	29
Gambar 2.10 Direct Intake.....	29
Gambar 2.11 River Intake.....	30
Gambar 2.12 Canal Intake	30
Gambar 2.13 Baffled Channels Flocculator.....	32
Gambar 2.14 Metode Sampling Mikroplastik	36
Gambar 2.15 Grafik Hasil Analisa FTIR <i>Polypropylene</i>	39
Gambar 2.16 Grafik Hasil Analisa FTIR <i>Polystyrene</i>	39
Gambar 2.17 Grafik Hasil Analisa FTIR <i>Polyethylene Terephthalate</i>	40
Gambar 2.18 Grafik Hasil Analisa FTIR <i>High-Density Polyethylene</i>	40
Gambar 3.1 Kerangka penelitian	42
Gambar 3.2 Titik sampling air	43
Gambar 3.3 Titik sampling lumpur.....	44
Gambar 4.4 Bentuk Mikroplastik (a) fragmen, (b) filamen, (c) pellet	51
Gambar 4.5 Warna Mikroplastik (a) hitam, (b) biru, (c) merah, (d) transparan.....	52
Gambar 4.6 Jenis Mikroplastik LDPE pada Variasi Bentuk Filamen Hitam dan Merah.....	56
Gambar 4.7 Jenis Mikroplastik LDPE pada Variasi Bentuk Fragmen Transparan	57
Gambar 4.8 Jenis Mikroplastik LDPE pada Variasi Bentuk Fragmen Biru	57
Gambar 4.9 Jenis Mikroplastik LDPE pada Variasi Bentuk Granula Hitam	57
Gambar 4.10 Diagram Alir Penyisihan Mikroplastik Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar	59
Gambar 4.11 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Ukuran pada Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar	61
Gambar 4.12 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Bentuk dan Warna pada Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar.....	64
Gambar 4.13 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik pada Unit Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi berdasarkan Ukuran	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Mikroplastik pada Air dan Sedimen	36
Tabel 4.2 Data Keekeruhan dan TSS di Unit IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember ..	49
Tabel 4.3 Bentuk Mikroplastik di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember	51
Tabel 4.4 Warna Mikroplastik di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember	52
Tabel 4.5 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Unit Intake IPAM Tegal Besar.....	53
Tabel 4.6 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Inlet Unit Flokulasi IPAM Tegal Besar	53
Tabel 4.7 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Outlet Unit Sedimentasi IPAM Tegal Besar	54
Tabel 4.8 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Outlet Unit Filtrasi IPAM Tegal Besar	54
Tabel 4.9 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Inlet Unit Reservoir IPAM Tegal Besar.....	54
Tabel 4.10 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Lumpur Sedimentasi IPAM Tegal Besar ..	55
Tabel 4.11 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Lumpur Backwash IPAM Tegal Besar	55
Tabel 4.12 Ukuran Mikroplastik pada IPAM Tegal Besar.....	56
Tabel 4.13 Kelimpahan Mikroplastik pada Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar	58
Tabel 4.14 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Bentuk dan Warna pada Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar	63
Tabel 4.15 Ukuran Mikroplastik pada Unit Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi	66
Tabel 4.16 Ukuran Mikroplastik pada Unit Filtrasi	68
Tabel 4.17 Ukuran Mikroplastik pada Unit Desinfeksi.....	70

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Pandalungan Kabupaten Jember merupakan perusahaan pemerintah daerah yang bergerak di bidang pengolahan air bersih. Terdapat lima Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) yaitu IPAM Pakusari, IPAM Wirolegi, IPAM Tegal Gede, IPAM Tegal Besar dan IPAM Balung (Data Unit Produksi PDAM Jember, 2021). Pemenuhan kebutuhan air bersih masyarakat akan terus meningkat seiring dengan penambahan populasi penduduk (Lasminto, 2016). IPAM Tegal Besar mendistribusikan air sebesar 60 L/detik kepada masyarakat.

Air baku maupun air produksi pada IPAM harus memenuhi baku mutu yang sudah ditetapkan dengan berbagai parameter uji didalamnya. Air baku yang digunakan oleh PDAM Kabupaten Jember bersumber dari air bawah tanah dan air permukaan (Data Unit Produksi PDAM Jember, 2021). Sumber air permukaan ini berasal dari sungai yang ada di Jember, salah satunya yang terbesar adalah Sungai Bedadung. Namun, air sungai semakin mengalami penurunan kualitas secara fisik, salah satu penyebabnya adalah pembuangan sampah ke sungai. Sungai Bedadung tercemar sampah rumah tangga yang sebagian besar berupa sampah plastik dan diapers.

Sampah plastik merupakan jenis sampah anorganik sehingga sulit mengalami pembusukan secara alami dibandingkan sampah organik dan akan terus terkumpul di badan air. Banyaknya sampah plastik di perairan akan mengancam biota yang ada di dalamnya (Jambeck et.al. 2015). Produksi plastik yang terus meningkat serta tingkat pemulihan yang rendah menyebabkan terjadinya akumulasi serpihan plastik di sepanjang aliran sungai, di permukaan perairan, serta sedimen. Di perairan, terutama sungai, polimer plastik kurang dapat diuraikan secara biologis, melainkan terpecah-pecah menjadi bagian yang lebih kecil akibat radiasi UV dan arus sungai (Wijaya dan Yulinah, 2019). Menurut Thompson et al., dalam Hapitasari (2016), plastik yang berada di badan air akan melayang atau mengapung sehingga menyebabkan plastik menjadi potongan atau serpihan kecil. Hal tersebut disebabkan karena terdegradasi oleh sinar matahari (fotodegradasi), oksidasi dan abrasi mekanik, sehingga membentuk partikel-partikel kecil yang disebut mikroplastik.

Mikroplastik merupakan jenis sampah plastik yang sangat kecil dengan kisaran ukuran 1 sampai 5,0 mm. Mikroplastik terbagi menjadi kategori ukuran, yaitu besar (1-5 mm) dan kecil (<1 mm) (Storck et al., 2015). Mikroplastik bervariasi dalam hal ukuran, bentuk, warna, komposisi, massa jenis, dan sifat-sifat lainnya. Mikroplastik yang masuk ke aliran air tidak mudah dihilangkan karena sifatnya yang persisten. Mikroplastik akan terus terakumulasi menjadi lebih banyak sehingga dapat berpotensi masuk ke dalam tubuh manusia apabila dikonsumsi. Saat ini belum ada peraturan untuk mengontrol mikroplastik dalam air. Karena para ilmuwan belum yakin dampak kesehatan dan belum menetapkan batas yang dapat diterima untuk mikroplastik dalam air (Chae dan An, 2017).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ma et al. (2018, 2019), unit pengolahan air seperti koagulasi dan flokulasi mampu menyisihkan partikel mikroplastik jenis polyethylene apabila memiliki efisiensi yang baik. Dengan menggunakan koagulasi, flokulasi, dan ultrafiltrasi yang memadai, unit pengolahan air minum dapat menyisihkan 70-80% mikroplastik dalam air, namun lumpur yang diproduksi dari unit pengolahan air minum ini mengandung ratusan mikroplastik per liter yang sebagian besar berukuran 1-10 μm (Novotna, 2019). Lumpur yang dihasilkan oleh IPAM Tegal Besar Kabupaten Jember langsung dibuang ke sungai. Lumpur ini dapat menjadi salah satu sumber pencemaran mikroplastik di Sungai Bedadung.

Perlu adanya pemantauan dan pengawasan konsentrasi dan karakteristik mikroplastik terhadap air dan lumpur menggunakan sampling di tiap unit pengolahan air yang terdapat di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember. Penelitian mikroplastik ini berfokus pada IPAM Tegal Besar karena melayani wilayah kota dengan jumlah penduduk yang padat serta menggunakan air baku yang bersumber dari Sungai Bedadung. Hasil pengolahan air baku pada IPAM Tegal Besar berupa air bersih dan lumpur. Lumpur yang dihasilkan oleh IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember langsung dibuang ke sungai dan berpotensi mencemari air sungai. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui konsentrasi dan jenis mikroplastik pada aliran air dan lumpur dari unit pengolahan air yang ada di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana jenis, karakteristik, dan konsentrasi mikroplastik pada aliran air unit pengolahan air minum di IPAM Tegal Besar PDAM Jember?
2. Bagaimana jenis, karakteristik, dan konsentrasi mikroplastik pada lumpur hasil pengolahan air minum di IPAM Tegal Besar PDAM Jember?
3. Bagaimana penyisihan mikroplastik pada unit pengolahan air minum di IPAM Tegal Besar PDAM Jember?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diuraikan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi jenis, karakteristik, dan konsentrasi mikroplastik pada aliran air unit pengolahan air minum di IPAM Tegal Besar PDAM Jember.
2. Mengidentifikasi jenis, karakteristik, dan konsentrasi mikroplastik pada lumpur hasil pengolahan air minum di IPAM Tegal Besar PDAM Jember.
3. Mengevaluasi penyisihan mikroplastik pada unit pengolahan air minum di IPAM Tegal Besar PDAM Jember.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa:

1. Informasi sumber dan potensi mikroplastik di unit pengolahan air minum di IPAM Tegal Besar PDAM Jember bagi penduduk, peneliti, dan pembuat kebijakan.
2. Dasar penelitian lanjutan mengenai mikroplastik di unit pengolahan air minum Kabupaten Jember dan pendorong perkembangan penelitian mikroplastik di Indonesia.
3. Bahan pertimbangan dalam penentuan langkah yang tepat dalam mengatasi permasalahan mikroplastik di unit pengolahan air minum, terutama pengelolaan sampah serpihan plastik agar tidak memasuki badan air.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup memiliki tujuan untuk membatasi masalah yang akan dibahas pada penelitian ini. Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan menggunakan mikroskop untuk identifikasi karakteristik fisik secara visual dan alat Fourier Transform Infrared Spectroscopy untuk identifikasi senyawa polimer mikroplastik.
2. Sampel air dan lumpur yang diuji bersumber dari air baku unit intake, air influen unit flokulasi, air efluen unit sedimentasi, air efluen unit filtrasi, air influen unit reservoir,

lumpur hasil pengolahan unit sedimentasi, dan lumpur hasil pengolahan unit filtrasi di IPAM Tegal Besar PDAM Jember.

3. Bahan kimia yang digunakan untuk proses *digestion* adalah H_2O_2 . Bahan kimia yang digunakan untuk proses *density desperation* adalah NaCl.
4. Proses ekstraksi dilakukan dengan menggunakan filtrasi.
5. Parameter yang diamati pada analisis kualitas baik untuk sampel air dan lumpur adalah konsentrasi, jenis, bentuk, warna, dan ukuran mikroplastik. Parameter pendukung yang juga diamati pada analisis kualitas air adalah TSS dan *turbidity*.
6. Pengamatan partikel mikroplastik dilakukan secara manual menggunakan mikroskop sehingga terdapat keterbatasan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sampah Plastik

Sampah merupakan segala jenis limbah yang berbentuk padat yang umumnya berasal dari kegiatan manusia atau sisa dari tumbuhan dan hewan mati. Sampah kemudian dibuang karena tidak bermanfaat dan tidak digunakan lagi (Tchobanoglous et al., 1993). Definisi sampah dalam UU Nomor 18 tahun 2008 menyatakan bahwa sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses yang berbentuk padat. Sampah terdiri dari banyak jenis. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Purwaningrum (2016), dari sampah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia, sebanyak 60-70% merupakan sampah organik dan sisanya adalah sampah non organik, yakni 30-40%. Sampah plastik mendominasi sebanyak 14% dari seluruh sampah non organik yang ada. Sebagian besar jenis sampah plastik berupa kantong plastic, kantong kresek, dan plastik kemasan.

Jambeck et.al. (2015) dalam Widianarko dan Inneke (2018), menyebutkan bahwa Indonesia sebagai kontributor sampah plastik ke laut kedua terbesar di dunia setelah China, dengan jumlah 0,48 – 1,29 juta metrik ton plastik/tahun. Berdasarkan Plastic Europe (2016) dalam Wang et al. (2018), produksi plastik dunia meningkat dari 1,6 juta ton pada tahun 1950 menjadi lebih dari 320 juta ton pertahun. Jumlah produksi plastik meningkat seiring meningkatnya penggunaan plastik oleh masyarakat. Sampah plastik paling banyak berasal dari sektor rumah tangga (konsumen) dan sektor industri (pelaku usaha) karena plastik memiliki ketahanan dan sifat presisten sehingga sering dimanfaatkan sebagai bahan baku produk dan kemasan (Dewi dan Trisno, 2019).

Sampah plastik merupakan salah satu komponen terbesar sampah di lautan. Sampah plastik yang dibuang ke lingkungan akan masuk ke perairan, terutama laut. Dari total sampah yang terakumulasi di sepanjang garis pantai, permukaan, dan dasar laut, jumlah sampah plastik hampir mencapai 95% (Galgani F, 2015 dalam Victoria, 2017). Sampah plastik merupakan jenis sampah yang merusak lingkungan (Dewi dan Trisno, 2019).

2.2 Pengertian dan Karakteristik Mikroplastik

Menurut NOAA (2016) dalam Rachmat dkk. (2018), mikroplastik merupakan plastik yang berbentuk potongan-potongan kecil yang memiliki ukuran lebih kecil dari 5 mm dan memungkinkan untuk dikonsumsi biota air. Mikroplastik terbuat dari material hidrofobik sehingga bahan pencemar terkonsentrasi di permukaannya dan mikroplastik bertindak sebagai bahan kimia di lingkungan. Mikroplastik merupakan partikel yang berukuran kurang dari 5 mm. Batas bawah ukuran partikel yang termasuk dalam kelompok mikroplastik belum didefinisikan secara pasti namun kebanyakan penelitian mengambil objek partikel dengan ukuran minimal 300 μm^3 (Storck et al., 2015).

2.2.1 Bentuk Mikroplastik

Mikroplastik digolongkan menurut ukuran, bentuk, dan warna. Ukuran menjadi faktor penting karena berkaitan dengan jangkauan efek pada organisme. Luas permukaan yang besar membuat mikroplastik berpotensi melepaskan bahan kimia yang dikandungnya dengan cepat (Velzeboer et al, 2014 dalam Widiarnako dan Inneke, 2018).

Menurut Kuasa (2018) dalam Rahmadhani (2019), tipe-tipe bentuk mikroplastik dapat dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya yaitu:

1. Fiber atau filamen

Jenis fiber pada umumnya berasal dari sumber domestik atau pemukiman penduduk. Contohnya penduduk yang tinggal di sekitar pantai dan bekerja sebagai nelayan.

Nelayan menggunakan alat tangkap seperti tali (jenis fiber), jaring tangkap, pancing, atau karung yang berbahan dasar plastik. Plastik ini akan terurai menjadi bentuk fiber.

2. Film

Film merupakan bentuk mikroplastik yang berasal dari fragmentasi kantong plastik atau plastik kemasan. Film memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan jenis mikroplastik lainnya sehingga proses transportasi mikroplastik jenis ini lebih mudah dan cenderung berada di permukaan.

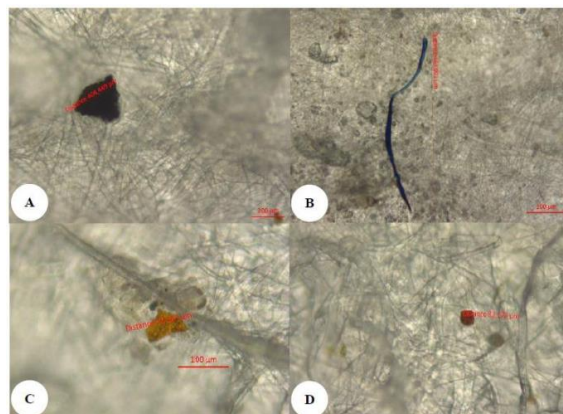
3. Fragmen

Jenis fragmen bersumber dari buangan limbah industry kelas kecil atau menengah, seperti kantong-kantong plastik berukuran besar dan kecil, kemasan makanan siap saji, dan botol minuman plastik. Sampah plastik tersebut kemudian terurai menjadi serpihan-serpihan kecil yang disebut fragmen

4. Granula atau Butiran

Jenis granula atau butiran umumnya dihasilkan oleh pabrik plastik. Mikroplastik jenis granula berbentuk butiran padat yang berwarna putih sampai kecoklatan (Virsek et. al., 2016). Granula merupakan partikel kecil plastic yang sering digunakan untuk bahan produk industri (Kuasa, 2018 dalam Rahmadhani, 2019).

Berikut adalah beberapa contoh gambar mikroplastik dengan bentuk yang berbeda-beda:



Gambar 2.1 Bentuk Mikroplastik di Mikroskop dengan Perbesaran 10 Kali

A. Fragmen, B. Fiber, C. Film, D. Pellets

Sumber: Hiwari et.al., 2019

2.2.2 Dampak Mikroplastik

Air minum erat kaitannya dengan kesehatan manusia. Paparan dan penilaian risiko mencakup karakteristik risiko mikroplastik terhadap manusia melalui air minum. Konsentrasi rata-rata mikroplastik terbesar dalam penelitian air minum kemasan (Obmann et al., 2018), air olahan (Pivokonsky et al., 2018) dan air keran (Kosuth et al., 2018) dianggap untuk menilai potensi risiko bagi manusia. Umumnya, wanita dan pria perlu menambah lebih dari 2,2 dan 2,3 L air setiap hari untuk menjaga kesehatan mereka. Begitu mikroplastik masuk ke tubuh manusia, ada potensi risiko bagi kesehatan. Mikroplastik dapat menyebabkan efek toksik pada tubuh manusia. Mikroplastik dapat menghasilkan stres oksidatif, menginduksi kerusakan jaringan, dan peradangan kronis (Schirizzi et al., 2017). Baru-baru ini, tinjauan yang dilakukan oleh Wright dan Kelly (2017) menyelidiki dampak potensial serapan mikroplastik pada kesehatan manusia melalui penyerapan saluran pencernaan. Penyerapan dan translokasi mikroplastik bergantung pada banyak faktor, dan partikel yang lebih kecil mentranslokasi lebih efektif. Mudah untuk plastik yang lebih besar (>2 mm) untuk tinggal di saluran usus. Meskipun

mikroplastik konsentrasi rendah dapat memasuki sirkulasi darah, sulit untuk masuk ke jaringan dalam melalui membran sel karena keterbatasan ukurannya, dan dibersihkan oleh limpa (Bouwmeester et al., 2015). Ketika ukuran mikroplastik berkurang, ia dapat memasuki jaringan perifer dan sistem peredaran darah melalui agregasi limfatik, yang mengarah ke paparan sistemik. Namun, untuk orang dengan penyakit usus, efisiensi translokasi mikroplastik akan meningkat secara signifikan karena permeabilitas jaringan yang disebabkan oleh infeksi inflamasi (Schmidt et al., 2013). Selain itu, pelepasan bahan pencemar toksik yang ditimbulkannya juga dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga belum dapat dipastikan zat toksik yang akan dikeluarkan dalam tubuh manusia (Schirinzi et al., 2017; Triebkorn et al., 2019; Wang et al., 2017; Wang et al. al., 2018).

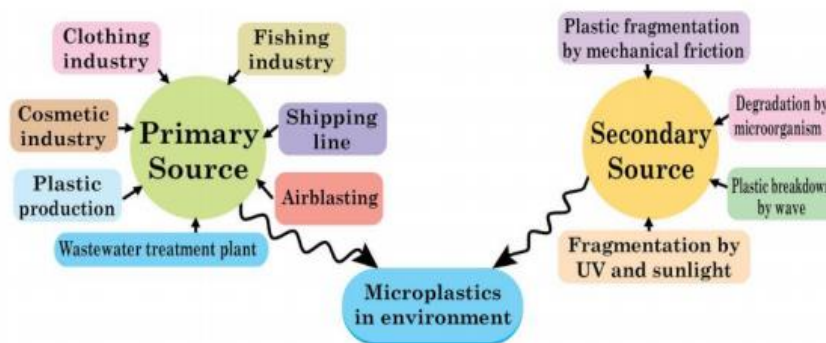
Mikroplastik juga memiliki dampak negatif terhadap biota perairan ketika masuk ke tubuh biota dan berpotensi merusak sistem saluran pencernaan, mengurangi tingkat pertumbuhan, menghambat produksi enzim, menurunkan hormone steroid, mempengaruhi reproduksi, serta toksik (Wright et al., 2013). Mikroplastik yang berukuran kecil dan persisten sangat berpotensi mempengaruhi organisme air dan kesehatan manusia. Efek samping dari mikroplastik disebabkan oleh tingkat toksisitas intrinsik plastik (kerusakan fisik), komposisi kimia (unit monomer dan aditif), kemampuan untuk menyerap serta melepaskan polutan lingkungan.

Dampak mikroplastik di organisme perairan juga akan mempengaruhi tingkat tropik yang lebih tinggi, contohnya pada organisme planktoni. Dampak mikroplastik terhadap organisme laut ini antara lain menimbulkan luka internal atau eksternal, penyumbatan saluran pencernaan dan pernapasan, kekurangan tenaga, hingga pada kematian (Ramadhani, 2019).

2.2.3 Sumber Mikroplastik

Berdasarkan sumbernya, mikroplastik diklasifikasikan menjadi mikroplastik primer dan sekunder. Mikroplastik primer didesain dan diproduksi dengan ukuran sekitar 5 mm. Sedangkan mikroplastik sekunder dihasilkan dari pemecahan partikel plastik yang lebih besar. Pemecahan partikel plastik berukuran besar ini dapat dilakukan secara abrasi mekanis, radiasi sinar UV, dan biologi (Karapanagioti, 2007).

Sumber primer mikroplastik adalah emisi partikel plastik dari industri pakaian, industri kosmetik, industri manufaktur plastik, industri perikanan, jalur pelayaran, instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik, ban roda mobil dan truk dan air blasting. Adapun sumber sekunder mikroplastik, terdiri dari degradasi plastik ukuran besar menjadi ukuran lebih kecil karena proses dan kondisi di lingkungan seperti fragmentasi secara mekanis, ataupun radiasi UV dari matahari (Gambar 2.2). Industri pakaian adalah sumber partikel plastik serat polyester yang merupakan mikroplastik yang keberadaannya paling berlimpah di lingkungan khususnya di badan air; di mana 100 fiber dihasilkan per liter air limbah dalam operasioal 10 pencucian. Selain itu fiber lain seperti nylon, spandex, acrylics digunakan dalam industri tekstil (Picó & Barceló, 2019).



Gambar 2.2 Sumber Mikroplastik di Alam

Sumber: Dey et al., 2021

Sumber primer mikroplastik dapat ditemukan dengan mudah di dalam produk pembersih dan kecantikan, pelet untuk pakan hewan, dan bubuk resin. Mikroplastik yang masuk ke wilayah perairan dari sumber primer domestik ini umumnya terdiri dari plastik jenis polietilen, polipropilen, dan polistiren (Gregory, 1996).

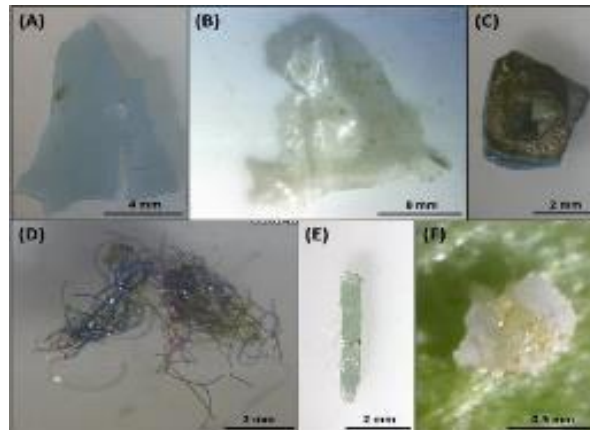
Sumber sekunder bersumber dari hasil pemutusan rantai polimer partikel plastik yang besar menjadi lebih kecil. Partikel mikroplastik sekunder dapat berasal dari jala ikan yang digunakan nelayan, bahan baku industri, alat rumah tangga, kantong plastik, pencucian pakaian, atau pelapukan produk berbahan plastik (Browne et al., 2011). Sumber sekunder yang berasal dari pencucian pakaian kebanyakan terdiri dari poliester, akrilik, dan poliamida yang dapat mencapai lebih dari 100 serat/L (Zubris dan Richards, 2005).

2.2.4 Karakteristik Mikroplastik

Mikroplastik yang dianalisis dari lingkungan ada dalam berbagai bentuk, warna dan ukuran dengan beberapa menunjukkan bentuk bulat, sementara yang lain tampak memiliki bentuk berserat atau acak (Browne et al., 2011). Mikroplastik primer akan cenderung memiliki penampilan yang sesuai seperti saat diproduksi, menunjukkan bentuk bulat atau berserat, dan memiliki permukaan yang konsisten. Sebaliknya, mikroplastik sekunder akan cenderung memiliki penampilan yang lebih acak dan karena itu lebih sulit untuk dikategorikan (Zubris dan Richards, 2005). Salah satu kesulitan terutama adalah bahwa pelapukan dapat mengubah penampilan kedua jenis mikroplastik. Selanjutnya, mikroplastik menampilkan berbagai macam variasi warna yang berbeda (Browne et al., 2011). Dengan demikian, warna-warna yang berbeda ini digunakan sebagai bagian dari sistem standar untuk mengkategorikan mikroplastik yang diperoleh dari lingkungan.

Berdasarkan bentuknya, partikel mikroplastik dikategorikan menjadi line/fiber (tipis atau berserat, lurus), pellet (keras, partikel bundar), fragment (partikel debris keras, bergerigi), foam (ringan, seperti spons), atau film (bidang 13 tipis). Sedangkan berdasarkan warna, mikroplastik dapat dibagi menjadi enam kategori: biru, hitam, kuning, transparan, putih dan merah. Kategori biru mencakup warna biru, biru tua, biru muda, hijau tua dan hijau muda (Peng et al., 2017).

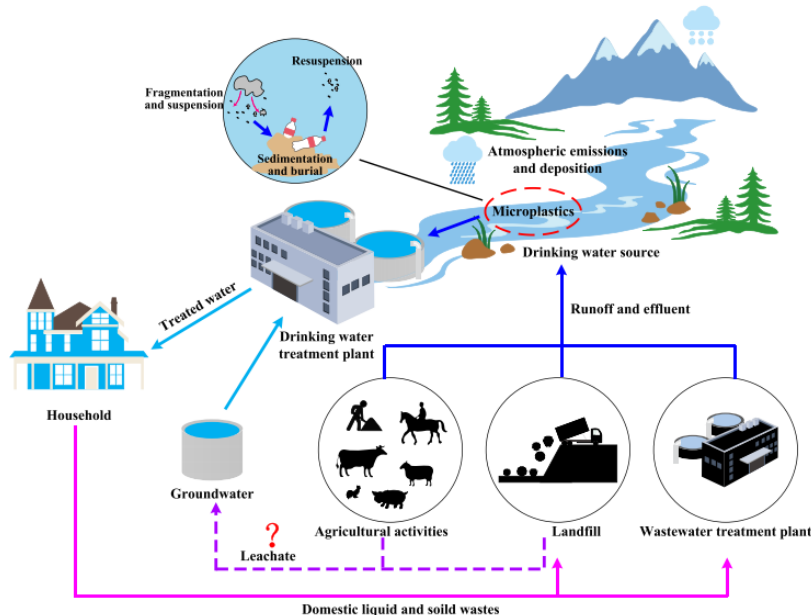
Perlu diperhatikan bahwa warna mikroplastik sering memberikan indikasi untuk tingkat kontaminasi polutan kimia. Dalam sebuah penelitian tentang mikroplastik yang ada di Humber Bay, Kanada, jumlah debris berwarna putih secara signifikan melebihi warna lain, diikuti abu-abu dan hitam yang paling berlimpah, kemudian hijau, biru dan sejumlah kecil debris merah muda dan ungu (Browne et al., 2011)



Gambar 2.3 Karakteristik Warna Mikroplastik
 Sumber: Peng et al. (2017)

2.2.5 Transpor Mikroplastik

Mikroplastik memiliki sifat yang persisten di alam serta berpotensi menimbulkan efek negatif terhadap badan air, margasatwa, ekosistem, dan kesehatan manusia, polusi mikroplastik mendapatkan perhatian yang besar para peneliti, walaupun sebagian besar masih berfokus lingkungan laut. Mikroplastik dapat dihasilkan dari berbagai sumber, berinteraksi dengan berbagai media lingkungan (misal, air tawar, air laut, air tanah, sedimen dan tanah) dan mengalami berbagai jalur transport dan transformasi (Gambar 2.4) (Wu et al., 2019). Bahkan pengolahan air minum konvensional yang tidak memiliki pengolahan lumpur dan membuang hasil produksi lumpurnya ke badan air juga merupakan sumber mikroplastik.



Gambar 2.4 Transpor dan Fate Mikroplastik di Perairan
 Sumber: Shen, et al. 2020

Air permukaan, termasuk air sungai, danau dan waduk, serta air tanah merupakan sumber baku utama air minum. Sumber air baku ini mudah terkontaminasi oleh kegiatan pertanian dan industri, serta limbah peternakan. Mikroplastik telah terdeteksi di perairan permukaan yang berbeda, memiliki kelimpahan yang berbeda. Kelimpahan rata-rata mikroplastik di lingkungan air tawar berkisar dari beberapa hingga jutaan ton (Pivokonsky et

al., 2018). Besarnya kelimpahan ini terutama dipengaruhi oleh lokasi, kondisi alam, dan aktivitas manusia. Seperti yang ada pada gambar 2.2, mikroplastik masuk ke lingkungan air permukaan melalui pembuangan air limbah yang mengandung mikroplastik (air limbah pencucian dan air limbah mandi) (Chang, 2015; Hartline et al., 2016), dekomposisi limbah plastik lingkungan (Lambert et al., 2014), dan abrasi produk plastik (Duis and Coors, 2016). Selain itu, deposisi atmosfer juga merupakan sumber mikroplastik yang penting bagi lingkungan perairan (Free et al., 2014; Shao et al., 2019).

2.3 Perusahaan Daerah Air Minum

Perusahaan Daerah Air Minum Kabupaten Jember merupakan Badan Usaha Milik Pemerintah Kabupaten Jember yang didirikan berdasarkan Peraturan Daerah Nomor 27 Tahun 1992 tentang Perubahan Pertama Peraturan Daerah Kabupaten Tingkat II Jember nomor 4 tahun 1975 tertanggal 26 Maret 1975 tentang Pendirian Perusahaan Daerah Air Minum. Tujuan didirikannya Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Jember sebagaimana dituangkan dalam pasal 5 Perda No 4 Tahun 1975 adalah sebagai berikut:

1. Menambah penghasilan daerah
2. Pembangunan daerah dalam arti luas
3. Pembangunan ekonomi nasional dalam rangka meningkatkan kesejahteraan rakyat dan memenuhi kebutuhan ketenagakerjaan dalam perusahaan menuju masyarakat adil dan makmur



Gambar 2.5 Gedung Kantor PDAM Jember, Jl. Trunojoyo No. 73 Jember
Sumber: Perusahaan Daerah Air Minum Kabupaten Jember

2.4 Instalasi Pengolahan Air Minum Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember

Instalasi Pengolahan Air Minum Tegal Besar merupakan salah satu IPAM terbesar yang berlokasi di Kelurahan Tegal Besar yang dikelola oleh PDAM Kabupaten Jember. IPAM Tegal Besar memiliki unit pengolahan yang terdiri dari intake, unit koagulasi, unit flokulasi, unit sedimentasi, unit filtrasi, dan reservoir. Intake adalah unit paling awal pada IPAM yang berfungsi untuk mengambil air baku dari Sungai Bedadung. Unit intake IPAM Tegal Besar terhubung langsung ke unit koagulasi, dengan injeksi koagulan terletak tepat sebelum aliran air yang dipompa masuk ke bak koagulasi. Sebelum masuk ke bak koagulasi, air dari intake dengan sumber air baku dites terlebih dahulu, untuk mendeteksi adanya zat organik, ataupun kadar logam berat serta padatan tersuspensi, atau racun. Salah satu metode yang digunakan untuk menguji kualitas air adalah dengan pemeliharaan ikan.



Gambar 2.6 Unit Intake IPAM Tegal Besar
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Unit koagulasi di IPAM berfungsi untuk menggumpalkan zat padat tersuspensi dalam air baku (termasuk logam), sehingga partikel tersuspensi tersebut mengumpul dan menjadi lebih berat untuk dapat diendapkan. Koagulasi memerlukan pengadukan cepat (turbulen) untuk mendispersi koagulan. Koagulan yang digunakan di IPAM Tegal Besar yaitu Poli Aluminium Klorat (PAC). Pembubuhan koagulan dilakukan dengan cara menginjeksi ke air baku pada pipa intake sebelum masuk ke bak koagulan dengan takaran tertentu setelah dites di dalam laboratorium dengan proses jar test.

Unit flokulasi di IPAM Tegal Besar menggunakan flokulasi hidrolis pengadukan lambat dan aliran airnya harus dalam keadaan tenang (laminer). Aliran laminar pada flokulasi membantu proses pengumpulan gumpalan koagulan menjadi gumpalan yang lebih besar (disebut dengan flok). Flok memiliki massa yang lebih besar sehingga partikelnya bisa lebih cepat mengendap, dan membuat air menjadi lebih jernih. Air hasil flokulasi kemudian disalurkan ke bak sedimentasi.



Gambar 2.7 Unit Koagulasi-Flokulasi IPAM Tegal Besar
 Sumber: Dokumentasi Pribadi

Unit sedimentasi merupakan unit untuk mengendapkan gumpalan-gumpalan dari flokulasi dengan bantuan pelat-pelat seperti sekat yang ditata miring (disebut plate settler). Plate settler juga berfungsi untuk memperlambat aliran air, sehingga flok memiliki waktu pengendapan yang panjang, selain itu juga untuk menangkap flok yang terendap sehingga masuk ke zona lumpur yang ada di dasar bak sedimentasi. Air dalam bak sedimentasi disalurkan ke unit filtrasi dengan saluran pelimpah yang terdapat di permukaan bak (disebut dengan gutter). Fungsi gutter juga untuk tempat sebagian endapan yang masih terdapat di permukaan air.



Gambar 2.8 Unit Sedimentasi IPAM Tegal Besar
 Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 2.9 Unit Filtrasi IPAM Tegal Besar
Sumber: Dokumentasi Pribadi

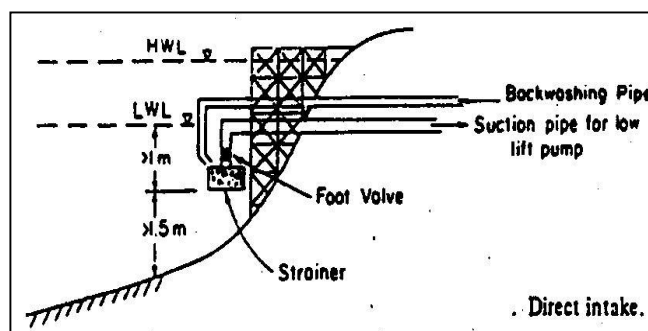
2.5 Unit Pengolahan Air Minum Konvensional

2.5.1 Bangunan Penangkap Air (Intake)

Bangunan intake memiliki tipe yang bermacam-macam, di antaranya adalah (Ministry of Water Tanzania and Rwegarulila Water Resources Institute, 1999):

1. Intake Langsung (Direct Intake)

Intake jenis ini digunakan untuk sumber air dalam, dapat berupa sungai atau danau. Kekurangan intake langsung adalah berpotensi terjadinya erosi pada dinding dan pengendapan di bagian dasarnya.



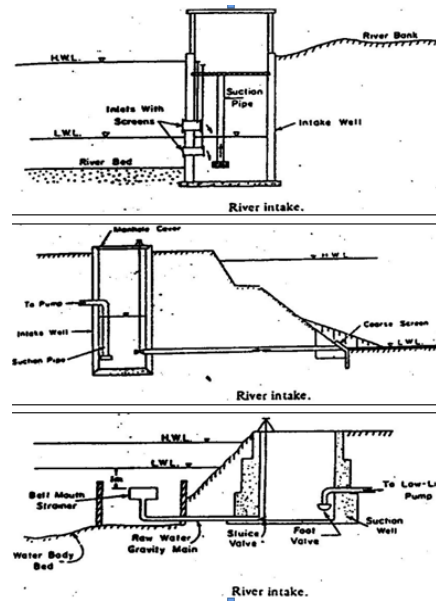
Gambar 2.10 Direct Intake

Sumber: Ministry of Water Tanzania and Rwegarulila Water Resources Institute, 1999

2. Indirect Intake; terdiri dari river intake, canal intake, dan reservoir intake.

a. River Intake

Menggunakan pipa penyadap dalam bentuk sumur pengumpul. Intake ini lebih ekonomis untuk air sungai yang mempunyai perbedaan level muka air pada musim hujan dan musim kemarau yang cukup tinggi.

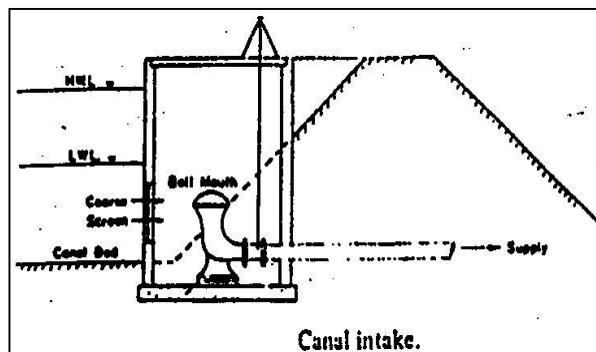


Gambar 2.11 River Intake

Sumber: Ministry of Water Tanzania and Rwegarulila Water Resources Institute, 1999

b. Canal Intake

Digunakan untuk air yang berasal dari kanal. Dinding chamber sebagian terbuka ke arah kanal dan dilengkapi dengan pipa pengolahan selanjutnya



Gambar 2.12 Canal Intake

Sumber: Ministry of Water Tanzania and Rwegarulila Water Resources Institute, 1999

c. Reservoir Intake

Digunakan untuk air yang berasal dari dam dan dengan mudah menggunakan menara intake. Menara intake dengan dam dibuat terpisah dan diletakkan di bagian hulu. Untuk mengatasi fluktuasi level muka air, maka inlet dengan beberapa level diletakkan pada menara.

2.5.2 Unit Koagulasi

Partikel halus yang terbawa efluen pre-treatment harus dipisahkan melalui proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi. Koagulasi merupakan proses pencampuran koagulan

dalam air melalui pengadukan cepat. Untuk menentukan dosis koagulan yang tepat, digunakan jar test. Dosis koagulan dipengaruhi oleh pH air, kekeruhan, lama pengadukan, dan suhu air (Hadi, 2012). Pada koagulasi akan terjadi:

- Penurunan tegangan permukaan (zeta potensial) melalui proses netralisasi muatan dan adsorpsi.
- Presipitasi dari koagulan akan menyatukan koloid.
- Adsorpsi dan pembentukan jembatan antar partikel (Masduqi dan Slamet, 2002).

Koagulan adalah bahan kimia yang berfungsi sebagai pengikat partikel penyebab keruh terhadap air agar terjadi gumpalan atau flok yang mudah diendapkan. Koagulan ditambahkan ke dalam air guna menyempurnakan proses koagulasi. Sifat dari koagulan yang baik dan efektif, diantaranya adalah (Eckenfelder dan Wesley, 2000):

- a) Kation bervalensi tiga (Trivalent cation)

Koloid biasanya ditemukan dalam bentuk negatif, oleh karena itu diperlukan kation untuk menetralkan bentuknya. Kation bervalensi tiga ini merupakan kation yang paling efektif.

- b) Tidak beracun (Nontoxic)

Hal ini merupakan syarat yang jelas untuk memproduksi air yang aman.

Koagulan dibagi menjadi 2 jenis yaitu koagulan primer dan koagulan aid (Eckenfelder dan Wesley, 2000 serta Tchobanoglous, 1991).

- a) Koagulan Primer

Koagulan Primer yang digunakan untuk pengolahan air minum, antara lain Alum atau alum $\{Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O\}$ dan garam ferri.

- a. Alum atau alum $\{Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O\}$

Massa jenis alum adalah 480 kg/m³, dengan kadar air 11-17%. Dosis alum dapat dikurangi dengan cara (a) Penurunan kekeruhan, (b) Filtrasi langsung untuk kekeruhan < 50 NTU, (c) penambahan polimer, dan (d) penyesuaian pH optimum (6,0-8,0).

- b. Garam Ferri,

Ada 4 macam, yaitu Ferros Sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), Chlorinated Copperas, Ferric Sulfate ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$), dan Ferric Chloride ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$). $Fe(OH)_3$ sulit larut dibandingkan dengan $Al(OH)_3$. Koagulan Ferri dapat dipakai untuk menurunkan warna pada pH tinggi (termasuk besi, mangan, kesadahan).

- b) Koagulan Aid

Koagulan aid berfungsi membantu karakteristik pengendapan dan daya lekat flok, menaikkan kecepatan filtrasi, dan mengurangi dosis koagulan. Ada 2 jenis koagulant aid, yaitu:

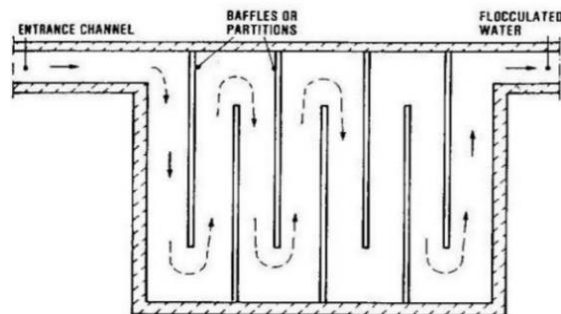
- a. Sintetis: kationik, anionik, ampholytic poly electrolytes.
- b. Alam: Adsorbents-weighting agents, Natural polyelectrolytes

2.5.3 Unit Flokulasi

Menurut Hadi (2012), flokulasi merupakan proses pembentukan flok-flok melalui pengadukan lambat, setelah proses koagulasi. Banyaknya peristiwa tumbukan yang terjadi dapat diketahui dengan menghitung parameter $G \cdot t_d$ dimana semakin besar nilai $G \cdot t_d$ maka akan semakin banyak jumlah tumbukan yang terjadi pada flok-flok. Pada umumnya nilai $G \cdot t_d$ yang

dipakai dalam perencanaan unit flokulasi adalah 10.000-100.000 (Kawamura.1991). Flokulasi dapat dilakukan dengan cara pengadukan hidrolis, mekanik, dan pneumatik.

Pada saat pembentukan flok mencapai tingkat ukuran tertentu maka flok - flok tersebut menjadi tidak stabil dan akan mudah pecah kembali akibat gesekan yang disebabkan karena aliran air. Oleh karena itu kecepatan pengadukan flok mencapai tingkat ukuran tertentu pula. Hal ini biasanya ditunjukkan dalam parameter kecepatan. Nilai parameter G untuk pengadukan lambat antara 10 – 100/detik (Schulz at al., 1992). Sketsa horizontal baffled channel dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.13 Baffled Channels Flocculator

Sumber: Schulz,1984

2.5.4 Unit Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat dalam cairan tersebut (Reynolds, 1982). Menurut Kawamura (2000), sedimentasi dirancang untuk menghilangkan sebagian besar padatan yang dapat mengendap secara gravitasi. Tujuan unit sedimentasi yaitu menghilangkan pasir atau kerikil halus, particulate-matter, biological-floc, chemical-floc, serta memekatkan padatan dalam tangki pemekat lumpur. Menurut Hadi (2012), efisiensi pengendapan menentukan pembebanan ke filter, periode pencucian filter, dan kualitas efluen filter. Sedangkan pemisahan flok tergantung pada kedalaman bak dan kecepatan aliran permukaan.

Menurut Coe dan Cleverger (1916), yang kemudian dikembangkan oleh Camp (1946) dan Fitch (1956) dan dikutip oleh Reynolds (1982), pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi bisa dibagi menjadi empat kelas. Pembagian ini didasarkan pada konsentrasi dari partikel tersebut untuk berinteraksi. Penjelasan mengenai keempat jenis pengendapan ini adalah sebagai berikut:

1. Pengendapan tipe I, Free Settling

Pengendapan tipe I adalah pengendapan dari partikel diskrit yang bukan merupakan flok pada suatu suspensi. Partikel terendapkan sebagai unit terpisah dan tidak terlihat flokulasi atau interaksi antara partikel-partikel tersebut. Contoh pengendapan tipe I adalah prasedimentasi dan pengendapan pasir pada grit chamber.

2. Pengendapan tipe II, Flocculent Settling

Pengendapan tipe II adalah pengendapan dari partikel-partikel yang berupa flok pada suatu suspensi. Partikel-partikel tersebut akan membentuk flok selama pengendapan terjadi, sehingga ukurannya akan membe

sar dan mengendap dengan laju yang lebih cepat. Contoh pengendapan tipe ini adalah pengendapan primer pada air buangan dan pengendapan pada air yang telah melalui proses koagulasi dan flokulasi.

3. Pengendapan tipe III, Zone/ Hindered Settling

Pengendapan tipe III adalah pengendapan dari partikel dengan konsentrasi sedang, dimana partikel-partikel ini tersebut sangat berdekatan sehingga gaya antar partikel mencegah pengendapan dari partikel di sekelilingnya. Partikel-partikel tersebut berada pada posisi yang tetap satu sama lain dan semua mengendap dengan kecepatan konstan. Sebagai hasilnya massa partikel mengendap dalam satu zona. Pada bagian atas dari massa yang mengendap akan terdapat batasan yang jelas antara padatan dan cairan.

4. Pengendapan tipe IV, Compression Settling

Pengendapan tipe IV adalah pengendapan dari partikel yang memiliki konsentrasi tinggi dimana partikel-partikel bersentuhan satu sama lain dan pengendapan bisa terjadi hanya dengan melakukan kompresi terhadap massa tersebut.

Bak sedimentasi yang ideal dibagi menjadi 4 zona yaitu zona inlet, zona outlet, zona lumpur, dan zona pengendapan. Ada 3 bentuk dasar dari bak pengendapan yaitu rectangular, circular, dan square.

2.5.5 Unit Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan padatan tersuspensi yang ada di dalam air pada instalasi air minum (Hadi, 2012). Menurut Al-Layla (1980), partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air tidak bisa mengendap secara sempurna hanya dengan menggunakan proses sedimentasi. Proses filtrasi akan menyempurnakan penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid di dalam air. Proses filtrasi sendiri adalah suatu proses di mana air dilewatkan pada pasir dan kombinasi kerikil-kerikil untuk mendapatkan hasil air yang lebih baik. Terdapat beberapa macam jenis filter seperti rapid sand filter, slow sand filter, pressure sand filter, multiple media filters, diatomaceous earth filters, upflow filters dan lain sebagainya.

2.5.6 Desinfeksi

Desinfeksi adalah metode yang efektif untuk membunuh mikroorganisme patogen dalam air dan mencegah penyebaran penyakit. Desinfeksi biasanya merupakan langkah perawatan terakhir selama pengolahan air minum, sehingga mikroplastik yang mencapai proses ini kemungkinan besar akan berinteraksi dengan mikroorganisme dalam air minum. Terbentuknya biofilm pada permukaan mikroplastik dapat menurunkan efisiensi proses desinfeksi (Enfrin et al., 2019). Klorinasi, ozonasi, dan iradiasi ultraviolet adalah tiga teknik desinfeksi yang umum (Shin dan Sobsey, 2008). Klorinasi menyebabkan kematian bakteri dengan menghambat aktivitas enzim mereka. Namun, keberadaan mikron padatan tersuspensi dalam air menghalangi efek klorin pada mikroorganisme, karena mereka dapat disadap oleh flok atau partikel tersuspensi (Narkis et al., 1995). Oleh karena itu, mikroplastik dengan sifat fisik yang mirip dapat berperan sebagai substrat pelindung bagi bakteri yang tahan terhadap proses desinfeksi (Enfrin et al., 2019). Potensi oksidasi ozon adalah 2,08 eV dan oksidasi ozon dapat membunuh mikroorganisme yang toleran klorin dengan menyerang membran sel (Ding et al., 2019). Namun, mikroplastik dapat berinteraksi dengan ozon, sehingga mengurangi jumlah molekul ozon yang tersedia untuk bereaksi dengan bakteri dan meninggalkan patogen yang tidak terpengaruh di dalam air (Enfrin et al., 2019). Radiasi ultraviolet dapat menghancurkan DNA dan mikroorganisme patogen yang tidak aktif, namun keberadaan

partikel tersuspensi melindungi mikroorganisme dari kerusakan dan desinfeksi radiasi ultraviolet (Carre et al., 2018). Oleh karena itu, mikroplastik dapat menurunkan kinerja proses desinfeksi ultraviolet (Shen et al., 2020).

2.5.7 Reservoir

Reservoir adalah tanki penyimpanan air yang berlokasi pada instalasi (Qasim, Motley, & Zhu, 2000). Fungsi reservoir antara lain:

- Equalizing Flows, berfungsi untuk menyeimbangkan aliran, sedangkan debit yang keluar akan bervariasi atau berfluktuasi, unsur ini diperlukan untuk menyimpan cadangan air untuk keadaan darurat.
- Equalizing Pressure atau menyeimbangkan tekanan, pemerataan tekanan diperlukan akibat bervariasinya pemakaian air di daerah distribusi.
- Sebagai distributor, pusat atau sumber pelayanan

2.6 Kemampuan Unit Pengolahan Air dalam Menyisihkan Mikroplastik

2.6.1 Unit Koagulasi, Flokulasi, dan Sedimentasi

Koagulasi banyak digunakan dalam pengolahan air minum untuk menghilangkan polutan dalam air. Karena efisiensi tinggi dan investasi rendah, koagulan kimia seperti garam aluminium ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) dan garam besi ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) biasanya digunakan. Menurut sifat-sifat air, sejumlah koagulan ditambahkan untuk membentuk zat flokulan untuk merangkum partikel tersuspensi dan mengendap di dasar kolam. Proses ini dikendalikan oleh muatan permukaan dan konsentrasi polutan dan pH air. Permukaan mikroplastik lingkungan biasanya menunjukkan muatan negatif (Fotopoulou dan Karapanagioti, 2012; Triebkorn et al., 2019), yang akan meningkatkan interaksi dengan koagulan kimia. Dengan demikian, mikroplastik secara tidak langsung dapat meningkatkan jumlah koagulan yang dibutuhkan untuk proses koagulasi (Shen et al., 2020).

Bahan organik terlarut (DOM), salinitas, dan bahan koloid di perairan baku sungai dapat mengganggu koagulasi mikroplastik melalui interaksi dengan koagulan atau mikroplastik (Xu et al., 2021). Mikroplastik yang lebih besar lebih mudah dihilangkan daripada yang lebih kecil, sesuai dengan penelitian sebelumnya (Lapointe et al., 2020; Zhou et al., 2021). Efisiensi penyisihan untuk mikroplastik berukuran 20, 45, dan 90 μm adalah 77,4– 95,3%, tetapi untuk mikroplastik 10 μm relatif rendah (33,0– 41,1%). Dalam proses koagulasi, ukuran partikel dapat mempengaruhi efisiensi pengendapan (Jiang dan Logan, 1991), semakin besar partikel, semakin mudah mengendap. Oleh karena itu, koagulasi mampu menyisihkan mikroplastik dengan efisiensi yang tinggi karena perlekatan probabilitas untuk flok, menghasilkan pengendapan yang lebih baik. Meskipun AlCl_3 dan FeCl_3 efisien dalam menghilangkan mikroplastik, AlCl_3 menunjukkan kinerja koagulasi yang lebih baik dibandingkan dengan FeCl_3 . Hal ini disebabkan oleh afinitas ikatan Al^{3+} yang lebih kuat untuk senyawa polimer (Tamami dan Parvanak, 2003), yang kemungkinan mendorong koagulasi mikroplastik melalui netralisasi muatan permukaan (Na et al., 2021). Mikroplastik yang tersisihkan bercampur dengan lumpur dan mengendap di unit sedimentasi.

2.6.2 Unit Filtrasi

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penempelan agregat partikel ke permukaan butir dapat mempersempit pori di media filter dan menyebabkan lebih banyak partikel yang terperangkap (Cai et al., 2014). Diketahui bahwa hanya mikroplastik 10 dan 20 μm yang ditemukan terlepas dari kolom selama 40 menit pertama injeksi dengan waktu yang

sama dimana mikroplastik yang lebih besar dari ini (yaitu, 45 dan 90 μm) dapat bertahan dalam kolom. Retensi partikel mikroplastik di kolom pasir berkaitan dengan perlekatan dan peregangan, yang dominasinya tergantung pada karakteristik partikel. Koefisien regangan meningkat dengan cepat dari 0,03 menjadi 0,59 menit karena ukuran mikroplastik meningkat dari 10 menjadi 90 μm . Mempertimbangkan kurva yang rata meskipun ada perlekatan yang bergantung pada waktu (yaitu, dinamika langmurian), regangan diharapkan menjadi proses retensi kunci terhadap ukuran mikroplastik lainnya (yaitu, mikroplastik 45 dan 90 μm). Hal ini juga konsisten dengan pengamatan eksperimental (yaitu, 83,4% efisiensi penyisihan dari mikroplastik 10 μm , dan retensi 100% dalam kasus mikroplastik 45, dan 90 μm) (Na et al., 2021).

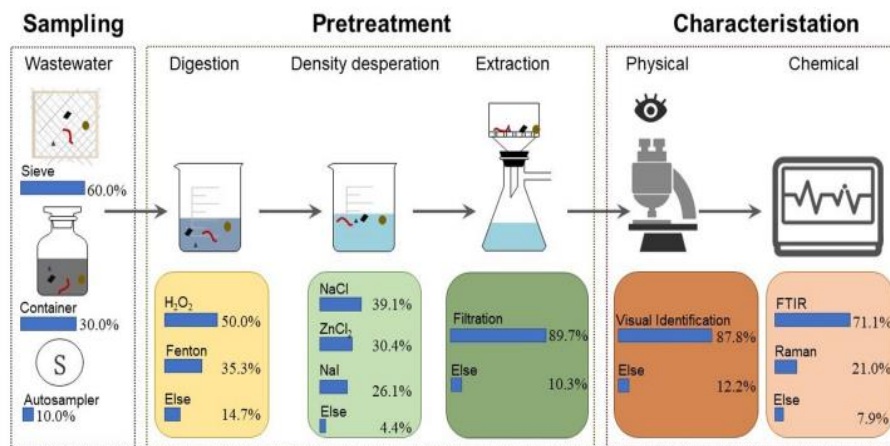
2.7 Perkembangan Terbaru Analisis Mikroplastik

Saat ini, tidak ada batasan legislatif untuk kandungan mikroplastik dalam air minum maupun teknologi pengolahan yang ditargetkan secara langsung pada penghapusan mikroplastik. Meskipun demikian, Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) secara umum dimaksudkan untuk meningkatkan kualitas air agar dapat memenuhi tuntutan legislatif dan konsumen yang diperlukan, yang berarti merupakan hambatan potensial bagi transfer mikroplastik dari air tawar alami ke air minum untuk konsumsi langsung manusia (Novotna et al., 2019).

Ada dua perspektif tentang cara mengevaluasi pemindahan mikroplastik: (1) mengukur mikroplastik di saluran masuk dan keluar ke fasilitas (IPAM, IPAL atau setelah langkah-langkah teknologi tertentu) dan membandingkan hasilnya, dan (2) menyelidiki efisiensi pemindahan mikroplastik dengan proses yang berbeda dalam percobaan laboratorium dalam kondisi yang terkendali (Novotna et al., 2019).

Sampling memegang peranan penting dan secara langsung mempengaruhi hasil studi mikroplastik. pengambilan sampel mikroplastik di perairan terbuka (seperti laut, sungai) umumnya menggunakan jaring ukuran mata jaring yang berbeda yang diangkut dengan kecepatan tertentu dengan perahu. Mengenai karakter pengambilan sampel dalam pengolahan air, seperti tingginya kandungan bahan organik dalam sampel, pengambilan sampel mikroplastik belum memiliki metode yang baku dan universal. Ada berbagai macam pendekatan pengambilan sampel yang diterapkan dalam studi saat ini dengan kondisi dan latar belakang yang berlaku berbeda. Pilihannya tergantung pada tujuan penelitian dan peralatan eksperimental (Kang et al., 2020)

Metode yang paling umum untuk mengambil sampel dari pengolahan air adalah dengan disaring. Dalam situasi ini, air diambil melalui pompa atau ember baja dari proses pengolahan, kemudian disaring dengan saringan atau filter. Liu dkk. (2019) menggunakan saringan mesh 47 μm untuk menyaring air 10 L, sedangkan Lee dan Kim (2018) menggunakan ukuran mesh 106 μm untuk menyaring sampel dari influen (10 L) dan efluen (100 L), masing-masing. Saringan tunggal dapat dengan mudah tersumbat dalam waktu singkat, serangkaian saringan dengan tiga hingga lima ukuran mata jaring yang berbeda biasanya diterapkan untuk menaikkan volume sampel. Lv dkk. (2019) menyaring volume air limbah yang cukup besar untuk mengumpulkan mikroplastik dengan rangkaian saringan baja tahan karat yang dapat dilepas yang memiliki ukuran mata jaring 500, 250, 125, 62,5 dan 25 μm secara berurutan. Dalam studi yang berbeda, sampel air 30 L dilewatkan melalui tiga saringan baja dengan lubang masing-masing 500, 200, dan 63 μm (Magni et al., 2019).



Gambar 2.14 Metode Sampling Mikroplastik
 Sumber: Kang et al., 2020

Berbeda dengan pengambilan sampel air, pengambilan sampel lumpur tidak menimbulkan kontroversi. Karena kandungan partikel padat dan bahan organik yang tinggi, pengumpulan filtrasi jarang digunakan (Lv et al., 2019). Cara pengambilan sampel lumpur yang paling sering digunakan adalah dengan mengambil beberapa lumpur mentah (0,2–2 L) atau lumpur yang dikeringkan (5–30 g) ke dalam wadah kaca bersih, dan didinginkan di bawah 4 °C untuk analisis lebih lanjut (Kang et al., 2020).

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai acuan untuk melakukan penelitian sehingga peneliti dapat menambah ilmu dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Adapun penelitian terdahulu pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Kandungan Mikroplastik pada Air dan Sedimen

No	Lokasi sampling	Konsentrasi	Karakteristik mikroplastik	Sumber
1	Air Permukaan, Tibet	483 – 967 partikel/m ³	PET, PE, PP, PS, dan PA	Jiang et al., 2019
2	Sedimen Sungai, Tibet	50 - 195 partikel/kg	PET, PE, PP, PS, dan PA	Jiang et al., 2019
3	Air Permukaan, Milwaukee River, Cedarburg	1,93 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
4	Air Permukaan, Menomonee River, Menomonee Falls	2,61 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019

5	Air Permukaan, Milwaukee River, Milwaukee	1,58 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
6	Air Permukaan, Menomonee River, Ridge Blvd	2,71 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
7	Air Permukaan, Kinnickinnic Rivera, Jackson Park	2,57 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
8	Air Permukaan, Kinnickinnic River, S. 11th St	5,67 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
9	Air Permukaan, Kinnickinnic River, S. 1st St.	1 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
10	Air Permukaan, Milwaukee <i>Inner Harbor</i>	1,27 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
11	Air Permukaan, Milwaukee <i>Outer Harbor</i>	0,55 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
12	Air Permukaan, Michigan	0,42 partikel/m ³	PP, PS, dan LDPE	Lenaker et al., 2019
13	Sedimen Sungai, Menomonee River, Menomonee Falls	0 – 50 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019
14	Sedimen Sungai, Milwaukee	1400 – 1500 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019

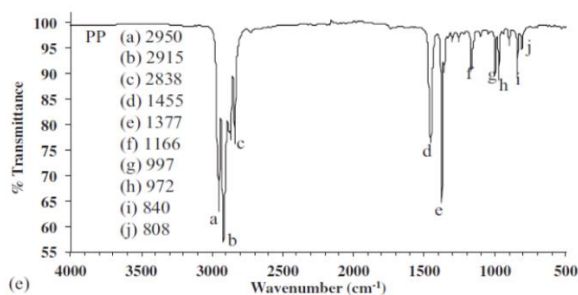
	River, Milwaukee			
15	Sedimen Sungai, Menomonee River, Ridge Blvd	6000 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019
16	Sedimen Sungai, Kinnickinnic Rivera, Jackson Park	30-35 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019
17	Sedimen Sungai, Kinnickinnic River, S. 11th St	200-250 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019
18	Sedimen Sungai, Kinnickinnic River, S. 1st St.	30-35 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019
19	Sedimen Sungai, Milwaukee <i>Inner Harbor</i>	200 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019
20	Sedimen Sungai, Milwaukee <i>Outer Harbor</i>	300-330 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019
21	Air Permukaan, Michigan	30-40 partikel/kg	PET, HDPE, PP, dan PAN	Lenaker et al., 2019
22	Air Permukaan, Pangkal Babu, Jambi	283,9 partikel/L	[Berdasarkan bentuk] <i>Fiber,</i> <i>Fragment,</i> dan <i>Film</i>	Fitri dan Patria, 2019
23	Sedimen Sungai, Pangkal Babu, Jambi	11,2 partikel/g	[Berdasarkan bentuk] <i>Fiber,</i> <i>Fragment,</i> dan <i>Film</i>	Fitri dan Patria, 2019
24	Air Permukaan,	13,33 partikel/m ³	[Berdasarkan ukuran]	Wijaya dan Trihadiningrum, 2019

	Kali Surabaya		LMP, SMP, dan Mesoplastik	
25	Air Permukaan, Sungai Yangtze, Cina	6614 partikel/L	[Berdasarkan bentuk] Serat dan <i>spheres</i>	Wang et al., 2020
26	Air Baku IPAM Nethen, Jerman	700 partikel/L	[Berdasarkan bentuk] Serat	Mintenig et al., 2019

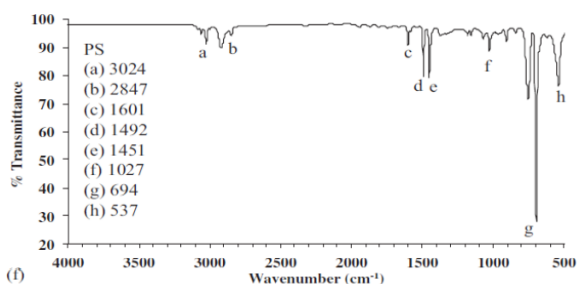
2.9 Spektroskopi Fourier-Transform InfraRed (FTIR)

Fourier-Transform InfraRed (FTIR) adalah metode yang menggunakan inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrum sampel. Pada spektroskopi inframerah, radiasi inframerah dilewatkan pada sampel sehingga sebagian radiasi inframerah diserap oleh sampel dan sebagian lagi dilewatkan atau ditransmisikan (Satriawan dan Ilmiati, 2017).

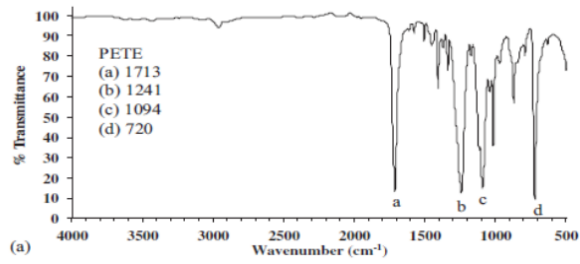
Analisis gugus fungsi dengan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa organik hal tersebut dikarenakan spektrum senyawa organik sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak (Chusnul, 2011 dalam Ayuningtyas, 2019). Sampel ditempatkan ke dalam set holder, kemudian dicari spektrum yang sesuai. Hasilnya akan didapatkan difraktogram hubungan antara bilangan gelombang dengan intensitas. (Thermo, 2011 dalam Satriawan dan Ilmiati, 2017). Berikut adalah contoh hasil uji FTIR dari beberapa polymer dapat dilihat pada gambar berikut.



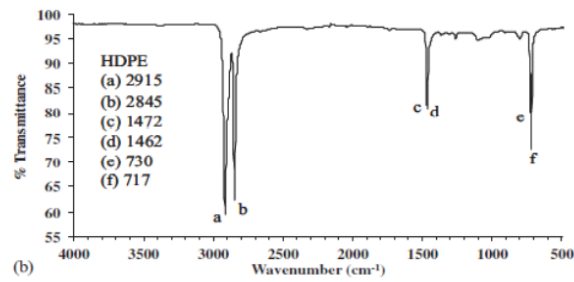
Gambar 2.15 Grafik Hasil Analisa FTIR Polypropylene
Sumber: Jung et al., 2018



Gambar 2.16 Grafik Hasil Analisa FTIR Polystyrene
Sumber: Jung et al., 2018



Gambar 2.17 Grafik Hasil Analisa FTIR *Polyethylene Terephthalate*
 Sumber: Jung et al., 2018

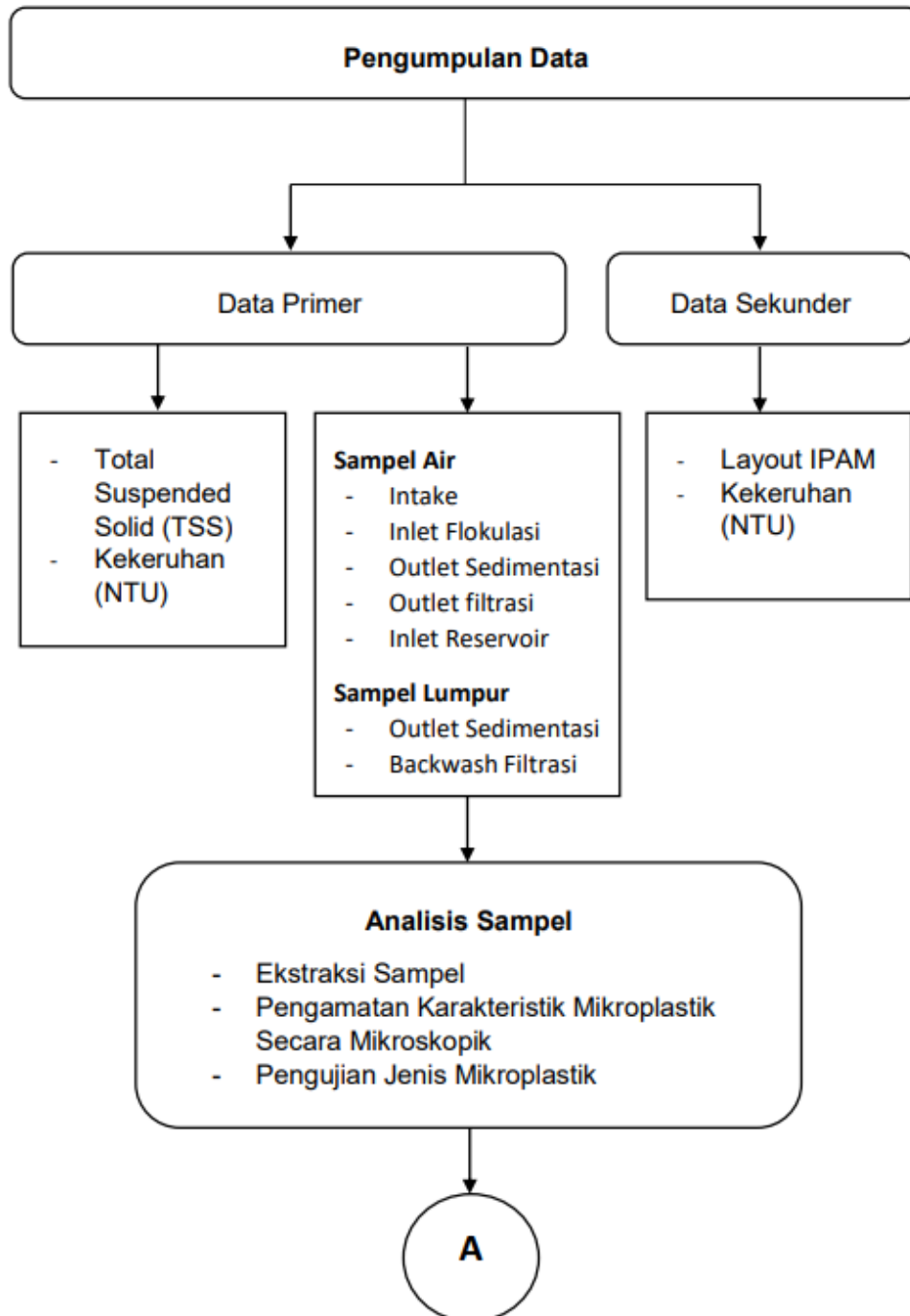


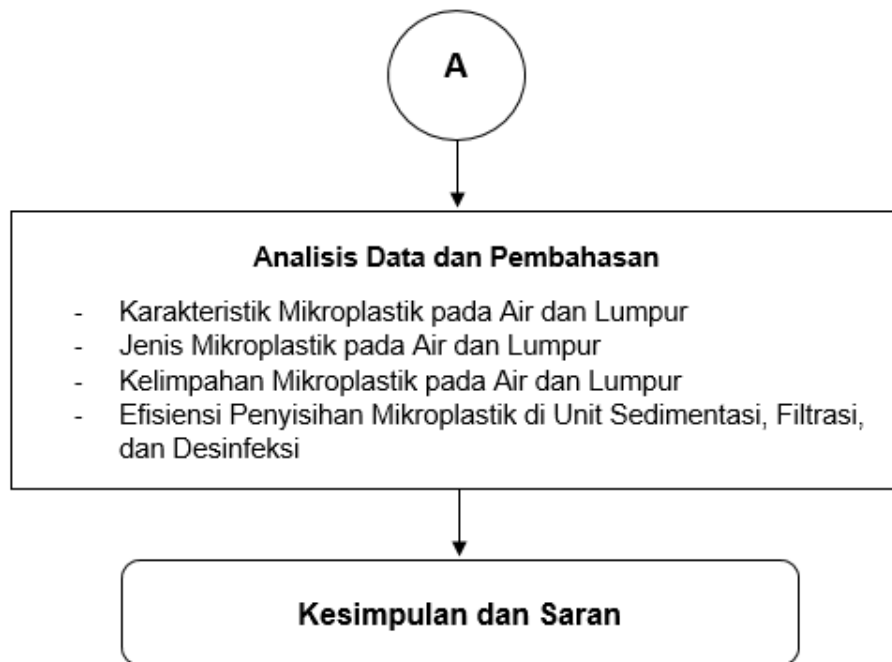
Gambar 2.18 Grafik Hasil Analisa FTIR *High-Density Polyethylene*
 Sumber: Jung et al., 2018

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Pembuatan kerangka penelitian bertujuan agar penelitian dapat terstruktur dan menghasilkan kesimpulan yang akan menjawab tujuan yang telah ditetapkan. Kerangka penelitian pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

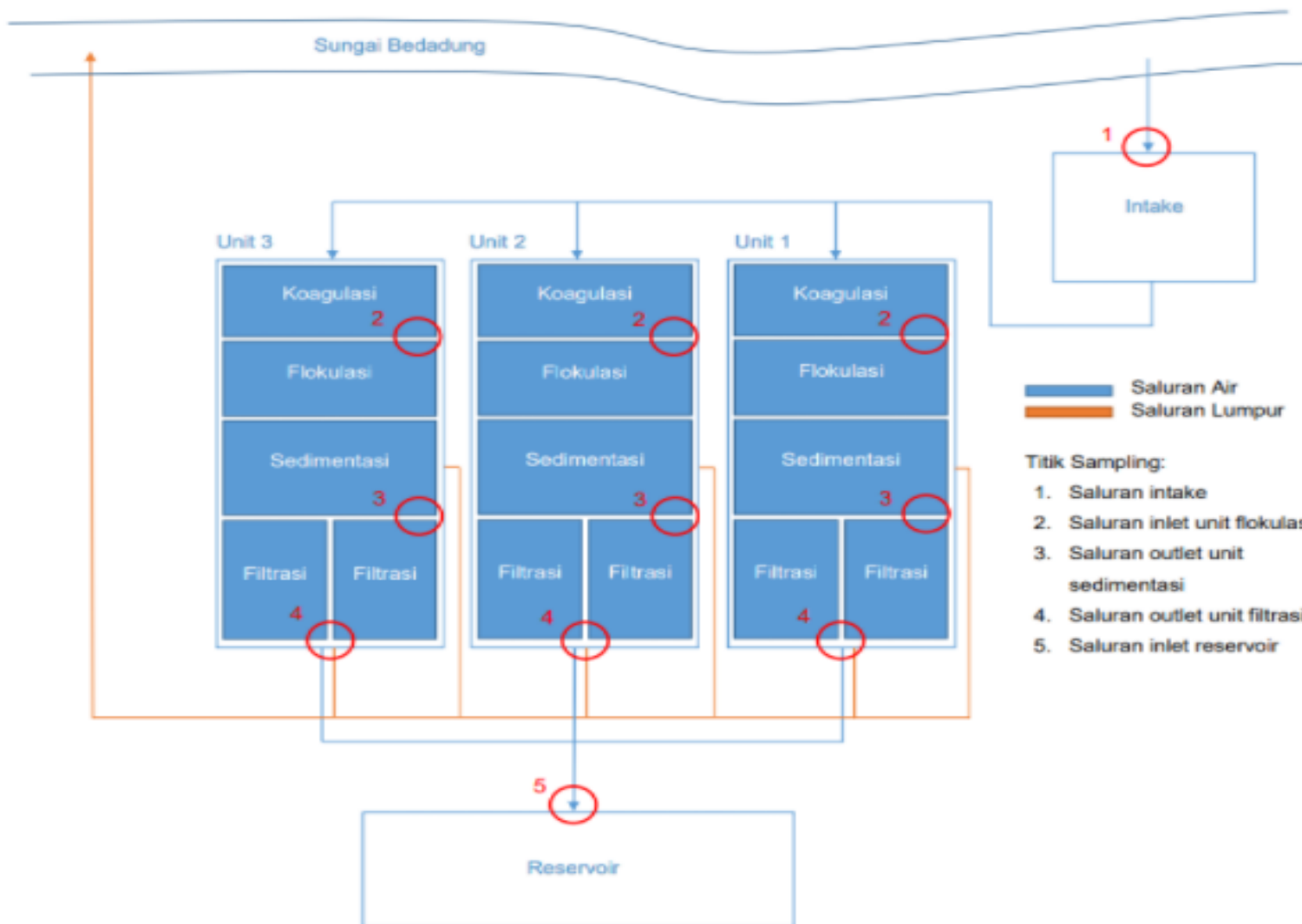




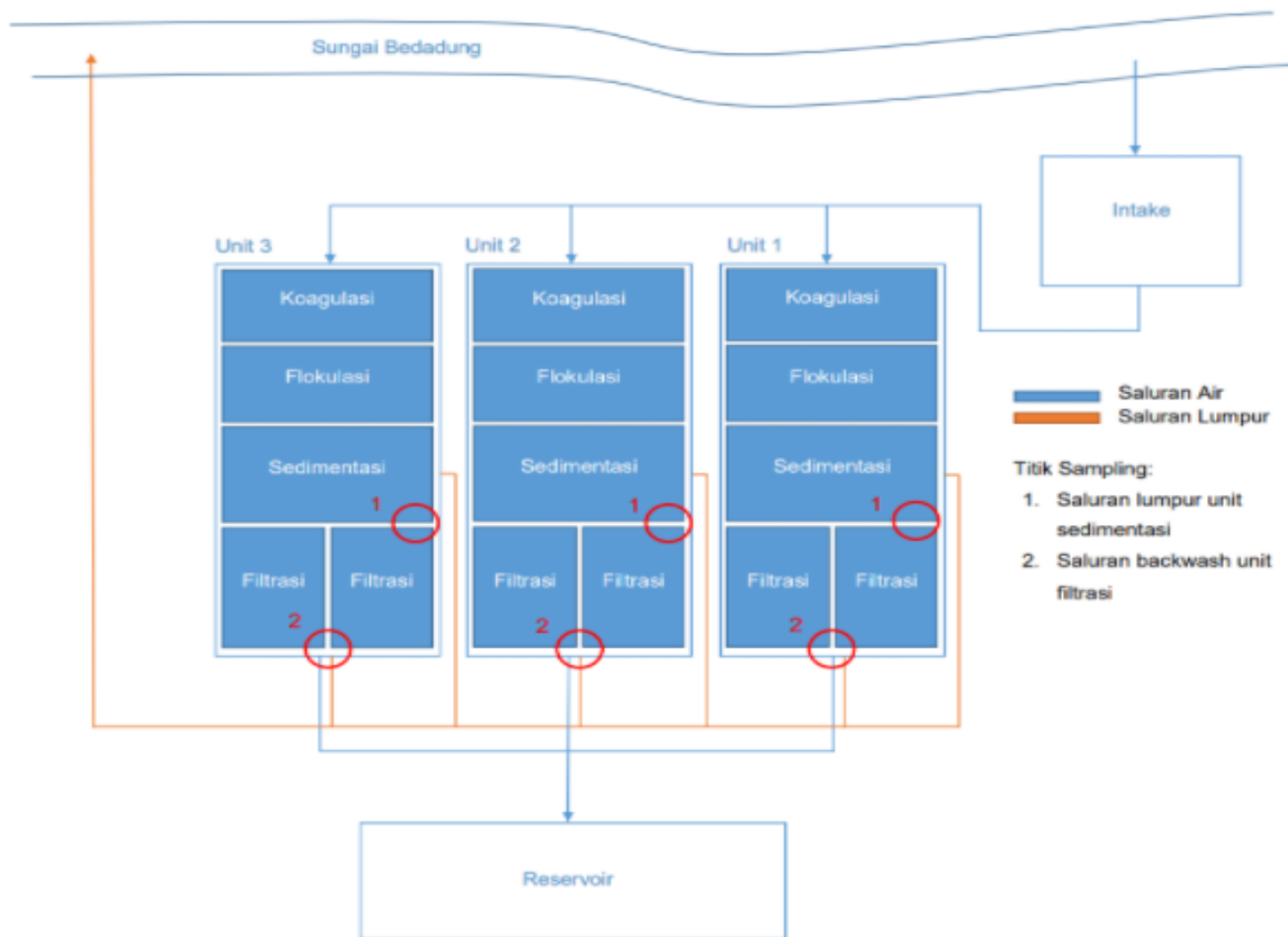
Gambar 3.1 Kerangka penelitian

3.1.1 Lokasi Sampling

Pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember, dilakukan sampling air pada unit intake, inlet unit flokulasi, outlet unit sedimentasi, outlet unit filtrasi, dan inlet unit *reservoir* (Gambar 3.2). Pengambilan sampling lumpur dilakukan pada outlet unit sedimentasi, dan outlet *backwash* unit filtrasi (Gambar 3.3).



Gambar 3.2 Titik sampling air



Gambar 3.3 Titik sampling lumpur

3.2 Pengumpulan Data

3.2.1 Data Primer

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang dikumpulkan yaitu kekeruhan (NTU), *Total Suspended Solid* (TSS), dan kelimpahan serta karakteristik mikroplastik yang diperoleh dari pengambilan serta pengujian sampel air dan lumpur. Pengukuran kekeruhan dilakukan menggunakan turbidimeter, TSS diperoleh setelah melakukan pengujian menggunakan kertas saring dan oven. Parameter mikroplastik berupa kelimpahan, warna, ukuran, dan bentuk didapatkan dari pengamatan mikroskopik. Parameter mikroplastik berupa jenis polimer didapatkan dari pengujian menggunakan FTIR. Sedangkan data sekunder berupa kekeruhan (NTU) dan *Total Suspended Solid* (TSS) air produksi didapatkan dari data di PDAM Kabupaten Jember. Untuk mendapatkan data primer, dilakukan sampling terhadap air dan lumpur. Sampling dilakukan di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember.

a. Sampling air

Sampling air dilakukan dengan menggunakan jurigen bervolume 10 L sebanyak 1 buah untuk masing-masing unit. Prosedur sampling air adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat sampling yakni jurigen 10 L dan gayung bertangkai panjang. Penggunaan gayung bertangkai panjang ini sesuai dengan SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah.
2. Untuk unit berupa kolam, diambil air menggunakan gayung bertangkai panjang yang telah dibasahi dengan air sampel. Air yang telah diambil dimasukkan ke dalam jurigen yang juga telah dicuci menggunakan air sampel.
3. Untuk unit yang memiliki kran pada saluran pipa, kran dibuka penuh dan dibiarkan mengalir selama 2-3 menit untuk kemudian dialirkan ke dalam jurigen yang telah dicuci menggunakan air sampel.
4. Jurigen yang telah terisi diberi label.

b. Sampling lumpur

Sampling lumpur dilakukan dengan menggunakan jurigen bervolume 10 L sebanyak 1 buah untuk masing-masing unit. Prosedur sampling lumpur adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat sampling yakni jurigen 10 L.
2. Dibuka kran pada saluran pipa lumpur dan dibiarkan mengalir hingga muncul lumpur pekat. Dialirkan lumpur pekat pada jurigen.
3. Jurigen yang telah terisi diberi label.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder bertujuan sebagai pendukung penelitian yang dilakukan dan pembandingan penelitian pendahuluan yang telah dilakukan. Data sekunder yang dibutuhkan didapatkan dari PDAM Kabupaten Jember berupa layout IPAM lengkap dengan diagram alur proses pengolahan, TSS (*Total Suspended Solid*), dan kekeruhan air.

3.3 Analisis Sampel

Analisis sampel terdiri dari ekstraksi mikroplastik, perhitungan konsentrasi atau kelimpahan mikroplastik serta pengamatan karakteristik mikroplastik menggunakan mikroskop. Karakteristik yang diamati meliputi bentuk, ukuran, dan warna mikroplastik. Pengujian kelimpahan dan karakteristik tersebut dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air serta Laboratorium Pengelolaan Limbah Padat dan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Departemen Teknik Lingkungan ITS. Analisis juga dilakukan terhadap jenis mikroplastik menggunakan pengujian FTIR. Ekstraksi mikroplastik pada air dan lumpur

bertujuan untuk memisahkan mikroplastik dengan media air atau lumpurnya sehingga dapat dianalisis karakteristik dan dihitung kelimpahan mikroplastik tersebut.

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan merupakan tahap pertama yang dilakukan. Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini

a. Instrumen

Instrumen utama yang akan digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Oven, alat ini digunakan untuk pengujian TSS dan pengeringan sampel lumpur basah.
2. Desikator, alat ini digunakan untuk menyesuaikan suhu sampel dengan suhu ruangan pada pengujian TSS.
3. Cawan porselen, alat ini digunakan sebagai wadah kertas saring pada pengujian TSS.
4. Turbidimeter, alat ini digunakan untuk mengukur kekeruhan pada sampel air.
5. Neraca analitik, alat ini digunakan untuk mengukur berat sampel lumpur, berat kertas saring untuk pengujian TSS, berat zat analisis untuk pengujian TSS, dan berat NaCl untuk ekstraksi mikroplastik.
6. *Beaker glass*, alat ini digunakan sebagai wadah larutan yang akan diuji dan dianalisis.
7. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur volume larutan.
8. Pipet ukur, alat ini digunakan untuk memindahkan larutan dengan volume tertentu secara presisi.
9. *Aluminium foil*, digunakan sebagai penutup beaker glass agar menghindari kontaminasi sampel.
10. *Hot magnetic stirrer*, alat ini digunakan untuk memanaskan sekaligus mengaduk sampel pada saat proses ekstraksi mikroplastik
11. Kompor, alat ini digunakan untuk melarutkan sampel yang telah diberi NaCl.
12. Spatula, alat ini digunakan untuk mengambil material berbentuk padat atau Kristal seperti NaCl.
13. *Vacuum filter pump*, alat ini digunakan untuk pemisahan densitas atau penyaringan mikroplastik menggunakan *glass fiber filter*.
14. Cawan petri, alat ini digunakan sebagai wadah sampel yang telah disaring menggunakan *glass fiber filter*.

b. Instrumen dari luar

Instrumen yang dibutuhkan dan berasal dari Laboratorium Departemen Material dan Metalurgi, dan Teknik Mesin ITS ialah:

1. *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*, digunakan untuk menganalisis jenis dan komposisi mikroplastik yang terdapat di sampel.

c. Bahan

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Air dan Lumpur yang diperoleh dari IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember Air dan lumpur pada penelitian ini menjadi sampel yang akan dianalisis kelimpahan, jenis, serta karakteristik mikroplastik. Air dan lumpur yang diambil berasal dari saluran intake, saluran inlet unit flokulasi, saluran outlet unit sedimentasi, saluran outlet unit filtrasi, saluran inlet unit reservoir, saluran backwash filtrasi, dan saluran outlirt lumpur unit sedimentasi. Air dan lumpur tersebut diambil dengan teknik *time composite sampling*, dengan menggunakan jurigen.
2. Hidrogen peroksida (H_2O_2)
Hidrogen peroksida digunakan untuk menghilangkan material organik dari sampel air dan lumpur. Hidrogen peroksida yang digunakan mempunyai kadar 30%.

Menurut Kang et al. (2020), hidrogen peroksida memiliki kemampuan *digesting* atau kemampuan menghancurkan partikel organik.

3. NaCl, material ini digunakan untuk meningkatkan densitas air atau cairan pada sampel sehingga mikroplastik akan cenderung mengapung ke permukaan.
4. Kertas saring (Whatman) PTFE (*polytetrafluoroethylene*), bahan ini digunakan untuk pengujian TSS.
5. Kertas saring (Whatman) *Glass Fiber*, bahan ini digunakan untuk menyaring mikroplastik dan wadah sampel yang telah diekstraksi.
6. Aquades, bahan ini berfungsi sebagai blanko pada pengujian menggunakan turbidimeter.

3.3.2 Ekstraksi Mikroplastik pada Air

1. Melakukan *Wet Peroxide Oxidation* (WPO) (Lampiran A) dengan cara menambahkan hidrogen peroksida (H_2O_2) 30% sebanyak 20 mL dan mengaduk serta memanaskan menggunakan hot magnetic stirrer maksimum $75^\circ C$ selama 30 menit hingga muncul gelembung untuk menghilangkan material organik dari sampel air (Masura et al., 2015). Apabila masih terlihat material organik pada air sampel, tambahkan lagi 20 mL hidrogen peroksida 30% hingga tidak ada lagi material organik yang terlihat. Tambahkan NaCl sebanyak 6 gram pada sampel air untuk meningkatkan densitas air. Kemudian dipanaskan pada suhu $75^\circ C$ hingga NaCl larut.
2. Melakukan pemisahan densitas menggunakan *vacuum filter pump* dan kertas saring. Kertas saring yang digunakan adalah *glass fiber filter* untuk menghindari kesalahan analisis jenis mikroplastik pada FTIR.

3.3.3 Ekstraksi Mikroplastik pada Lumpur

1. Melakukan pengeringan lumpur dengan menggunakan oven. Sampel lumpur cair diambil sebanyak 400 gram dan dimasukkan ke dalam oven $90^\circ C$ selama 24 jam hingga lumpur menjadi kering (Masura et al., 2015).
2. Melakukan *Wet Peroxide Oxidation* (WPO) (Lampiran B) dengan cara menambahkan hidrogen peroksida (H_2O_2) 30% sebanyak 40 mL dan mengaduk serta memanaskan menggunakan hot magnetic stirrer maksimum $75^\circ C$ selama 30 menit hingga muncul gelembung untuk menghilangkan material organik dari sampel lumpur kering (Masura et al., 2015). Tambahkan NaCl sebanyak 6 gram pada sampel lumpur untuk meningkatkan densitas cairan yang terkandung dalam lumpur. Kemudian dipanaskan pada suhu $75^\circ C$ hingga NaCl larut.
3. Sampel lumpur didiamkan selama 24 jam dan ditutup menggunakan *aluminium foil* hingga mikroplastik terlihat mengambang di permukaan.
4. Melakukan pemisahan densitas menggunakan *vacuum filter pump* dan kertas saring. Kertas saring yang digunakan adalah *glass fiber filter* untuk menghindari kesalahan analisis jenis mikroplastik pada FTIR.

3.3.4 Pengamatan Mikroskopik

Pengamatan mikroskopik dilakukan terhadap kelimpahan dan karakteristik mikroplastik yang meliputi warna, bentuk, dan ukuran. Prosedur pengamatan mikroskopik yaitu (Masura et al., 2015):

1. Menyiapkan sampel yang telah diekstraksi pada *glass fiber filter*.
2. Dibawah mikroskop digital perbesaran 40X, ambil *glass fiber filter* menggunakan pinset dan letakkan di meja preparat.

3. Amati warna, bentuk, dan ukuran mikroplastik. Pengamatan ukuran mikroplastik menggunakan alat bantu berupa penggaris dengan ketelitian 0,1 mm.

3.3.5 Preparasi Analisis FTIR

Analisis jenis mikroplastik dilakukan menggunakan alat FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*). Pengujian dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Bahan Departemen Material dan Metalurgi ITS. Sebelum sampel diujikan, dilakukan preparasi sebagai berikut:

1. Mengklasifikasikan mikroplastik berdasarkan bentuk dan warna.
2. Memindahkan mikroplastik pada *glass fiber filter* kosong sesuai variasi bentuk dan warnanya menggunakan pinset.

3.4 Analisis Data dan Pembahasan

Seluruh data hasil pengamatan akan dikumpulkan dan dianalisis. Hasil analisis disajikan dalam bentuk diagram maupun grafik, dengan metode statistika deskriptif. Analisis data yang akan dilakukan meliputi:

1. Data kelimpahan mikroplastik dianalisis pada masing-masing unit IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember. Kelimpahan didapatkan dengan satuan partikel/L air untuk sampel air dan partikel/L hidrogen peroksida untuk sampel lumpur. Jumlah partikel didapatkan dari perhitungan dan sortasi manual.
2. Data karakteristik mikroplastik dianalisis pada masing-masing unit IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember. Karakteristik yang dianalisis meliputi ukuran, bentuk, dan warna dari mikroplastik. Data karakteristik didapatkan dari sortasi manual dan dikelompokkan berdasarkan warna dan bentuk yang sama.
3. Data efisiensi penyisihan mikroplastik dihitung melalui kelimpahan pada titik inlet dan outlet masing-masing unit IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember. Rumus efisiensi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{(\text{Mikroplastik air baku} - \text{Mikroplastik air produksi})}{\text{Mikroplastik air baku}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Data kelimpahan mikroplastik pada air akan dikorelasikan dengan kelimpahan mikroplastik pada lumpur dan dikombinasikan dengan karakteristik mikroplastik yang terdapat pada setiap unit sehingga dapat dievaluasi unit yang memiliki efisiensi penyisihan mikroplastik yang paling tinggi dan dapat diberikan rekomendasi terhadap unit yang perlu dioptimalkan kinerjanya sehingga mampu menyisihkan mikroplastik secara efisien.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis data dan pembahasan yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran. Kesimpulan harus menjawab rumusan masalah dan sesuai dengan tujuan penelitian. Saran diperlukan sebagai penyempurnaan penelitian dan rekomendasi terhadap penelitian terkait untuk memberi masukan bagi penelitian yang lebih lanjut.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kekерuhan dan TSS (Total Suspended Solid) pada Unit Operasi IPAM Tegal Besar

Sampling dilakukan selama empat hari pada dua waktu yang berbeda untuk unit intake, unit flokulasi, unit sedimentasi, unit filtrasi, dan unit reservoir IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember pada Bulan Januari hingga Februari 2022. Penelitian pendahuluan dilakukan terhadap masing-masing sampel yang meliputi kekeruhan (NTU) dan Total Suspended Solid (TSS). Penelitian pendahuluan tersebut dapat menunjukkan kondisi lingkungan di titik sampling.

Sampel yang diuji pada penelitian pendahuluan ini berupa sampel air dari unit intake, sampel air dari inlet unit flokulasi, sampel air dari outlet unit sedimentasi, sampel air dari outlet unit filtrasi, sampel air dari inlet unit reservoir, sampel lumpur dari saluran backwash filtrasi, dan sampel lumpur dari unit sedimentasi. Pada unit intake, sampel air merupakan air baku tanpa adanya pengolahan. Pada unit flokulasi, sampel air menerima penambahan koagulan berupa Poli Aluminium Klorat (PAC) dan mengalami pengendapan pada unit sedimentasi. Pada unit filtrasi, sampel air telah melalui tahap penyaringan menggunakan media pasir. Kemudian sebelum masuk ke reservoir, sampel air menerima pembubuhan disinfektan. Sampel air dan lumpur diambil pada pukul 07.00 WIB dan 17.00 WIB. Kemudian air dan lumpur tersebut dikompositkan dengan volume yang sama yaitu 3 L, sehingga didapatkan 6 L air dan lumpur untuk masing-masing unit. Kondisi lingkungan sampel yang telah dikompositkan dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Kekерuhan dan TSS di Unit IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember

Waktu Sampling	Titik Sampling	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)
Kamis, 27 Januari 2022	Intake	11,00	753,60
	Inlet Flokulasi	10,60	749,20
	Outlet Sedimentasi	2,40	342,90
	Outlet Filtrasi	2,10	60,40
	Inlet Reservoir	1,30	56,30
	Lumpur Backwash	600	1965,00
	Lumpur Sedimentasi	ND	6442,00
Jumat, 28 Januari 2022	Intake	13,70	757,10
	Inlet Flokulasi	13,20	752,50
	Outlet Sedimentasi	2,60	327,20
	Outlet Filtrasi	1,65	60,00
	Inlet Reservoir	1,10	45,00
	Lumpur Backwash	800	1966,60
	Lumpur Sedimentasi	ND	6976,00
Senin, 31 Januari 2022	Intake	11,10	758,80
	Inlet Flokulasi	9,90	740,90
	Outlet Sedimentasi	2,80	248,10
	Outlet Filtrasi	1,10	76,20
	Inlet Reservoir	0,75	37,30
	Lumpur Backwash	850	1989,60
	Lumpur Sedimentasi	ND	4676,10

Selasa, 1 Februari 2022	Intake	11,30	749,60
	Inlet Flokulasi	10,50	746,70
	Outlet Sedimentasi	3,00	334,10
	Outlet Filtrasi	1,90	118,40
	Inlet Reservoir	0,50	50,40
	Lumpur Backwash	1000	1851,40
	Lumpur Sedimentasi	ND	5422,30

Catatan: ND = Not Detected (terlalu pekat)

Sampel air pada IPAM Tegal Besar mengalami peningkatan kualitas setelah melewati unit-unit pengolahan air berdasarkan nilai kekeruhan dan TSS. Nilai kekeruhan rata-rata air baku sekitar 11,78 NTU dan mengalami penurunan sebesar 77,1% setelah melalui tahap koagulasi-flokulasi-sedimentasi menjadi rata-rata 2,70 NTU. Nilai kekeruhan rata-rata setelah melalui proses filtrasi yakni 1,94 NTU yang menunjukkan efisiensi removal kekeruhan pada unit filtrasi sebesar 28,2%. Nilai kekeruhan tertinggi terdapat pada sampel air dari unit intake yaitu 13,70 NTU (hari ketiga), sedangkan nilai kekeruhan air setelah melewati tahap disinfeksi dan masuk ke unit reservoir adalah 1,30 (hari pertama); 1,10 (hari kedua); 0,75 (hari ketiga); dan 0,50 (hari keempat). Nilai kekeruhan pada sampel air IPAM Tegal Besar mengalami penurunan paling signifikan setelah melalui tahap koagulasi-flokulasi-sedimentasi karena terdapat penambahan koagulan Poli Aluminium Klorat (PAC). Menurut Sutapa (2014), penambahan koagulan PAC efektif menurunkan kekeruhan air sesuai konsentrasi dan dosis tertentu.

Selain penurunan kekeruhan, sampel air IPAM Tegal Besar juga menunjukkan adanya penurunan TSS (Total Suspended Solid) setelah melewati unit pengolahan air. Unit yang paling signifikan menurunkan TSS adalah unit filtrasi dengan persentase efisiensi removal rata-rata sebesar 79,9% dan diikuti dengan unit koagulasi-flokulasi-filtrasi dengan persentase removal rata-rata 58,3%. Menurut Rugner et al. (2013), kekeruhan dapat menjadi indikator adanya partikel tersuspensi dan polutan lainnya pada air. Semakin tinggi nilai TSS, semakin tinggi pula tingkat kekeruhan. Namun tidak semua kekeruhan disebabkan oleh partikel tersuspensi. Melalui penelitiannya, Gerdes et al. (2019) menyebutkan bahwa suspended solid yang terdapat di air berasal dari partikel mineral yang salah satunya mikroplastik. Sehingga mikroplastik dapat terbaca sebagai TSS yang nantinya berpengaruh terhadap nilai kekeruhan. Hal ini juga didukung oleh Sarkar et al. (2021) bahwa terdapat keterkaitan antara mikroplastik dan kekeruhan. Apabila kelimpahan mikroplastik dalam air tinggi, kekeruhan air yang terbaca juga akan tinggi.

4.2 Kelimpahan Mikroplastik

Mikroplastik ditemukan pada semua titik sampling pada unit pengolahan air minum di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember. Mikroplastik ini ditemukan baik pada air baku maupun air produksi IPAM Tegal Besar. Sumber pencemar mikroplastik pada air baku (Sungai Bedadung) berasal dari aktivitas domestik, pertanian, maupun industri di sekitar daerah aliran sungai tersebut (Hendra et al., 2019). Hendra (2019) juga menyebutkan bahwa Sungai Bedadung yang digunakan sebagai sumber air baku IPAM Tegal Besar merupakan akumulasi dari Sungai Antirogo dan Sungai Kalijompo. Kelimpahan mikroplastik pada air baku ini berkisar 10-17 partikel/L. Kelimpahan mikroplastik pada air produksi mengalami penurunan setelah melalui unit pengolahan air menjadi 4-5 partikel/L. IPAM Tegal Besar PDAM Jember menyalurkan air dengan debit 60 L/detik sehingga dengan kelimpahan sebanyak 4-5 partikel/L dapat diketahui banyaknya partikel mikroplastik yang ikut lolos ke reservoir dan berpotensi terdistribusikan ke masyarakat setiap detiknya yakni 240 – 300 partikel/detik. Dari kelimpahan

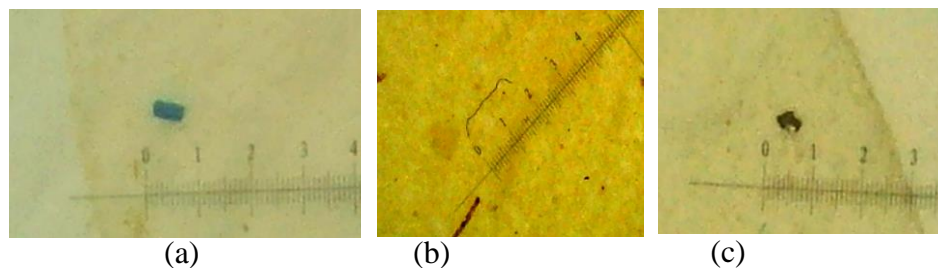
tersebut, dapat dihitung efisiensi penyisihan mikroplastik pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember.

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Mikroplastik air baku} - \text{Mikroplastik air produksi})}{\text{Mikroplastik air baku}} \times 100\% \dots\dots\dots(2) \\
 &= \frac{(17-5) \text{ partikel/L}}{17} \times 100\% \\
 &= 70,6 \%
 \end{aligned}$$

Menurut Pivokonsky et al. (2018) IPAM di Czech dengan fasilitas koagulasi-flokulasi-sedimentasi dan filtrasi media pasir memiliki efisiensi penyisihan 70%. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi total penyisihan mikroplastik di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember. Namun angka ini terbilang kecil. Pivokonsky et al. (2018) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa optimalisasi unit filtrasi menggunakan GAC (granulated activated carbon) dapat meningkatkan efisiensi penyisihan mikroplastik menjadi 81-82%. Sedangkan Wang et al. (2020) mampu memperoleh efisiensi penyisihan mikroplastik sebesar 83-89% menggunakan *advanced treatment unit* yang dikombinasikan dengan ozonasi.

4.3 Bentuk Mikroplastik

Karakteristik berupa bentuk mikroplastik dianalisis pada penelitian ini. Berdasarkan hasil pengamatan mikroskop, bentuk mikroplastik pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember terbagi menjadi fragmen, filament/fiber, dan granula/pellet (Gambar 4.4). Jumlah mikroplastik untuk masing-masing bentuk terdapat pada Tabel 4.3.



Gambar 4.4 Bentuk Mikroplastik (a) fragmen, (b) filamen, (c) pellet

Mikroplastik yang ditemukan pada unit pengolahan di IPAM Tegal Besar memiliki variasi bentuk yang berbeda-beda. Tabel 4.3 menunjukkan variasi bentuk pada masing-masing unit pengolahan.

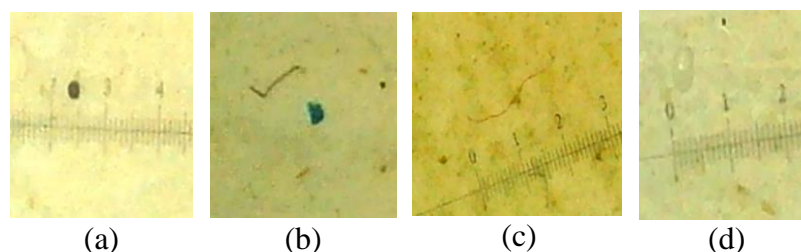
Tabel 4.3 Bentuk Mikroplastik di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember

Unit	Fragmen		Filamen/ Fiber		Pellet/ Granula	
	Partikel/L	%	Partikel/L	%	Partikel/L	%
Intake	4	24	10	59	3	18
Inlet Flokulasi	2	15	10	77	1	8
Outlet Sedimentasi	2	18	8	73	1	9
Outlet Filtrasi	1	14	6	86	0	0
Inlet Reservoir	1	20	4	80	0	0
Lumpur Backwash	4	33	7	58	1	8
Lumpur Sedimentasi	4	40	5	50	1	10

Dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa bentuk yang paling banyak terdapat pada setiap unit adalah filament/fiber sebesar 50 – 86%, diikuti dengan bentuk fragmen sebesar 14 -40%. Menurut Kosuth et al. (2018) pada air baku di 12 cabang sungai Amerika Serikat, dari 539 partikel yang ditemukan; 98,3 persen teridentifikasi berbentuk fiber/filament. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Wikurendra at al. (2022) bahwa bentuk mikroplastik yang paling sering ditemukan pada Sungai Brantas adalah fragmen dan filamen. Pada air baku di intake IPAM Tegal Besar ditemukan tiga bentuk mikroplastik berupa fragmen, filament/fiber, dan pellet/granula. Mikroplastik berbentuk filament bersumber dari sumber sekunder yakni degradasi jaring ikan, tali, atau kain sintetik (Wikurendra et al., 2022). Sedangkan fragmen merupakan bentuk mikroplastik yang biasanya berasal dari botol, kantung plastik, dan fragmentasi pipa. Bentuk granula mikroplastik berasal dari aktivitas industri seperti peralatan mandi. Setelah melalui tahap koagulasi-flokulasi-sedimentasi, bentuk pellet/granula tidak lagi ditemukan pada air outlet melainkan pada lumpur sedimentasi. Hal ini menunjukkan bahwa mikroplastik yang tersisihkan pada unit pengolahan ini ikut mengendap bersama lumpur. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Vermaire et al. (2017), mikroplastik berjenis fragmen, serat (terutama merah dan biru), dan pellet yang ditemukan di air dan sedimen memiliki jenis yang sama yang menunjukkan bahwa mikroplastik dalam sedimen mengendap di kolom air meskipun densitasnya lebih kecil dibandingkan air tawar. Hal ini dikarenakan mikroplastik berkumpul dengan partikel organik dan suspensi lainnya yang membuat mengendap di kolom air. Apabila dilihat dari bentuknya, mikroplastik berbentuk filament/fiber mendominasi pada air baku, air hasil pengolahan, dan lumpur.

4.2.3 Warna Mirkoplastik

Lestari et al. (2020) mengelompokkan warna mikroplastik menjadi hitam, biru, merah, kuning, putih, dan transparan. Pada sampel air dan lumpur di IPAM Tegal Besar hanya ditemukan empat kategori warna yakni hitam, biru, merah, dan transparan (Gambar 4.5).



Gambar 4.5 Warna Mikroplastik (a) hitam, (b) biru, (c) merah, (d) transparan

Mikroplastik yang ditemukan pada setiap unit pengolahan memiliki variasi yang berbeda-beda. Tabel 4.4 menunjukkan jumlah mikroplastik berdasarkan warna yang ditemukan pada sampel air dan lumpur IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember.

Tabel 4.4 Warna Mikroplastik di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember

Unit	Hitam		Biru		Merah		Transparan	
	Partikel/L	%	Partikel/L	%	Partikel/L	%	Partikel/L	%
Intake	12	71	0	0	2	12	3	18
Inlet Flokulasi	8	62	0	0	3	23	2	15
Outlet Sedimentasi	7	64	0	0	2	18	2	18
Outlet Filtrasi	6	86	0	0	0	0	1	14
Inlet Reservoir	3	60	0	0	1	20	1	20

Lumpur Backwash	6	50	1	8	2	17	3	25
Lumpur Sedimentasi	5	50	1	10	1	10	3	30

Dapat dilihat pada Tabel 4.4 bahwa warna mikroplastik pada air baku didominasi oleh warna hitam sebesar 50 – 86% kemudian warna transparan sebesar 14 – 30%. Warna merah dan biru ditemukan masing-masing sebesar 0 – 23% dan 0 – 10%. Menurut GESAMP (2018), pada saat pasang dan surut untuk mikroplastik jenis fiber didominasi oleh warna hitam yang mengindikasikan banyaknya kontaminan yang terserap dalam mikroplastik dan partikel organik lainnya. Sedangkan warna lain seperti merah dan biru kemungkinan besar merupakan warna asal yang berasal dari benang pakaian dan air sisa cucian. Warna merah dan biru juga dapat berasal dari warna buatan dari hasil antropogenik (Dektiff, 2014) dan maupun warna yang telah mengalami degradasi dengan sinar matahari (UV). Apabila warna mikroplastik yang ditemukan masih pekat, berarti mikroplastik belum mengalami perubahan warna (discolouring) yang signifikan (Kapo et al., 2020). Menurut Kosuth et al. (2018) mikroplastik berwarna pekat lebih mudah ditemukan daripada mikroplastik berwarna terang. Hal ini dikarenakan keterbatasan pemisahan dan klasifikasi mikroplastik secara manual.

Mikroplastik yang ditemukan pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember memiliki beberapa variasi bentuk dan warna yang apabila dituliskan secara keseluruhan menjadi seperti pada Tabel 4.5 – Tabel 4.11.

Tabel 4.5 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Unit Intake IPAM Tegal Besar

Bentuk	Warna	Partikel/L	%
Fragmen	Hitam	0	0
	Biru	0	0
	Merah	1	6
	Transparan	3	18
Filamen/Fiber	Hitam	9	53
	Biru	0	0
	Merah	1	6
	Transparan	0	0
Pellet/Granula	Hitam	3	18
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	0	0

Tabel 4.6 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Inlet Unit Flokulasi IPAM Tegal Besar

Bentuk	Warna	Partikel/L	%
Fragmen	Hitam	0	0
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	2	15
Filamen/Fiber	Hitam	7	54
	Biru	0	0
	Merah	3	23
	Transparan	0	0
Pellet/Granula	Hitam	1	8

	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	0	0

Tabel 4.7 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Outlet Unit Sedimentasi IPAM Tegal Besar

Bentuk	Warna	Partikel/L	%
Fragmen	Hitam	0	0
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	2	18
Filamen/Fiber	Hitam	6	55
	Biru	0	0
	Merah	2	18
	Transparan	0	0
Pellet/Granula	Hitam	1	9
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	0	0

Tabel 4.8 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Outlet Unit Filtrasi IPAM Tegal Besar

Bentuk	Warna	Partikel/L	%
Fragmen	Hitam	0	0
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	1	14
Filamen/Fiber	Hitam	6	86
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	0	0
Pellet/Granula	Hitam	0	0
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	0	0

Tabel 4.9 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Inlet Unit Reservoir IPAM Tegal Besar

Bentuk	Warna	Partikel/L	%
Fragmen	Hitam	0	0
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	1	20
Filamen/Fiber	Hitam	3	60
	Biru	0	0
	Merah	1	20
	Transparan	0	0
Pellet/Granula	Hitam	0	0
	Biru	0	0
	Merah	0	0

	Transparan	0	0
--	------------	---	---

Tabel 4.10 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Lumpur Sedimentasi IPAM Tegal Besar

Bentuk	Warna	Partikel/L	%
Fragmen	Hitam	0	0
	Biru	1	10
	Merah	0	0
	Transparan	3	30
Filamen/Fiber	Hitam	4	40
	Biru	0	0
	Merah	1	10
	Transparan	0	0
Pellet/Granula	Hitam	1	10
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	0	0

Tabel 4.11 Bentuk dan Warna Mikroplastik pada Lumpur Backwash IPAM Tegal Besar

Bentuk	Warna	Partikel/L	%
Fragmen	Hitam	0	0
	Biru	1	8
	Merah	0	0
	Transparan	3	25
Filamen/Fiber	Hitam	5	42
	Biru	0	0
	Merah	2	17
	Transparan	0	0
Pellet/Granula	Hitam	1	8
	Biru	0	0
	Merah	0	0
	Transparan	0	0

Berdasarkan data pada Tabel 4.5 – Tabel 4.11, bentuk dan warna yang paling banyak ditemukan pada sampel air dan lumpur adalah filament warna hitam, filament warna merah, dan fragmen transparan. Namun juga ditemukan granula berwarna hitam dan fragmen berwarna biru.

4.4 Ukuran Mikroplastik

Penentuan ukuran mikroplastik pada penelitian ini mengacu pada Lestari et al. (2020) yang membagi ukuran mikroplastik menjadi 6 segmen yaitu 10-50 μm , 51-100 μm , 101-150 μm , 151-200 μm , 201-250 μm , dan 251-300 μm . Mikroplastik yang ditemukan pada penelitian ini memiliki kisaran ukuran antara 0,02 mm – 0,2 mm atau setara dengan 20 μm – 200 μm . Hasil pengamatan ukuran mikroplastik pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember terdapat di Tabel 4.12

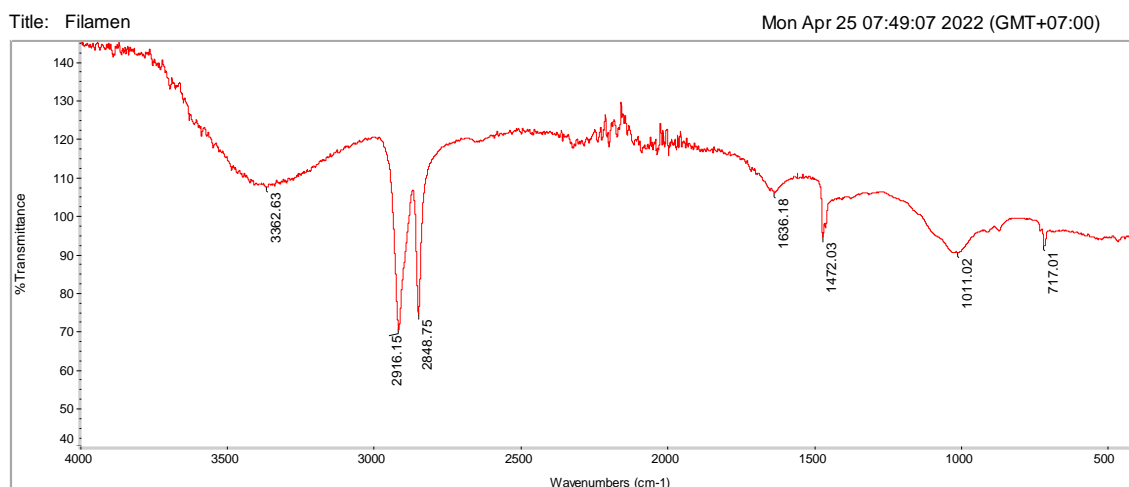
Tabel 4.12 Ukuran Mikroplastik pada IPAM Tegal Besar

Unit	1 μm – 50 μm		51 μm – 100 μm		101 μm – 150 μm		151 μm – 200 μm	
	Partikel/L	%	Partikel/L	%	Partikel/L	%	Partikel/L	%
Intake	3	18	5	29	7	41	2	12
Inlet Flokulasi	1	8	3	23	7	54	2	15
Outlet Sedimentasi	1	9	8	73	2	18	0	0
Outlet Filtrasi	0	0	7	100	0	0	0	0
Inlet Reservoir	0	0	5	100	0	0	0	0
Lumpur Backwash	2	17	8	66	2	17	0	0
Lumpur Sedimentasi	2	20	6	60	2	20	0	0

Data pada Tabel 4.12 menunjukkan bahwa sebagian besar mikroplastik pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember memiliki ukuran 51 μm – 100 μm yakni sebesar 23 - 100% dari total mikroplastik yang ditemukan. Kemudian dilanjutkan dengan mikroplastik berukuran 101 μm – 150 μm sebesar 0 – 54%. Sedangkan paling sedikit yaitu mikroplastik berukuran 151 μm – 200 μm dan 1 μm – 50 μm yang masing-masing memiliki persentase 0 – 15% serta 0 – 20%. Dari data tersebut dapat didapatkan bahwa setelah melewati unit pengolahan, terjadi perubahan ukuran mikroplastik menjadi semakin kecil akibat fragmentasi. Menurut Sa'diyah dan Trihadiningrum (2020), fragmentasi adalah proses pemecahan mikroplastik dari plastik yang berukuran lebih besar. Mikroplastik yang merupakan hasil fragmentasi ini bersumber dari sumber sekunder.

4.5 Jenis Mikroplastik

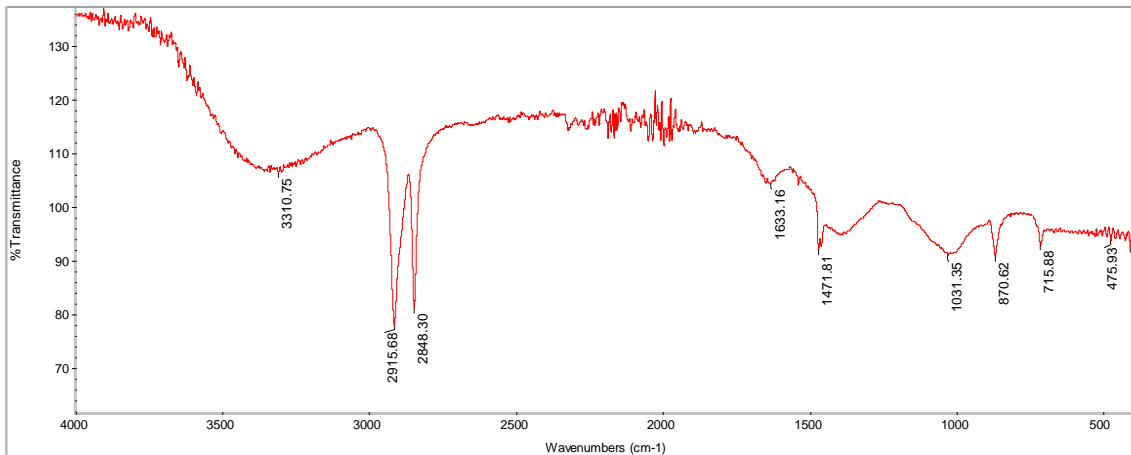
Pada penelitian ini diuji jenis mikroplastik yang ada di air baku dan air pengolahan dari IPAM Tegal Besar Kabupaten Jember. Pengujian dilakukan berdasarkan variasi bentuk dan warna sehingga didapatkan jenis mikroplastik terhadap mikroplastik berbentuk filamen hitam dan merah, fragmen transparan, fragmen biru, dan granula hitam. Gambar 4.6 – Gambar 4.9 menunjukkan hasil pengujian jenis mikroplastik menggunakan FTIR.



Gambar 4.6 Jenis Mikroplastik LDPE pada Variasi Bentuk Filamen Hitam dan Merah

Title: Fragmen T

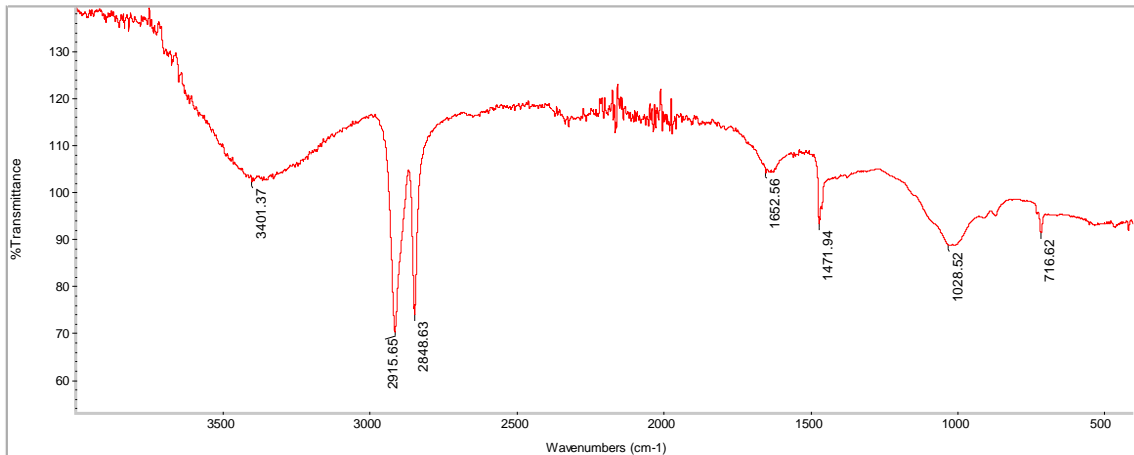
Mon Apr 25 07:52:05 2022 (GMT+07:00)



Gambar 4.7 Jenis Mikroplastik LDPE pada Variasi Bentuk Fragmen Transparan

Title: Fragmen Biru

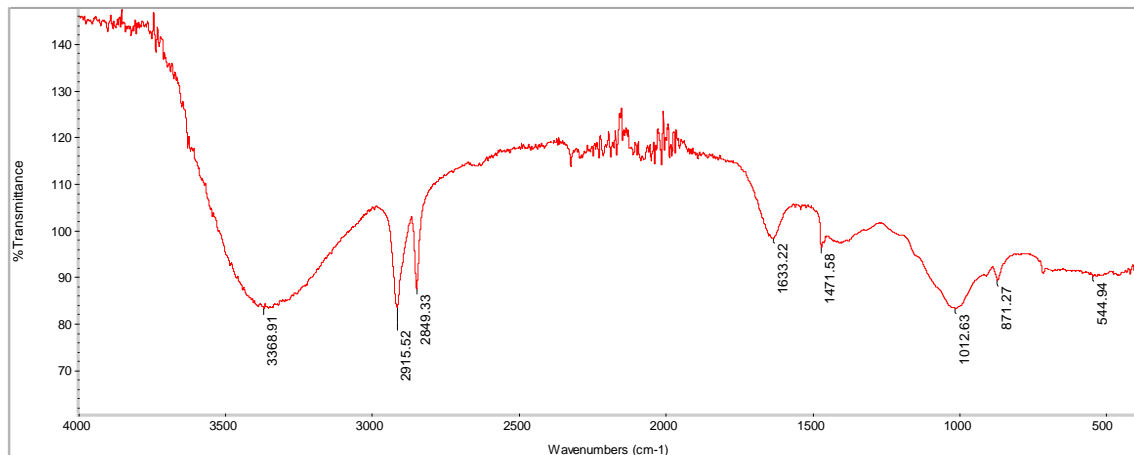
Mon Apr 25 07:40:55 2022 (GMT+07:00)



Gambar 4.8 Jenis Mikroplastik LDPE pada Variasi Bentuk Fragmen Biru

Title: Granula Mikroplastik

Mon Apr 25 07:34:34 2022 (GMT+07:00)



Gambar 4.9 Jenis Mikroplastik LDPE pada Variasi Bentuk Granula Hitam

Berdasarkan Gambar 4.6 – 4.9, dapat dilihat bahwa mikroplastik yang ditemukan didominasi oleh jenis Low Density Polyethylene (LDPE). Menurut Sa'diyah dan Trihadiningrum (2020), jenis sampah yang paling sering ditemukan di permukaan air adalah low density polyethylene yakni sebesar 20%. Hal ini dikarenakan LDPE merupakan jenis plastik yang ringan sehingga mudah mengapung dan melayang di air. Sedangkan di Kali Surabaya, sebesar 44-68% pencemaran mikroplastik didominasi oleh jenis LDPE. Sa'diyah (2020) juga menyebutkan bahwa LDPE merupakan jenis plastik yang banyak digunakan karena harganya yang ekonomis dan mudah dibentuk. Selain itu, plastik jenis LDPE merupakan poliolefin yang paling rentan terhadap fotodegradasi.

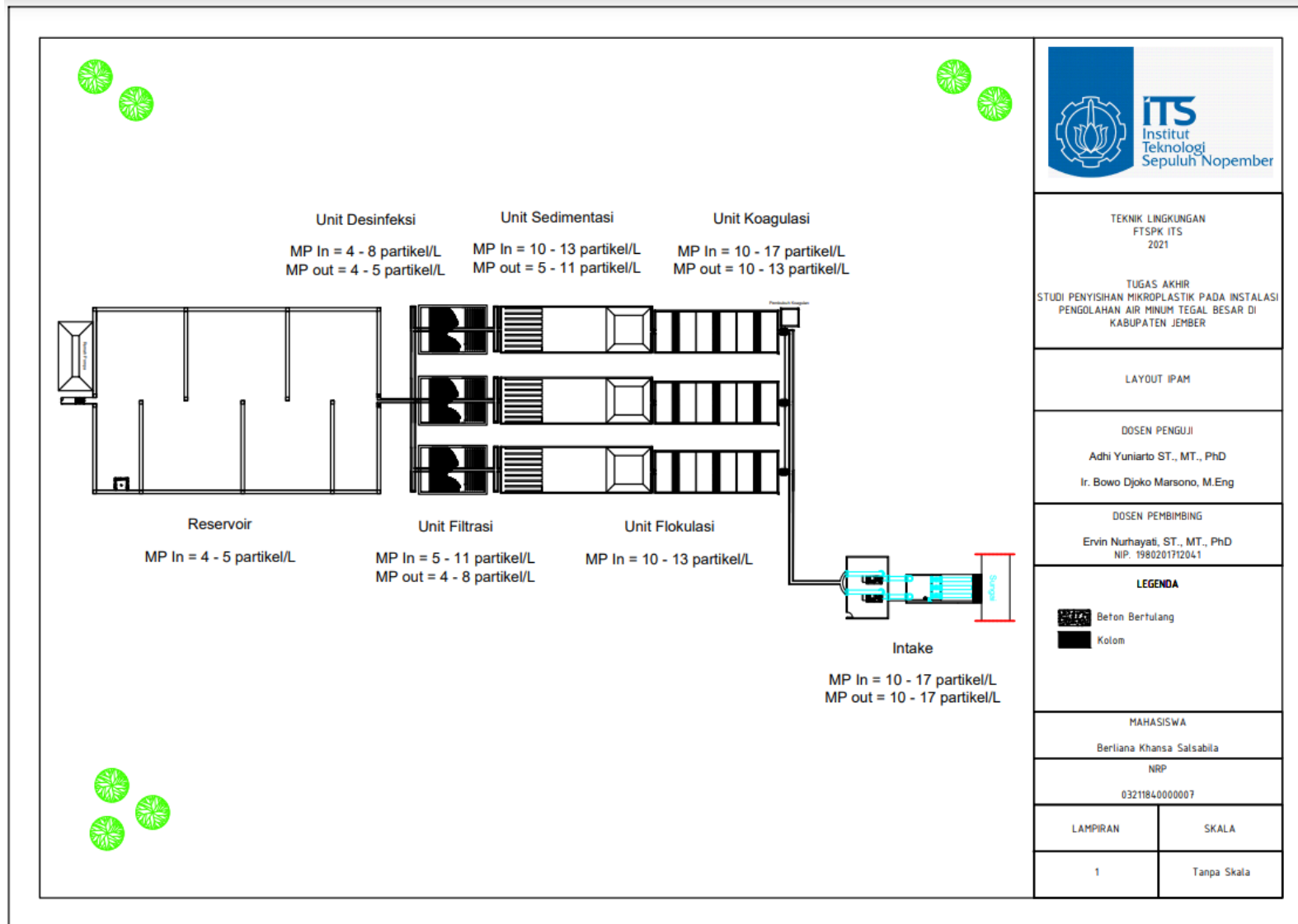
4.6 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik di Setiap Unit IPAM Tegal Besar

Unit operasi IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember terdiri dari unit intake, unit koagulasi, unit flokulasi, unit sedimentasi, unit filtrasi, unit desinfeksi, dan reservoir. Unit pengolahan air minum memiliki efisiensi penyisihan polutan yang berbeda-beda, termasuk penyisihan mikroplastik. Kelimpahan mikroplastik pada unit operasi IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember terdapat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Kelimpahan Mikroplastik pada Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar

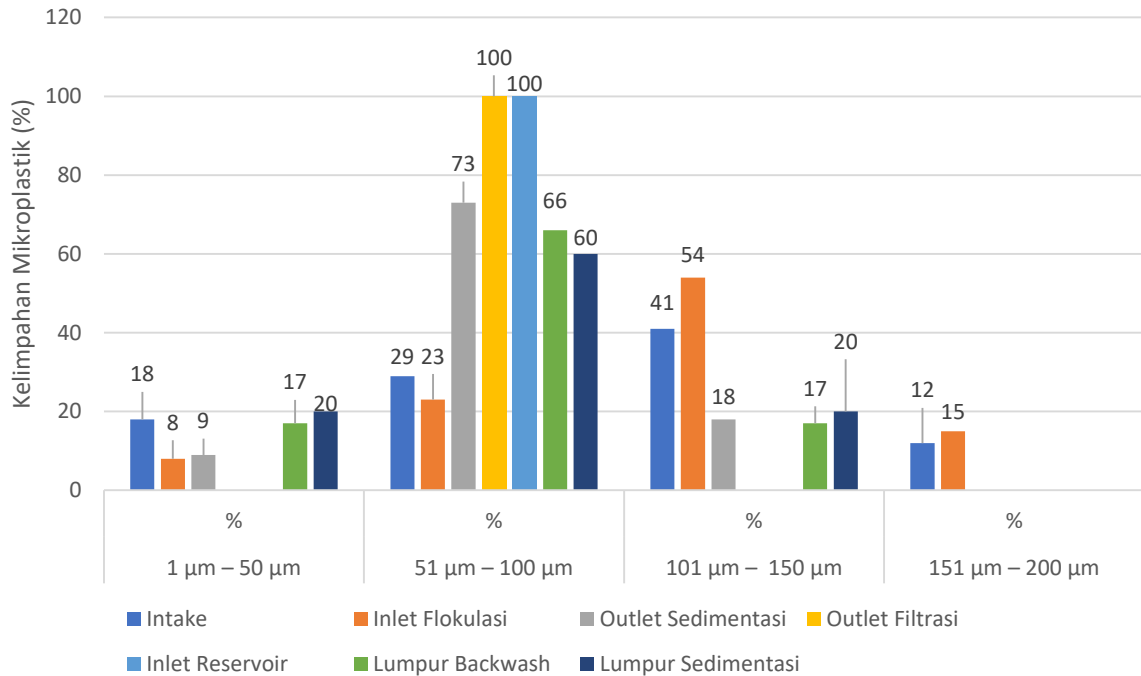
Unit	Kelimpahan Mikroplastik (partikel/L)	Kekeruhan (NTU)
Intake	10 – 17	11,78
Inlet Flokulasi	10 – 13	11,05
Outlet Sedimentasi	5 – 11	2,70
Outlet Filtrasi	4 - 8	1,94
Inlet Reservoir	4 - 5	0,91
Lumpur Backwash	4 – 12	812,5
Lumpur Sedimentasi	5 - 10	-

Dapat dilihat pada Tabel 4.13 bahwa semakin sampel melewati unit pengolahan, kelimpahan mikroplastik mengalami penurunan. Kekeruhan juga mengalami penurunan yang signifikan setelah melewati unit pengolahan. Hal ini menunjukkan penurunan kelimpahan mikroplastik berbanding sejajar dengan penurunan kekeruhan. Penurunan mikroplastik yang signifikan terjadi pada unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi, unit filtrasi, dan unit desinfeksi. Mikroplastik yang tersisihkan dari unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi ikut mengendap di lumpur sedimentasi. Sedangkan mikroplastik yang tersisihkan dari unit filtrasi ikut terbawa di aliran backwash filtrasi. Namun terdapat sedikit penurunan mikroplastik pada inlet reservoir. Hal ini dikarenakan sebelum masuk ke reservoir, air mengalami desinfeksi. Penurunan kelimpahan mikroplastik setelah melewati unit-unit pengolahan IPAM Tegal Besar diilustrasikan seperti Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram Alir Penyisihan Mikroplastik Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar

Jika ditinjau dari ukuran, mikroplastik juga mengalami penurunan dan perubahan ukuran setelah melewati unit pengolahan. Gambar 4.11 menunjukkan perubahan ukuran pada mikroplastik.

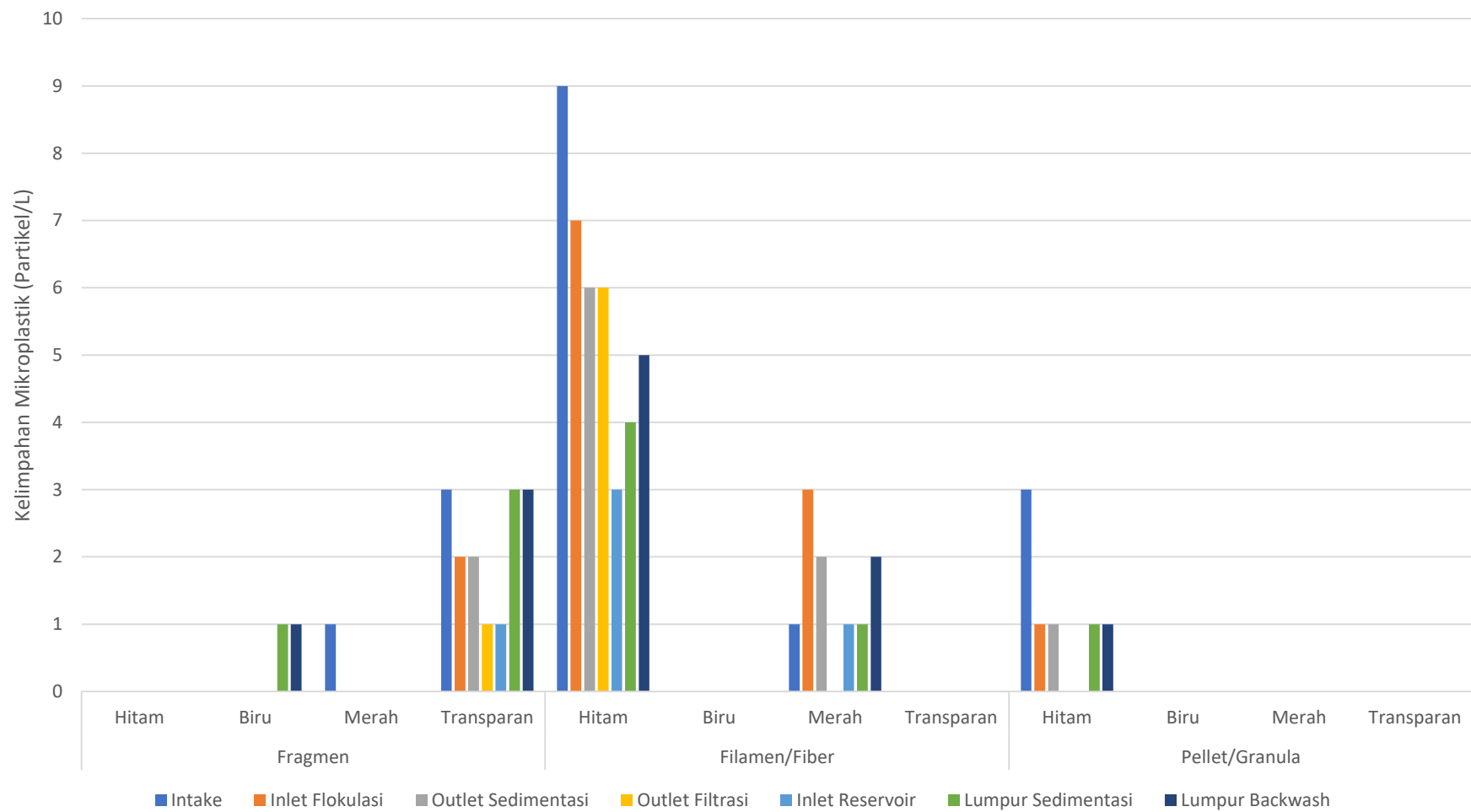


Gambar 4.11 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Ukuran pada Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa kelimpahan mikroplastik berukuran $51\ \mu\text{m} - 100\ \mu\text{m}$ mengalami peningkatan setelah melalui unit sedimentasi dan filtrasi sedangkan kelimpahan mikroplastik berukuran $101\ \mu\text{m} - 150\ \mu\text{m}$ mengalami penurunan setelah melalui unit sedimentasi dan filtrasi tersebut. Hal ini menunjukkan adanya aktivitas degradasi mikroplastik. Degradasi mikroplastik setelah sampel air melewati unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi terjadi secara fisik kimiawi. Xu et al. (2021) menyebutkan bahwa penambahan koagulan dapat mendegradasi partikel mikroplastik dikarenakan koagulan mampu memecah atau melepaskan rantai polimer pada mikroplastik. Degradasi fisik juga terjadi unit filtrasi. Menurut Sa'diyah et al. (2020), mikroplastik akan mengalami degradasi apabila dikenakan aliran air berkecepatan tinggi yang akan memecah mikroplastik menjadi ukuran lebih kecil. Tabel 4.14 menunjukkan kelimpahan mikroplastik jika ditinjau dari bentuk dan warna. Gambar 4.12 berisikan kelimpahan mikroplastik berdasarkan bentuk dan warna pada tiap-tiap unit pengolahan IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember.

Tabel 4.14 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Bentuk dan Warna pada Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar

Bentuk	Warna	Kelimpahan Mikroplastik (partikel/L)						
		Intake	Inlet Flokulasi	Outlet Sedimentasi	Outlet Filtrasi	Inlet Reservoir	Lumpur Sedimentasi	Lumpur Backwash
Fragmen	Hitam	0	0	0	0	0	0	0
	Biru	0	0	0	0	0	1	1
	Merah	1	0	0	0	0	0	0
	Transparan	3	2	2	1	1	3	3
Filamen/Fiber	Hitam	9	7	6	6	3	4	5
	Biru	0	0	0	0	0	0	0
	Merah	1	3	2	0	1	1	2
	Transparan	0	0	0	0	0	0	0
Pellet/Granula	Hitam	3	1	1	0	0	1	1
	Biru	0	0	0	0	0	0	0
	Merah	0	0	0	0	0	0	0
	Transparan	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 4.12 Kelimpahan Mikroplastik Berdasarkan Bentuk dan Warna pada Unit Pengolahan IPAM Tegal Besar

Berdasarkan Gambar 4.12 dan jenis mikroplastik yang telah dikonfirmasi melalui analisis Fourier Transform Infrared (FTIR), maka sebagian besar mikroplastik yang ditemukan pada air baku dan unit pengolahan IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember, baik yang berbentuk fragmen, filament, dan granula, berjenis LDPE atau Low Density Polyethylene. Menurut Wei et al. (2021), plastik berjenis LDPE memang banyak digunakan untuk aktivitas rumah tangga terutama dalam bentuk kantung plastik dan kemasan.

4.6.1 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Unit Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi

Unit koagulasi pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember merupakan unit koagulasi hidrolis yang menggunakan PAC sebagai koagulan. Air yang telah dibubuhkan koagulan selanjutnya membentuk flok dan masuk ke bak flokulasi hidrolis untuk kemudian menuju bak sedimentasi dan mengalami proses pengendapan. Unit sedimentasi ini dilengkapi dengan tube settler media atau lamella berbentuk sarang tawon untuk membantu pengendapan lumpur dan pemisahan air bersih yang telah diolah dengan lumpur. Spesifikasi teknis unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember adalah sebagai berikut:

Dimensi Bak Koagulasi

	Unit 1	Unit 2	Unit 3
Panjang	1,2 meter	1,2 meter	0,6 meter
Lebar	2,4 meter	3,8 meter	3,0 meter
Tinggi	3,0 meter	3,0 meter	3,0 meter
Waktu tinggal	5 detik	5 detik	5 detik

Dimensi Bak Flokulasi

	Unit 1	Unit 2	Unit 3
Panjang	1,2 meter	1,2 meter	0,6 meter
Lebar	2,4 meter	3,8 meter	3,0 meter
Tinggi	3,0 meter	3,0 meter	3,0 meter
Waktu tinggal	30 menit	30 menit	30 menit

Dimensi Bak Sedimentasi

	Unit 1	Unit 2	Unit 3
Panjang	4,0 meter	3,7 meter	4,8 meter
Lebar	2,4 meter	3,8 meter	3,0 meter
Tinggi	3,0 meter	3,0 meter	3,0 meter
Waktu tinggal	2 jam	2 jam	2 jam

Berikut perhitungan efisiensi unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi di IPAM Tegal Besar.

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Mikroplastik di inlet} - \text{Mikroplastik di outlet})}{\text{Mikroplastik di inlet}} \times 100\% \dots\dots\dots(3) \\
 &= \frac{(17-11) \text{ partikel/L}}{17} \times 100\% \\
 &= 35 \%
 \end{aligned}$$

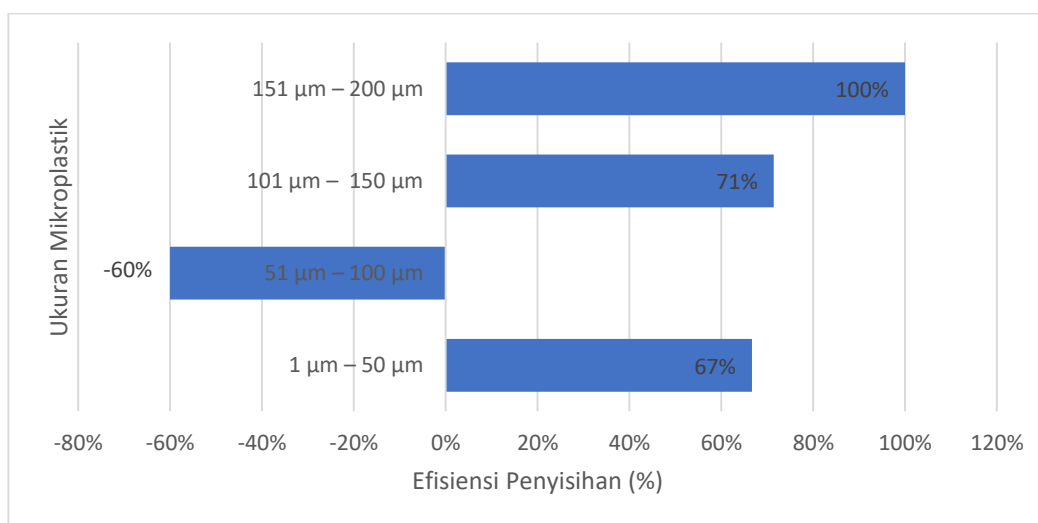
$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Mikroplastik di inlet} - \text{Mikroplastik di outlet})}{\text{Mikroplastik di inlet}} \times 100\% \dots\dots\dots(4) \\
 &= \frac{(10-5) \text{ partikel/L}}{10} \times 100\% \\
 &= 50 \%
 \end{aligned}$$

Sesuai hasil perhitungan di atas, efisiensi penyisihan mikroplastik pada unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi sebesar 35-50 %. Menurut Li et al. (2021), unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi yang optimal dengan pembubuhan dosis koagulan, pH, waktu flokulasi, dan waktu sedimentasi yang tepat mampu menyisihkan mikroplastik sebesar $98,9 \pm 0,94\%$. Hal tersebut menunjukkan bahwa unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi di IPAM Tegal Besar perlu dioptimalkan. Tabel 4.15 menunjukkan efisiensi penyisihan mikroplastik di unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi apabila ditinjau berdasarkan ukuran.

Tabel 4.15 Ukuran Mikroplastik pada Unit Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi

Ukuran	Intake		Outlet Sedimentasi		Lumpur Sedimentasi	
	Partikel/L	%	Partikel/L	%	Partikel/L	%
1 μm – 50 μm	3	18	1	9	2	20
51 μm – 100 μm	5	29	8	73	6	60
101 μm – 150 μm	7	41	2	18	2	20
151 μm – 200 μm	2	12	0	0	0	0

Ukuran mikroplastik didominasi oleh mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm dan 101 μm – 150 μm . Dari Tabel 4.15 dapat dihitung efisiensi penyisihan mikroplastik berdasarkan ukuran menggunakan persamaan 1. Gambar 4.13 merupakan visualisasi dari efisiensi penyisihan unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi berdasarkan ukuran.



Gambar 4.13 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik pada Unit Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi berdasarkan Ukuran

Berdasarkan ukurannya, unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi mampu menyisihkan mikroplastik berukuran 101 μm – 150 μm sebesar 71% serta mikroplastik berukuran 151 μm – 200 μm hingga 100%. Proses degradasi yang terjadi akibat penambahan koagulan dan pengadukan secara hidrolis yang terjadi pada unit ini berdampak pada ukuran mikroplastik yang semakin lama semakin kecil yang disebut dengan fragmentasi. Akibat adanya fragmentasi tersebut, mikroplastik berukuran 101 μm – 150 μm tersisihkan sebesar 71% serta mikroplastik berukuran 151 μm – 200 μm tersisihkan hingga 100%. Mikroplastik tersebut terfragmentasi dan mengalami perubahan ukuran. Hal ini menimbulkan mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm justru ditemukan lebih banyak pada outlet sedimentasi dibandingkan intake, karena partikel mikroplastik yang semula berukuran 101 μm – 150 μm dan/atau 151 μm – 200 μm mengalami degradasi atau fragmentasi menjadi lebih kecil. Mikroplastik yang tersisihkan tersebut

mengendap bersama dengan lumpur. Dapat dilihat bahwa mikroplastik berukuran 1 µm – 50 µm ditemukan sebanyak 3 partikel/L pada intake, kemudian tersisihkan sebanyak 2 partikel/L yang ditemukan di dalam lumpur, sedangkan 1 partikel/L lolos dan masuk ke outlet sedimentasi. Menurut Xu et al. (2021) koagulasi digunakan sebagai proses penyisihan mikroplastik yang dinilai efektif karena terjadi mekanisme netralisasi muatan, adsorpsi, dan flokulasi. Koagulan PAC lebih mudah diadsorpsi pada permukaan mikroplastik bermuatan negatif dan akan mengurangi tekanan elektrostatis sehingga membuat mikroplastik tidak stabil. Monomer terhidrolisis koagulan bermuatan positif dapat menyerap mikroplastik bermuatan negatif untuk membentuk flok. Ketika ukuran partikel dan densitas flok meningkat, terjadilah presipitasi yang membuat mikroplastik ditemukan di lumpur atau sedimen. Apabila ditinjau dari bentuk dan warnanya (Tabel 4.14 dan Gambar 4.12), ditemukan mikroplastik berbentuk fragmen merah, filament hitam, filament merah, dan granula hitam yang selurunya mengalami penurunan kelimpahan. Sedangkan berdasarkan jenisnya, mikroplastik berjenis LDPE. Menurut Sa'diyah et al. (2020), fragmentasi LDPE dapat terjadi akibat degradasi hidrolis oleh kecepatan aliran air.

4.6.2 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Unit Filtrasi

Unit filtrasi pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember menggunakan media pasir. Spesifikasi unit filtrasi di IPAM Tegal Besar adalah sebagai berikut

Dimensi Bak Filtrasi

	Unit 1	Unit 2	Unit 3
Panjang	2,0 meter	2,4 meter	3,0 meter
Lebar	2,4 meter	3,8 meter	3,0 meter
Tinggi	3,0 meter	3,0 meter	3,0 meter
Kecepatan penyaringan	8 meter/jam	8 meter/jam	8 meter/jam
Lama backwash	10 menit	10 menit	10 menit

Efisiensi dari unit filtrasi dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Mikroplastik di inlet} - \text{Mikroplastik di outlet})}{\text{Mikroplastik di inlet}} \times 100\% \dots\dots\dots(5) \\
 &= \frac{(11-8) \text{ partikel/L}}{11} \times 100\% \\
 &= 27 \%
 \end{aligned}$$

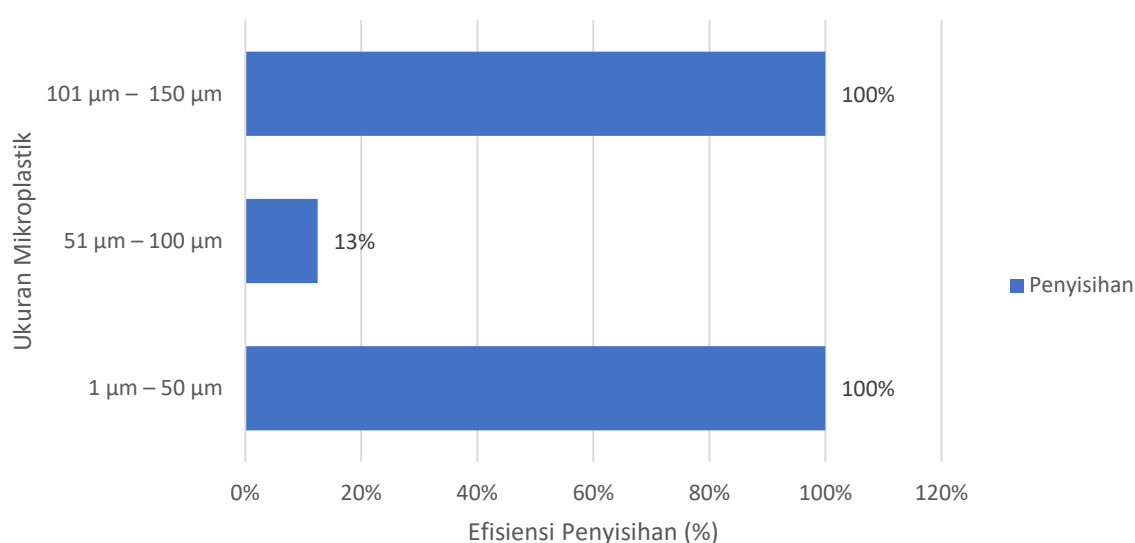
$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Mikroplastik di inlet} - \text{Mikroplastik di outlet})}{\text{Mikroplastik di inlet}} \times 100\% \dots\dots\dots(6) \\
 &= \frac{(5-4) \text{ partikel/L}}{4} \times 100\% \\
 &= 20 \%
 \end{aligned}$$

Sesuai hasil perhitungan di atas, efisiensi penyisihan mikroplastik pada filtrasi sebesar 20-27%. Menurut Na et al. (2021) dalam penelitiannya yang dilakukan di IPAM di Korea, mikroplastik berukuran 10 µm-100 µm dapat tersisihkan menggunakan filtrasi media pasir hingga mencapai efisiensi penyisihan 83,4%. Sehingga, unit filtrasi yang digunakan di IPAM Tegal Besar masih jauh dari optimal. Tabel 4.16 menunjukkan efisiensi penyisihan mikroplastik di unit filtrasi apabila ditinjau berdasarkan ukuran.

Tabel 4.16 Ukuran Mikroplastik pada Unit Filtrasi

Ukuran	Inlet Filtrasi		Outlet Filtrasi		Lumpur Backwash	
	Partikel/L	%	Partikel/L	%	Partikel/L	%
1 μm – 50 μm	1	9	0	0	2	17
51 μm – 100 μm	8	73	7	100	8	66
101 μm – 150 μm	2	18	0	0	2	17
151 μm – 200 μm	0	0	0	0	0	0

Ukuran mikroplastik didominasi oleh mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm . Dari Tabel 4.16 dapat dihitung efisiensi penyisihan mikroplastik berdasarkan ukuran menggunakan persamaan 1. Gambar 4.14 merupakan visualisasi dari efisiensi penyisihan unit filtrasi berdasarkan ukuran.



Gambar 4.14 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik pada Unit Filtrasi

Berdasarkan ukurannya, unit filtrasi mampu menyisihkan mikroplastik berukuran 101 μm – 150 μm dan 1 μm – 50 μm hingga 100%, namun hanya mampu menyisihkan mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm sebesar 13%. Mikroplastik yang tersisihkan tersebut mengendap bersama dengan lumpur. Tidak ditemukan mikroplastik berukuran 151 μm – 200 μm karena telah tersisihkan 100% pada unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi. Proses penyisihan yang juga diakibatkan oleh adanya fragmentasi atau degradasi mikroplastik berukuran lebih besar pada unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi menyebabkan banyaknya partikel mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm yang masuk ke unit filtrasi. Dengan kondisi demikian, unit filtrasi tidak mampu menyisihkan seluruh partikel mikroplastik dengan ukuran 51 μm – 100 μm dan hanya mencapai efisiensi penyisihan sebesar 13% untuk ukuran tersebut. Akibatnya sebesar 87% mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm ikut menuju saluran desinfeksi dan masuk ke reservoir. Mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm ini lolos media filter karena media yang digunakan hanya berupa pasir berukuran 30-50 mesh atau 0,3-0,5 mm. Menurut Kurniawan (2012), spesifikasi saringan pasir yang banyak digunakan pada Instalasi Pengolahan Air Minum di Indonesia memiliki ukuran bukaan pada range 0,149 mm sampai dengan 1,68 mm. Hal ini menjadi penyebab lolosnya mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm hingga ke unit reservoir. Apabila dikaitkan dengan Tabel 4.13, dapat dilihat bahwa penurunan kekeruhan pada unit filtrasi juga tidak terlalu signifikan yakni dari 2,70 NTU pada outlet sedimentasi atau inlet

filtrasi menjadi 1,94 pada outlet filtrasi. Hal ini dikarenakan mikroplastik dapat terbaca sebagai kekeruhan. Penurunan kekeruhan yang kurang signifikan pada unit filtrasi mengindikasikan ketidakmampuan unit dalam menurunkan mikroplastik.

Mekanisme unit filtrasi dalam menyisihkan mikroplastik dijelaskan melalui penelitian yang dilakukan Na et al. (2021), partikel yang menempel pada permukaan media berpori akan mempersempit pori media sehingga menyebabkan banyak partikel yang terperangkap. Partikel yang terperangkap pada media berpori, termasuk mikroplastik, selanjutnya dicuci menggunakan backwash. Hal inilah yang menyebabkan mikroplastik pada unit filtrasi IPAM mengalami penurunan pada saluran outlet dan ditemukan pada saluran lumpur backwash. Apabila ditinjau dari bentuk dan warnanya (Tabel 4.14 dan Gambar 4.12), ditemukan mikroplastik berbentuk fragmen transparan, filament hitam mengalami penurunan kelimpahan. Sedangkan berdasarkan jenisnya, mikroplastik berjenis LDPE.

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap efisiensi penyisihan mikroplastik pada unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi dan unit filtrasi, dapat disimpulkan bahwa unit operasi atau unit pengolahan IPAM Tegal Besar masih perlu peningkatan atau optimalisasi karena mikroplastik yang lolos dari unit operasi IPAM dengan ukuran 51 µm – 100 µm masih tidak mampu disisihkan sehingga akan masuk ke reservoir dan berpotensi tersalurkan kepada masyarakat.

4.6.3 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik Unit Desinfeksi

Terjadi penurunan kelimpahan mikroplastik setelah melewati unit desinfeksi. Unit desinfeksi pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember menggunakan sistem perpipaan dengan desinfektan berupa larutan kaporit. Efisiensi dari unit desinfeksi dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Mikroplastik di inlet} - \text{Mikroplastik di outlet})}{\text{Mikroplastik di inlet}} \times 100\% \dots\dots\dots(7) \\
 &= \frac{(7-5) \text{ partikel/L}}{7} \times 100\% \\
 &= 28,5 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan efisiensi penyisihan mikroplastik sebesar 28,5%. Penambahan desinfektan merupakan langkah terakhir dalam pengolahan air minum konvensional yang umum digunakan, sehingga mikroplastik yang mencapai proses ini kemungkinan besar akan berinteraksi dengan mikroorganisme dalam air minum. Pembentukan biofilm pada permukaan mikroplastik dapat mengurangi efisiensi proses desinfeksi (Efrin et al., 2019). Klorinasi menyebabkan kematian mikroorganisme dengan menghambat aktivitas enzim mereka. Namun, keberadaan mikron padatan tersuspensi dalam air menghalangi efek klorin pada mikroorganisme, karena mereka dapat diserap oleh flok atau partikel tersuspensi. Oleh karena itu, mikroplastik dengan sifat fisik yang mirip dapat berperan sebagai substrat pelindung bagi mikroorganisme yang tahan terhadap proses desinfeksi (Enfrin et al., 2019). Tabel 4.17 menunjukkan efisiensi penyisihan mikroplastik di unit filtrasi apabila ditinjau berdasarkan ukuran.

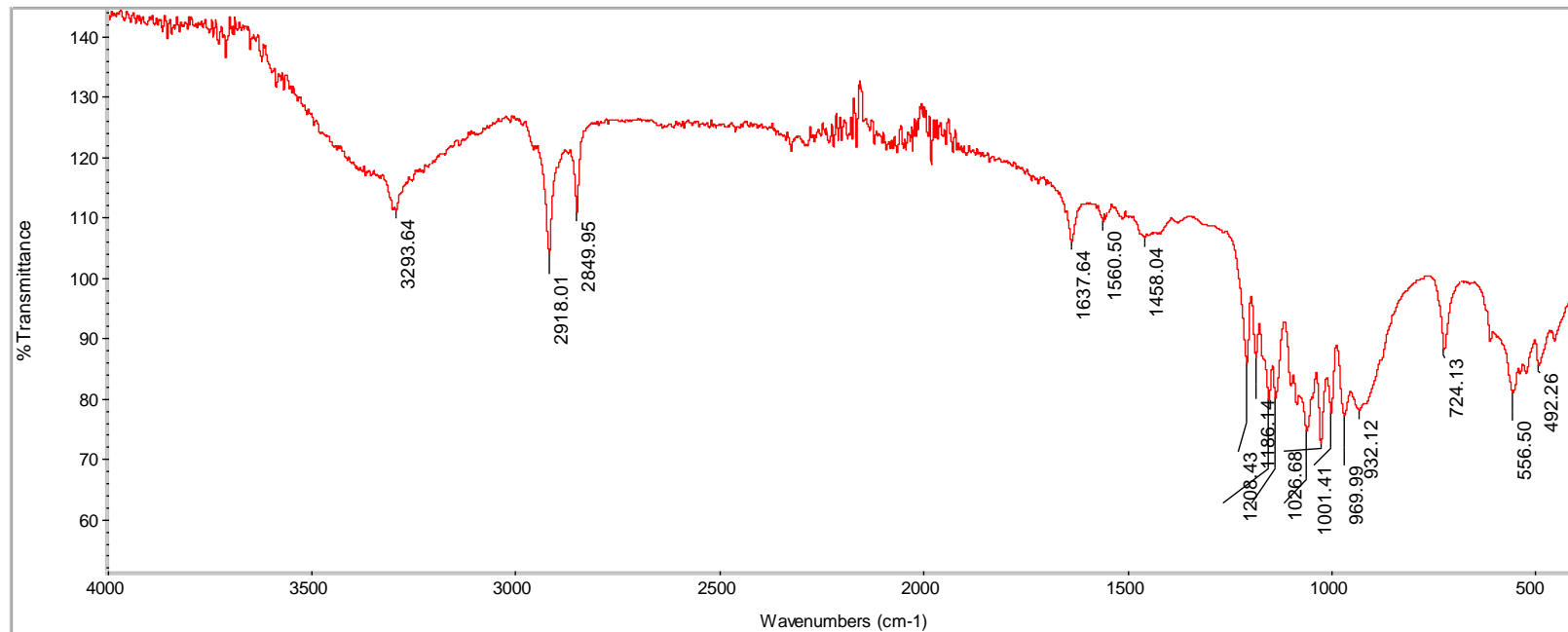
Tabel 4.17 Ukuran Mikroplastik pada Unit Desinfeksi

Ukuran	Inlet Desinfeksi (Partikel/L)	Outlet Desinfeksi (Partikel/L)	% Removal
1 μm – 50 μm	0	0	0
51 μm – 100 μm	7	5	28,5
101 μm – 150 μm	0	0	0
151 μm – 200 μm	0	0	0

Ukuran mikroplastik didominasi oleh mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm . Ukuran mikroplastik yang masih lolos pada outlet desinfeksi menunjukkan bahwa baik unit filtrasi dan unit desinfeksi masih belum mampu menyisihkan mikroplastik berukuran 51 μm – 100 μm . Pada Tabel 4.17 terlihat bahwa tidak terjadi penurunan mikroplastik yang signifikan setelah adanya desinfeksi sehingga mikroplastik yang ada pada inlet reservoir ini berpotensi terdistribusi pada saluran air bersih masyarakat Jember.

Klorinasi berpotensi mempengaruhi sifat fisik dan kimia mikroplastik dengan memutuskan ikatan yang ada pada mikroplastik. Pengenalan ikatan klorin-karbon akan menjadi perhatian khusus, karena substitusi hidrogen dengan atom klorin dalam senyawa organik cenderung meningkatkan ketahanan lingkungan dan ekotoksitasnya. Degradasi mikroplastik dengan klorin dapat berpotensi berbahaya karena mikroplastik memiliki afinitas serap yang lebih tinggi terhadap bahan kimia berbahaya (Kelkar et al., 2019). Sehingga ikatan baru yang terbentuk antara mikroplastik dengan bahan kimia membuat bahan kimia lebih sulit dihilangkan melalui proses desinfeksi dengan klorin.

Mikroplastik dapat menjadi vektor organisme dan bahan kimia. Hal ini didukung oleh penelitian Rodrigues et al. (2019) yang menyebutkan bahwa mikroplastik dapat berikatan dengan partikel organik dan menyebabkan partikel organik ini lebih persisten. Penelitian serupa dilakukan oleh Shen et al. (2021) yang membandingkan proses klorinasi bakteri dengan dan tanpa mikroplastik pada sampel. Hasilnya didapatkan bahwa keberadaan mikroplastik menurunkan efisiensi proses klorinasi. Apabila mikroplastik yang lolos dari unit filtrasi ini berikatan dengan partikel organik dan mikroorganisme, menyebabkannya resisten terhadap desinfektan, kemudian masuk ke reservoir, sehingga dapat berpotensi menyebabkan penyakit yang lebih serius terhadap masyarakat. Oleh karena itu, pengujian dilakukan pada inlet serta outlet unit desinfeksi untuk mengetahui keberadaan bahan kimia organik yang menunjukkan bahwa mikroplastik telah menjadi vector bahan kimia dan menyebabkannya resisten terhadap desinfektan sehingga pada Tabel 4.13 penurunan kelimpahan mikroplastik dan kekeruhan yang terjadi pada unit desinfeksi sangatlah kecil. Hasil pengujian terhadap inlet dan outlet unit desinfeksi tertera pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.



Collection time: Fri Jun 10 07:44:57 2022 (GMT+07:00)

Wed Jun 15 10:38:10 2022 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: Filtrasi
 Region: 4000.00
 Absolute threshold: 114.128
 Sensitivity: 50

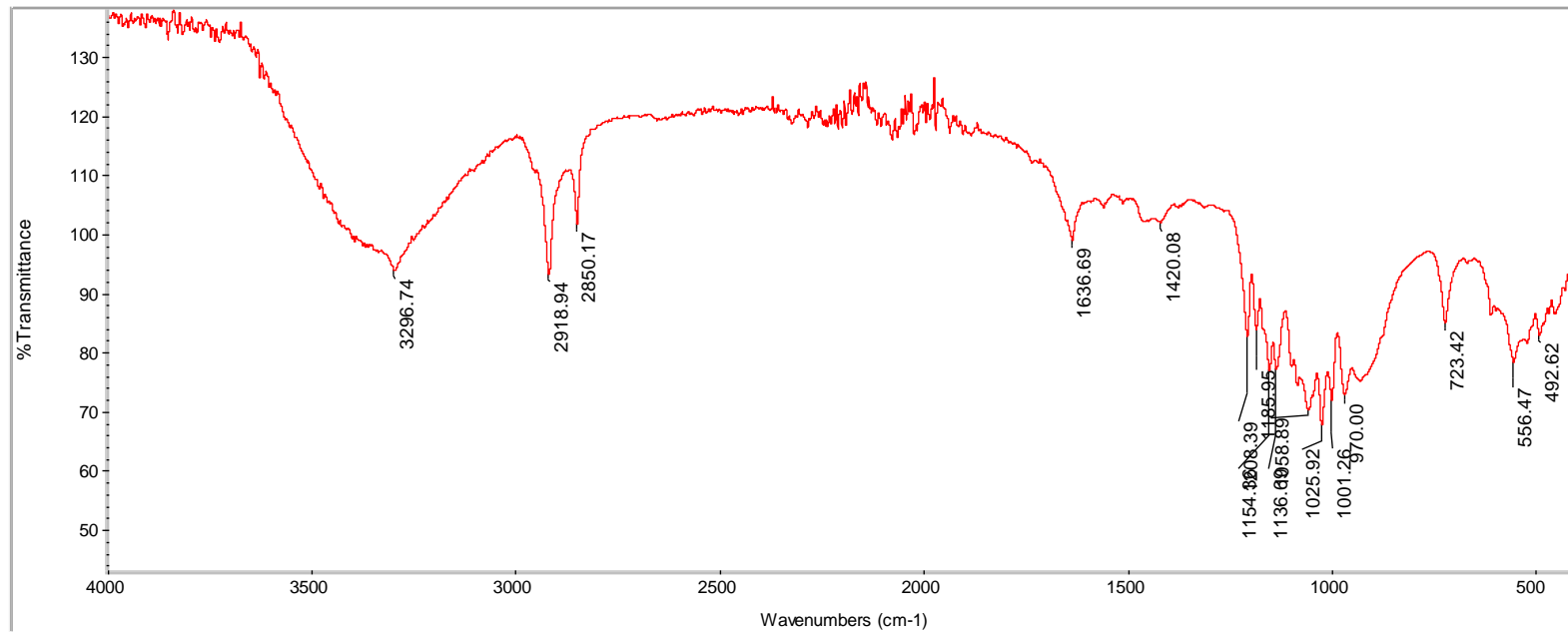
Peak list:

Position:	Intensity:	Intensity:
492.26	85.268	
556.50	80.605	
724.13	87.869	
932.12	77.762	
969.99	76.884	
1001.41	77.229	
1026.68	72.383	
1061.12	74.442	
1137.15	79.746	
1154.62	79.431	
1186.14	86.940	
1208.43	85.457	
1458.04	106.294	
1560.50	108.895	
1637.64	105.672	
2849.95	110.518	
2918.01	103.916	
3293.64	110.861	

Spectrum: Filtrasi
 Region: 3495.26-455.13
 Search type: Correlation
 Hit List:

Index	Match	Compound name	Library
510	35.12	Pyrophosphate dicalcium	HR Nicolet Sampler Library
92	33.36	PHENDIMETRAZINE HCL IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
53	31.17	DIIDOMETHANE, 99%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
1072	30.24	2-Deoxy-D-ribose, 97%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
5641	29.76	2,2,3,3-Tetrafluorocyclobutane- carboni rile, 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
5	29.46	2,3-DIBROMOPROPANOL, 96%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
12606	29.14	2-(4-Sulfophenylazo)-1,8-dihydroxy-3,6-n aphthalene-disulfonic acid, trisodium sa	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
832	28.87	Poly(oxyethylene:oxyethylene)	HR Hummel Polymer and Additives
4623	28.83	D-Xylonic gamma-lactone, 96%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
6881	28.80	1-Fluoro-3,5-dimethoxybenzene, 98%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

Gambar 4.15 Hasil Pengujian FTIR Mikroplastik pada Inlet Unit Desinfeksi



Collection time: Fri Jun 10 07:47:55 2022 (GMT+07:00)

Wed Jun 15 10:39:29 2022 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: Reservoir
 Region: 4000.00 400.00
 Absolute threshold: 112.735
 Sensitivity: 50

Peak list:

Position	Intensity
418.26	90.434
492.62	82.699
556.47	78.045
723.42	84.789
970.00	72.465
1001.26	71.606
1025.92	67.419
1058.89	69.963
1136.69	76.825
1154.36	76.591
1185.95	83.515
1208.39	82.358
1420.08	101.632
1636.69	98.769
2850.17	101.427
2918.94	92.935
3296.74	93.591

Spectrum:

Region: 3495.26-455.13

Search type:

Correlation

Hit List:

Index	Match	Compound name	Library
12	31.36	Nylon II (ATR Corrected)	User Example Library
510	31.36	Pyrophosphate dicalcium: anhydrous	HR Nicolet Sampler Library
92	31.09	PHENDIMETRAZINE HCL IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
53	30.66	DIODOMETHANE, 99%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
5	29.53	2,3-DIBROMOPROPANOL, 96%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
5641	29.48	2,2,3,3-Tetrafluorocyclobutane- carboni rile, 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
16728	29.20	Triethyl(trifluoromethyl)silane, 98%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
102	28.96	4-BROMO-2,5-DIMETHOXYAMPHETAMINE	Georgia State Crime Lab Sample Library
6881	28.78	1-Fluoro-3,5-dimethoxybenzene, 98%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
4623	28.56	D-Xylonic gamma-lactone, 96%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

Gambar 4.16 Hasil Pengujian FTIR Mikroplastik pada Outlet Unit Desinfeksi

Sesuai dengan hasil pengujian terhadap sampel mikroplastik pada inlet dan outlet unit desinfeksi, ditemukan beberapa bahan kimia dengan jenis yang sama meskipun telah melalui penambahan desinfektan atau klorinasi pada unit desinfeksi. Komponen kimia organik yang ditemukan dengan jenis yang sama antara lain dimethoxyamphetamine, dimethoxybenzene, D-xylonic γ -lactone, pyrophosphate dicalcium, phendimetrazine, dibromopropanol, tetrafluorocyclobutane, triethylsilane, dan diiodomethane. Berdasarkan European Chemicals Agency, dimethoxyamphetamine dan dibromopropanol merupakan komponen kimia yang bersifat *toxic* akut apabila masuk ke tubuh manusia melalui saluran pencernaan atau oral. Dimethoxyamphetamine merupakan sejenis obat yang dilarang penggunaannya di beberapa negara seperti Amerika Serikat, sedangkan dibromopropanol juga digunakan sebagai material insektisida selain sebagai campuran obat-obatan farmasi. Dimethoxybenzene banyak digunakan sebagai zat aditif perasa atau pengharum pada makanan (EPA Chemical and Products Database, 2018). Menurut Chemical Entities of Biological Interest (ChEBI), D-xylonic γ -lactone merupakan senyawa yang dihasilkan oleh metabolisme mikroorganisme, biasanya ditemukan pada mikroorganisme *Pseudomonas* sp. Hal ini menunjukkan bahwa selain sebagai vector komponen atau bahan kimia, ditemukan pula bahwa mikroplastik juga berperan sebagai vector mikroorganisme. EPA Chemical and Products Database (CPDat) (2018), menyebutkan bahwa pyrophosphate dicalcium merupakan senyawa anorganik yang biasa digunakan sebagai material pada obat kumur dan bersifat abrasif. Sedangkan phendimetrazine biasa digunakan secara legal sebagai obat untuk penderita tekanan darah rendah dan obesitas. Senyawa lain yang juga ditemukan ialah tetrafluorocyclobutane yang banyak digunakan sebagai material sensor gas pada peralatan elektronik. Menurut EPA Chemicals under the TSCA, triethylsilane dan diiodomethane digunakan sebagai zat pereduksi dalam kimia organik sintetik. Diiodomethane juga menjadi komponen dalam pembuatan X-ray sehingga memiliki sifat korosif apabila tertelan (European Chemicals Agency).

Menurut Prata et al. (2020), mikroplastik dapat masuk ke tubuh manusia melalui sistem pencernaan, pernapasan, dan kulit. Mikroplastik yang masuk ke tubuh manusia mampu merusak metabolisme dan menghancurkan pembentukan energi. Selain itu mikroplastik dapat berakibat pada translokasi jaringan tubuh dan sistem saraf. Dampak negatif mikroplastik terhadap kesehatan ini bersifat akumulatif. Apabila dalam 60 L/detik air yang diproduksi berpotensi membawa mikroplastik sebanyak 240 – 300 partikel/detik, maka jika satu orang mengkonsumsi air sebanyak 2 liter per hari, kemungkinan mikroplastik yang masuk ke sistem pencernaan melalui konsumsi air minum adalah sebesar 8 – 10 partikel/hari atau 2920 – 3650 partikel/tahun. Sistem pencernaan merupakan jalur terbesar masuknya mikroplastik ke tubuh manusia (Galloway, 2015). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Prata et al. (2020), partikel mikroplastik dengan ukuran 1 μm yang dimasukkan secara oral pada tikus dalam waktu 15 menit akan mencapai sistem sirkulasi darah. Apabila ditingkatkan menjadi mikroplastik berukuran 50 μm sebanyak 1,25 mg dapat menyebabkan 34% penyerapan yang diangkut melalui getah bening mesentrium untuk mencapai peredaran darah dan terakumulasi di hati. Mikroplastik yang ditemukan paling banyak dan berpotensi lolos ke saluran distribusi masyarakat memiliki ukuran 51 μm – 100 μm . Apabila dikaitkan dengan Prata et al. (2020), maka mikroplastik yang terkonsumsi dari saluran IPAM kemungkinan besar akan mempengaruhi sirkulasi darah. Semakin banyak konsentrasi mikroplastik yang masuk, maka akan semakin terakumulasi di tubuh manusia. Selanjutnya Forte et al. (2016) melakukan penelitian yang sama terhadap manusia menunjukkan bahwa mikroplastik berukuran kurang dari 1 μm diinternalisasi dan dilepaskan oleh *fibroblast* usus besar manusia melalui translokasi pasif melewati membrane sel pada lambung. Apabila mikroplastik terakumulasi baik pada lambung maupun usus besar manusia dapat mempengaruhi ekspresi gen, menghambat viabilitas sel, dan menginduksi respon inflamasi atau peradangan.

4.7 Optimalisasi Penyisihan Mikroplastik pada IPAM Tegal Besar

Beberapa alternatif yang diberikan terhadap permasalahan ini antara lain (1) mengoptimalkan unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi dengan memperhitungkan kembali dosis dan memilih koagulan yang lebih sesuai untuk mengurangi fragmentasi mikroplastik atau mengatur lama waktu pengadukan dan pengendapan, sehingga partikel yang masuk ke unit filtrasi dapat tersisihkan; (2) mengoptimalkan unit filtrasi dengan memilih media yang lebih cocok dan berpori kecil sehingga partikel mikroplastik tidak bisa lolos; (3) mengoptimalkan unit desinfeksi sehingga mampu menyisihkan mikroplastik yang telah berinteraksi dengan mikroorganisme dan patogen.

Unit koagulasi dan flokulasi yang ada di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember merupakan unit hidrolis dimana koagulan yang digunakan adalah PAC (Poli Aluminium Klorat). Menurut Zhang et al. (2020), koagulan yang menunjukkan hasil paling baik terhadap efisiensi removal mikroplastik dalam air adalah aluminium chloride dengan dosis koagulan yang dibubuhkan harus lebih tinggi dibandingkan penggunaan untuk jenis *impurities* di air lainnya. Penambahan koagulan menjadi salah satu cara paling mudah dalam meningkatkan efisiensi penyisihan mikroplastik pada unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi (Ma et al., 2019). Sehingga penggunaan PAC pada IPAM Tegal Besar tidak perlu diubah, namun dosis PAC harus ditambahkan sehingga tidak hanya mampu memecah mikroplastik tetapi juga menghilangkannya dari air. Namun, *tradeoff* dari pendekatan ini adalah meningkatnya endapan sedimentasi, yang akan menambah biaya untuk IPAM. Selain itu, peningkatan dosis koagulan dapat meningkatkan kekeruhan air hasil pengolahan, yang dapat menimbulkan tantangan bagi proses filtrasi selanjutnya (Zhang et al., 2020). Proses koagulasi yang terjadi pada IPAM Tegal Besar menyebabkan fragmentasi sehingga mikroplastik berukuran $51\ \mu\text{m} - 100\ \mu\text{m}$ justru meningkat. Menurut Zhang et al. (2020), penambahan PolyDADMAC dapat meningkatkan sedimentasi beberapa mikroplastik kecil pada ukuran tertentu ($45-100\ \mu\text{m}$). Namun, ukuran lain dari partikel yang diuji tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan. PolyDADMAC adalah salah satu jenis alat bantu koagulan polimer bermolekul tinggi untuk membantu menjembatani dan mengikat partikel, serta memperkuat flok sehingga mencapai ukuran optimal untuk meningkatkan laju sedimentasi. Alternatif lain yang juga disarankan pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al. (2020) adalah penggunaan unit Dissolved Air Flotation (DAF) karena partikel mikroplastik yang sangat ringan. Metode ini bisa lebih berguna untuk partikel kecil dan kepadatan rendah seperti mikro dan nanoplastik. Dalam survei keberadaan mikroplastik pada air minum mentah dan olahan di tiga IPA, IPA dengan penambahan proses flotasi mencapai tingkat penyisihan mikroplastik tertinggi (83%) dibandingkan dua IPA lainnya tanpa flotasi (70%– 81%) (Pivokonsky et al., 2018). Namun, penyelidikan lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas pendekatan alternatif ini.

Unit filtrasi pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember menggunakan media pasir. Ukuran pori media pasir ini lebih besar dibandingkan ukuran mikroplastik yang banyak ditemukan pada inlet unit filtrasi yakni $51\ \mu\text{m} - 100\ \mu\text{m}$. Efisiensi penyisihan mikroplastik dipengaruhi oleh ukuran mikroplastik yang masuk (Zhang et al., 2020). Namun efisiensi penyisihan tidak selalu berbanding lurus dengan perubahan ukuran partikel. Ukuran partikel yang lebih kecil tidak selalu berarti efisiensi penyisihan yang lebih rendah. Penggunaan dual atau lebih media dalam unit filtrasi menjadi penting apabila ukuran mikroplastik yang masuk bervariasi. Penggunaan pasir sebagai media filtrasi baik untuk menyisihkan partikel mikroplastik dengan ukuran lebih dari $100\ \mu\text{m}$ (Kurniawan, 2012). Namun diperlukan media seperti GAC (Granular Activated Carbon) untuk menyisihkan partikel mikroplastik berukuran $20\ \mu\text{m} - 100\ \mu\text{m}$ (Zhang et al., 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Shen et al. (2020) menunjukkan bahwa teknologi membrane filter merupakan yang paling efektif untuk

menyisihkan mikroplastik. Bahkan teknologi ini juga mampu menyaring partikel organik lainnya dalam ukuran yang relatif lebih bervariasi. Teknologi filtrasi membran memiliki karakteristik pemisahannya sendiri dan dapat mencapai efek perawatan yang ideal. Namun, proses operasi ini juga memiliki kekurangan yakni *membrane fouling*. Fouling adalah fenomena dimana partikel dan zat makromolekul, mirip dengan mikroplastik, berinteraksi secara fisik dan kimia dengan membran dalam proses perawatan sehingga menyerap dan mengendap di permukaan membran atau di pori membrane. Hal ini menyebabkan ukuran pori menjadi lebih kecil dan lebih kecil hingga terjadi penyumbatan (Enfrin et al., 2019).

Unit desinfeksi merupakan unit yang berfungsi menghilangkan senyawa kimia dan menghancurkan bakteri yang ada pada aliran air. Terjadi penyisihan mikroplastik akibat pengaruh klorinasi yang berakibat pada perubahan ikatan kimiawi pada mikroplastik. Proses pengadukan yang ada di pipa desinfeksi menjadi proses fisik yang mampu menyisihkan sedikit mikroplastik yang telah berubah struktur kimiawinya. IPAM Tegal Besar menggunakan kaporit sebagai desinfektan. Klorinasi, ozonasi, dan radiasi ultraviolet adalah tiga teknik desinfeksi yang umum digunakan (Shen et al., 2020). Klorinasi menyebabkan kematian bakteri dengan menghambat aktivitas enzim. Namun, keberadaan mikroplastik dapat menghalangi efek klorin pada mikroorganisme (Enfrin et al., 2019). Sehingga apabila hanya dilakukan klorinasi terhadap air yang mengandung mikroplastik, baik penurunan senyawa kimia dan mikroorganisme akan terganggu. Oksidasi ozon dapat membunuh mikroorganisme toleran klorin dengan menyerang membran sel (Ding et al., 2019). Namun mikroplastik dapat berinteraksi dengan ozon, sehingga mengurangi jumlah molekul ozon yang tersedia untuk bereaksi dengan bakteri dan meninggalkan patogen yang tidak terpengaruh di dalam air (Enfrin et al., 2019). Radiasi ultraviolet dapat menghancurkan DNA dan mikroorganisme patogen yang tidak aktif, namun keberadaan partikel tersuspensi melindungi mikroorganisme dari kerusakan dan desinfeksi radiasi ultraviolet (Carr et al., 2018). Oleh karena itu, mikroplastik dapat menurunkan kinerja proses desinfeksi ultraviolet. Sehingga cara paling efektif untuk mengoptimalkan kinerja desinfektan dalam menghilangkan senyawa kimia dan membunuh mikroorganisme patogen dalam air adalah dengan menghilangkan mikroplastik pada air yang akan masuk ke unit desinfeksi

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka kesimpulan yang diperoleh ialah:

1. Kelimpahan mikroplastik pada air baku IPAM sebanyak 10-17 partikel/L dan mengalami penyisihan menjadi 4-5 partikel/L di air produksi. Karakteristik mikroplastik yang ditemukan sebagian besar berbentuk filament (59-86%), dengan warna yang didominasi warna hitam (60-86%). Ukuran mikroplastik yang paling banyak ditemukan berkisar antara 51 μm – 100 μm (23-100%). Jenis mikroplastik didominasi oleh LDPE.
2. Kelimpahan mikroplastik pada lumpur backwash dan lumpur sedimentasi IPAM masing-masing sebanyak 4-12 partikel/L dan 5-10 partikel/L. Bentuk mikroplastik sebagian besar filament (50-58%) dengan warna yang didominasi oleh warna hitam (50%). Ukuran mikroplastik yang paling banyak ditemukan berkisar antara 51 μm – 100 μm (60-66%). Jenis mikroplastik yang ada pada lumpur hasil pengolahan IPAM didominasi oleh LDPE.
3. Efisiensi total penyisihan mikroplastik pada IPAM mencapai 70,6%, dengan efisiensi penyisihan mikroplastik pada unit sedimentasi, unit filtrasi, dan unit desinfeksi masing-masing sekitar 50%, 27%, dan 28,5%.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian lanjutan ialah sebagai berikut:

1. Diperlukan optimalisasi unit sedimentasi dan filtrasi pada IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember dan IPAM lainnya di Indonesia.
2. Diperlukan penelitian lanjutan terkait kelimpahan dan karakteristik mikroplastik pada air baku, air hasil pengolahan, dan lumpur yang dihasilkan oleh IPAM lainnya di Indonesia yang memiliki sumber air baku air permukaan.
3. Diperlukan penelitian lanjutan terkait pengaruh proses mixing terhadap perubahan ukuran mikroplastik.
4. Diperlukan penelitian lanjutan terkait hubungan mikroplastik dengan parameter kualitas air lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Layla, Anis, M., Ahmad, S. dan Middlebrooks, E. J. 1980. *Water Supply Engineering Design*. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers.
- Ayuningtyas, Wulan Cahya., Defri Yona., Syarifah Hikmah Julinda S., Feni Iranawati. 2019. Kelimpahan Mikroplastik Pada Perairan Di Banyuurip, Gresik, Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*. Vol 3(1). Hal: 41-45.
- Bouwmeester, H., Hollman, P.C., Peters, R.J., 2015. Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in The Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environ. Sci. Technol.* 49, 8932–8947.
- BPS Kabupaten Jember. 2020. *Kabupaten Jember dalam Angka 2020*. Jember: Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember.
- Browne, M. A., Crump P., Niven S.J., Teuten E., Tonkin A. Galloway T., Thompson R. 2011. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*. Vol 45(21). Pages: 9175-9179.
- Cai, L., Tong, M., Wang, X., and Kim, H. 2014. Influence of Clay Particles on the Transport and Retention of Titanium Dioxide Nanoparticles in Quartz Sand. *Environ. Sci. Technol.*, 48, 13, 7323–7332.
- Carr, E., Perot, J., Jauzein, V., Lopez, M. 2018. Impact of suspended particles on UV disinfection of activated-sludge effluent with the aim of reclamation. *J. Water Process Eng.* 22, 87-93.
- Castaneda R.A., Suci A., M. Anouk S., Anthony R. 2014. Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Rapid Communication*. Vol 71. Pages: 1767-1771.
- Chae, Y., dan An, Y. J., 2017. Effects of Micro and Nanoplastics on Aquatic Ecosystems: Current. *Marine Pollution*, Volume 124, hal. 624–632.
- Chang, M. 2015. Reducing microplastics from facial exfoliating cleansers in wastewater through treatment versus consumer product decisions. *Marine Pollution Bulletin*, volume 101, issue 1, pages 330-333. ISSN 0025-326X.
- Data Unit Produksi Tahun 2021. Jember: Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM Jember) Kabupaten Jember.
- Dektiff JH, Remy D, Klasmeier J, Fies E. 2014. Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney. *Environ. Pollut.* 186: 248- 256.
- Dewi Y., Trisno R. 2019. Aspek Hukum Bahaya Plastik Terhadap Kesehatan dan Lingkungan Serta Solusinya. *Jurnal Kosmik Hukum*. Vol 19(1). ISSN 1411-9781, e-ISSN 2655-9242.
- Dey, T. K., Uddin, M. E., & Jamal, M. 2021. Detection and removal of microplastics in wastewater: evolution and impact. *Environmental science and pollution research international*, 28(14), 16925–16947.

- Ding, W., Jin, W., Cao, S., Zhou, X., Wang, C., Jiang, Q., Huang, H., Tu, R., Han, S.F., Wang, Q. 2019. Ozone disinfection of chlorine-resistant bacteria in drinking water. *Water Research*, Volume 160, Pages 339-349. ISSN 0043-1354.
- Duis, K., Coors, A. 2016. Microplastics in the Aquatic and Terrestrial Environment: Sources (with a specific focus on personal care products), Fate, and Effects. *Environ. Sci. Eur.* 28, 2.
- Eckenfelder Jr, W. Wesley. 2000. *Industrial Water Pollution Control* 3th ed. Singapore: Mc Graw Hill Book Co.
- Enfrin, M., Dumée, L.F., Lee, J. 2019. Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – Origin, impact and potential solutions. *Water Research*, volume 161, pages 621-638. ISSN 0043-1354.
- Fitri S, M P Patria. 2019. Microplastic contamination on *Anadara granosa* Linnaeus 1758 in Pangkal Babu mangrove forest area, Tanjung Jabung Barat district, Jambi. *Journal of Physic.* Vol 128.
- Fotopoulou, K.N., Karapanagioti, H.K. 2012. Surface properties of beached plastic pellets. *Marine Environmental Research*, Volume 81, Pages 70-77. ISSN 0141-1136.
- Free, C.M., Jensen, O.P., Mason, S.A., Eriksen, M., Williamson, M.J., Boldgiv, B. 2014. High levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Mar. Pollut. Bull.* 85, 156–163.
- Galloway, T. 2015. Micro-and nano-plastic and human health. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter. Springer, cham*, pp. 343-366. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_13.
- Gerdes, Z., Hermann, M., Ogonowski, M., Gorokhova, E. 2019. A novel method for assessing microplastic effect in suspension through mixing test and reference materials. *Scientific Reports*, 9, 10695. doi.org/10.1038/s41598-019-47160-1.
- [GESAMP] The Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment.
- Gregory, M.R., 1996. "Plastic 'Scrubbers' in Hand Cleansers: a Further (and Minor) Source for Marine Pollution Identified. *Marine Pollution Bulletin* 32, hal.867–871.
- Hadi, Wahyono. 2012. *Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum*. Surabaya: ITS Press.
- Hapitasari, D. N. 2016. Analisis Kandungan Mikroplastik pada Pasir dan Ikan Demersal: Kakap (*Lutjanus sp.*) dan Kerapu (*Epinephelus sp.*) di Pantai Ancol, Palabuhan Ratu dan Labuan. Skripsi. Departemen Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hartline, N.L., Bruce, N.J., Karba, S.N., Ruff, E.O., Sonar, S.U., and Holden, P.A. 2016. Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments. *Environ. Sci. Technol.* 50, 21, 11532–11538.

- Hiwari H., Noir P.P., Yudi N.I., Lintang P.S.Y., Putri G.M. 2019. Kondisi Sampah Mikroplastik di Permukaan Air Laut Sekitar Kupang dan Rote, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon.* Vol 5(2). Hal: 165-171.
- Jambeck, J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. 2015. Plastic Waste Inputs from Land into The Ocean. *Science.* (347). hal: 768–771.
- Jiang C., Lingshi Y., Zhiwei Li., Xiaofeng W., Xin Luo., Shuping Hu., Hanyuan Y., Yuannan L., Bin Deng., Lingzhi H., Yizhuang L. 2019. Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau. Elsevier. Vol 249. Page 91-98.
- Jiang, Q. and Logan, B.E. 1991. Fractal dimensions of aggregates determined from steady-state size distributions. *Environ. Sci. Technol.* 25, 12, 2031–2038.
- Jung, Melisa R., F. David Horgen, Sara V. Orski, Viviana Rodriguez C., Kathryn L. Beers, George H. Balazs, T. Todd Jones, Thierry M. Work, Kayla C. Brignac, Sarah-Jeanne Royer, K. David Hyrenbach, Brenda A. Jensen, Jennifer M. Lynch. 2018. Validation of ATR FT-IR to Identify Polymers Of Plastic Marine Debris, Including Those Ingested By Marine Organisme. *Marine Pollution Bulletin* 127. Pages: 704–716.
- Kabupaten Jember. 1992. Peraturan Daerah Kabupaten Jember Nomor 27 Tahun 1992.
- Kabupaten Jember. 1975. Peraturan Daerah Kabupaten Jember Nomor 4 Tahun 1975.
- Kang, P., Ji, B., Zhao, Y., and Wei, T. 2020. How can we trace microplastics in wastewater treatment plants: A review of the current knowledge on their analysis approaches. *Science of the Total Environment* 745. 140943.
- Kapo, F., Toruan, L., Paulus, C. 2020. Jenis dan Kelimpahan Mikroplastik pada Kolom Permukaan Air di Perairan Teluk Kupang. *Jurnal Bahari Papadak*, vol 1 no 1. ISSN : 2723-6536.
- Karapanagioti, H. K., 2007. “Microplastics and Synthetic Fibers in Treated Wastewater and Sludge”. In: I. K. Kalavrouziotis, ed. “Wastewater and Biosolids Management”. London: IWA, hal. 77-88.
- Kawamura, S. 1991. *Integrated Design of Water Treatment Facilities*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Kawamura, S. 2000. *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Kelkar, V., Rolsky, C., Pant, A., Green, M., Tongay, S., Halden, R. 2019. Chemical and physical changes of microplastics during sterilization by chlorination. *Water Research*, volume 163. 114871. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114871>.
- Kosuth, M., Mason, S. A., dan Wattenberg, E. V., 2018. Anthropogenic Contamination of Tap Water, Beer and Sea Salt. hal. 1-18.
- Kurniawan, I. 2012. Pengembangan Sistem Filtrasi Instalasi Pengolahan Air Minum. *Jurnal Teknik ITS*, vol 1 no 1. ISSN: A-374.

- Lambert S., Sinclair C., Boxall A. 2014. Occurrence, Degradation, and Effect of Polymer-Based Materials in the Environment. In: Whitacre D. (eds) Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Volume 227. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (Continuation of Residue Reviews), vol 227.
- Lapointe, M., Farner, J.M., Hernandez, L.M., and Tufenkji, N. 2020. Understanding and Improving Microplastic Removal during Water Treatment: Impact of Coagulation and Flocculation. *Environ. Sci. Technol.* 2020, 54, 14, 8719–8727.
- Lasminto, U. 2016. Studi Potensi Tampung Air sebagai Sumber Air Baku Kota Surabaya. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Penelitian ITS, hal. 43.
- Lassen, C., Hansen, S.F., Magnusson, K., Hartmann, N.B., Rehne Jensen, P., Nielsen, T.G., Brinch, A., 2015. Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the Environment in Denmark. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.
- Lenaker. P. L., Austin K.B., Steven R.C., Sherri A.M., Paul C.R., Jhon W.S. 2019. Vertical Distribution of Microplastics in the Water Column and Surficial Sediment from the Milwaukee River Basin to Lake Michigan. *Environmental Science and Technology*. Vol 53. Pages: 12227-12237.
- Lestari, P., Trihadiningrum, Y., Wijaya, B., Yunus, K., Firdaus, M. 2020. Distribution of Microplastics in Surabaya River, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 726: 238560.
- Li, C., Busquets, R., Moruzzi, R., Campor, L. 2021. Preliminary study on low-density polystyrene microplastics bead removal from drinking water by coagulation-flocculation and sedimentation. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102346. doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102346.
- Liu, X., Yuan, W., Di, M., Li, Z., Wang, J., 2019. Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China. *Chem. Eng. J.* 362, 176–182.
- Lv, X., Dong, Q., Zuo, Z., Liu, Y., Huang, X., Wu, W.-M., 2019. Microplastics in a municipal wastewater treatment plant: fate, dynamic distribution, removal efficiencies, and control strategies. *J. Clean. Prod.* 225, 579–586.
- Ma, B., Xue, W., Ding, Y., Hu, C., Liu, H., Qu, J. 2018. Removal Characteristics of Microplastics by Fe Fe-based Coagulants During Drinking Water Treatment. *Environmental Sciences Journal*, 78, 174-182.
- Ma, B., Xue, W., Hu, C., Liu, H., Qu, J., Li, L. 2019. Characteristics of Microplastic Removal Via Coagulation and Ultrafiltration During Drinking Water Treatment. *Chemical Engineering Journal*, volume 359, pages 159-167. ISSN 1385-8947.
- Magni, S., Binellia, A., Pitturab, L., Aviob, C.G., Torrea, C.D., Parentia, C.C., et al., 2019. The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *Sci. Total Environ.* 652.
- Masduqi, Ali dan Agus Slamet. 2002. Satuan Operasi intuk Pengolahan Air. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Masura, J., Baker, J., Foster, G., and Arthur, C. 2015. Laboratory Methods for The Analysis of Microplastics in The Marine Environment: Recommendations for Quantifying Synthetic Particles In Waters And Sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.
- Mintenig, S.M., Löder, M.G.J., Primpke, S., Gerdt, G. 2019. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of The Total Environment*, Volume 648, Pages 631-635. ISSN 0048-9697.
- Na, S.H., Kim, M.J., Kim, J.T., Jeong, S., Lee, S., Ching, J., and Kim, E.J. 2021. Microplastic removal in conventional drinking water treatment processes: Performance, mechanism, and potential risk. *Water Research* 202. 117417. ISSN 0043-1354.
- Narkis, N., Armon, R., Offer, R., Orshansky, F., Friedland, E. 1995. Effect of suspended solids on wastewater disinfection efficiency by chlorine dioxide. *Water Research*, Volume 29, Issue 1, Pages 227-236. ISSN 0043-1354.
- Novotna, K., Cermakova, L., Pivokonska, L., Cajthaml, T., and Pivokonsky, M. 2019. Microplastics in Drinking Water Treatment – Current Knowledge and Research Needs. *Science of The Total Environment*, volume 667, pages 730-740. ISSN 0048-9697.
- Oßmann, B.E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S.H., Dicke, W. 2018. Small-sized Microplastics and Pigmented Particles in Bottled Mineral Water. *Water Res.* 141, 307–316.
- Pradana, H., Wahyuningsih, S., Novita, E., Humayro, A., Purnomo, B. 2019. Identifikasi Kualitas Air dan Beban Pencemaran Sungai Bedadung di Intake Instalasi Pengolahan Air PDAM Kabupaten Jember. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 18(2): 135-143. doi: 10.14710/jkli.18.2.135-143.
- Prata, J., Costa, J., Lopes, I., Duarte, A., Santos, T. 2020. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 702, 134455. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455
- Peng, G., Zhu, B., Yang, D., Su, L., Shi, H. dan Li, D., 2017. “Microplastics in Sediments of the Changjiang Estuary, China”. *Environmental Pollution*, 225, hal.283-290.
- Picó, Y., and Barceló, D. 2019. Analysis and Prevention of Microplastics Pollution in Water: Current Perspectives and Future Directions. *ACS Omega*, 4, 4, 6709–6719.
- Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T., Janda, V. 2018. Occurrence of Microplastics in Raw and Treated Drinking Water. *Sci. Total Environ.* 2018. 1644–1651.
- Purwaningrum P. 2016. Upaya Mengurangi Sampah Plastik di Lingkungan. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol 8(2). Hal: 141-147.
- Qasim, Syed R, dkk. (2000). *Water Works Engineering*. Texas: University of Texas.





- Rachmat, Sapta, L.J., Noir P.P., Mochamad U.K.A., Lintang P.S.Y. 2019. Karakteristik Sampah Mikroplastik di Muara Sungai DKI Jakarta. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*. Vol 8(1). Hal: 9-17.
- Rahmadhani F. 2019. Identifikasi Dan Analisis Kandungan Mikroplastik Pada Ikan Pelagis dan Demersal serta Sedimen dan Air Laut Di Perairan Pulau Mandangin Kabupaten Sampang. Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel. Surabaya.
- Razif, M. 1986. Bangunan Pengolahan Air Minum. *Jurnal Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*. Hal 12 – 13.
- Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001.
- Reynolds and Richards. 1982. *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*. California: McGraw Hill International Ed.
- Rodrigues, J., Duarte, A., Echeandia, J., Santos, T. 2019. Significance of interactions between microplastics and POPs in the marine environment: A critical overview. *Trends in Analytical Chemistry*, 111: 252-260. doi.org/10.1016/j.trac.2018.11.038.
- Rugner, H., Schwientek, M., Beckingham, B., Kuch, B., Grathwohl, P. 2013. Turbidity as a proxy for total suspended solids (TSS) and particle facilitated pollutant transport in catchments. *Environ Earth Sci*, 69:373–380. DOI 10.1007/s12665-013-2307-1.
- Sa'diyah, A. dan Trihadiningrum, Y. 2020. Kajian Fragmentasi Low Density Polyethylene Akibat Radiasi Sinar Ultraviolet dan Kecepatan Aliran Air. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). ISSN: 2337-3539.
- Sarkar, D., et al. 2021. Microplastics removal efficiency of drinking water treatment plant with pulse clarifier. *Journal of Hazardous Materials*, 412, 125347.
- Satriawan Mb, Ilmiati Illing. 2017. Uji Ftir Bioplastik dari Limbah Ampas Sagu Dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Gelatin. Vol. 08. No.2. P-ISSN: 2087- 7889 E-ISSN: 2503-4863.
- Schirinzi, G.F., Pérez-Pomeda, I., Sanchís, J., Rossini, C., Farré, M., Barcelé, D., 2017. Cytotoxic Effects of Commonly Used Nanomaterials and Microplastics on Cerebral and Epithelial Human Cells. *Environ. Res.* 159, 579–587.
- Schmidt, C., Lautenschlaeger, C., Collnot. E. M., Schumman, M., Bojarski, C., Schulzke, J.D., et al. 2013. Nano- and Microscaled Particles for Drug Targeting to Inflamed Intestinal Mucosa—A First in Vivo Study in Human Patients. *Journal of Controlled Release*, volume 165, issue 2, pages 139-145. ISSN 0168-3659.
- Schulz, C. R. dan Okun, D. A. 1984. *Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries*. New York: John Willey & Sons Inc.
- Schulz, C. R., Okun, D.A., Danaldson, D. dan Austin, J. 1992. *Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries*. USA: John Wiley & Sons Inc.





- Shao, B., Liu, X., Liu, Z., Zeng, G., Liang, Q., Liang, C., Cheng, Y., Zhang, W., Liu, W., Gong, S. A novel double Z-scheme photocatalyst Ag₃PO₄/Bi₂S₃/Bi₂O₃ with enhanced visible-light photocatalytic performance for antibiotic degradation. *Chemical Engineering Journal*, volume 368, pages 730-745. ISSN 1385-8947
- Shen, M., Song, B., Zhu, B., Zeng, G., Zhang, Y., Yang, Y., Wen, X., Chen, M., Yi, H. 2020. Removal of microplastics via drinking water treatment: Current knowledge and future directions. *Chemosphere*, volume 251, 126612, ISSN 0045-6535.
- Shen, M., Zeng, Z., Li, L., Song, B., Zhou, C., Zeng, G., Zhang, Y., Xiao, R. Microplastics act as an important protective umbrella for bacteria during water/wastewater disinfection. *Journal of Cleaner Production*, vol 315. 128188. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128188.
- Shin, G., Sobsey M.D. 2008. Inactivation of norovirus by chlorine disinfection of water. *Water Research*, volume 42, issue 17, pages 4562-4568. ISSN 0043-1354.
- SNI 06-2412-1991 Tentang Metode Pengambilan Contoh Kualitas Air.
- Storck, F. R., Pfeiffer, S. R., dan Kools, S., 2015. Microplastic in Fresh Water Resources. *Global Water Research Coalition*, 1-4.
- Sutapa, I. 2014. Optimalisasi Dosis Koagulan Aluminium Sulfat dan Poli Aluminium Klorida (PAC) untuk Pengolahan Air Sungai Tanjung dan Krueng Raya. *Jurnal Teknik hidraulik*, 5(1): 29-42.
- Tamami, B., Parvanak, B.K. 2003. Chemoselective Protective of Carbonyl Compounds as Dithioacetals Using Polystyrene Silica Gel Supported AlCl₃ and FeCl₃. *Iran. Polym. Journal*. 12 (6), 507-513.
- Tanzania. 1999. Ministry of Water and Rwegarulila Water Resources Institute: Operation and Maintenance of Water and Sewerage Systems.
- Tchobanoglous, G. and Franklin L. Burton. 1991. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse* 3th ed. Singapore: Mc Graw Hill Book Co.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S., 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. Mc. Graw- Hill, Inc: New York.
- Tibbetts, Joseph & Krause, Stefan & Lynch, Iseult & Sambrook Smith, Gregory. 2018. Abundance, Distribution, and Drivers of Microplastic Contamination in Urban River Environments. *Water*. 10. 1597. 10.3390/w10111597.
- Triebkorn, R., Braunbeck, T., Grummt, T., Hanslik, L., Huppertsberg, S., Jekel, M., Knepper, T.P., Kraus, S., Müller, Y.K., Pittroff, M., Ruhl, A.S., Schmiege, H., Schür, C., Strobel, C., Wagner, M., Zumbülte, N., Köhler, H.-R., 2019. Relevance of nano- and microplastics for freshwater ecosystems: a critical review. *Trends Anal. Chem.* 110, 375–392.
- Tyree, C. dan Morrison, D., 2017. *Invisibles The Plastic Inside Us*. 20 November 2018.

- Vermaire, J., Pomeroy, C., Herczegh, S., Haggart, O., Murphy, M. 2017. Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries. *FACETS* 2: 301–314. doi:10.1139/facets-2016-0070
- Victoria, dan Veronica. 2017. Kontaminasi Mikroplastik di Perairan Tawar. Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Virsek, Manca K., Andreja Palatinus., Spela Koren., Monika Peterlin., Petra Horvat., Andrej Krzan. 2016. Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. *Journal of Visualized Experiments*. Exp. (118), e55161, doi:10.3791/55161.
- Wang, W., Wairimu Ndungu, A., Li, Z., Wang, J., 2017. Microplastics pollution in inland freshwaters of China: a case study in urban surface waters of Wuhan, China. *Sci. Total Environ.* 575, 1369–1374.
- Wang, F., Wong, C.S., Chen, D., Lu, X., Wang, F., Zeng, E.Y., 2018. Interaction of toxic chemicals with microplastics: a critical review. *Water Res.* 139, 208–219.
- Wang, Z., Bobo S., Xiaoqun X., Di D., Hong H., Kun M., Randy A. D., Minghua Z., Xu S. 2018. Preferential accumulation of small (<300 mm) microplastics in the sediments of a coastal plain river network in eastern China. Elsevier. Vol 144. Pages 303-401.
- Wang, Z., Lin, T., Chen, W. 2020. Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP). *Science of the Total Environment*, 700, 134520. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134520.
- Wei, X., Bohlen, M., Lindblad, C., Hedenqvist, M., Hakonen, A. 2021. Microplastics generated from a biodegradable plastic in freshwater and seawater. *Water Research*, 198, 117123. doi.org/10.1016/j.watres.2021.117123.
- Widianarko B., Inneke H. 2018. Mikroplastik Dalam Seafood di Pantai Utara Jawa. Universitas Katolik Soegijapranata. Semarang.
- Wijaya B.A., Yulinah T. 2019. Pencemaran Meso- dan Mikroplastik di Kali Surabaya pada Segmen Driyorejo hingga Karang Pilang. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 8(2). ISSN: 2337-3539.
- Wikurendra, E., Aini, S., Nagy, I, Nurika, G., Herdiani, N., Shamsudin, S. 2022. Source of Microplastic Pollution Within Human Stool in the Surabaya River Basin Area. *Journal of Chemical Health Risks*, 12(0). DOI: 10.22034/jchr.2022.1940009.1406.
- Wright SL, Thompson RC, Galloway TS. 2013. The Physical Impacts of Microplastics on Marine Organisms: A Review. *Environ. Pollut.* 178: 483–492.
- Wright, S.L., Kelly, F.J., 2017. Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environ. Sci. Technol.* 51, 6634–6647.
- Wu, P., Cai, Z., Jin, H., Tang, Y., 2019. Adsorption mechanisms of five bisphenol analogues on PVC microplastics. *Sci. Total Environ.* 650, 671–678.



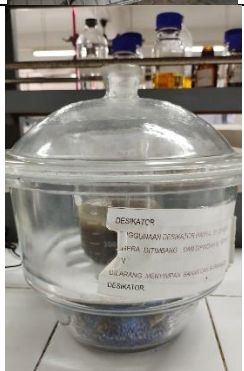
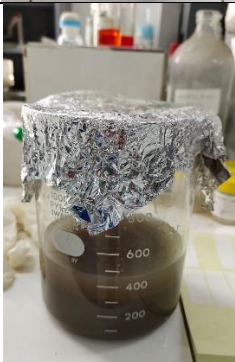
- Xu, Q., Huang, Q.S., Luo, T.Y., Wu, R.L., Wei, W., Ni, B.J. 2021. Coagulation removal and photocatalytic degradation of microplastics in urban waters. *Chemical Engineering Journal*, Volume 416, 129123. ISSN 1385-8947.
- Zhang, Y., Diehl, A., Lewandowski, A., Gopalakrishnan, K., Baker, T. 2020. Removal efficiency of micro- and nanoplastics (180 nm–125 µm) during drinking water treatment. *Science of the Total Environment*, 720, 137383.
- Zhou, G., Wang, Q., Li, J., Li, Q., Xu, H., Ye, Q., Wang, Y., Shu, S., Zhang, J. 2021. Removal of polystyrene and polyethylene microplastics using PAC and FeCl₃ coagulation: Performance and mechanism. *Science of The Total Environment*, Volume 752, 141837. ISSN 0048-9697.
- Zubris, K. A., dan Richards, B. K., 2005. “Synthetic Fibers as an Indicator of Land Application of Sludge”. *Environ. Pollut*, 138, hal 201.





LAMPIRAN A
PROSEDUR EKSTRAKSI SAMPEL AIR


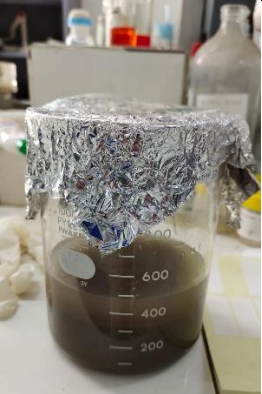


No	Perlakuan	Gambar
1	Mengambil sampel air sebanyak 1 L ke dalam beaker glass	
2	Menambahkan H ₂ O ₂ 30% sebanyak 20 mL ke dalam sampel	
3	Mengaduk dan memanaskan sampel menggunakan hot magnetic stirrer dengan suhu maksimum 75°C selama 30 menit hingga muncul gelembung	
4	Menambahkan H ₂ O ₂ 30% sebanyak 20 mL ke dalam sampel apabila masih terlihat adanya partikel organik pada sampel	

5	Menambahkan NaCl sebanyak 6 gram ke dalam sampel	
6	Memanaskan sampel menggunakan kompor hingga NaCl larut	
7	Menyaring sampel menggunakan vacuum filter pump menggunakan glass fiber filter	
8	Menyimpan sampel yang telah disaring pada cawan petri	

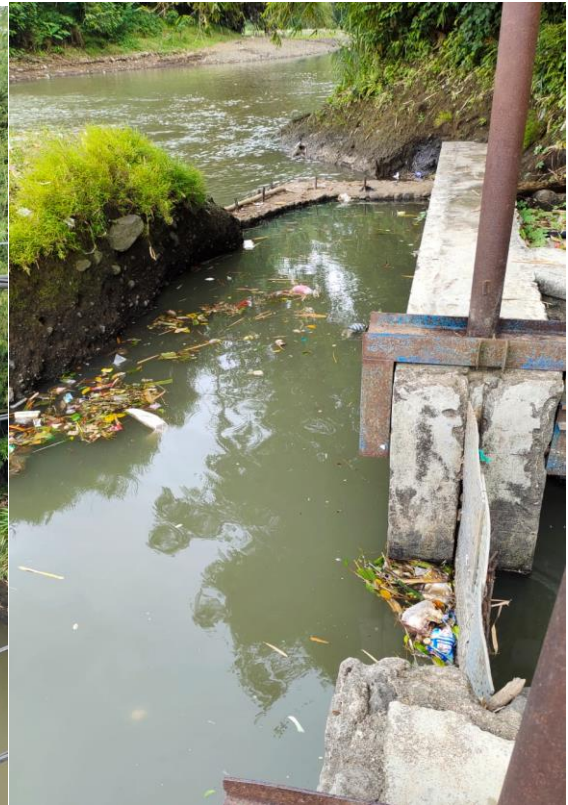
LAMPIRAN B
PROSEDUR EKSTRAKSI SAMPEL LUMPUR

No	Perlakuan	Gambar
1	Mengambil sampel lumpur cair sebanyak 1 L ke dalam beaker glass	
2	Mengeringkan sampel lumpur cair di dalam oven bersuhu 90°C selama 24 jam	
3	Memasukkan sampel lumpur kering dalam desikator	
4	Menimbang sampel lumpur kering sebanyak 400 gram	




5	Menambahkan H ₂ O ₂ 30% sebanyak 40 mL ke dalam sampel	
6	Mengaduk dan memanaskan sampel menggunakan hot magnetic stirrer dengan suhu maksimum 75°C selama 30 menit hingga muncul gelembung	
7	Menambahkan H ₂ O ₂ 30% sebanyak 40 mL ke dalam sampel apabila masih terlihat adanya partikel organik pada sampel	
8	Menambahkan NaCl sebanyak 6 gram ke dalam sampel	




9	Memanaskan sampel menggunakan kompor hingga NaCl larut	
10	Mendiamkan sampel hingga lumpur mengendap	
11	Menyaring sampel menggunakan vacuum filter pump menggunakan glass fiber filter	
12	Menyimpan sampel yang telah disaring pada cawan petri	

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI SUNGAI BEDADUNG



LAMPIRAN D
DOKUMENTASI PENGAMBILAN SAMPEL

No	Titik Sampel	Gambar
1	Intake	
2	Inlet flokulasi	
3	Outlet Sedimentasi	

4	Outlet Filtrasi	
5	Inlet Reservoir	
6	Saluran lumpur backwash	

7	Saluran lumpur sedimentasi	 A photograph showing a worker in a blue t-shirt and a dark cap crouching next to a concrete channel. The channel contains a thick, brown, sludgy substance, likely sediment. The worker is looking down at the sludge. The channel is part of a larger industrial or municipal facility, with other concrete structures and pipes visible in the background.
---	----------------------------	---

LAMPIRAN E
HASIL PENGUJIAN KEKERUHAN AIR DAN LUMPUR

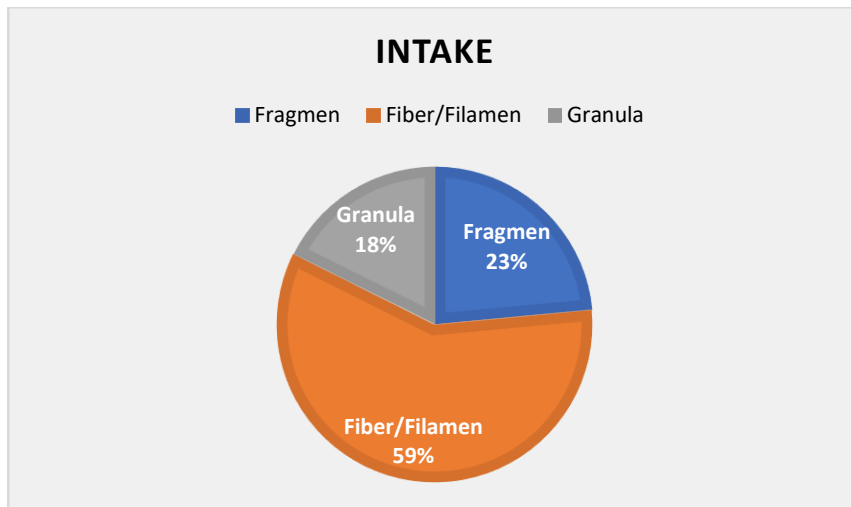
Sampel	Pengambilan	NTU	NTU (average)	% Removal
Blanko	-	0.40	0.40	-
Inlet Reservoir	Pengambilan 1	1.30	0.91	-
	Pengambilan 2	1.10		
	Pengambilan 3	0.75		
	Pengambilan 4	0.50		
Outlet Filtrasi	Pengambilan 1	2.10	1.94	28.2%
	Pengambilan 2	1.65		
	Pengambilan 3	2.10		
	Pengambilan 4	1.90		
Outlet Sedimentasi	Pengambilan 1	2.40	2.70	75.6%
	Pengambilan 2	2.60		
	Pengambilan 3	2.80		
	Pengambilan 4	3.00		
Inlet Flokulasi	Pengambilan 1	10.60	11.05	6.2%
	Pengambilan 2	13.20		
	Pengambilan 3	9.90		
	Pengambilan 4	10.50		
Intake	Pengambilan 1	11.00	11.78	-
	Pengambilan 2	13.70		
	Pengambilan 3	11.10		
	Pengambilan 4	11.30		
Lumpur Backwash	Pengambilan 1	600	812.50	
	Pengambilan 2	800		
	Pengambilan 3	850		
	Pengambilan 4	1000		
Lumpur Sedimentasi	Pengambilan 1	NA		
	Pengambilan 2			
	Pengambilan 3			
	Pengambilan 4			

LAMPIRAN F
HASIL PENGUJIAN TSS AIR DAN LUMPUR

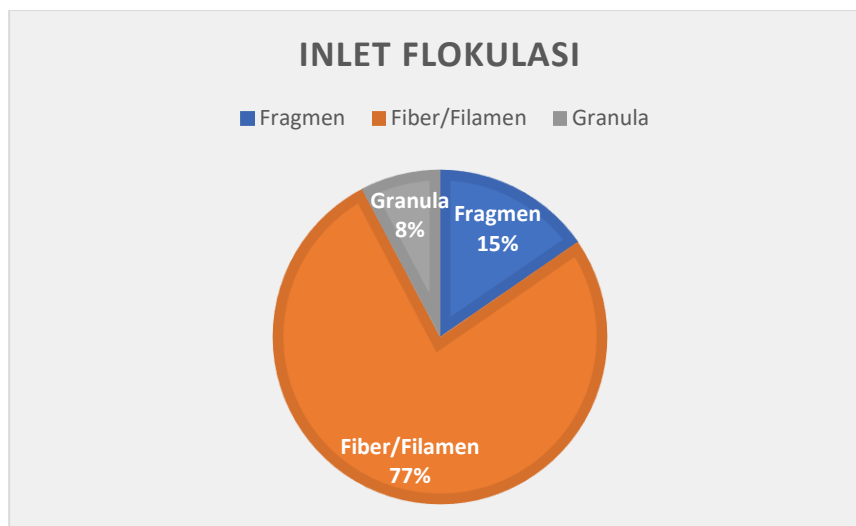
Sampel	Pengambilan	Massa Kertas Saring (mg)	Massa Kertas Saring + Solid (mg)	TSS (mg/L)	TSS rata-rata (mg/L)	% Removal
Inlet Reservoir	Pengambilan 1	188.60	249.0	56.30	47.25	-
	Pengambilan 2	187.50	247.5	45.00		
	Pengambilan 3	182.30	258.5	37.30		
	Pengambilan 4	186.10	236.5	50.40		
Outlet Filtrasi	Pengambilan 1	186.20	242.5	60.40	63.00	79.9%
	Pengambilan 2	184.00	229.0	60.00		
	Pengambilan 3	182.70	220.0	76.20		
	Pengambilan 4	179.10	297.5	118.40		
Outlet Sedimentasi	Pengambilan 1	180.60	523.5	342.90	313.08	58.1%
	Pengambilan 2	179.80	507.0	327.20		
	Pengambilan 3	183.90	432.0	248.10		
	Pengambilan 4	180.90	515.0	334.10		
Inlet Flokulasi	Pengambilan 1	186.40	940.0	749.20	747.33	0.5%

	Pengambilan 2	188.90	946.0	752.50		
	Pengambilan 3	183.60	924.5	740.90		
	Pengambilan 4	184.80	931.5	746.70		
Intake	Pengambilan 1	182.30	931.5	753.60	751.05	-
	Pengambilan 2	186.50	939.0	757.10		
	Pengambilan 3	188.20	947.0	758.80		
	Pengambilan 4	187.40	937.0	749.60		
Lumpur Backwash	Pengambilan 1	189.00	2154.0	1965.00	1943.15	-
	Pengambilan 2	181.40	2148.0	1966.60		
	Pengambilan 3	187.40	2177.0	1989.60		
	Pengambilan 4	181.60	2033.0	1851.40		
Lumpur Sedimentasi	Pengambilan 1	187.00	6629.0	6442.00	5879.10	-
	Pengambilan 2	190.00	7166.0	6976.00		
	Pengambilan 3	188.90	4865.0	4676.10		
	Pengambilan 4	187.70	5610.0	5422.30		

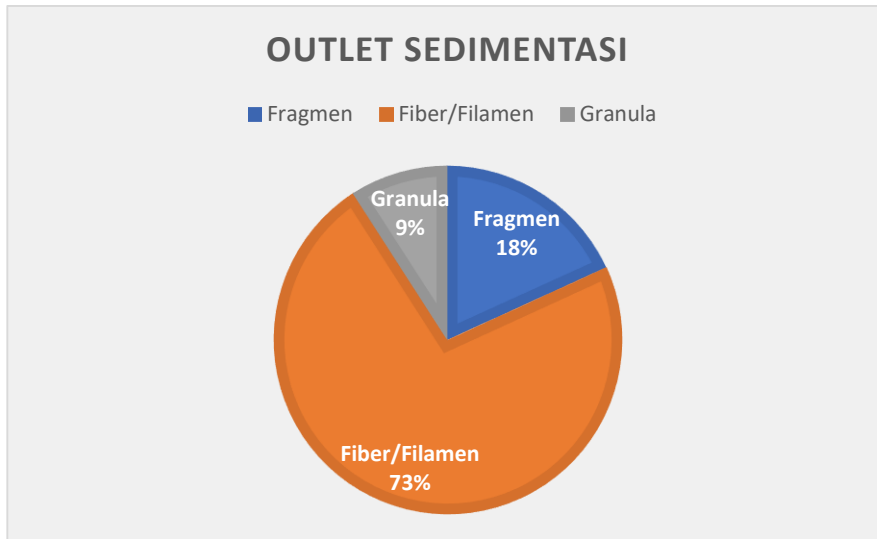
LAMPIRAN G
HASIL PENGAMATAN BENTUK MIKROPLASTIK



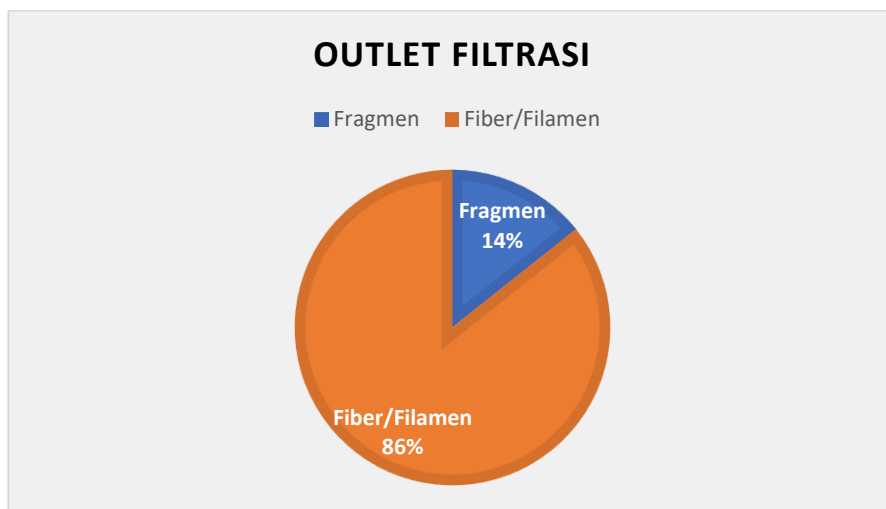
Variasi Bentuk Mikroplastik pada Unit Intake



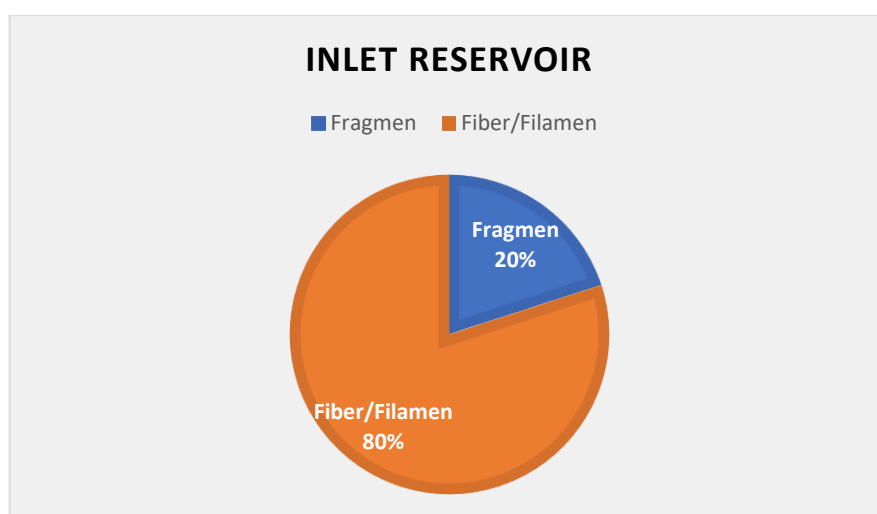
Variasi Bentuk Mikroplastik pada Inlet Unit Flokulasi



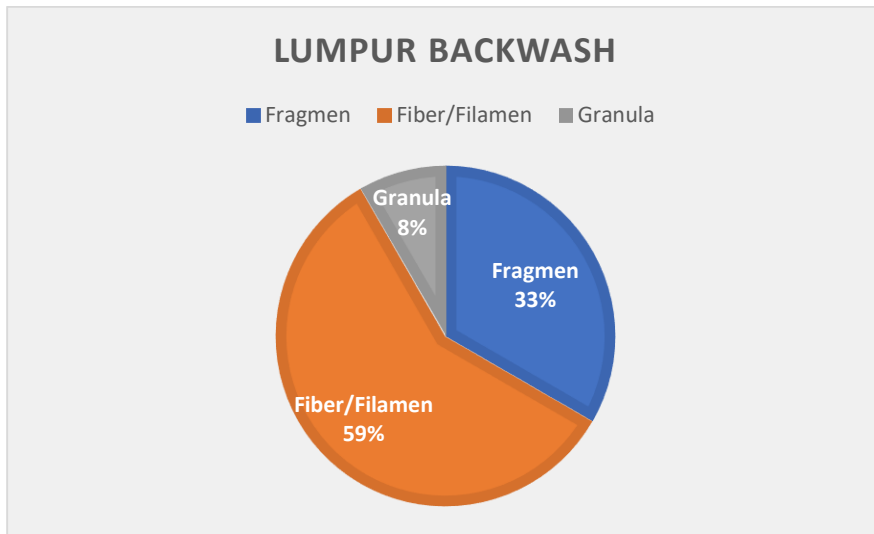
Variasi Bentuk Mikroplastik pada Outlet Unit Sedimentasi



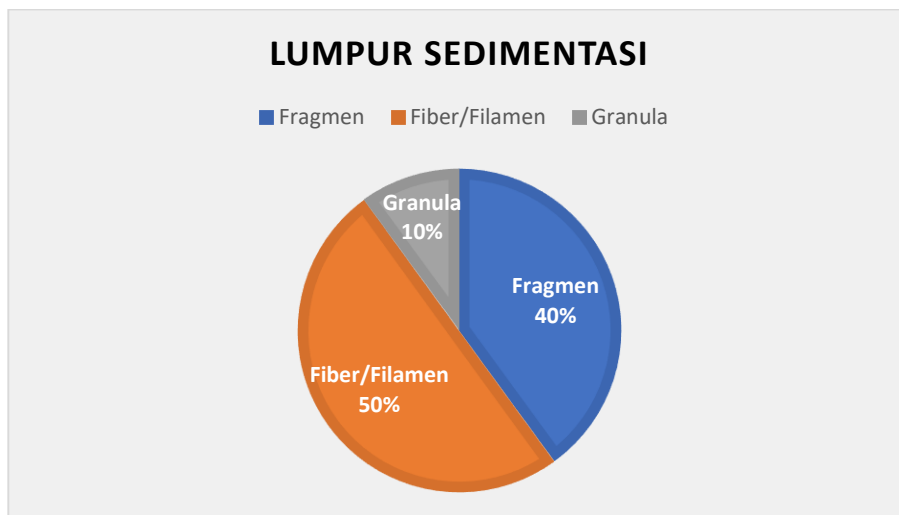
Variasi Bentuk Mikroplastik pada Outlet Unit Filtrasi



Variasi Bentuk Mikroplastik pada Inlet Unit Reservoir

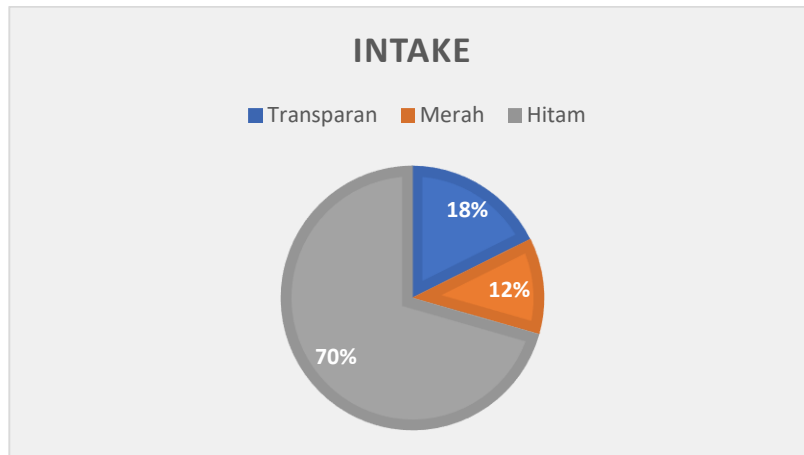


Variasi Bentuk Mikroplastik pada Lumpur Backwash

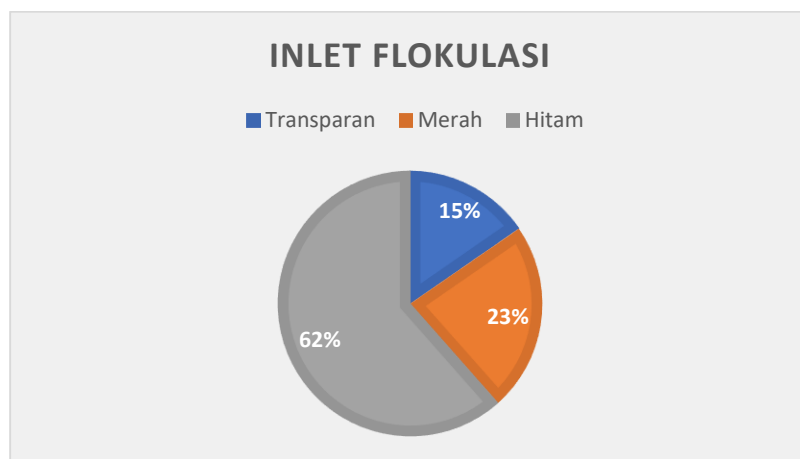


Variasi Bentuk Mikroplastik pada Lumpur Sedimentasi

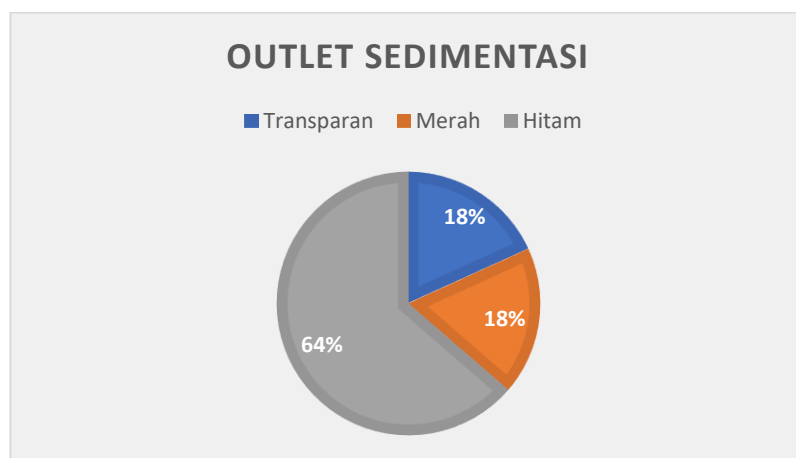
LAMPIRAN H
HASIL PENGAMATAN WARNA MIKROPLASTIK



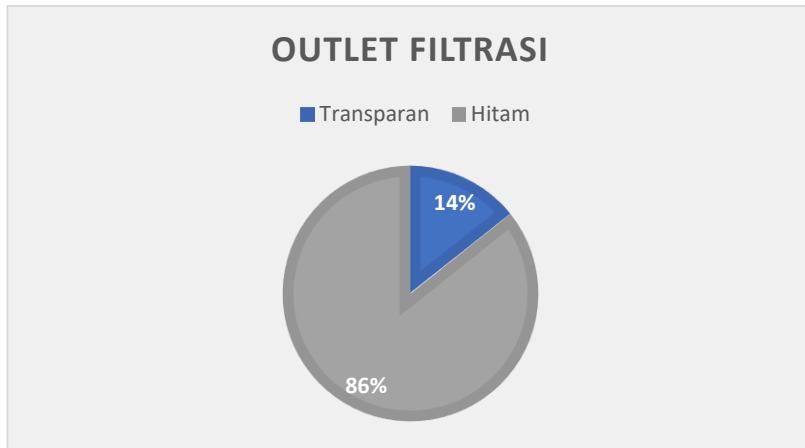
Variasi Warna Mikroplastik pada Unit Intake



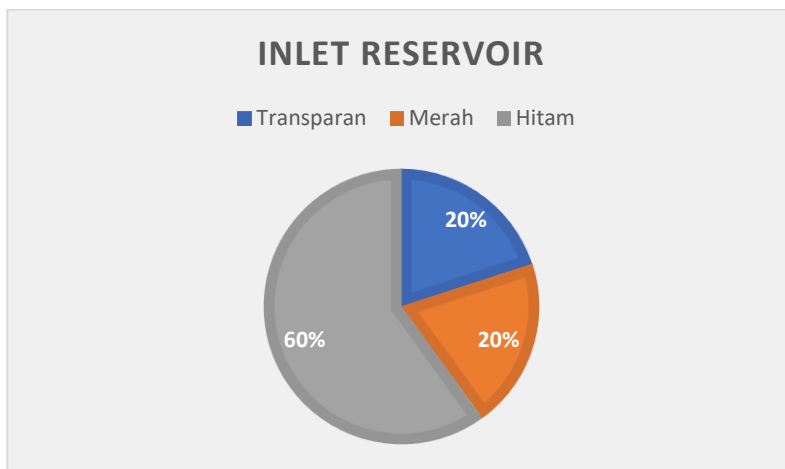
Variasi Warna Mikroplastik pada Inlet Unit Flokulasi



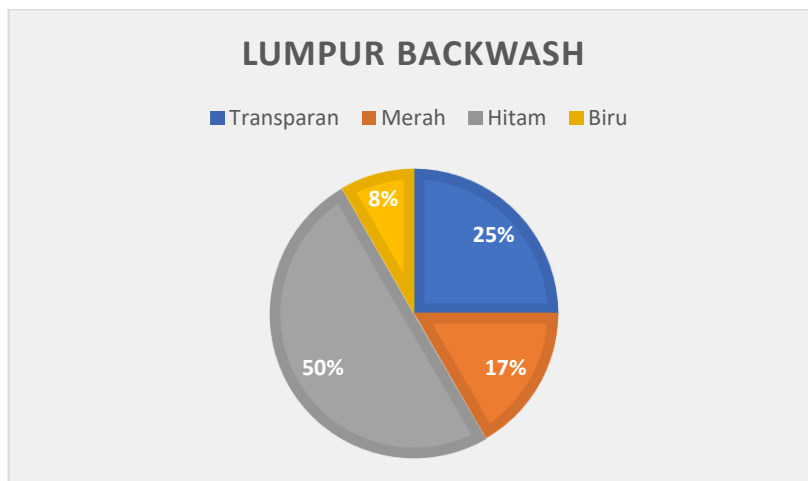
Variasi Warna Mikroplastik pada Outlet Unit Sedimentasi



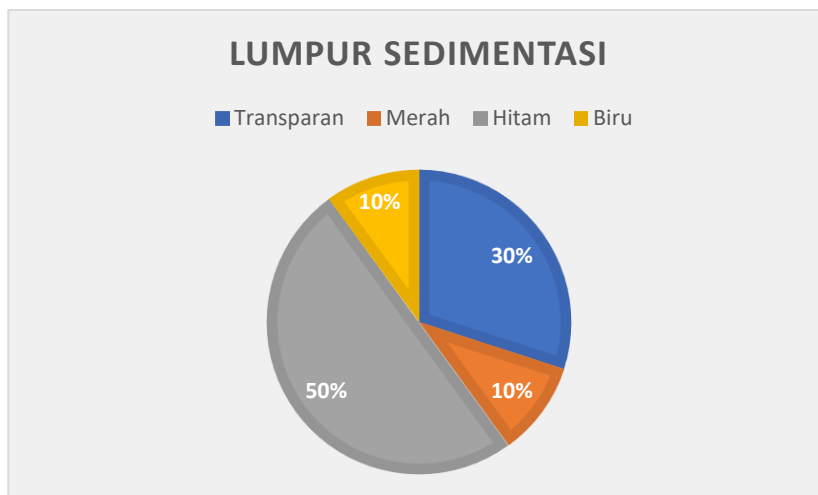
Variasi Warna Mikroplastik pada Outlet Unit Filtrasi



Variasi Warna Mikroplastik pada Inlet Unit Reservoir

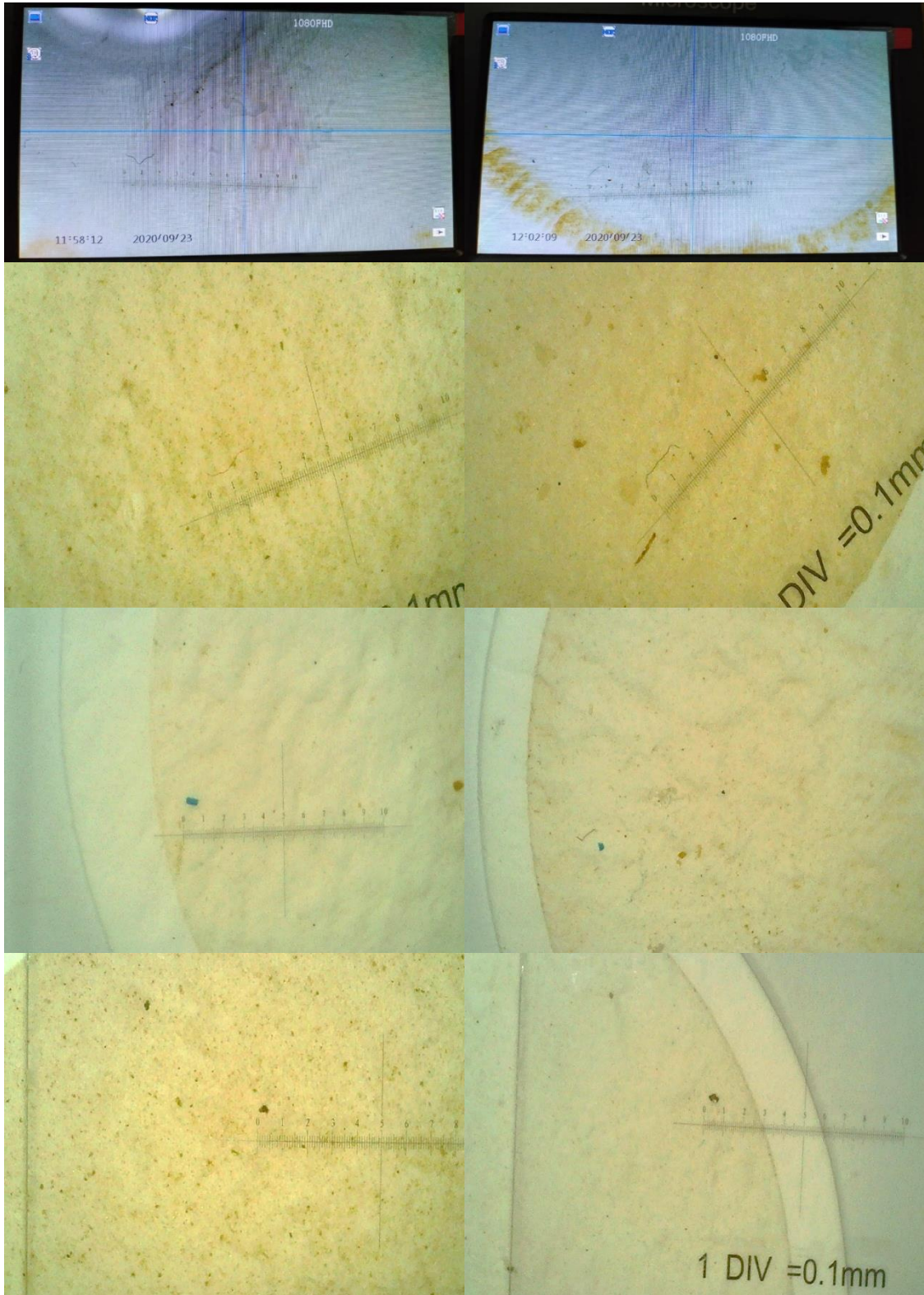


Variasi Warna Mikroplastik pada Lumpur Backwash



Variasi Warna Mikroplastik pada Lumpur Sedimentasi

LAMPIRAN I
DOKUMENTASI PENGAMATAN MIKROSKOP



LAMPIRAN J
TRANSKRIP WAWANCARA

Nama : Ibnu Syuhadak
 Jabatan : Koordinator Pengolahan IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember
 Waktu : 4 Agustus 2021
 Tempat : IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember

No	Pertanyaan	Jabawan
1.	Apakah bisa dijelaskan unit apa saja yang ada di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember?	Unit khususnya di Tegal Besar itu memang sistem treatment-nya mulai dari air baku sampai air jadi. Pertama air baku itu masuk ke intake, intake didorong ke namanya treatment. Treatment dibagi menjadi empat (4): ada pertama koagulan, flokulator (tempat pembentukan flok, pembubuhan obat, pencampuran sehingga membentuk flok. Habis dari flok lari ke sedimentasi itu pengendapan, memisahkannya antara lumpur sama air yang jernih naik ke atas, lumpur turun ke bawah. Habis dari sedimentasi baru kita dorong ke filtrasi, tugasnya untuk memfilter. Habis dari filter masuk ke Tomson baru didorong ke masuk ke reservoir.
2.	Apakah unit bekerja secara parallel atau seri?	Itu kalau treatment seri. Tapi ada 3 unit sistem. Jadi satu pengolahan itu banyak bagian. Bagian dan tujuannya sama. Cuma disini kan kapasitasnya yang membedakan. Pembagian debit.
3.	Kira-kira, berapa debit air yang masuk per hari?	Sekarang disini kebetulan total keseluruhan untuk 3 treatment itu 60 liter/detik.
4.	Berapa debit air yang dihasilkan? Apakah ada air	Kalau kita kehilangan air itu sistem pengolahan disini cuma memproduksi air. Jadi reservoir itu tempat penampungan air yang dihasilkan sama nanti

	yang hilang atau sama dengan debit masuk?	didorong sama pompa berapa yang dikeluarkan debitnya. Kalau yang dihasilkan 60 liter/detik keluarnya disini kisaran 55-56 liter/detik. Jadi kenapa kok saya turunkan? Kenapa kok tidak sama 60 60? Kok ada selisih 4-5 liter itu karena disini ada backwash. Kalau kita samakan reservoir tidak nutut. Kita mengisi 5 liter nya untuk backwash jadi menjaga keamanan reservoirnya itu.
5.	Bagaimana air baku yang dipakai di IPAM Tegal Besar? Kualitas air baku yang digunakan bagaimana?	Menggunakan air sungai. Kalau air baku tergantung, macem-macem, tergantung cuaca. Sedangkan kemarau dan musim hujan itu tidak sama, jadi kualitas air baku itu tidak sama.
6.	Kalau dari air sungai apakah benar tercemar sampah?	Banyak sampah, tercemar sampah
7.	Kira-kira sampah jenis apa yang paling banyak mencemari sungainya?	Ya plastik itu Mbak, limbah rumah tangga dan sebagian kecil home industry. Plastik dan diapers termasuk itu juga.
8.	Menurut bapak, sampah plastik di air berbahaya untuk dikonsumsi manusia atau tidak?	Kalau untuk jangka panjang berbahaya.
9.	Apakah selama ini ada pengamatan mengenai dampak sampah plastik terhadap air Sungai Bedadung?	Sudah ada. Kami sudah laporan ke instansi terkait mengenai masalah sampah yang banyak di aliran Sungai Jompo dan Bedadung. Terus tanggapan beliau sudah masuk ke Provinsi, jadi sambil berjalan saya juga minta dukungan ke pemda. Kemarin saya sempet dimintai dokumen untuk masalah terkait sampah plastik. Jadi area yang saya jaga kemarin radius 1 kilometer dari stasiun saya, jadi untuk ke

		atasnya saya tidak berani. Nanti instansi terkait biar rembugan dengan pihak kita.
10.	Kita masuk ke unit pengolahan lagi ya Pak, tadi kan di awal ada intake, sebelum masuk intake kan ada screen untuk penangkap sampahnya. Boleh dijelaskan kondisi penangkap sampahnya?	Kondisi screen ini lebih detail. Hanya untuk menghambat sampah biar tidak masuk. Kedua, itu kita pakai cara manual. Diambil sendiri. Untuk menjaga debit lah, debit yang masuk ke intake
11.	Setelah itu ada koagulasi, bahan kimia yang dipakai biasanya apa?	PAC, terus nanti masuk reservoir ada injeksi namanya kaporit, desinfektan itu.
12.	Di flokulasi dan sedimentasi kan terbentuk flok dan mengendap, pengurasannya bagaimana?	Kalau di sedimentasi, ketika sudah full, baru kita melakukan penyepaian namanya sepaian. Kita membuang lumpur yang mengendap itu, membersihkan. Soalnya kalau lumpur terlalu banyak kan tidak bagus juga, kita kurang lumpur juga tidak bagus, jadi pengaruh ke kualitas juga. Fungsinya sedimentasi di situ. Kalau flokulator kadang-kadang dibuka tapi intinya di sedimentasi.
13.	Lumpur yang sudah diambil apakah ada pengolahannya sendiri?	Tidak ada, dibuang langsung ke sungai. Dikembalikan lagi ke asalnya
14.	Kalau filtrasi pakai berapa media?	Pasir dan gravel, tapi ukuran pasirnya tidak sama, yang halus di atas, jadi yang tengah agak kasar sedikit, yang bawah baru gravel-nya itu.
15.	Bagaimana pengukuran kualitas airnya setelah melalui filter?	Pengukuran kualitas untuk mendeteksi dilakukan bagian lab, kita tidak masuk ke ranah itu.

16.	Pengujiannya setiap kapan?	Setiap hari. Kalau tidak salah, kita kan pengolahan, sebelum distribusi ada tim lab kesini. Pagi sama sore jadi yang lebih jelas lagi di tim lab
-----	----------------------------	--

Wawancara ini dilakukan dengan sebenar-benarnya pada tanggal 4 Agustus 2021 di IPAM Tegal Besar PDAM Kabupaten Jember.

Jember, 4 Agustus 2021
Koordinator Pengolahan IPAM Tegal Besar
PDAM Kabupaten Jember



Ibnu Syuhadak

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Berliana Khansa Salsabila. Penulis lahir di Kabupaten Jember, Jawa Timur pada tanggal 29 Maret 2002. Penulis telah selesai menempuh pendidikan di SD Muhammadiyah 1 Jember (2008-2014), SMPN 2 Jember (2014-2016), dan SMAN 1 Jember Program MIPA (2016-2018). Pada tahun 2018, penulis melanjutkan studi S1 di Departemen Teknik Lingkungan ITS dan diterima melalui jalur SNMPTN dengan nomor registrasi pokok 03211840000007. Selama kuliah penulis aktif mengikuti beberapa organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS, Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI), Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan (BEM FT-SPK), ITS MUN Club, UKM Tenis Lapangan ITS, UKM Musik

ITS, UKM ITS Foreign Language Society, dan menjadi volunteer di ITS Global Engagement atau ITS International Office. Selain itu penulis juga mengikuti beberapa lomba karya tulis seperti Pekan Keilmiah Remaja (PKM) dan International Science and Invention Fair (ISIF). Penulis juga mendapatkan beasiswa Cargill Global Scholars Program mulai dari tahun kedua kuliah sampai selesai. Selain itu penulis mengikuti program fast track untuk menempuh pendidikan S2 di ITS. Bagi pembaca yang ingin menyampaikan kritik, saran, dan berdiskusi dapat menghubungi penulis melalui email khansaberliana@gmail.com

