



TUGAS AKHIR

Identifikasi Mikroplastik pada Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Kartamantul, Yogyakarta serta Analisis Risiko Potensial

Nama Mahasiswa

Kintan Parenza Yasa

Dosen Pembimbing I:

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

Dosen Pembimbing II:

Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I. P .M.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Identification of Microplastics at Kartamantul Regional Drinking Water Supply System, Yogyakarta and Potential Risk Analysis

Student's Name

Kintan Parenza Yasa

Supervisor I:

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

Supervisor II:

Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I. P .M.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Identifikasi Mikroplastik pada Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM)

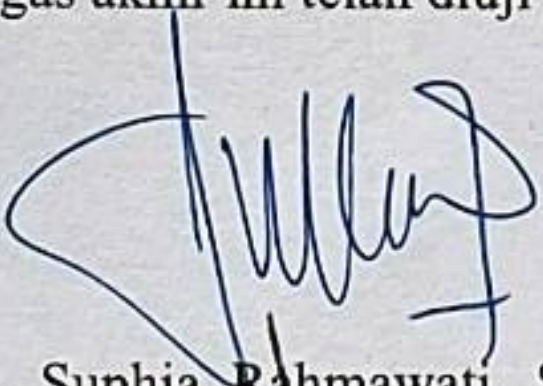
Regional Kartamantul, Yogyakarta serta Analisis Resiko Potensial

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Nama Mahasiswa

Kintan Parenza Yasa

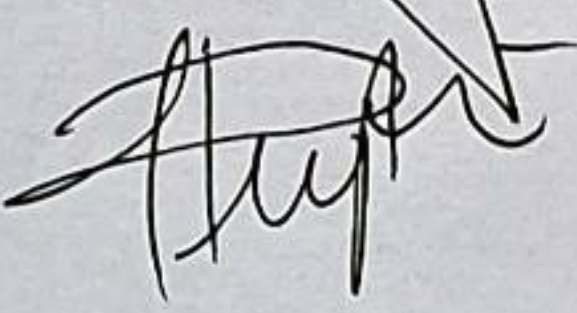
Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 11 November 2025 dan disetujui oleh:


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

(Pembimbing 1)


Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I. P. M.

(Pembimbing 2)


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

(Penguji)

Mengetahui
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

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

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.

Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.

6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 11 November 2025

Yang membuat pernyataan,



Kintan Parenza Yasa
21513186

PRAKATA

Puji dan syukur hanyalah milik Allah ﷻ Dzat Maha Rahman dan Rahim yang telah memberikan penulis kemudahan sehingga dapat menyelesaikan makalah ini dengan tepat waktu. Tanpa pertolongan-Nya tentunya penulis tidak akan sanggup untuk menyelesaikan makalah ini dengan baik. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada panutan kita Nabi Muhammad ﷺ keluarganya, para sahabatnya, dan siapa saja yang mengikhlaskan diri untuk selalu ber-ittibâ' kepada beliau sampai datangnya hari kiamat nanti.

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah ﷻ atas limpahan nikmat sehat- Nya, baik itu berupa sehat fisik maupun akal pikiran, sehingga penulis mampu untuk menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir yang berjudul "Identifikasi Mikroplastik pada Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Kartamantul, Yogyakarta serta Analisis Risiko Potensial" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta serta kakak dan kedua abang tersayang yang selalu memberikan doa, dukungan dan kepercayaan kepada penulis selama penulisan laporan ini.
2. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I. P .M. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini. Serta dosen penguji Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. atas segala waktu dan kesempatan yang diberikan serta saran dan masukan kepada penulis.
3. Seluruh dosen, staff, dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam

Indonesia karena telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan

4. Seluruh staff Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu, arahan serta masukan selama periode pengujian sampel.
5. Teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Angkatan 2021 yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan ke depan. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Lingkungan.

Sleman, 11 November 2025

Kintan Parenza Yasa

Identifikasi Mikroplastik pada Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Kartamantul, Yogyakarta serta Analisis Risiko Potensial

Mahasiswa : Kintan Parenza Yasa
NIM : 21513186
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing I : Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.
Pembimbing II : Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I. P .M.

Abstrak

Mikroplastik telah menjadi isu global yang mengancam kesehatan manusia melalui kontaminasi air minum. Penelitian ini bertujuan menganalisis keberadaan dan karakteristik mikroplastik pada Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Kartamantul yang bersumber dari Sungai Progo serta mengestimasi potensi paparannya terhadap konsumen. Pengambilan sampel dilakukan pada 9 titik strategis mulai dari *intake*, unit pengolahan (pra-sedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, *clearwell*), hingga distribusi pelanggan. Analisis mikroplastik menggunakan metode NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), mikroskopi, dan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Parameter pendukung yang dianalisis meliputi pH, suhu, kekeruhan, dan TSS (*Total Suspended Solids*). Analisis korelasi menggunakan metode *Pearson* untuk mengkaji hubungan mikroplastik dengan parameter kualitas air. Hasil menunjukkan konsentrasi mikroplastik tertinggi pada *intake* (964 partikel/100 mL) dan terendah di *clearwell* (55 partikel/100 mL) dengan efisiensi *removal* keseluruhan 94,29%. Penurunan paling signifikan terjadi pada tahap pra-sedimentasi (85,37%). Ditemukan 5 bentuk mikroplastik dengan *fragment* sebagai bentuk dominan (51,14-79,59%) dan warna hitam paling persisten. Pada distribusi pelanggan masih ditemukan 49-54 partikel/100 mL. Analisis korelasi *Pearson* menunjukkan hubungan positif sedang antara mikroplastik dengan pH ($r=0,523$) dan kekeruhan ($r=0,501$). Estimasi paparan harian konsumen mencapai 16,3-18 MP/Kg bw/day. Sistem pengolahan SPAM Regional Kartamantul efektif menyisihkan mikroplastik, namun diperlukan peningkatan kualitas jaringan distribusi untuk mencegah kontaminasi sekunder.

Kata kunci: efisiensi, korelasi, mikroplastik, paparan harian, Sungai Progo, SPAM

Identification of Microplastics at Kartamantul Regional Drinking Water Supply System, Yogyakarta and Potential Risk Analysis

Student : Kintan Parenza Yasa
Student Number : 21513186
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor I : Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.
Supervisor II : Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I. P .M.

Abstract

Microplastics have become a global issue that threatens human health through drinking water contamination. This study aims to analyze the presence and characteristics of microplastics in the Kartamantul Regional Drinking Water Supply System (SPAM) sourced from the Progo River and estimate their potential exposure to consumers. Sampling was carried out at 9 strategic points starting from the intake, processing units (pre-sedimentation, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, clearwell), to customer distribution. Microplastic analysis used NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) method, microscopy, and FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Supporting parameters analyzed included pH, temperature, turbidity, and TSS (Total Suspended Solids). Correlation analysis used the Pearson method to examine the relationship between microplastics and water quality parameters. The results showed the highest microplastic concentration at the intake (964 particles/100 mL) and the lowest in the clearwell (55 particles/100 mL) with an overall removal efficiency of 94.29%. The most significant reduction occurred at the pre-sedimentation stage (85.37%). Five forms of microplastics were found, with fragments being the dominant form (51.14-79.59%) and the most persistent black color. 49-54 particles/100 mL were still found in customer distribution. Pearson correlation analysis showed a moderate positive relationship between microplastics and pH ($r=0.523$) and turbidity ($r=0.501$). Estimated daily consumer exposure reached 16,3-18 MPs/Kg bw/day. The Kartamantul Regional SPAM treatment system effectively removes microplastics, but improvements in the distribution network are needed to prevent secondary contamination.

Key words: correlation, daily exposure, efficiency microplastics, Progo River, SPAM

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 SPAM (Sistem Penyediaan Air Minum).....	6
2.2 Parameter Air	10
2.3 Mikroplastik	12
2.4 Analisis Risiko	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Kerangka Studi/Penelitian/Perencanaan	17
3.2 Lokasi Penelitian.....	18
3.3 Pengambilan Sampel.....	19
3.4 Prosedur Pengambilan Sampel.....	21
3.5 Alat dan Bahan.....	23
3.6 Analisis Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Hasil	28
4.1.1 Deskripsi Daerah Penelitian.....	28
4.1.2 Hasil Parameter Suhu, pH, Kekeruhan, dan TSS pada Sampel 32	
4.1.3 Hasil Pengujian Mikroplastik.....	36
4.1.4 Hasil Kelimpahan Mikroplastik.....	45
4.1.4 Hasil Identifikasi Polimer Mikroplastik Menggunakan FTIR.....	50

4.2	Pembahasan.....	53
4.2.1	Korelasi Mikroplastik Terhadap Parameter Kualitas Air.....	53
4.2.2	Rasio Mikroplastik terhadap TSS	55
4.2.3	Efisiensi Penyisihan Mikroplastik	57
4.2.4	Potensi Paparan Mikroplastik ke Konsumen	59
BAB V PENUTUP		60
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		65
RIWAYAT HIDUP		67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum.....	7
Tabel 2. 2 Klasifikasi bentuk mikroplastik	13
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan.....	23
Tabel 4. 1 Unit-unit pengolahan IPA Bantar	28
Tabel 4. 2 Hasil Parameter Uji Suhu, pH, Kekeruhan dan TSS.....	32
Tabel 4. 3 Hasil jumlah mikroplastik.....	37
Tabel 4. 4 Hasil dalam persen (%) jumlah mikroplastik.....	39
Tabel 4. 5 Hasil jumlah mikroplastik berdasarkan warna.....	41
Tabel 4. 6 Hasil jumlah mikroplastik berdasarkan warna dalam persen	43
Tabel 4. 7 Hasil kelimpahan mikroplastik	45
Tabel 4. 8 Hasil kelimpahan mikroplastik berdasarkan warna	48
Tabel 4. 9 Hasil grafik pengujian FTIR	51
Tabel 4. 10 Korelasi pearson parameter air dan mikroplastik	54
Tabel 4. 11 Rasio mikroplastik terhadap TSS.....	55
Tabel 4. 12 Efisiensi penyisihan mikroplastik	57
Tabel 4. 13 Estimasi paparan harian mikroplastik.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lokasi SPAM Regional Kartamantul Yogyakarta	9
Gambar 2. 2 Skematik sistem pengolahan IPA Bantar	10
Gambar 2. 3 Degradasi plastik menjadi mikroplastik dan masuknya mikroplastik ke dalam tubuh manusia.....	12
Gambar 2. 4 Portal of entry microplastic dan efeknya pada manusia.....	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3. 2 Skema Pelayanan PDAB Tirtatama DIY	18
Gambar 3. 3 Lokasi SPAM Regional Kartamantul.....	19
Gambar 3. 4 Lokasi titik sampling	20
Gambar 3. 5 Lokasi titik sampling di IPA Bantar.....	20
Gambar 4. 1 Diagram alir unit Instalasi Pengolahan Air (IPA) Bantar dan	31
Gambar 4. 2 Hasil uji derajat keasaman (pH)	33
Gambar 4. 3 Hasil suhu.....	34
Gambar 4. 4 Hasil kekeruhan (NTU).....	35
Gambar 4. 5 Hasil TSS (mg/L)	36
Gambar 4. 6 Grafik jumlah partikel mikroplastik.....	37
Gambar 4. 7 Grafik jumlah partikel mikroplastik dalam persen.....	39
Gambar 4. 8 Contoh warna mikroplastik a) hitam, b) transparan, c) coklat, d) oren, e) kuning, f) biru, g) merah, h) hijau, i) ungu, dan j) pink	41
Gambar 4. 9 Grafik jumlah partikel mikroplastik berdasarkan warna.....	42
Gambar 4. 10 Grafik jumlah partikel mikroplastik berdasarkan warna dalam persen	44
Gambar 4. 11 Grafik hasil kelimpahan mikroplastik berdasarkan jenis	46
Gambar 4. 12 Grafik persentase kelimpahan mikroplastik berdasarkan jenis	47
Gambar 4. 13 Grafik hasil kelimpahan mikroplastik berdasarkan warna	48
Gambar 4. 14 Grafik persentase kelimpahan mikroplastik berdasarkan warna....	49
Gambar 4. 15 Rasio mikroplastik terhadap TSS.....	56
Gambar 4. 16 Grafik efisiensi removal.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sampling.....	65
Lampiran 2 Pengujian di Laboratorium	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kontaminasi mikroplastik telah menjadi isu global yang mendapat perhatian di seluruh dunia karena keberadaannya yang semakin meluas di berbagai komponen lingkungan. Keberadaan plastik yang hampir tak tergantikan dari kehidupan karena intervensinya di hampir semua rangkaian aktivitas manusia baik dari pemakaian pribadi, rumah tangga, bahkan industri. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) melaporkan bahwa dari 34 juta ton timbunan sampah di Indonesia setidaknya terdapat 19,48% jenis sampah plastik dengan lebih dari 6 juta ton sampah plastik yang dihasilkan di tahun 2024. Sampah plastik yang tidak dikelola dengan benar dan dibuang sembarangan ke lingkungan secara bertahap akan pecah menjadi potongan-potongan kecil yang diklasifikasikan sebagai mikroplastik yang berukuran 0,05 - 5 mm (Mangla et al., 2025). Setiap mikroplastik dapat dikategorikan berdasarkan bentuknya seperti *beads*, *fibres*, *film*, *foam*, dan *fragments* (Fox et al., 2024). Mikroplastik ini telah ditemukan pada air permukaan yaitu danau (Tian et al., 2025), sungai (Zhao et al., 2024), serta air tanah (Jeon & Kim, 2024) yang merupakan sumber air baku utama bagi pengelolaan air minum.

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) memiliki peran penting dalam menyediakan air minum yang layak konsumsi bagi masyarakat. SPAM bekerja dengan mengolah air baku yang berasal dari sumber air permukaan (sungai, danau, waduk) maupun air tanah (sumur gali, sumur bor) untuk menghasilkan air dengan kualitas yang memenuhi standar baku mutu. Standar baku mutu air minum di Indonesia telah diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 yang mencakup parameter fisik, kimia serta mikrobiologi. Akan tetapi, parameter mikroplastik belum ditemukan pada peraturan di Indonesia padahal sangat besar kemungkinan untuk terkontaminasi mikroplastik pada sistem air minum seperti

yang telah ditemukan pada beberapa penelitian (Cao et al., 2024; Han et al., 2025; Khu et al., 2025).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa proses pengolahan air minum pada sistem pengolahan belum sepenuhnya mampu untuk menghilangkan keberadaan mikroplastik. Tahapan pengolahan seperti koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi dapat menurunkan partikel mikroplastik (Wang et al., 2020) serta filtrasi (Barcelo & Pico, 2020) tetapi beberapa partikel mikroplastik berpotensi lolos dari proses pengolahan dan terbawa hingga ke jaringan distribusi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Pivokonsky et al., 2018) diperoleh kandungan mikroplastik dalam air yang telah diolah mengalami penurunan dengan rata-rata 83% dari air baku. (Firdausy et al., 2025), pada penelitiannya didapatkan efisiensi penyisihan mikroplastik setelah diolah di instalasi pengolahan air minum sebanyak 80% dari *intake*. Walaupun terdapat efisiensi penyisihan mikroplastik dari tahapan pengolahan sistem air minum tinggi, mikroplastik yang lolos dari sistem pengolahan yang telah dilakukan tidak dapat diabaikan karena air yang mengandung mikroplastik tersebut apabila terpapar kepada manusia secara terus menerus akan berdampak pada kesehatan manusia. Keberadaan mikroplastik pada tubuh manusia dengan kontaminan zat berbahaya lainnya dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia termasuk penyakit neurodegeneratif, gangguan imun, penyakit paru-paru, masalah perkembangan, dan reproduksi (Lee et al., 2025; Prata et al., 2020). Dengan adanya bahaya tersebut pentingnya dilakukan penelitian untuk mengetahui keberadaan mikroplastik pada sistem pengolahan air minum.

Pada penelitian ini berfokus pada Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Kartamantul yang melayani wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul dengan kapasitas 700 liter/detik yang air bakunya bersumber dari Sungai Progo. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keberadaan dan karakteristik mikroplastik dari *intake*, setiap tahapan pengolahan, hingga pelanggan serta mengestimasi potensi paparan yang mungkin diterima masyarakat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan kesadaran akan adanya risiko dari keberadaan mikroplastik di pengolahan air minum.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana keberadaan mikroplastik pada air baku (*intake*), proses pengolahan, hingga air hasil olahan (*effluent*) di SPAM Regional Kartamantul, serta sejauh mana efektivitas pengolahan tersebut dalam mengurangnya?
2. Apakah air minum yang didistribusikan kepada konsumen SPAM Regional Kartamantul masih mengandung mikroplastik, dan berapa estimasi potensi paparannya terhadap konsumen?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis keberadaan mikroplastik pada air baku (*intake*), unit-unit proses pengolahan, dan *effluent* di Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Kartamantul.
2. Mengestimasi potensi paparan mikroplastik oleh konsumen melalui konsumsi air minum yang disalurkan melalui jaringan distribusi SPAM Regional Kartamantul.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah

1. Manfaat akademis
Penelitian ini dapat memperkaya literatur ilmiah tentang keberadaan mikroplastik dalam sistem penyediaan air minum, khususnya di Indonesia, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam bidang Teknik Lingkungan, Kesehatan Lingkungan, dan Manajemen Kualitas Air.
2. Manfaat Praktis
 - a. Memberikan informasi kepada pengelola SPAM Regional Kartamantul mengenai tingkat kelimpahan dan karakteristik mikroplastik di setiap tahapan pengolahan air, sehingga dapat

dijadikan dasar untuk meningkatkan efektivitas proses pengolahan air dalam mengurangi mikroplastik.

- b. Memberikan gambaran kandungan mikroplastik dalam air minum yang didistribusikan kepada masyarakat, sehingga dapat menjadi bahan evaluasi untuk peningkatan kualitas air minum yang lebih aman.

3. Manfaat kebijakan

- a. Memberikan masukan kepada pemerintah dan pihak terkait untuk menyusun atau memperbarui regulasi mengenai mikroplastik sebagai salah satu parameter kualitas air minum di Indonesia.
- b. Mendukung pengembangan kebijakan yang lebih baik dalam pengelolaan dan pemantauan risiko mikroplastik di sistem penyediaan air minum untuk melindungi kesehatan masyarakat.

4. Manfaat sosial

Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang keberadaan mikroplastik dalam air minum dan potensinya terhadap kesehatan, sehingga mendorong perubahan perilaku dalam penggunaan plastik dan pemilihan sumber air minum yang lebih aman.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut:

1. Lingkup subjek penelitian

Penelitian ini difokuskan pada mikroplastik sebagai parameter utama, yang meliputi analisis kelimpahan dan karakteristik fisik seperti ukuran, bentuk, warna, dan jenis polimer.

2. Lingkup lokasi penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Bantar, SPAM Regional Kartamantul. Pengambilan sampel air diambil dari:

- a. *Intake* (air baku): Sumber air yang masuk ke sistem pengolahan SPAM.

- b. Setiap unit pengolahan: Tahapan proses seperti prasedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, hingga *clearwell*.
 - c. Distribusi dan pelanggan: Air yang mengalir melalui jaringan distribusi hingga diterima langsung oleh pelanggan SPAM Kartamantul.
3. Lingkup metode penelitian
- a. Pengumpulan sampel air dilakukan pada unit pengolahan yang mewakili setiap tahapan pengolahan dan distribusi.
 - b. Analisis mikroplastik menggunakan modifikasi dari metode NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), mikroskopi, dan identifikasi jenis polimer menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)
 - c. Evaluasi potensi risiko paparan mikroplastik dilakukan berdasarkan parameter kelimpahan dan karakteristik mikroplastik yang ditemukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 SPAM (Sistem Penyediaan Air Minum)

Sistem Penyediaan Air Minum yang selanjutnya disingkat SPAM merupakan satu kesatuan sarana dan prasarana penyediaan Air Minum sebagaimana tercantum pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2020 tentang Prosedur Operasional Standar Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum. SPAM diselenggarakan untuk memberikan pelayanan Air Minum kepada masyarakat untuk memenuhi hak rakyat atas Air Minum. Sebagaimana yang telah dicantumkan pada PP No.122 Tahun 2015, penyelenggaraan SPAM bertujuan untuk:

- a. tersedianya pelayanan air minum untuk memenuhi hak rakyat atas Air Minum;
- b. terwujudnya pengelolaan dan pelayanan Air Minum yang berkualitas dengan harga yang terjangkau;
- c. tercapainya kepentingan yang seimbang antara pelanggan dan BUMN, BUMD, UPT, UPTD, Kelompok Masyarakat, dan Badan Usaha; dan
- d. tercapainya penyelenggaraan Air Minum yang efektif dan efisien untuk memperluas cakupan pelayanan Air Minum.

Air baku yang digunakan dalam pengelolaan SPAM berasal dari sumber air permukaan (sungai, waduk, danau), air tanah (sumur gali, sumur bor, mata air), air hujan, dan air laut yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum. Pemilihan sumber air baku untuk air minum dilakukan dengan menganalisis empat kriteria utama diantaranya yaitu kualitas yang sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Selanjutnya kuantitas air yang debitnya memenuhi

kebutuhan pelanggan, lalu kontinuitas dari ketersediaan pasokan secara terus menerus sepanjang waktu baik pada musim kemarau maupun penghujan serta keterjangkauan dari lokasi sumber air dengan tempat pengolahan dan area pelayanan untuk biaya yang efisien.

Air yang dihasilkan dari pengelolaan SPAM harus memenuhi syarat kualitas air minum yang telah ditetapkan oleh Permenkes No. 2 Tahun 2023. Parameter kualitas air meliputi parameter fisik, parameter mikrobiologi, parameter kimia, dan parameter radioaktif. Berikut merupakan tabel parameter wajib air minum:

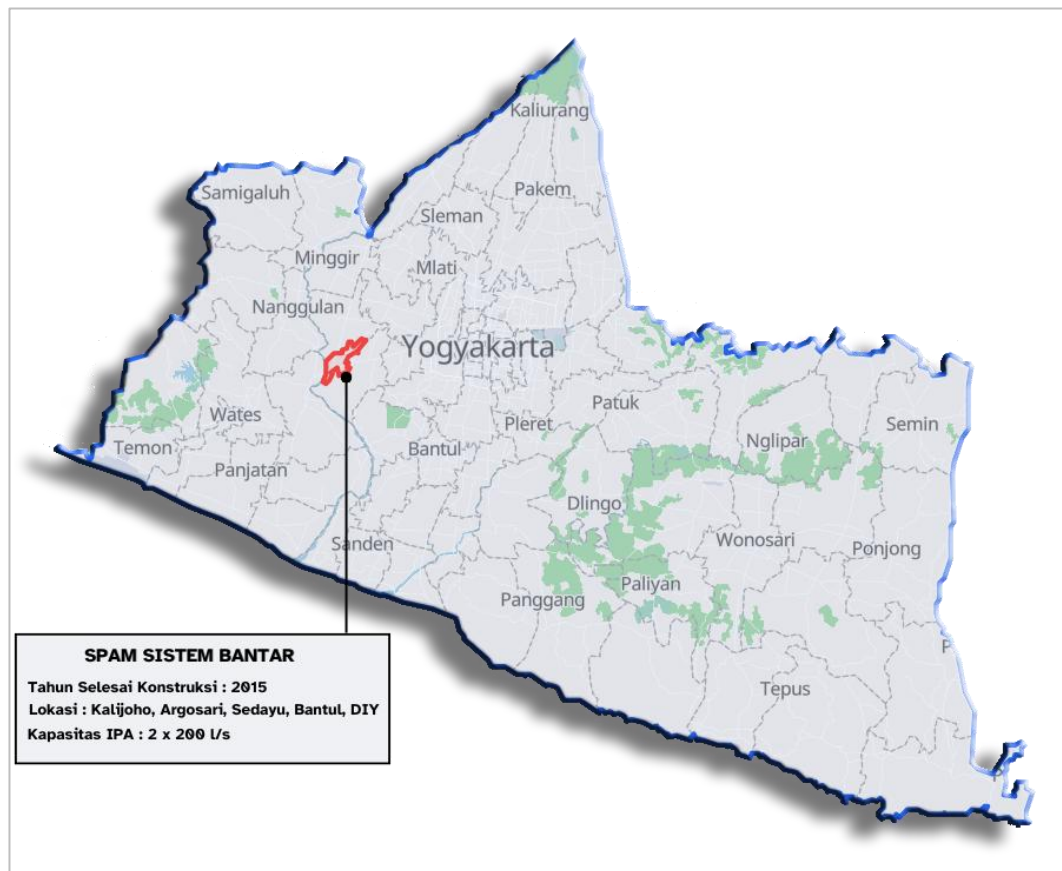
Tabel 2. 1 Parameter Wajib Air Minum

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1	<i>Escherichia coli</i>	0	CFU/100 ml	SNI/ APHA
2	<i>Total Coliform</i>	0	CFU/100 ml	SNI/ APHA
Fisik				
3	Suhu	Suhu udara ± 3	$^{\circ}\text{C}$	SNI/ APHA
4	<i>Total Dissolve Solid</i>	<300	mg/L	SNI/ APHA
5	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara
6	Warna	10	TCU	SNI/ APHA
7	Bau	Tidak berbau	-	APHA
Kimia				
8	pH	6,5 – 8,5	-	SNI/ APHA
9	Nitrat (sebagai NO^3) (terlarut)	20	mg/L	SNI/ APHA
10	Nitrit (sebagai NO^2) (terlarut)	3	mg/L	SNI/ APHA
11	Kromium valensi 6 (Cr^{6+}) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/ APHA
12	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/ APHA
13	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI/ APHA
14	Sisa khlor (terlarut)	0,2-0,5 dengan waktu kontak	mg/L	SNI/ APHA

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
		30 menit		
15	Arsen (As) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/ APHA
16	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI/ APHA
17	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/ APHA
18	Flouride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI/ APHA
19	Aluminium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/ APHA

Sumber: Permenkes No. 2 Tahun 2023

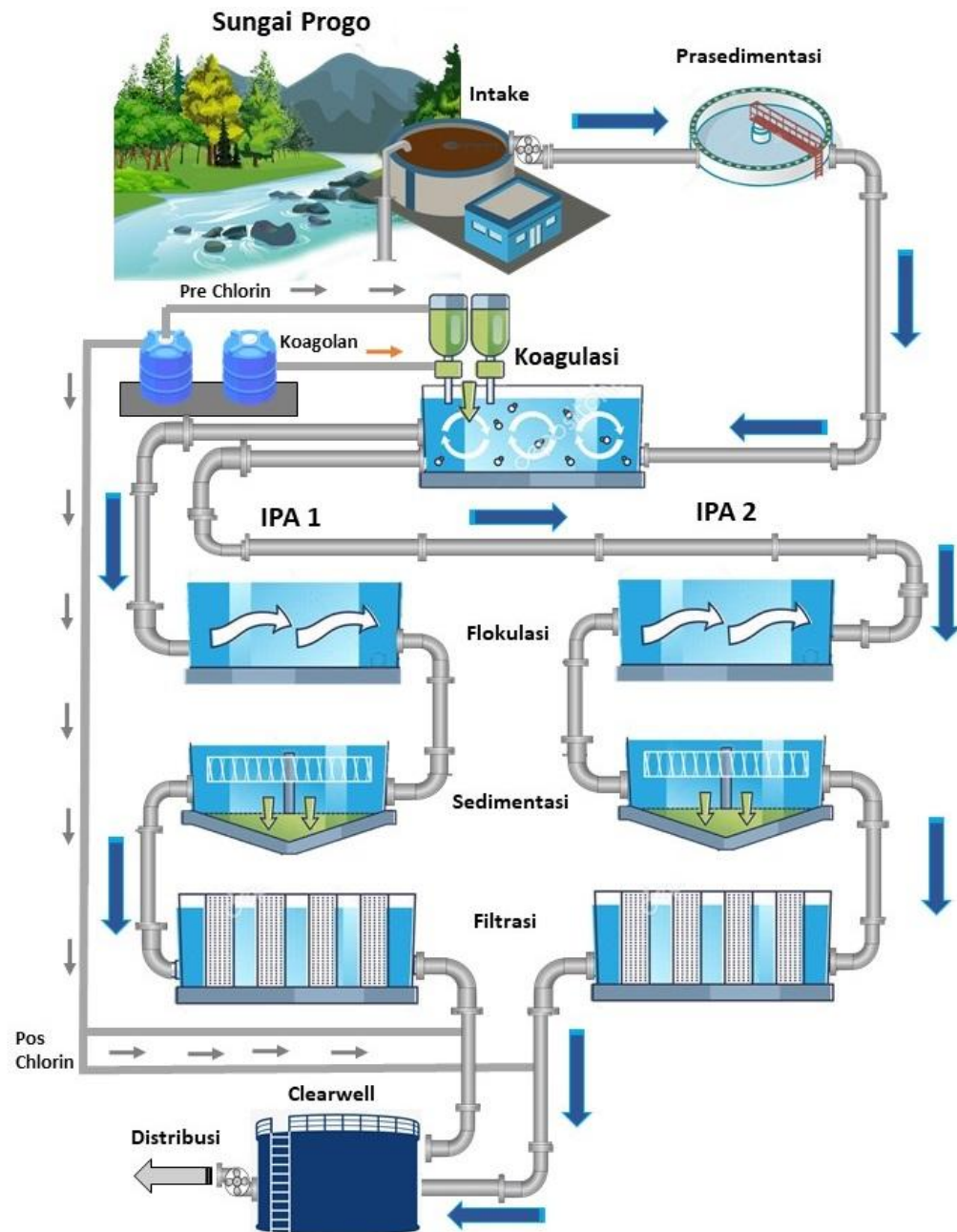
Salah satu bentuk dari penyelenggaraan SPAM berskala regional adalah SPAM Regional Kartamantul yang melayani wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul melalui Instalasi Pengolahan Air (IPA) Bantar, yang terletak di Argosari, Sedayu, Kabupaten Bantul seperti terlihat pada Gambar 2.1. IPA Bantar dibangun pada tahun 2015 dan mulai beroperasi sejak tahun 2017. Sumber air baku pada IPA Bantar ini berasal dari Sungai Progo yang kemudian diolah dan didistribusikan ke tiga titik utama yaitu Kronggahan, Sambikarep, dan Guwo. Kapasitas total distribusi di IPA Bantar yaitu 2×200 liter/detik yang bertujuan untuk menjamin ketersediaan air bersih yang memadai bagi masyarakat (PDAB Tirtatama, 2025).



Gambar 2. 1 Lokasi SPAM Regional Kartamantul Yogyakarta

Sumber: PDAB Tirtama DIY

Adapun skematik sistem pengolahan air di IPA Bantar dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang menggambarkan alur unit pengolahan air konvensional dimulai dari *intake* yang berasal dari Sungai Progo dilanjutkan ke bak prasedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan *clearwell*. Air bersih yang dihasilkan dari semua unit pengolahan tersebut didistribusikan ke reservoir utama di Kronggahan, Sambikerep, dan Guwo yang selanjutnya akan disalurkan ke pelanggan. IPA Bantar menerapkan teknologi pengolahan konvensional dengan serangkaian unit proses fisik dan kimia untuk menghasilkan air bersih yang didistribusikan kepada masyarakat.



Gambar 2. 2 Skematik sistem pengolahan IPA Bantar

Sumber: PDAB Tirtama DIY

2.2 Parameter Air

Parameter air yang diuji dalam sistem pengolahan air minum pada penelitian ini adalah parameter kekeruhan, parameter derajat keasaman/ pH, dan parameter *Total Suspended Solid/ TSS*. Pemantauan kekeruhan merupakan salah satu parameter

fisik untuk mengukur kualitas air (Vicario et al., 2025). Kekeruhan diukur dengan menggunakan alat *turbidity meter* dengan satuan *Nephelometric Turbidity Units* (NTU) (Jia et al., 2025) yang menggunakan metode turbidimetri pengukuran tingkat kekeruhan air dengan cara melewatkan sumber cahaya pada air, sehingga intensitas cahaya yang diteruskan oleh bahan-bahan material objek yang menjadi penyebab kekeruhan dapat terdeteksi oleh alat (Orlando et al., 2020). Semakin tinggi intensitas cahaya yang diteruskan maka tingkat kekeruhan dari sampel air akan semakin rendah.

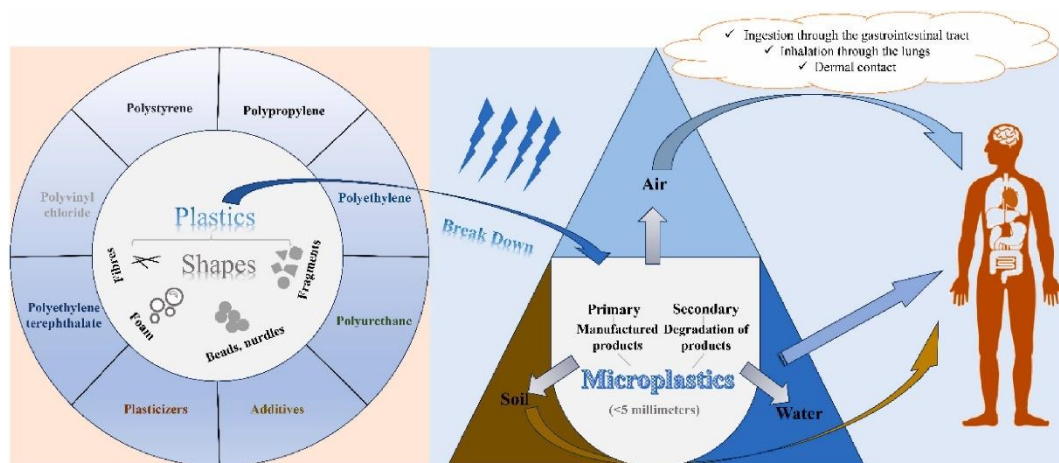
Pada parameter pH dilakukan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan yang menggunakan skala 0 hingga 14 dimana $\text{pH} < 7$ menunjukkan sifat asam (semakin kecil semakin kuat), $\text{pH} = 7$ bersifat netral dan $\text{pH} > 7$ menunjukkan sifat basa atau alkali (semakin besar semakin kuat). Pengujian parameter pH penting dilakukan pada proses pengolahan air minum untuk pengendalian rasa dan bau, kontrol korosi, dan proses kontrol kualitas lainnya (Adams et al., 2022). Nilai pH yang semakin rendah maka semakin tinggi tingkat potensial korosi, sedangkan nilai pH yang semakin tinggi dapat mengurangi efektivitas desinfektan air (World Health Organization, 2007). Dengan dilakukan pengukuran pH pada air dapat memastikan bahwa air tetap berada dalam rentang aman yaitu 6,5 – 8,5 sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan di Permenkes No. 2 Tahun 2023.

Selain itu terdapat *Total Suspended Solids* (TSS) yang merupakan parameter kualitas air fisik yang dapat merusak kualitas sumber daya air seperti sungai dan danau (Adjovu, Stephen, & Ahmad, 2023; Khan et al., 2018). TSS merupakan komponen fraksional yang dipisahkan melalui filtrasi. Total padatan tersebut merujuk pada sisa material yang tertinggal dalam wadah setelah penguapan sampel dan pengeringan dalam oven pada suhu yang telah ditentukan (Standard Methods Committee, 2000). TSS perlu diukur, dipantau, dan dikelola karena kinerja sistem filtrasi, sistem perpipaan, dan peralatan pada sistem dapat terpengaruh oleh jumlah partikel tersuspensi yang tinggi dalam air (Adjovu, Stephen, James, et al., 2023). Beberapa parameter air seperti kekeruhan, pH, dan TSS ini diuji pada sampel

Sistem Penyediaan Air minum di IPA Bantar untuk mengetahui kualitas air yang dihasilkan pada pengolahan tersebut serta untuk mengetahui kaitannya dengan mikroplastik.

2.3 Mikroplastik

Mikroplastik merupakan partikel fragmen plastik dengan rentang ukuran <5 mm dan bentuk yang lebih kecil dikenal sebagai nanoplastik yang merujuk pada partikel dengan dimensi ukuran 1 hingga <1000 nm (Hartmann et al., 2019). Mikroplastik memiliki dua kategori yaitu primer dan sekunder. Mikroplastik primer berasal dari plastik yang diproduksi dengan ukuran mikroskopis seperti pembersih wajah, produk kosmetik, sedangkan mikroplastik sekunder berasal dari makroplastik yang mengalami proses degradasi limbah plastik berukuran besar akibat paparan lingkungan seperti sinar matahari, gerakan gelombang atau degradasi kimia dari waktu ke waktu (Cole et al., 2011; Sanchez, 2025).



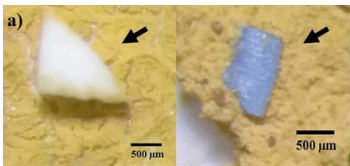
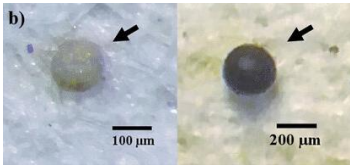
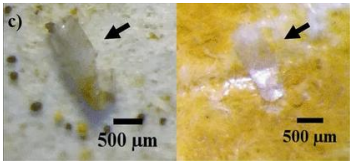
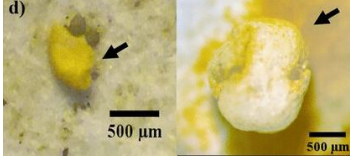
Gambar 2. 3 Degradasi plastik menjadi mikroplastik dan masuknya mikroplastik ke dalam tubuh manusia

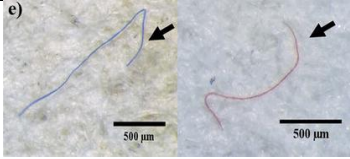
Sumber: (Cui et al., 2025)

Berdasarkan morfologinya, mikroplastik dibedakan menjadi lima bentuk yaitu *fibers*, *fragments*, *film*, *foam*, dan *microbeads* (Fox et al., 2024). Morfologi-morfologi ini dapat memberikan petunjuk darimana plastik tersebut berasal yang

tercantum pada Tabel 2.2 Klasifikasi bentuk mikroplastik. Selain itu, mikroplastik telah ditemukan dengan rentang warna yang sangat beragam yang diperoleh baik selama saat produksi plastik awal atau melalui proses penuaan kimia setelah plastik terpapar di lingkungan luar (warna berubah karena faktor cuaca, sinar UV, dll). Adapun warna-warna dari mikroplastik yang telah ditemukan pada beberapa penelitian diantaranya adalah hitam, biru, hijau, oren, *pink*, merah, putih, kuning, transparan, coklat (Aarushi et al., 2025; Adewuyi & Li, 2024; Dalu et al., 2025; Romphophak et al., 2024).

Tabel 2. 2 Klasifikasi bentuk mikroplastik

No	Morfologi Mikroplastik	Ciri-ciri Fisik	Sumber Asal
1.	<i>Fragment</i> 	Bergerigi atau berbentuk tidak beraturan, keras	Plastik kokoh, botol
2.	<i>Beads</i> 	Keras, berbentuk bulat/ bola	Pelet resin murni, pembersih wajah
3.	<i>Film</i> 	Tipis, fleksibel, seperti lembaran	Kantong plastik, plastik pembungkus, pembungkus, penutup
4.	<i>Foam</i> 	Ringan dan berpori seperti spons	<i>Styrofoam</i> , bantalan, pelampung kolam
5.	<i>Fiber</i>	Tipis, lurus	Jaring ikan, tekstil

No	Morfologi Mikroplastik	Ciri-ciri Fisik	Sumber Asal
	e) 		

Sumber: (Fox et al., 2024)

Sumber gambar:

<https://www.researchgate.net/publication/375640878/figure/fig3/AS:11431281214498956@1703646058578/Microplastics-shape-classification-a-fragments-b-beads-c-films-d-foams-e-fibers.jpg>

Mikroplastik telah menjadi kontaminan yang muncul di ekosistem air tawar (Szymańska & Obolewski, 2020) yang menjadi sumber air baku bagi pengolahan air minum seperti pada air permukaan danau kelimpahan mikroplastik sebanyak 1657 ± 484 partikel/m³ atau $1,657 \pm 0,484$ partikel/L (Tian et al., 2025), lalu pada air permukaan sungai kelimpahan mikroplastik sebanyak $11,0 \pm 3,08$ partikel/L (Zhao et al., 2024) dan pada air tanah kelimpahan mikroplastik 38 ± 8 partikel/L (Samandra et al., 2022). Dengan ditemukannya keberadaan mikroplastik di ekosistem air tawar ini perlu menjadi perhatian khusus bagi pengolahan air minum yang menjadikannya sebagai sumber air baku untuk memproduksi air minum karena apabila kandungan mikroplastik terpapar kepada manusia secara terus menerus akan menimbulkan risiko kesehatan pada manusia.

Mikroplastik telah ditemukan pada tahapan proses di instalasi pengolahan air minum yang secara keseluruhan antara *input* dan *output*, konsentrasi mikroplastik berkurang dari 448 partikel/L menjadi 83 partikel/L dengan efisiensi *removal* sebesar 81,47% (Alonso-Vázquez et al., 2023). Selain itu, pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) unit Padasan konsentrasi mikroplastik berkurang dari *intake* sebanyak 400 partikel/L menjadi 40 partikel/L di *clearwell* dengan efisiensi *removal* sebesar 80% (Firdausy et al., 2025). Walaupun demikian, keberadaan mikroplastik yang masih ada setelah tahapan proses pengolahan air minum tetap perlu diwaspadai karena akan berdampak pada masyarakat yang dalam kesehariannya bergantung pada air.



Gambar 2. 4 Portal of entry microplastic dan efeknya pada manusia

Sumber: (Prata et al., 2020)

Partikel mikroplastik dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui beberapa jalur paparan utama (*portal of entry*) seperti pada Gambar 2.4. yaitu melalui oral (menelan air atau makanan), inhalasi (menghirup partikel di udara), dan kontak dermal (Cui et al., 2025). Pada penelitian D. Advisors, 2019) telah dibuktikan bahwa manusia dapat mengonsumsi sekitar 5 gram partikel plastik setiap minggu yang setara dengan berat *credit card* melalui makanan, air minum, dan udara yang dihirup. Setelah mikroplastik masuk ke dalam tubuh manusia, partikel tersebut dapat mencapai aliran darah dan tersebar ke berbagai organ manusia seperti yang telah ditemukan jaringan manusia pada darah, hati, paru-paru, plasenta, ginjal, limpa, dahak, dan feses (Kutralam-Muniasamy et al., 2023). Penumpukan mikroplastik dalam tubuh manusia seiring waktu akan berpotensi menyebabkan kerusakan paru-paru yang serius, toksisitas hati, masalah sistem kekebalan tubuh, dan toksisitas reproduksi (Cui et al., 2025). Dengan adanya potensi bahaya ini perlu penelitian lebih lanjut terhadap keberadaan mikroplastik yang salah satunya berasal dari air minum dan mulai mempertimbangkan mikroplastik sebagai salah satu parameter kualitas air yang perlu dipantau secara berkala.

2.4 Analisis Risiko

Analisis risiko dari paparan mikroplastik dalam air minum merupakan langkah penting dalam potensi dampak kesehatan yang ditimbulkan dari kontaminan ini.

Salah satu metode yang digunakan adalah penilaian estimasi paparan (*exposure assesment*), yaitu proses memperkirakan jumlah mikroplastik yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui konsumsi air minum. Estimasi paparan manusia terhadap mikroplastik melibatkan kombinasi konsentrasi mikroplastik dalam minuman dan asupan harian rata-rata. Konsumsi harian air minum diasumsikan pada konsumsi harian per kapita, sekitar 2 liter per hari untuk orang dewasa meskipun konsumsi aktual bervariasi menurut iklim, tingkat aktivitas, dan pola makan (World Health Organization's, 2017). Sementara itu, konsentrasi mikroplastik pada air minum didapatkan dari kelimpahan mikroplastik yang didapatkan pada pelanggan 1 dan pelanggan 2. Estimasi *daily intake* terhadap mikroplastik dihitung menggunakan persamaan berikut (Al-Mansoori et al., 2025):

$$Intake = \frac{(C \times V)}{BW} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Intake adalah jumlah partikel mikroplastik yang dikonsumsi per hari (partikel/hari)

C adalah konsentrasi mikroplastik dalam air minum (partikel/L)

V adalah volume konsumsi harian (L/hari)

BW adalah berat badan (diasumsikan 60 Kg)

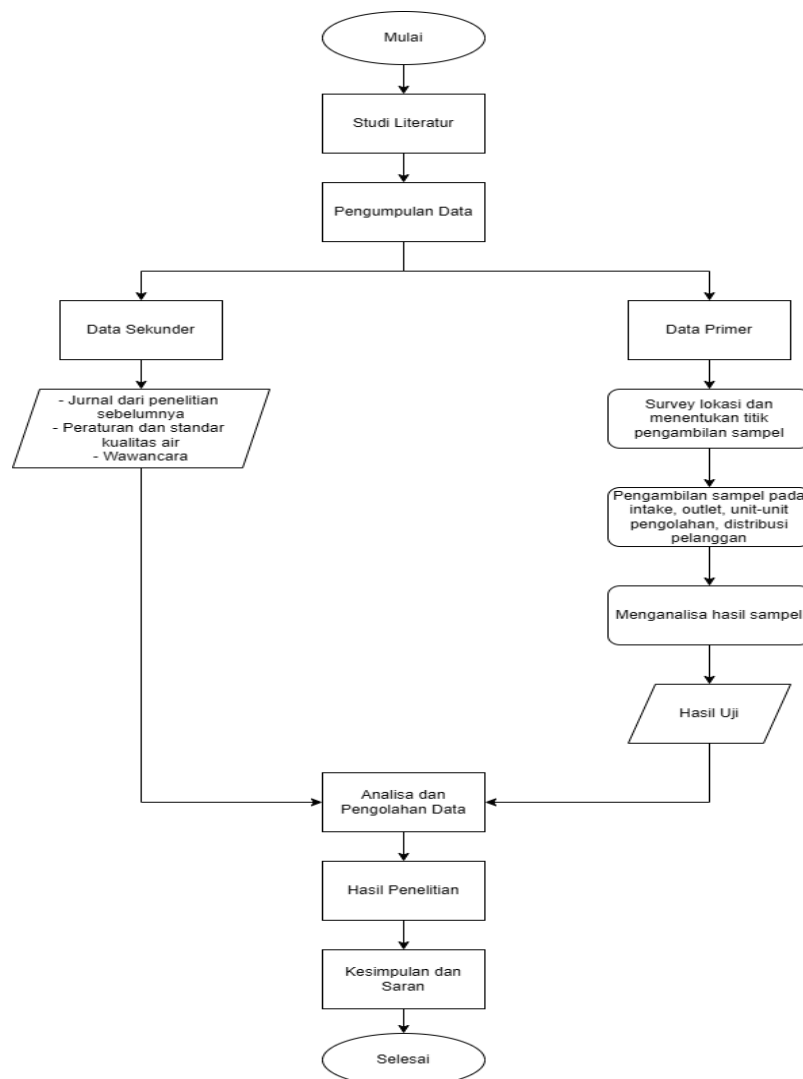
Rumus ini memberikan dasar kuantitatif dalam mengestimasi potensi paparan harian mikroplastik melalui air minum. Meskipun belum terdapat nilai batas mikroplastik dalam air minum, pendekatan kuantitatif melalui estimasi *daily intake* ini sangat penting sebagai langkah awal dalam menilai risiko dan pertimbangan untuk kebijakan pemantauan kualitas air di masa mendatang.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Studi/Penelitian/Perencanaan

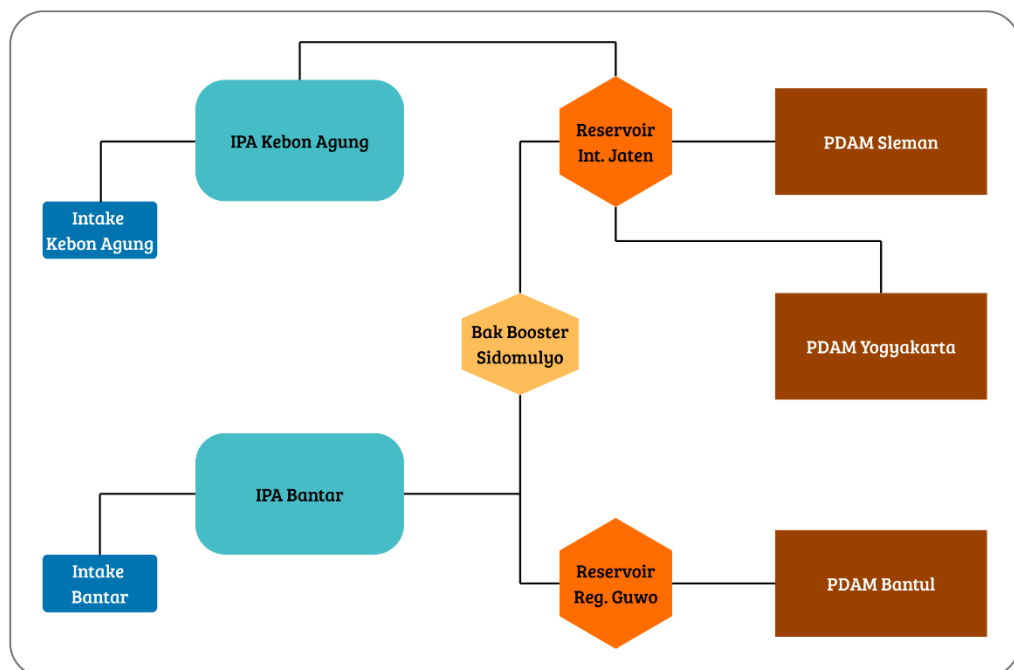
Berikut merupakan kerangka perencanaan dalam penelitian ini adalah:



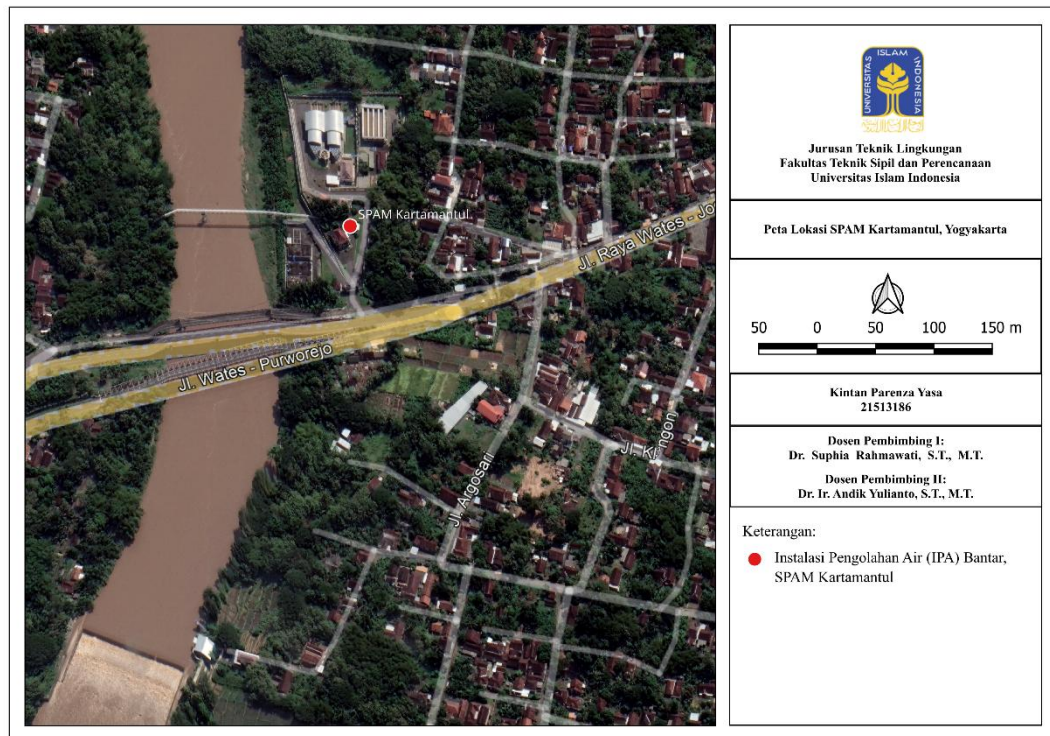
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Perusahaan Daerah Air Bersih (PDAB) Tirtatama Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dibentuk oleh Pemerintah Daerah DIY untuk memperlancar pengelolaan Instansi Pengolahan Air (IPA). Pembentukan PDAB Tirtatama DIY tertuang dalam Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 5 Tahun 2020 tanggal 27 Juli 2020 tentang Perusahaan Umum Daerah Air Bersih Tirtatama Daerah Istimewa Yogyakarta. Tujuan utama pembentukan PDAB Tirtatama DIY adalah untuk mencukupi kebutuhan air bersih, baik domestik maupun industri serta dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas air bersih di DIY. Berikut merupakan skema pelayanan PDAB Tirtatama yang juga turut mengelola SPAM Regional DIY yang berada di Bantar, Klangon, Sedayu, Bantul.



Gambar 3. 2 Skema Pelayanan PDAB Tirtatama DIY

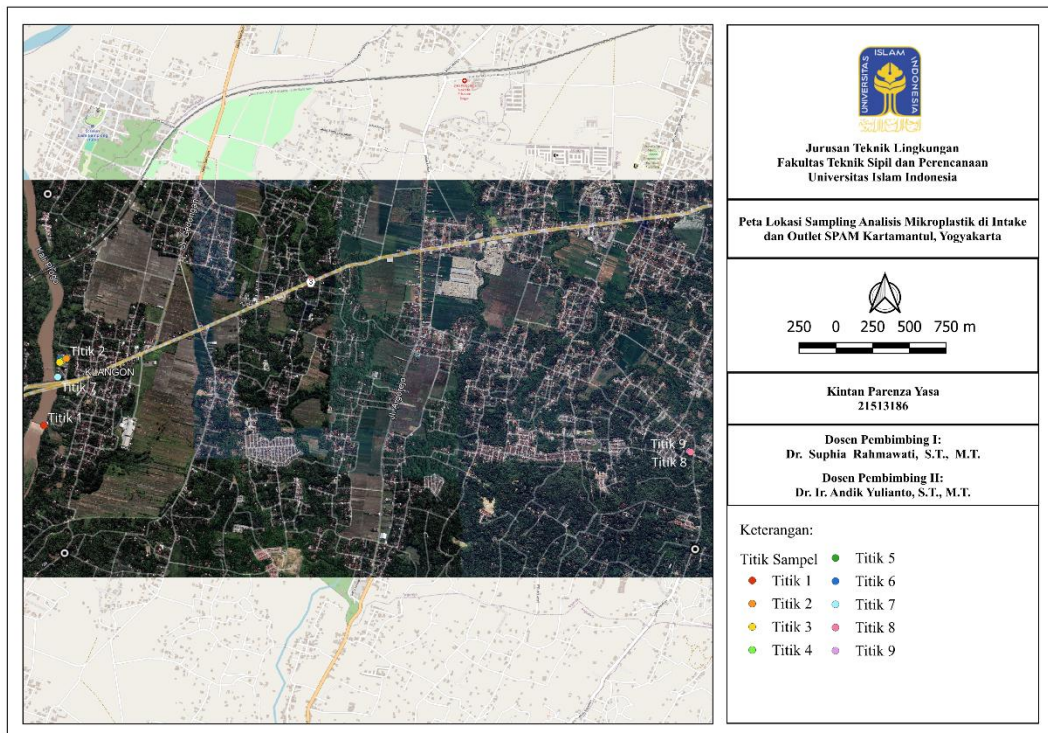


Gambar 3. 3 Lokasi SPAM Regional Kartamantul

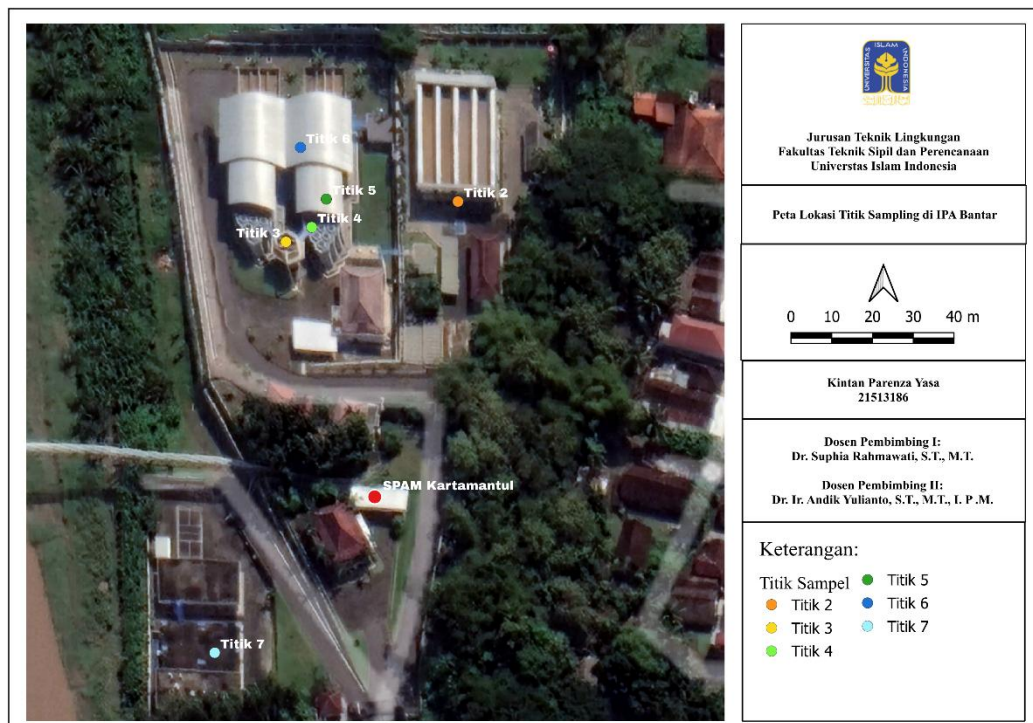
Pada Gambar 3.2 adalah Instalasi Pengolahan Air (IPA) yang memanfaatkan air baku dari Sungai Progo. Air diambil melalui *intake* dan dialirkan ke fasilitas pengolahan di Argosari, Sedayu, Bantul, DIY. Setelah melalui proses pengendapan dan filtrasi, air bersih didistribusikan melalui reservoir utama di Kronggahan, Sambikerep, dan Guwo. Dibangun pada tahun 2015 dan mulai beroperasi sejak 2017 yang memiliki kapasitas distribusi 2 x 200 liter per detik, memastikan pasokan air bersih yang memadai bagi masyarakat.

3.3 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel uji dilaksanakan pada tanggal 25 Juni 2025. Lokasi penelitian adalah di SPAM Regional Kartamantul, Yogyakarta yang beralamat di Klangon, Argosari, Kec. Sedayu, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55752. Titik-titik pengambilan sampel meliputi sumber air SPAM (*intake*), setiap unit pengolahan, dan pelanggan.



Gambar 3. 4 Lokasi titik sampling



Gambar 3. 5 Lokasi titik sampling di IPA Bantar

Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan di beberapa titik strategis pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Bantar, SPAM Regional Kartamantul. Titik pertama adalah pada air baku (*inlet*) yang diambil langsung dari *intake* Sungai Progo, sebelum memasuki unit pengolahan, untuk mengetahui konsentrasi awal mikroplastik. Sampel berikutnya diambil secara berurutan dari setiap unit proses pengolahan, yaitu bak prasedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Pengambilan sampel di tiap unit bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing tahapan dalam mengurangi kandungan mikroplastik. Setelah proses pengolahan selesai, sampel juga diambil dari unit *clearwell*, yaitu tempat penampungan akhir untuk mengetahui kualitas air hasil olahan akhir.

Untuk mengetahui apakah mikroplastik masih terdapat dalam air minum yang dikonsumsi, pengambilan sampel juga dilakukan langsung dari dua titik pelanggan (Pelanggan 1 dan Pelanggan 2) yang mewakili penerima air di wilayah layanan SPAM Kartamantul. Pengambilan sampel di titik ini bertujuan untuk mengestimasi potensi paparan mikroplastik secara langsung oleh konsumen melalui konsumsi air sehari-hari.

3.4 Prosedur Pengambilan Sampel

Sampel diambil dari 9 titik yaitu *intake*, prasedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, *clearwell*, pelanggan 1, dan pelanggan 2. Analisis pengujian suhu dan pH dilakukan secara *in situ* langsung di lapangan yaitu di SPAM Kartamantul sedangkan untuk analisis pengujian kekeruhan, TSS, dan mikroplastik dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

1. Pengambilan Sampel di Lapangan
 - a. Disiapkan wadah steril yaitu botol kaca yang tutupnya telah ditutupi dengan *aluminium foil* untuk menghindari kontak dengan tutup plastik dan botol HDPE serta *water sampler* untuk mengambil sampel.
 - b. Proses pengambilan sampel air mengacu pada SNI 6989.57:2008 Air dan air limbah – Bagian 57: Metoda pengambilan contoh air

permukaan. *Water sampler* diturunkan ke sungai dan dibiarkan terisi penuh lalu diangkat. Air yang telah diambil dipindahkan ke botol kaca dan botol HDPE. Sampel ditandai dengan spidol dan disimpan di dalam cooler box sebelum disimpan di lemari pendingin laboratorium pada suhu $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

- a. Dilakukan segera pengujian secara in situ untuk parameter pH (SNI 06-6989.11-2004) dan suhu (SNI 06-6989.23-2005) menggunakan alat pH meter dengan dicelupkan elektroda ke dalam sampel air hingga angka yang diberikan stabil dan dicatat hasil pengujian parameter lapangan secara duplo.

2. Kekerusuhan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat turbidimeter dengan cara diisi kuvet sebanyak 10 ml sampel yang akan diuji secara duplo.

3. Uji Padatan Tersuspensi Total

Pengujian TSS (*Total Suspended Solids*) mengacu pada SNI 6989.3:2019 Air dan limbah – Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total secara gravimetri. Diletakkan kertas saring ke corong dan dimasukkan ke erlenmeyer. Lalu kertas saring dibilas dengan aquades 20 ml. Pindahkan kertas saring ke cawan porselen dan keringkan di oven pada suhu 103°C sampai dengan 105°C selama 1 jam. Dinginkan ke dalam desikator selama 10 menit. Setelah itu, ditimbang kertas saring (W_0) menggunakan neraca analitik. Kertas saring yang telah diketahui beratnya dimasukkan ke corong yang diletakkan di erlenmeyer. Dibasahi media penyaring dengan sedikit aquadest lalu diaduk sampel uji hingga homogen dan diambil 100 ml sampel dan masukkan ke dalam media penyaring. Dibilas media penyaring 3 kali dengan 10 ml aquadest. Media penyaring dipindahkan ke cawan petri dan dikeringkan dalam oven selama 1 jam pada kisaran suhu 103°C sampai dengan 105°C . Didinginkan ke dalam desikator selama 10 menit kemudian kertas saring yang berisi residu ditimbang (W_1).

4. Mikroplastik

Metode yang digunakan dalam menganalisis sampel mikroplastik di SPAM Regional Kartamantul Yogyakarta adalah modifikasi dari metode NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Diambil sampel air sebanyak 100 ml kedalam erlenmeyer dan ditambahkan 10 ml NaCl 10%. Setelah itu, ditambahkan 20 ml H₂O₂ 30% (hidrogen peroksida) lalu di destruksi *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 75°C. Lalu didinginkan sampai suhu ruang kemudian sampel disaring menggunakan kertas saring *fiber* dengan *vacuum pump*. Pindahkan kertas saring yang berisi mikroplastik ke cawan petri dan dibiarkan kering sebelum diamati di mikroskop. Amati kertas saring menggunakan mikroskop trinokuler dengan perbesaran 4x dan 10x. Catat jenis mikroplastik yang ditemukan termasuk bentuk dan warnanya. Setelah itu, dilakukan pengujian FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectrophotometer*).

3.5 Alat dan Bahan

Berikut daftar alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian ini, mencakup 9 titik pengambilan sampel (*intake*, prasedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, *clearwell*, pelanggan 1, dan pelanggan 2):

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan

A. Sampling dan pengujian suhu dan pH			
No.	Nama Alat	Ukuran	Jumlah (buah)
1	<i>Water sampler</i>	2 L	1
2	<i>Cooler box</i>		2
3	pH meter 3110 WTW		1
4	Botol kaca	1 L	9
5	Botol HDPE	1 L	9
6	Gelas <i>beaker</i>	100 ml	1

No.	Nama Bahan	Jumlah	Satuan
1	<i>Aluminium foil</i>	1	roll
2	Aquadest	1000	ml
B. Kekerusuhan			
No.	Nama Alat	Ukuran	Jumlah (buah)
1	Turbidimeter		1
2	Kuvet	10 ml	2
No.	Nama Bahan	Jumlah	Satuan
1	Aquadest	500	ml
C. TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)			
No.	Nama Alat	Ukuran	Jumlah (buah)
1	<i>Gelas beaker</i>	100 ml	9
2	<i>Gelas beaker</i>	1000 ml	1
3	Erlenmeyer	250 ml	9
4	Pipet ukur	10 ml	1
5	Corong		3
6	Karet hisap		1
7	Timbangan Analitik AND GR-202		1
8	Cawan petri		9
9	Cawan Porselin		9
10	Pinset		1
11	Oven		1
12	Desikator		1
No.	Nama Bahan	Jumlah	Satuan
1	Kertas Saring Whatman 42 CAT No. 1442-125	9	buah
2	Aquadest	1000	ml

D. Mikroplastik			
No.	Nama Alat	Ukuran	Jumlah (buah)
1	Gelas <i>beaker</i>	100 ml	9
2	Gelas <i>beaker</i>	1000 ml	1
3	Erlenmeyer	250 ml	9
4	Pipet ukur	20 ml	2
5	Corong		3
6	Karet hisap		1
7	<i>Hot Plate Stirrer Thermo Scientific Tipe Cimarec II</i>		1
8	Stir bar		1
9	<i>Vacuum Pump Compressor</i>		
10	Pinset		1
11	<i>IRT Tracer-100 FTIR Spektrofotometri Shimadzu</i>		1
12	Mikroskop Olympus BX53		1
No.	Nama Bahan	Jumlah	Satuan
1	Kertas Saring Whatman GF/B CAT No. 1821-047	9	buah
2	Larutan NaCl 10%	90	ml
3	Larutan H ₂ O ₂ 30%	180	ml
4	Aquades	1000	ml

3.6 Analisis Data

1. Analisis Data Mikroplastik

Analisis mikroplastik diawali dengan menghitung jumlah partikel mikroplastik pada setiap sampel air yang diambil dari sembilan titik pengambilan, yaitu: *intake*, pra-sedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, *clearwell*, pelanggan 1, dan pelanggan 2. Pengamatan

dilakukan menggunakan mikroskop untuk mengidentifikasi bentuk, warna, dan jumlah partikel mikroplastik. Hasil pengamatan dinyatakan dalam satuan partikel per liter (partikel/L).

Selanjutnya, untuk mengetahui jenis polimer dari partikel mikroplastik yang ditemukan maka dilakukan pengujian menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Alat ini digunakan untuk membandingkan spektrum inframerah sampel dengan spektrum referensi dari berbagai jenis plastik seperti PE, PP, PET, PS, dan PVC, sehingga dapat mengidentifikasi jenis plastik secara kimiawi.

Data hasil pengamatan dari masing-masing titik sampel kemudian dianalisis untuk melihat distribusi dan kelimpahan mikroplastik sepanjang proses pengolahan air di SPAM Kartamantul. Perbandingan kandungan mikroplastik antara air baku (*inlet*), air hasil pengolahan (*outlet*), dan air yang diterima pelanggan digunakan untuk mengevaluasi efektivitas sistem pengolahan air dalam mengurangi cemaran mikroplastik.

2. Analisis Data Parameter Kekeruhan, TSS, dan pH

Pengujian kekeruhan dilakukan menggunakan turbidimeter, dan hasilnya dalam satuan NTU. Analisis kekeruhan akan menunjukkan tingkat kejernihan air pada tiap titik pengolahan. Data kekeruhan akan dianalisis untuk mengetahui apakah ada hubungan antara tingkat kekeruhan dan keberadaan mikroplastik, karena mikroplastik dapat berkontribusi pada peningkatan kekeruhan air.

Pengujian TSS (*Total Suspended Solids*), dilakukan dengan cara penyaringan menggunakan kertas saring, kemudian mengeringkan dan menimbang sisa padatan. Hasil TSS dihitung dalam satuan mg/L dan dianalisis untuk melihat berapa banyak padatan tersuspensi yang terdapat pada air pada setiap tahap pengolahan. Hal ini penting untuk mengetahui seberapa efektif sistem pengolahan air dalam menghilangkan padatan, termasuk mikroplastik.

Perhitungan TSS sesuai rumus berikut:

$$TSS \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(W_1 - W_0) \times 1000}{V} \quad (3.1)$$

Keterangan:

W_0 adalah berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg);

W_1 adalah berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg);

V adalah volume contoh uji (ml);

1000 adalah konversi mililiter ke liter.

Pengujian pH dilakukan menggunakan pH meter dan hasilnya akan dianalisis untuk memastikan bahwa pH air tetap dalam batas yang aman sesuai dengan standar kualitas air minum yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023. Data pH yang diperoleh akan dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi apakah ada perubahan signifikan selama proses pengolahan.

3. Analisis Risiko Mikroplastik dalam Air Minum

Analisis risiko mikroplastik dalam air minum akan dilakukan dengan menghitung konsentrasi mikroplastik yang ada pada sampel air minum yang diterima oleh pelanggan. Setelah mengidentifikasi jumlah mikroplastik, risiko paparan mikroplastik pada konsumen akan dievaluasi berdasarkan konsumsi air minum harian yang diperkirakan. Analisis ini akan mengacu pada pedoman risiko kesehatan yang ada dan membandingkan hasil pengujian dengan studi-studi sebelumnya yang menyebutkan potensi dampak kesehatan dari mikroplastik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Deskripsi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Regional Kartamantul yang melayani wilayah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul tepatnya di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Bantar. IPA Bantar mengambil air baku dari Sungai Progo yang kemudian diolah melalui berbagai unit pengolahan air konvensional. Proses pengolahan air terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu: *intake*, pra-sedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan *clearwell*.

Intake berada di tepi Sungai Progo, berfungsi sebagai tempat pengambilan air baku sebelum dialirkan menuju unit pengolahan. Setelah melalui unit pra-sedimentasi untuk mengendapkan partikel besar, air diberi koagulan di unit koagulasi untuk menggumpalkan koloid halus. Proses dilanjutkan di unit flokulasi untuk membentuk flok yang lebih besar agar mudah mengendap di sedimentasi. Setelah itu, air disaring melalui media pasir di unit filtrasi dan ditampung sementara di *clearwell* sebelum didistribusikan ke reservoir utama di Kronggahan, Sambikarep, dan Guwo lalu baru ke pelanggan.

Skema umum proses pengolahan air di IPA Bantar dijelaskan melalui tabel berikut:

Tabel 4. 1 Unit-unit pengolahan IPA Bantar

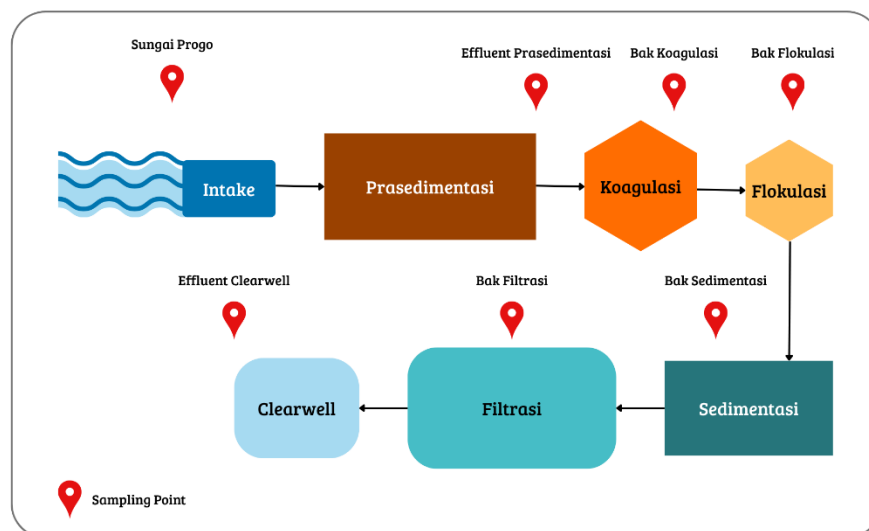
No	Unit Proses	Fungsi Utama
1.	<i>Intake</i>	<i>Intake</i> merupakan fasilitas paling awal dengan dimulai dengan mengambil air baku dari sumber alam

	 Sumber: PDAB Tirtama, DIY	yaitu Sungai Progo. Sistem intake ini dilengkapi dengan saringan awal untuk mencegah masuknya benda-benda besar seperti daun, ranting, dan sampah agar memastikan bahwa air yang masuk ke instalasi pengolahan memiliki kualitas awal yang sesuai untuk diproses lebih lanjut.
2.	Bak Prasedimentasi  Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025	Air yang masuk ke sistem IPA Bantar melewati bak prasedimentasi dimana partikel besar seperti pasir, kerikil dan lumpur kasar diendapkan secara gravitasi untuk membantu mengurangi tingkat kekeruhan air dan mencegah penumpukan kotoran pada proses berikutnya.
3.	Koagulasi  Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025	Pada koagulasi, bahan kimia ditambahkan untuk membantu partikel halus dalam air bergabung menjadi gumpalan.
4.	Flokulasi	Pada tahap flokulasi gumpalan tersebut diperbesar melalui pengadukan perlahan, sehingga memudahkan pemisahan.

	 Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025	
5.	Sedimentasi  Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025	Proses sedimentasi, dimana gumpalan yang telah terbentuk dibiarkan mengendap secara alami di dasar bak, memisahkan partikel padat dari air yang lebih jernih. Kemudian endapan tersebut dibuang sementara air yang lebih bersih mengalir ke tahap berikutnya.
6.	Filtrasi  Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025	Air yang melewati filtrasi ini akan mengalami penyaringan melalui media khusus seperti pasir, kerikil, dan karbon aktif untuk menghilangkan sisa partikel, kotoran, dan kontaminan.
7.	<i>Clearwell</i>	Setelah melalui serangkaian proses pengolahan, air bersih disimpan di <i>clearwell</i> sebagai penampungan dan penyaluran air dari hasil pengolahan produksi untuk menjaga kualitas dan

 Sumber: PDAB Tirtama, DIY	bebas dari kontaminasi seperti bakteri atau mikroorganisme lainnya.
--	--

Pada penelitian ini, pengambilan sampel dilakukan pada sembilan titik secara bertahap, dimulai dari unit-unit instalasi pengolahan di IPA Bantar yaitu *intake* Sungai Progo, kemudian *effluent* prasedimentasi, bak koagulasi, bak flokulasi, bak sedimentasi, bak filtrasi, serta *effluent clearwell* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1. Setelah pengambilan sampel pada unit-unit pengolahan tersebut, dilanjutkan dengan pengambilan sampel di dua titik pelanggan melalui keran rumah pelanggan untuk merepresentasikan kualitas air yang sampai ke konsumen.



Gambar 4. 1 Diagram alir unit Instalasi Pengolahan Air (IPA) Bantar dan titik pengambilan sampel

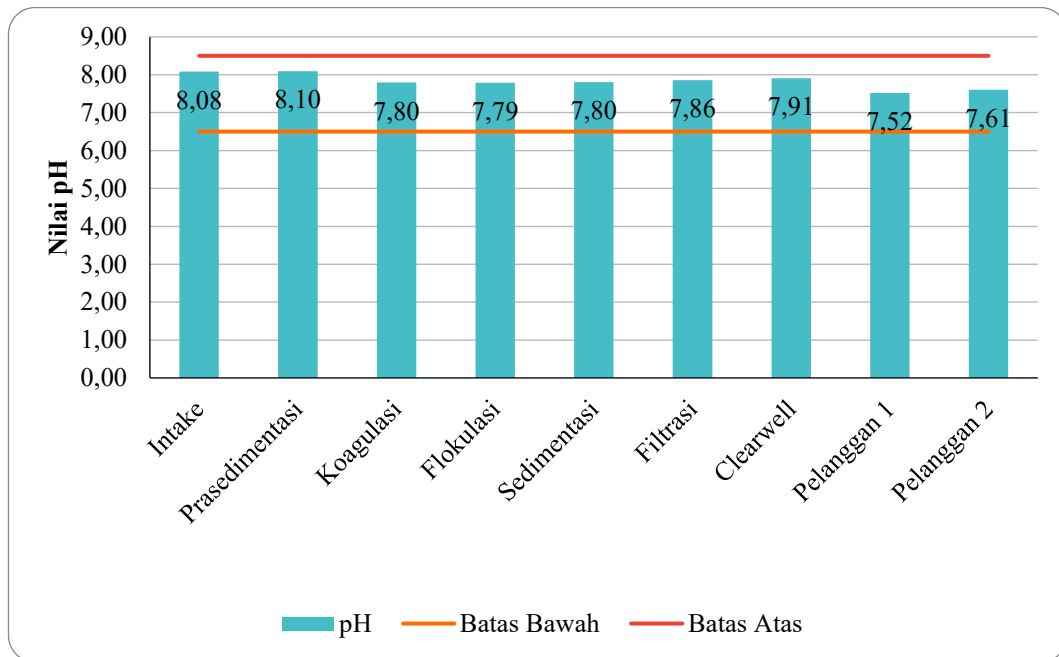
4.1.2 Hasil Parameter Suhu, pH, Kekeruhan, dan TSS pada Sampel

Hasil pengujian parameter fisika-kimia yang meliputi suhu dan pH diukur secara in situ, lalu kekeruhan dan *Total Suspended Solids* (TSS) dianalisis di Laboratorium Kualitas Lingkungan disajikan dalam Tabel 4.2. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas setiap unit-unit pengolahan air dan kesesuaian dengan baku mutu air minum yang berlaku.

Tabel 4. 2 Hasil Parameter Uji Suhu, pH, Kekeruhan dan TSS

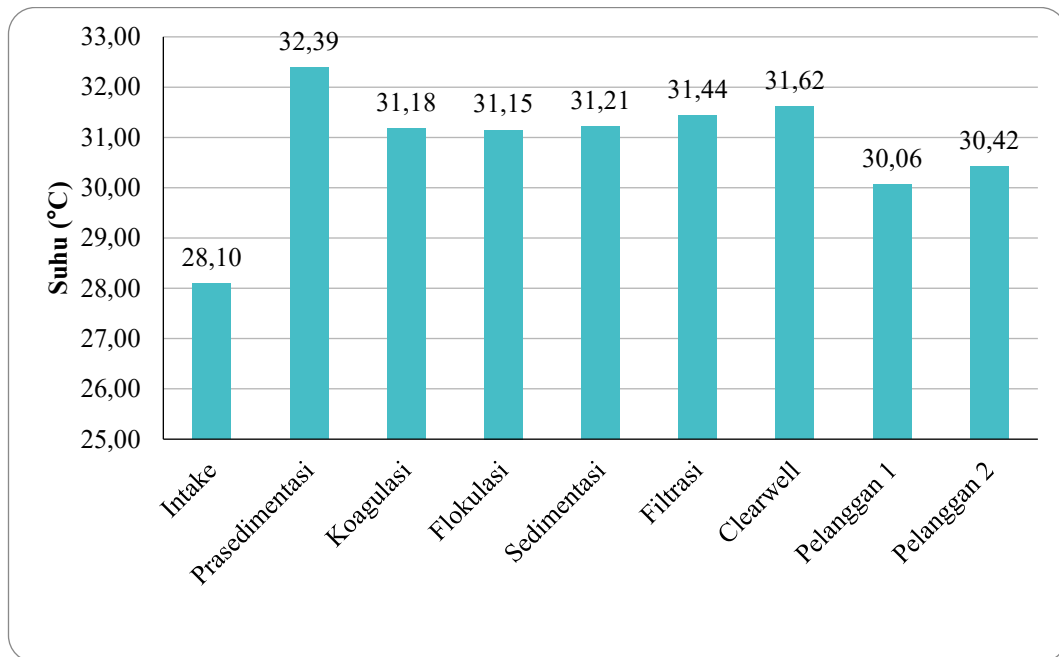
No	Sampel	pH	Suhu (°C)	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)
	*	(6,5-8,5)		(<3)	(<50)
1	<i>Intake</i>	8,08	28,10	32,13	172
2	Prasedimentasi	8,10	32,39	34,08	124
3	Koagulasi	7,80	31,18	31,44	114
4	Flokulasi	7,79	31,15	26,48	208
5	Sedimentasi	7,80	31,21	6,76	151
6	Filtrasi	7,86	31,44	4,36	143
7	<i>Clearwell</i>	7,91	31,62	2,56	87
8	Pelanggan 1	7,52	30,06	1,91	112
9	Pelanggan 2	7,61	30,42	1,18	147

*Standar baku mutu berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023



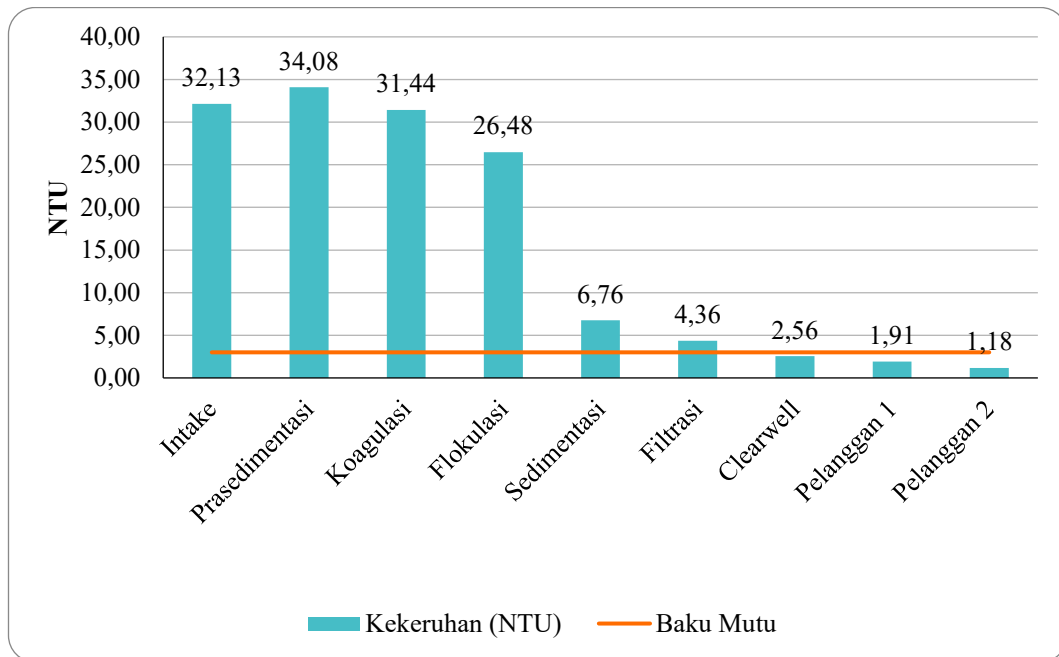
Gambar 4. 2 Hasil uji derajat keasaman (pH)

Pengujian pH dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan pH meter 3110 WTW dan dilakukan sebanyak dua kali untuk meningkatkan akurasi dan nilainya dirata-ratakan untuk setiap titik samplingnya. Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 terlihat hasil pengukuran pH pada seluruh titik sampling menunjukkan nilai pH yang berada dalam rentang 7,79 hingga 8,10. Nilai pH tertinggi terdapat pada titik prasedimentasi sebesar 8,10 dan nilai terendah berada pada titik Pelanggan 1 sebesar 7,52. Seluruh nilai pH yang terukur memenuhi standar baku mutu air minum yang dipersyaratkan di Permenkes No. 2 Tahun 2023 dengan rentang 6,5 – 8,5 sehingga untuk nilai pH keseluruhan tahapan pengolahan air minum di IPA Bantar memenuhi standar yang telah ditetapkan.



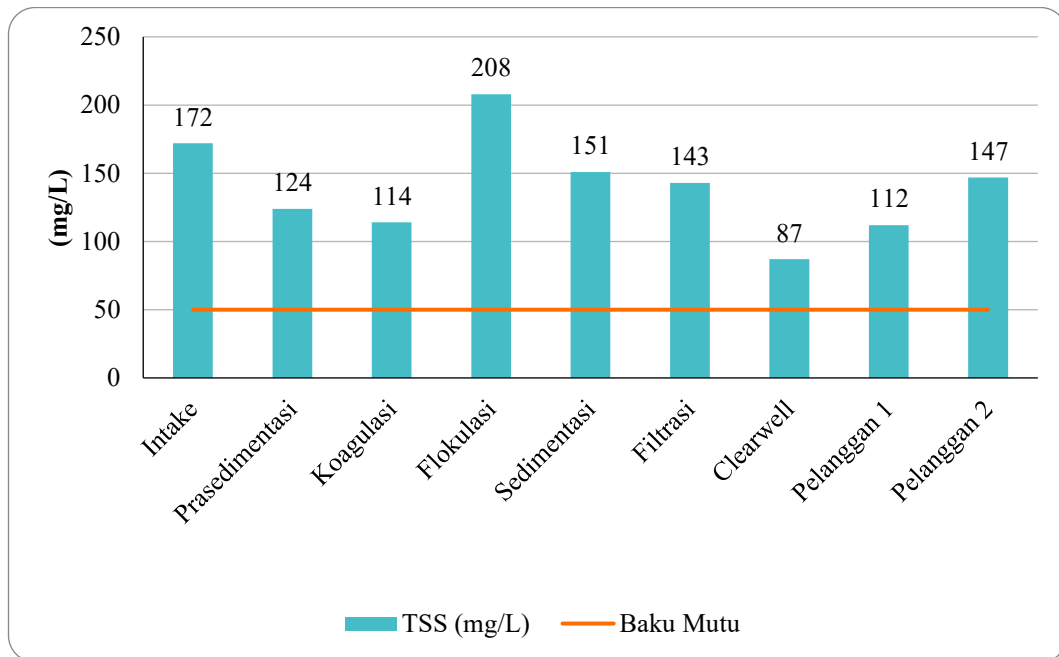
Gambar 4. 3 Hasil suhu

Pengukuran suhu sejalan dengan pH menggunakan alat yang sama dan dilakukan secara duplo yang nilai hasilnya dirata-rata. Hasil pengukuran suhu yang disajikan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa suhu air sampling berkisar antara 28,10°C hingga 32,39°C. Pada titik *intake*, nilai suhu terendah 28,10°C di waktu pengambilan sampel sekitar 10.07 WIB bisa terjadi karena air sungai yang bersifat mengalir yang membuat panas tidak mudah terakumulasi, sedangkan pada unit pengolahan lainnya yang diambil sekitar 10.30 – 12.40 WIB pada siang hari lebih tinggi karena paparan radiasi matahari lebih kuat. Suhu air dapat mempengaruhi efektivitas unit pengolahan seperti flokulasi yang mempengaruhi ukuran flok, kekuatan, dan kemampuan untuk terbentuk kembali setelah terpecah akibat gaya geser. Suhu yang lebih hangat umumnya menghasilkan flok yang lebih besar dan mudah pecah dan kurang mampu terbentuk kembali dibandingkan pada suhu yang lebih rendah (Fitzpatrick et al., 2004). Walaupun demikian, desinfeksi bisa bekerja dengan baik dengan dosis kimia yang sesuai.



Gambar 4. 4 Hasil kekeruhan (NTU)

Pengukuran kekeruhan dilakukan secara duplo menggunakan turbidimeter di Laboratorium Kualitas Air sehari sesudah sampling diambil. Hasil rata-rata yang didapat dari pengukuran terlihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.4 bahwa kekeruhan tertinggi terdapat pada titik prasedimentasi dengan nilai 34,08 NTU dan kekeruhan terendah pada pelanggan 2 dengan nilai 1,18 NTU. Pada tahapan pengolahan air minum terakhir yaitu *clearwell* telah memenuhi standar baku mutu yaitu 2,56 NTU sebelum dikirim ke reservoir dan diterima oleh pelanggan dengan nilai kekeruhan sebesar 1,91 NTU untuk pelanggan 1 dan 1,18 NTU untuk pelanggan 2.



Gambar 4. 5 Hasil TSS (mg/L)

Pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.5 menunjukkan hasil dari pengujian TSS pada setiap sampling. Nilai TSS yang didapat berkisar antara 87 mg/L untuk nilai terendah pada *clearwell* dan 208 mg/L untuk nilai pengukuran TSS tertinggi yaitu pada flokulasi. Seluruh nilai TSS yang terukur tidak memenuhi standar baku mutu air minum yang dipersyaratkan yang melebihi 50 mg/L. Hal ini bisa disebabkan karena pengujian yang dilakukan pada hari ke-6 mempengaruhi nilai dari TSS walaupun pada SNI 6989.3:2019 Air dan limbah – Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total secara gravimetri, batas pengujian TSS tidak melebihi 7 hari. Bisa juga terjadi karena kontaminasi saat pemindahan kertas saring dari desikator ke timbangan analitik yang berbeda tempat. Oleh karena itu, akan lebih baik pengujian dilakukan secara duplo atau triplo serta analisis blanko sebagai kontrol kontaminasi untuk akurasi pengujian yang lebih baik.

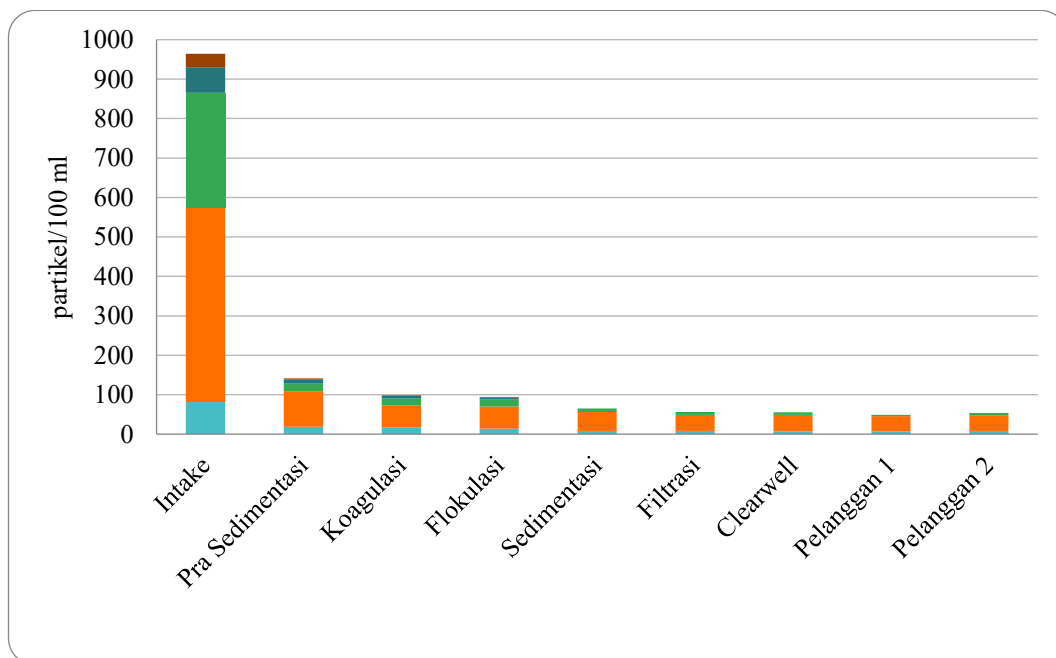
4.1.3 Hasil Pengujian Mikroplastik

Analisis mikroplastik dilakukan pada sembilan titik sampling sepanjang sistem pengolahan air dan distribusi SPAM Regional Kartamantul. Identifikasi dan

kuantifikasi mikroplastik menggunakan metode mikroskopi optik. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk jumlah partikel per 100 mL sampel air dengan klasifikasi lima tipe mikroplastik yaitu *fiber*, *fragment*, *film*, *foam*, dan *beads*.

Tabel 4. 3 Hasil jumlah mikroplastik

Sampel	<i>Fiber</i>	<i>Fragment</i>	<i>Film</i>	<i>Foam</i>	<i>Beads</i>	Jumlah
<i>Intake</i>	81	493	291	65	34	964
Prasedimentasi	19	90	20	10	2	141
Koagulasi	17	55	19	6	1	98
Flokulasi	14	56	18	5	1	94
Sedimentasi	8	48	9	0	0	65
Filtrasi	8	41	7	0	0	56
<i>Clearwell</i>	7	42	6	0	0	55
Pelanggan 1	7	39	3	0	0	49
Pelanggan 2	8	40	6	0	0	54
Total	169	904	379	86	38	1576



Gambar 4. 6 Grafik jumlah partikel mikroplastik

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Gambar 4.6, hasil pengujian mikroplastik menunjukkan keberadaan partikel mikroplastik di seluruh titik sampling dengan variasi

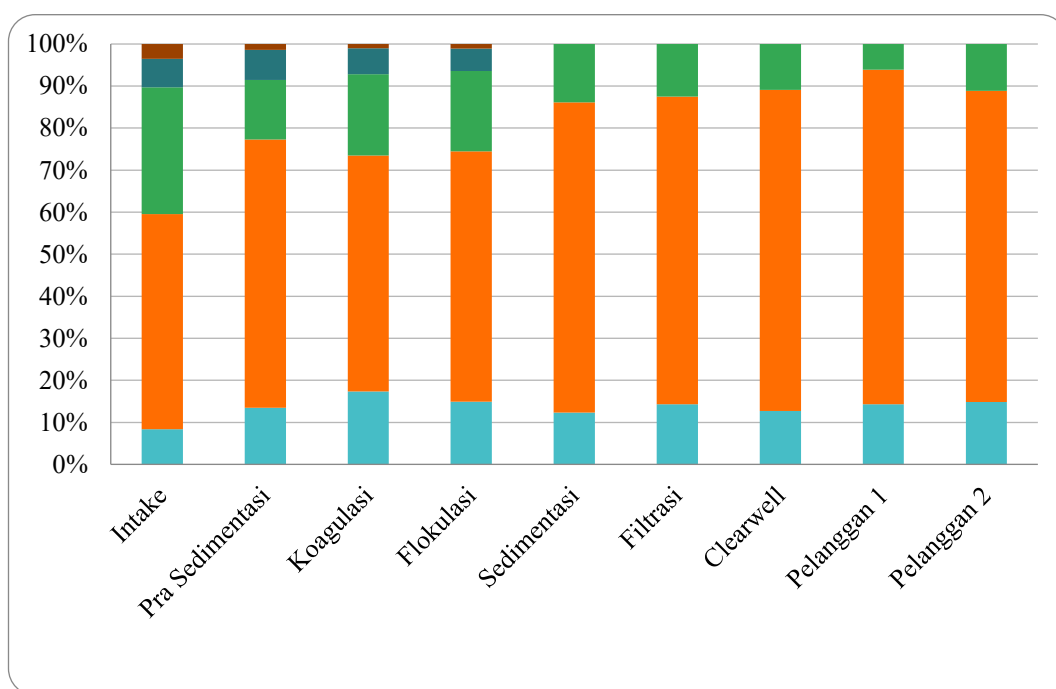
konsentrasi yang signifikan. Konsentrasi mikroplastik yang didapat ini dapat bercampur dengan kontaminasi mikroplastik dari alat dan bahan selama pengujian karena tidak adanya blanko kontrol. Konsentrasi mikroplastik tertinggi ditemukan pada titik *intake* sebesar 964 partikel/100 mL, yang mengindikasikan tingginya kontaminasi mikroplastik pada air baku Sungai Progo. Sungai Progo merupakan salah satu sungai terbesar di Pulau Jawa yang berfungsi sebagai sumber utama air bersih dan irigasi untuk Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. Walaupun demikian Sungai Progo menempati peringkat di antara 20 sungai teratas yang tercemar plastik di dunia (Lebreton et al., 2017).

Setelah melalui proses prasedimentasi terjadi penurunan drastis konsentrasi mikroplastik menjadi 141 partikel/100 mL yang mengindikasikan bahwa proses pengendapan awal sudah mampu menghilangkan sebagian besar partikel mikroplastik berukuran besar. Pada unit prasedimentasi ini memiliki 4 bak pengendapan yang masing-masing dilengkapi oleh *screen*, *gater* dan pintu air. Lalu terdapat koagulasi dan flokulasi menunjukkan penurunan dengan konsentrasi masing-masing 98 partikel/100 mL dan 94 partikel/100 mL. Efektivitas pengolahan semakin terlihat pada tahap sedimentasi yang memisahkan air dan partikel tersuspensi sehingga air menjadi jernih yang keluar melalui sela-sela *plate settler* dengan hasil 65 partikel/100 mL. Selanjutnya filtrasi yang dilakukan di bak terbuka dengan menggunakan *rapid sand filter* dengan media saring yaitu pasir *silica*, *gravel* dan antrasit yang dilengkapi dengan *nozzle* pada bagian bawah ditemukan 56 partikel/100 mL. Sedangkan pada unit *clearwell* ditemukan sebanyak 55 partikel/100 mL. Pada titik distribusi pelanggan, konsentrasi mikroplastik mencapai level terendah yaitu 49 partikel/100 mL untuk Pelanggan 1 dan 54 partikel/100 mL untuk Pelanggan 2.

Berikut merupakan tabel dan grafik jumlah mikroplastik yang ditemukan pada setiap 100 mL sampel air dalam persen:

Tabel 4. 4 Hasil dalam persen (%) jumlah mikroplastik

Sampel	<i>Fiber</i>	<i>Fragment</i>	<i>Film</i>	<i>Foam</i>	<i>Beads</i>
<i>Intake</i>	8,40%	51,14%	30,19%	6,74%	3,53%
Prasedimentasi	13,48%	63,83%	14,18%	7,09%	1,42%
Koagulasi	17,35%	56,12%	19,39%	6,12%	1,02%
Flokulasi	14,89%	59,57%	19,15%	5,32%	1,06%
Sedimentasi	12,31%	73,85%	13,85%	0,00%	0,00%
Filtrasi	14,29%	73,21%	12,50%	0,00%	0,00%
<i>Clearwell</i>	12,73%	76,36%	10,91%	0,00%	0,00%
Pelanggan 1	14,29%	79,59%	6,12%	0,00%	0,00%
Pelanggan 2	14,81%	74,07%	11,11%	0,00%	0,00%



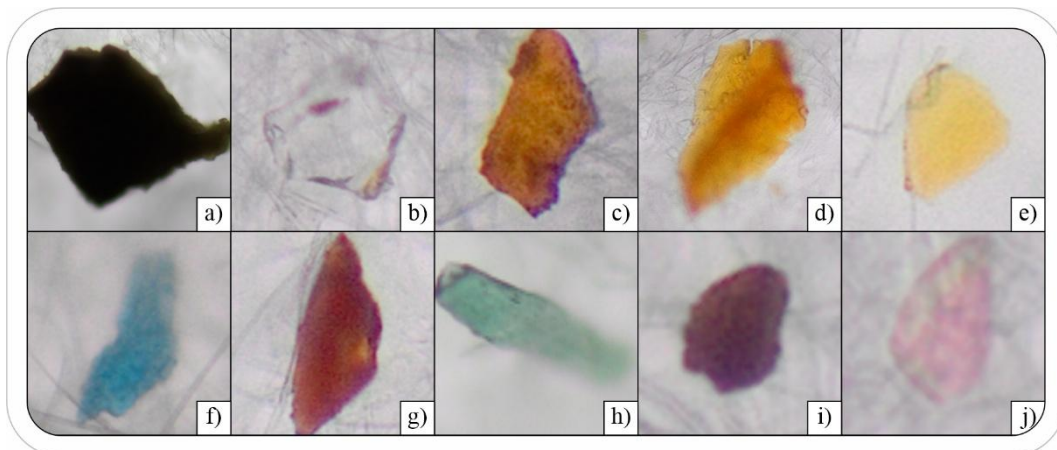
Gambar 4. 7 Grafik jumlah partikel mikroplastik dalam persen

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.7 *fragment* menjadi jenis mikroplastik yang paling resisten terhadap proses pengolahan air konvensional, dengan persentase yang meningkat dari 51,14% pada *intake* menjadi 76,36% pada *clearwell* meskipun jumlahnya menurun dari 493 partikel/100 mL menjadi 42 partikel/100 mL. *Fragment* merupakan bentuk mikroplastik yang paling sering ditemukan secara

global dalam sampel air permukaan dan air minum yang terbentuk dari fragmentasi plastik berukuran lebih besar atau keausan produk plastik (Koelmans et al., 2019). Hasil ini sejalan dengan temuan Dalmau-Soler et al. (2021) yang melaporkan bahwa 40% mikroplastik yang tersisa setelah pengolahan air minum berbentuk *fragment* berukuran 20-500 μm .

Sebaliknya, mikroplastik berbentuk *film* menunjukkan tingkat removal yang sangat baik dengan penurunan drastis dari 30,19% pada *intake* menjadi hanya 6,12% pada Pelanggan 1. Efektivitas tinggi ini dapat dijelaskan karena *film* yang memiliki rasio luas permukaan terhadap volume tinggi, memungkinkan interaksi yang lebih baik dengan koagulan dan pembentukan flok yang mudah mengendap melalui proses sedimentasi gravitasi (Ma et al., 2019). Sementara itu, meskipun menurun signifikan dari 81 menjadi 7 partikel/100 mL (removal 91,36%), persentase relatifnya justru meningkat dari 8,40% menjadi 14,29% akibat eliminasi total jenis mikroplastik lainnya. *Foam* dan *beads* menunjukkan karakteristik removal yang paling optimal dengan *elimination rate* mencapai 100% setelah proses sedimentasi. Keberhasilan *removal* total ini dapat diatribusikan pada sifat fisik yang berbeda: *foam* memiliki densitas rendah ($<1,0 \text{ g/cm}^3$) sehingga cenderung mengapung dan mudah dihilangkan melalui proses *skimming* pada tahap awal, sedangkan *beads* dengan bentuk *spherical* memiliki karakteristik hidrodinamika yang memungkinkan sedimentasi gravitasi yang efisien sesuai dengan hukum *Stokes* (Mintenig et al., 2019).

Selain berdasarkan bentuk, mikroplastik juga diklasifikasikan berdasarkan warna. Warna mikroplastik dapat memberikan petunjuk tentang asal usul dan degradasi material plastik, serta karakteristiknya dalam proses pengolahan air. Dalam penelitian ini, warna mikroplastik yang dikategorikan meliputi hitam, transparan, biru, coklat, merah, oren, kuning, hijau, ungu dan pink.

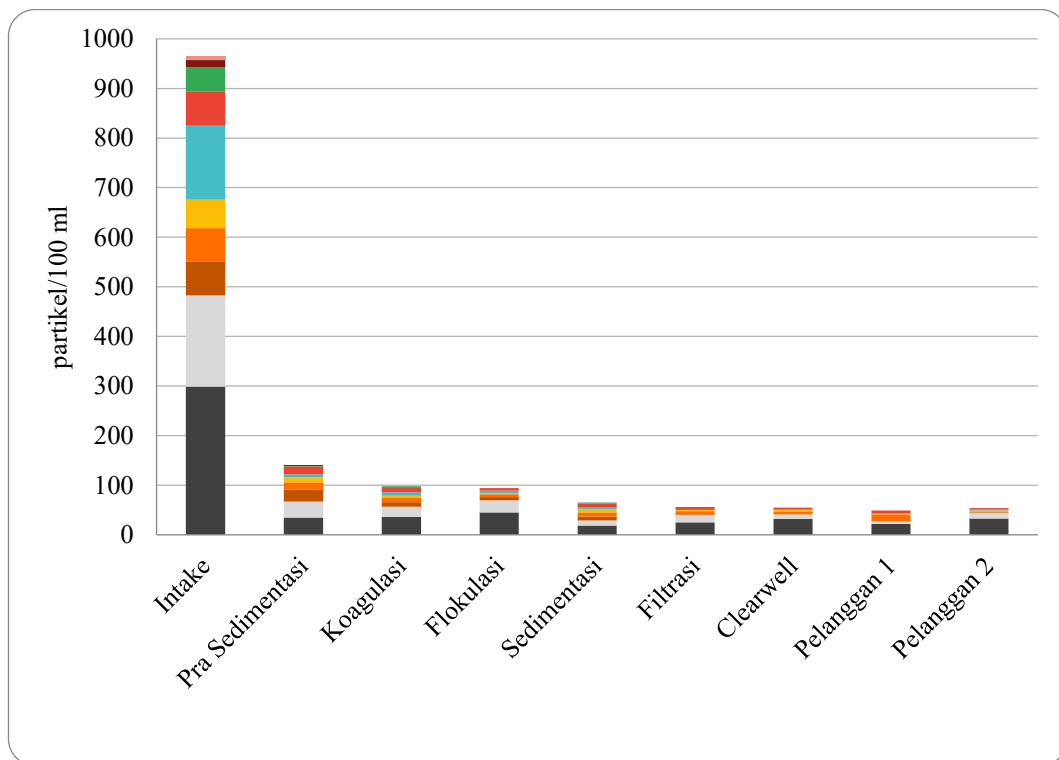


Gambar 4. 8 Contoh warna mikroplastik a) hitam, b) transparan, c) coklat, d) oren, e) kuning, f) biru, g) merah, h) hijau, i) ungu, dan j) pink
Sumber: Dokumentasi pribadi peneliti, hasil pengujian (2025)

Berikut merupakan tabel jumlah mikroplastik berdasarkan warna yang ditemukan pada setiap 100 mL sampel air.

Tabel 4. 5 Hasil jumlah mikroplastik berdasarkan warna

Sampel	Hitam	Transparan	Coklat	Oren	Kuning	Biru	Merah	Hijau	Ungu	Pink	Jumlah
<i>Intake</i>	299	184	68	67	58	149	68	50	14	7	964
Prasedimentasi	35	32	24	15	10	6	16	1	2	0	141
Koagulasi	36	21	9	8	5	7	10	2	0	0	98
Flokulasi	45	25	6	6	2	5	5	0	0	0	94
Sedimentasi	19	10	8	8	7	3	8	2	0	0	65
Filtrasi	25	15	1	7	2	0	6	0	0	0	56
<i>Clearwell</i>	32	9	1	5	3	1	4	0	0	0	55
Pelanggan 1	22	5	0	14	1	1	6	0	0	0	49
Pelanggan 2	33	11	1	1	3	3	2	0	0	0	54
Total	546	312	118	131	91	175	125	55	16	7	1576



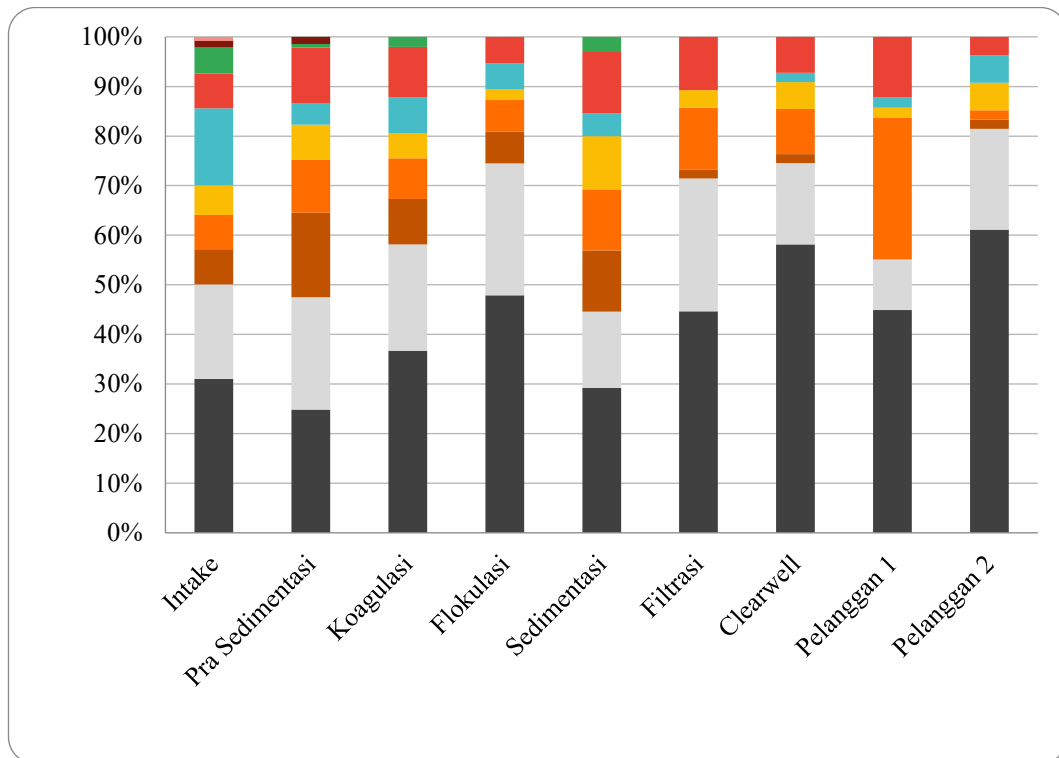
Gambar 4. 9 Grafik jumlah partikel mikroplastik berdasarkan warna

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 4.5 dan Gambar 4.9 hasil identifikasi mikroplastik berdasarkan warna menunjukkan bahwa partikel mikroplastik hitam mendominasi di semua titik pengambilan sampel dalam sistem SPAM Regional Kartamantul. Pada sampel intake, mikroplastik hitam mencapai 299 partikel per 100 mL, diikuti oleh mikroplastik transparan sebanyak 184 partikel per 100 mL, dan mikroplastik biru sebanyak 149 partikel per 100 mL. Dominasi mikroplastik hitam ini kemungkinan berasal dari degradasi ban kendaraan dan aspal yang terbawa aliran air permukaan menuju sumber air baku (Järlskog et al., 2020; Wagner et al., 2018). Proses pengolahan air menunjukkan efektivitas yang signifikan dalam mengurangi jumlah mikroplastik, dengan penurunan drastis dari 964 partikel per 100 mL pada intake menjadi 55 partikel per 100 mL pada clearwell. Mikroplastik warna ungu dan pink menunjukkan jumlah paling rendah di sepanjang sistem pengolahan, bahkan tidak terdeteksi pada beberapa tahap pengolahan, yang mengindikasikan bahwa mikroplastik dengan warna-warna tersebut lebih mudah

dihilangkan atau memang jumlahnya terbatas di sumber air baku (Koelmans et al., 2019).

Tabel 4. 6 Hasil jumlah mikroplastik berdasarkan warna dalam persen

Sampel	Hitam	Transparan	Coklat	Oren	Kuning	Biru	Merah	Hijau	Ungu	Pink
<i>Intake</i>	31%	19%	7%	7%	6%	15%	7%	5%	1%	1%
Prasedimentasi	25%	23%	17%	11%	7%	4%	11%	1%	1%	0%
Koagulasi	37%	21%	9%	8%	5%	7%	10%	2%	0%	0%
Flokulasi	48%	27%	6%	6%	2%	5%	5%	0%	0%	0%
Sedimentasi	29%	15%	12%	12%	11%	5%	12%	3%	0%	0%
Filtrasi	45%	27%	2%	13%	4%	0%	11%	0%	0%	0%
<i>Clearwell</i>	58%	16%	2%	9%	5%	2%	7%	0%	0%	0%
Pelanggan 1	45%	10%	0%	29%	2%	2%	12%	0%	0%	0%
Pelanggan 2	61%	20%	2%	2%	6%	6%	4%	0%	0%	0%



Gambar 4. 10 Grafik jumlah partikel mikroplastik berdasarkan warna dalam persen

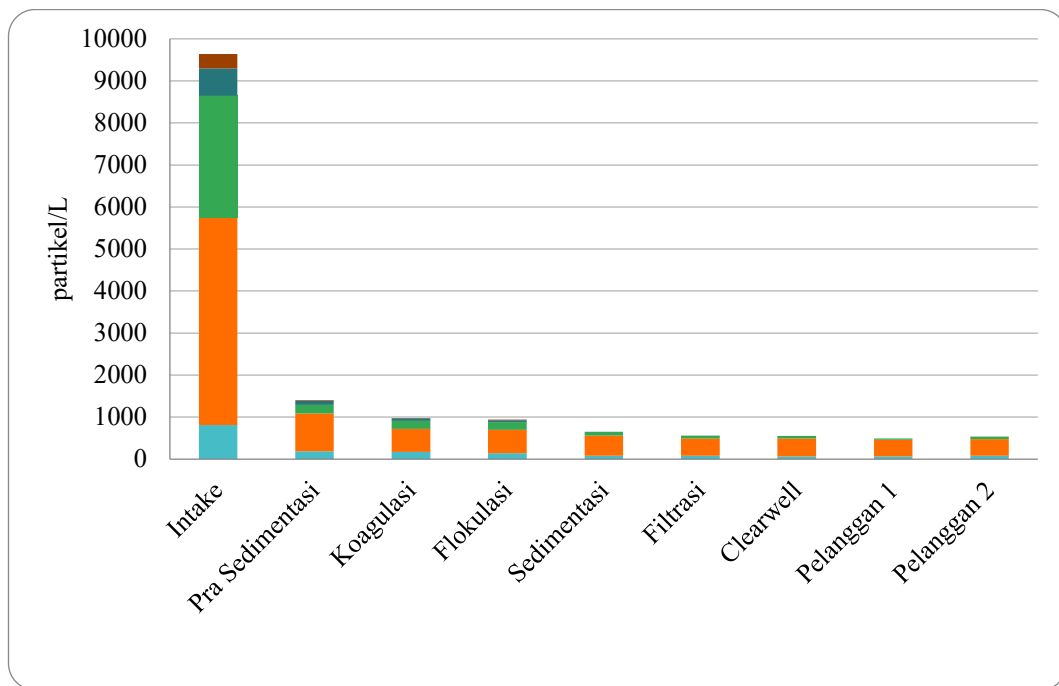
Analisis persentase mikroplastik berdasarkan warna menunjukkan pola yang menarik sepanjang proses pengolahan air. Persentase mikroplastik hitam mengalami peningkatan dari 31% pada *intake* menjadi 58% pada *clearwell*, dan bahkan mencapai 61% pada Pelanggan 2. Fenomena ini menunjukkan bahwa mikroplastik hitam memiliki karakteristik yang lebih sulit dihilangkan dibandingkan mikroplastik warna lain dalam proses pengolahan konvensional (Li et al., 2020; Mintenig et al., 2019). Sebaliknya, persentase mikroplastik transparan menurun dari 19% pada *intake* menjadi 16% pada *clearwell*, kemudian naik kembali menjadi 20% pada Pelanggan 2. Mikroplastik biru menunjukkan penurunan persentase yang signifikan dari 15% pada *intake* menjadi hanya 2% pada *clearwell*, mengindikasikan bahwa proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi efektif dalam menghilangkan mikroplastik berwarna biru (Ma et al., 2019). Pola distribusi warna ini memberikan informasi penting bahwa efektivitas removal mikroplastik dalam sistem pengolahan air tidak hanya bergantung pada ukuran dan

bentuk partikel, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik warna yang mungkin berkaitan dengan jenis polimer dan aditif yang terkandung dalam mikroplastik tersebut (Schwaferts et al., 2019).

4.1.4 Hasil Kelimpahan Mikroplastik

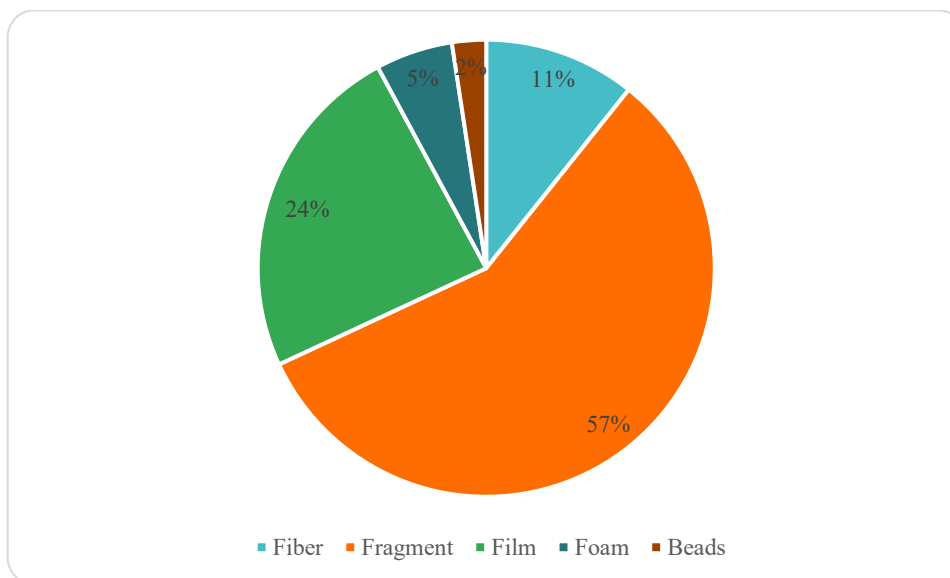
Tabel 4. 7 Hasil kelimpahan mikroplastik

Sampel	<i>Fiber</i>	<i>Fragment</i>	<i>Film</i>	<i>Foam</i>	<i>Beads</i>	Jumlah
<i>Intake</i>	810	4930	2910	650	340	9640
Prasedimentasi	190	900	200	100	20	1410
Koagulasi	170	550	190	60	10	980
Flokulasi	140	560	180	50	10	940
Sedimentasi	80	480	90	0	0	650
Filtrasi	80	410	70	0	0	560
<i>Clearwell</i>	70	420	60	0	0	550
Pelanggan 1	70	390	30	0	0	490
Pelanggan 2	80	400	60	0	0	540
Total	1690	9040	3790	860	380	15760



Gambar 4. 11 Grafik hasil kelimpahan mikroplastik berdasarkan jenis

Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa fragment merupakan jenis mikroplastik yang paling dominan di seluruh titik pengambilan sampel dalam sistem SPAM Regional Kartamantul, dengan total 9.040 partikel dari keseluruhan 15.760 partikel yang teridentifikasi. Pada sampel intake, fragment mencapai 4.930 partikel, yang kemungkinan berasal dari degradasi botol plastik, kemasan makanan, dan sampah plastik lainnya yang masuk ke badan air (Rios Mendoza et al., 2020). Jenis fiber menempati urutan kedua dengan total 1.690 partikel, dengan konsentrasi tertinggi pada intake sebanyak 810 partikel. Tingginya konsentrasi fiber ini dapat dikaitkan dengan pencucian tekstil sintetis dan limbah industri tekstil yang masuk ke sistem perairan (Napper & Thompson, 2016). Film mikroplastik menunjukkan jumlah yang signifikan dengan total 3.790 partikel, terutama pada intake dengan 2.910 partikel, yang kemungkinan berasal dari kantong plastik dan kemasan fleksibel yang terdegradasi (Lebreton et al., 2017). Proses pengolahan air menunjukkan efektivitas yang baik dalam mengurangi semua jenis mikroplastik, dengan penurunan paling signifikan terjadi pada foam dan beads yang bahkan tidak terdeteksi lagi setelah tahap sedimentasi.

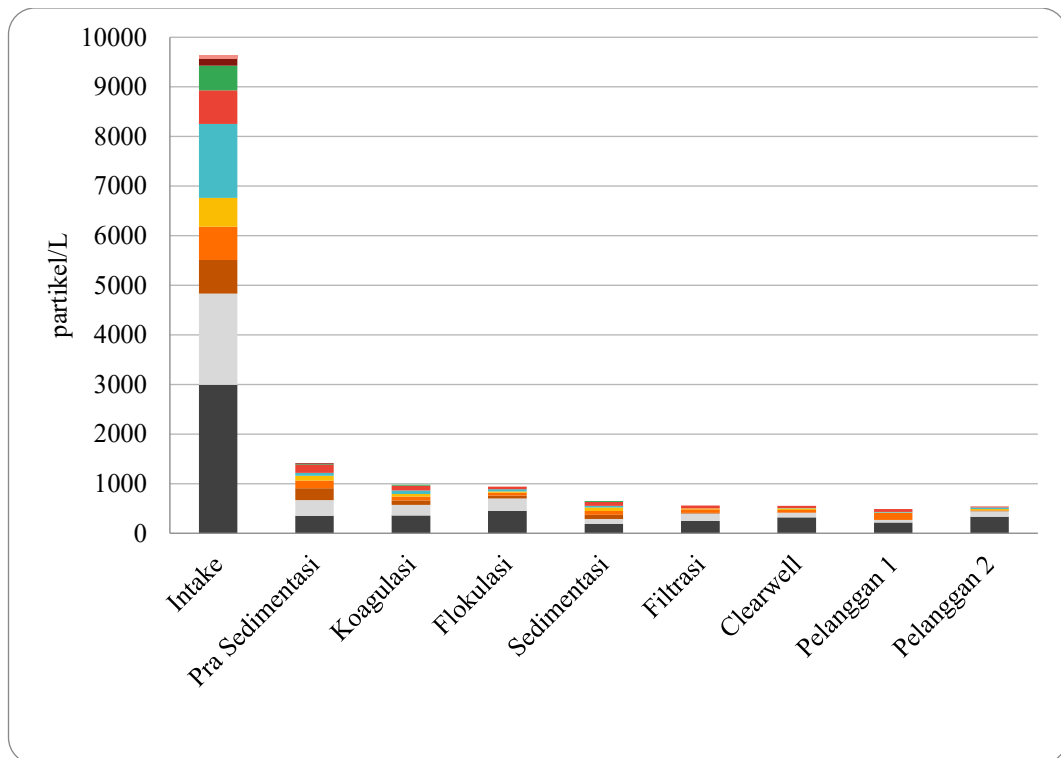


Gambar 4. 12 Grafik persentase kelimpahan mikroplastik berdasarkan jenis

Distribusi persentase kelimpahan mikroplastik menunjukkan bahwa fragment mendominasi dengan persentase sekitar 57% dari total mikroplastik yang teridentifikasi, diikuti oleh *film* sebesar 24%, fiber sebesar 11%, foam sebesar 5%, dan beads sebesar 2%. Dominasi fragment ini konsisten dengan temuan penelitian serupa di berbagai sistem pengolahan air minum di dunia, dimana fragment umumnya menjadi jenis mikroplastik yang paling umum ditemukan karena sifatnya yang lebih stabil dan sulit terdegradasi dibandingkan jenis lainnya (Koelmans et al., 2019; Pivokonsky et al., 2018). Persentase film yang cukup tinggi mengindikasikan kontribusi signifikan dari kemasan plastik fleksibel dan kantong plastik dalam pencemaran mikroplastik di sumber air baku. Rendahnya persentase *beads* (2%) dan *foam* (5%) menunjukkan bahwa sumber pencemaran dari produk perawatan pribadi dan busa polistiren relatif terbatas di lokasi penelitian, atau jenis mikroplastik ini lebih mudah dihilangkan dalam proses pengolahan air (Rochman et al., 2015).

Tabel 4. 8 Hasil kelimpahan mikroplastik berdasarkan warna

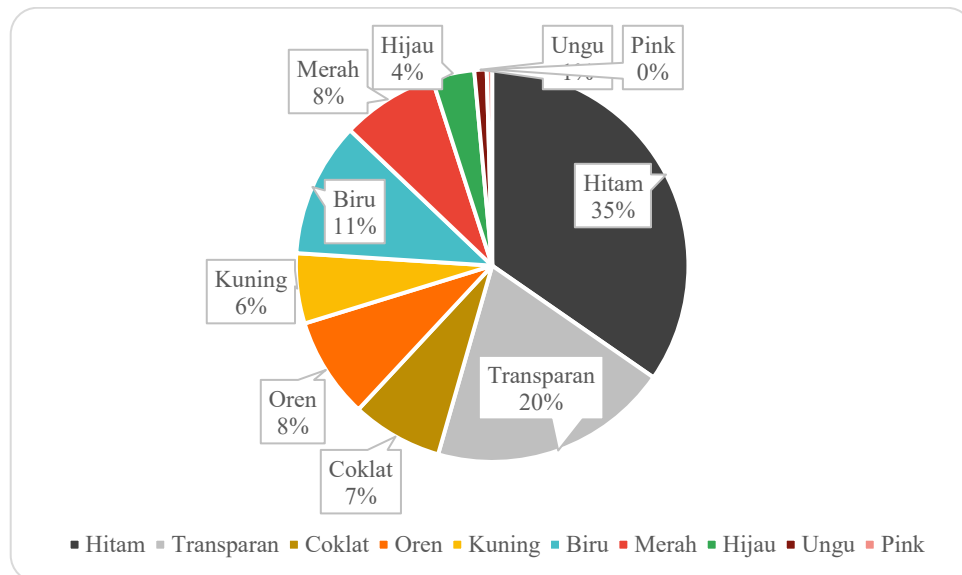
Sampel	Hitam	Transparan	Coklat	Oren	Kuning	Biru	Merah	Hijau	Ungu	Pink	Jumlah
<i>Intake</i>	2990	1840	680	670	580	1490	680	500	140	70	9640
Prasedimentasi	350	320	240	150	100	60	160	10	20	0	1410
Koagulasi	360	210	90	80	50	70	100	20	0	0	980
Flokulasi	450	250	60	60	20	50	50	0	0	0	940
Sedimentasi	190	100	80	80	70	30	80	20	0	0	650
Filtrasi	250	150	10	70	20	0	60	0	0	0	560
<i>Clearwell</i>	320	90	10	50	30	10	40	0	0	0	550
Pelanggan 1	220	50	0	140	10	10	60	0	0	0	490
Pelanggan 2	330	110	10	10	30	30	20	0	0	0	540
Total	5460	3120	1180	1310	910	1750	1250	550	160	70	15760



Gambar 4. 13 Grafik hasil kelimpahan mikroplastik berdasarkan warna

Kelimpahan mikroplastik berdasarkan warna pada Gambar 4.13 menunjukkan pola yang konsisten dengan analisis sebelumnya, dimana mikroplastik hitam

mendominasi dengan total 5.460 partikel (35% dari total), diikuti oleh transparan dengan 3.120 partikel (20%), dan biru dengan 1.750 partikel (11%). Dominasi mikroplastik hitam ini mencerminkan kontribusi besar dari degradasi ban kendaraan dan material aspal yang terbawa aliran permukaan ke sumber air baku (Kole et al., 2017). Tingginya jumlah mikroplastik transparan mengindikasikan pencemaran dari botol air mineral, kemasan makanan transparan, dan material plastik bening lainnya yang umum digunakan dalam aktivitas sehari-hari (Ragusa et al., 2021). Mikroplastik berwarna-warni seperti oren (1.310 partikel), merah (1.250 partikel), dan coklat (1.180 partikel) menunjukkan kontribusi dari berbagai produk plastik konsumen seperti mainan, peralatan rumah tangga, dan kemasan produk yang menggunakan pewarna (Wang et al., 2020). Rendahnya jumlah mikroplastik ungu (160 partikel) dan pink (70 partikel) mengindikasikan bahwa produk plastik dengan warna-warna tersebut memiliki kontribusi terbatas terhadap pencemaran mikroplastik di lokasi penelitian.



Gambar 4. 14 Grafik persentase kelimpahan mikroplastik berdasarkan warna

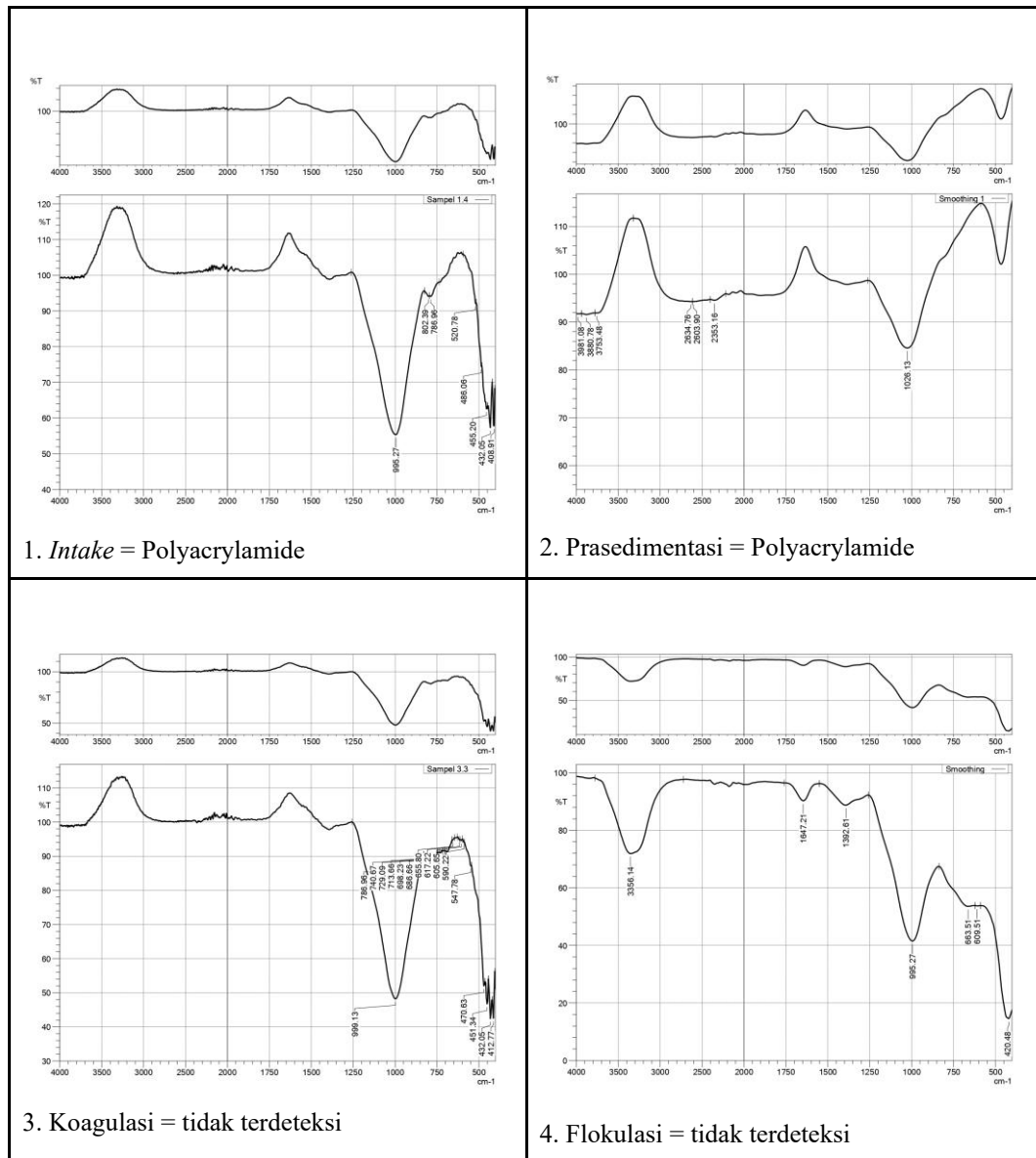
Distribusi persentase kelimpahan mikroplastik berdasarkan warna pada Gambar 4.14 menunjukkan bahwa mikroplastik hitam menyumbang 35% dari total

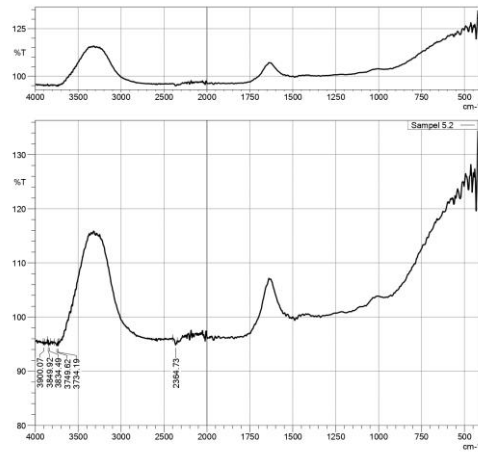
mikroplastik, diikuti oleh transparan (20%), biru (11%), oren (8%), merah (8%), coklat (7%), kuning (6%), hijau (3%), ungu (1%), dan pink (0.4%). Pola distribusi ini memberikan informasi penting tentang sumber pencemaran mikroplastik di kawasan penelitian, dimana dominasi warna hitam dan transparan mengindikasikan kontribusi besar dari sektor transportasi dan kemasan makanan-minuman (Dris et al., 2017). Variasi warna yang beragam menunjukkan bahwa pencemaran mikroplastik berasal dari multiple sources, termasuk limbah domestik, aktivitas industri, dan run-off perkotaan (Mason et al., 2016). Persentase warna yang relatif merata untuk kategori oren, merah, dan coklat (7-8%) mengindikasikan kontribusi yang seimbang dari berbagai produk plastik konsumen. Rendahnya persentase mikroplastik berwarna ungu dan pink menunjukkan bahwa produk dengan warna-warna tersebut memiliki *market share* yang lebih kecil atau lebih mudah terdegradasi di lingkungan perairan (Hartmann et al., 2019).

4.1.4 Hasil Identifikasi Polimer Mikroplastik Menggunakan FTIR

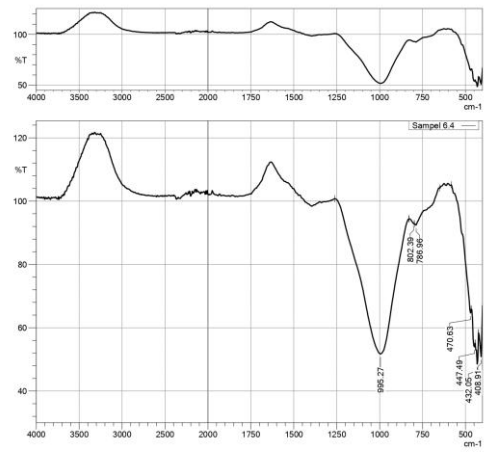
Setelah mikroplastik pada setiap titik sampel air dari SPAM Kartamantul diidentifikasi berdasarkan jumlah, bentuk, dan warna dengan mikroskop, dilakukan analisis lanjutan untuk mengidentifikasi jenis polimer penyusunnya menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Berikut merupakan hasil identifikasi polimer mikroplastik:

Tabel 4. 9 Hasil grafik pengujian FTIR

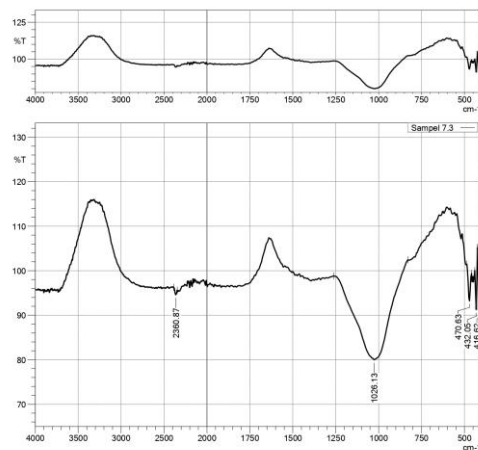




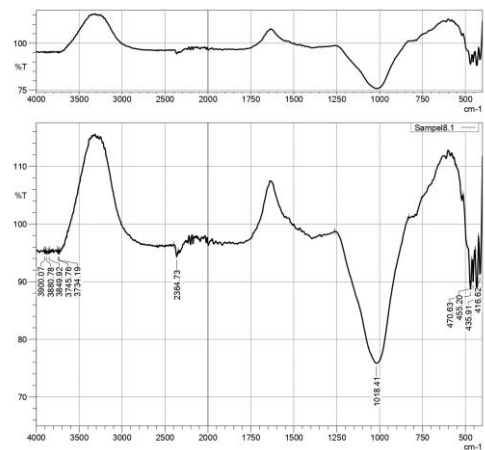
5. Sedimentasi = Polyacrylamide



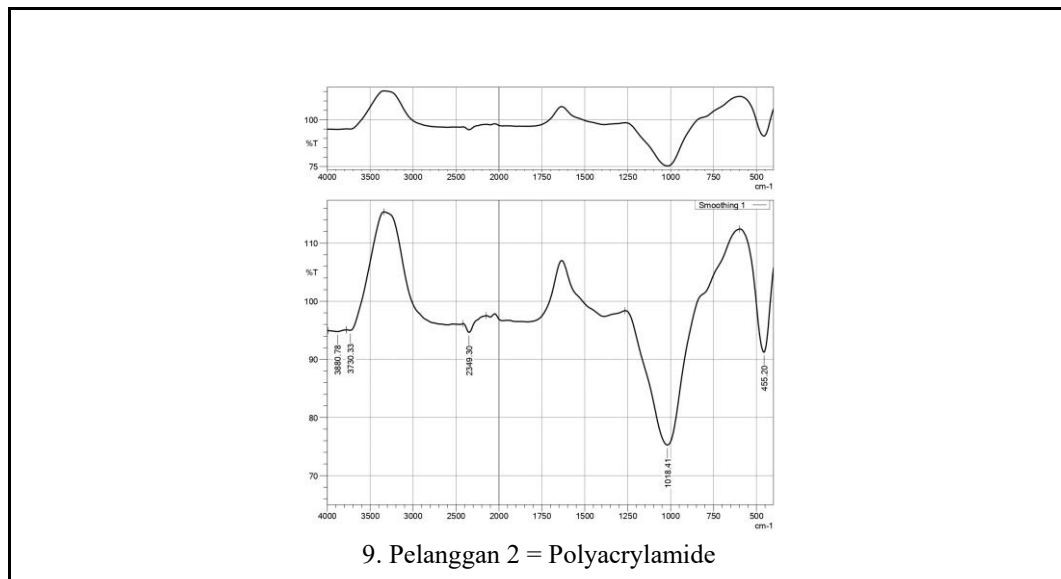
6. Filtrasi = Polyacrylamide



7. Clearwell = Polyacrylamide



8. Pelanggan 1 = Polyacrylamide



Hasil analisis FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) terhadap sampel SPAM Kartamantul menunjukkan adanya keberadaan mikroplastik dengan jenis polimer polyacrylamide (poliakrilamida). Polyacrylamide merupakan polimer sintetis yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk sebagai koagulan dalam proses pengolahan air (Cheng et al., 2020; Liu et al., 2019). Keberadaan polimer ini dalam sampel menunjukkan bahwa sebagian material polimer yang digunakan dalam proses pengolahan air dapat terfragmentasi menjadi sumber mikroplastik sekunder.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Korelasi Mikroplastik Terhadap Parameter Kualitas Air

Korelasi antara jumlah mikroplastik dan parameter kualitas air (TSS, kekeruhan, pH, dan suhu) bertujuan untuk mengkaji apakah kondisi fisik dan kimia air memengaruhi distribusi mikroplastik di sepanjang sistem pengolahan air SPAM Kartamantul. Berikut merupakan hasil korelasi pearson antara parameter air dengan mikroplastik:

Tabel 4. 10 Korelasi pearson parameter air dan mikroplastik

Parameter Air	Koefisien Korelasi (r)	Interpretasi Kekuatan Korelasi	Uji Signifikan (t)
Suhu	-0,10191	Tidak berkorelasi	-0,27105
pH	0,53168	Sedang	1,66089
Kekeruhan	0,50131	Sedang	1,53289
TSS	0,34779	Lemah	0,98144

Keterangan: t-kritis ($\alpha = 0,05$, two-tailed) = 2,365 $\rightarrow$ Tidak signifikan (p-value > 0,05)

Analisis korelasi Pearson antara jumlah mikroplastik dan parameter kualitas air menunjukkan variasi hubungan dalam konteks sistem pengolahan air SPAM Regional Kartamantul. Parameter pH menunjukkan korelasi positif sedang dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,53168, mengindikasikan bahwa peningkatan pH cenderung diikuti dengan peningkatan jumlah mikroplastik. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui mekanisme elektrostatis dimana kondisi pH yang lebih tinggi (basa) dapat mempengaruhi muatan permukaan mikroplastik dan interaksinya dengan partikel tersuspensi lainnya, sehingga mikroplastik menjadi lebih stabil dalam suspensi dan sulit mengendap (Li et al., 2018; Ma et al., 2019). Kekeruhan juga menunjukkan korelasi positif sedang ($r = 0,50131$) dengan jumlah mikroplastik, yang secara logis dapat dipahami karena kekeruhan mencerminkan jumlah partikel tersuspensi dalam air, termasuk mikroplastik itu sendiri. Semakin tinggi kekeruhan, semakin banyak partikel tersuspensi yang dapat berupa mikroplastik atau partikel lain yang dapat berinteraksi dengan mikroplastik (Pivokonsky et al., 2018).

Parameter Total Suspended Solids (TSS) menunjukkan korelasi positif lemah ($r = 0,34779$) dengan jumlah mikroplastik, mengindikasikan bahwa meskipun ada kecenderungan peningkatan mikroplastik seiring dengan peningkatan TSS, hubungan ini tidak sekuat parameter pH dan kekeruhan. Hal ini dapat terjadi karena TSS mencakup berbagai jenis partikel tersuspensi (organik dan anorganik) yang tidak semuanya berinteraksi langsung dengan mikroplastik (Kooi et al., 2016). Sebaliknya, suhu menunjukkan korelasi negatif yang sangat lemah ($r = -0,10191$),

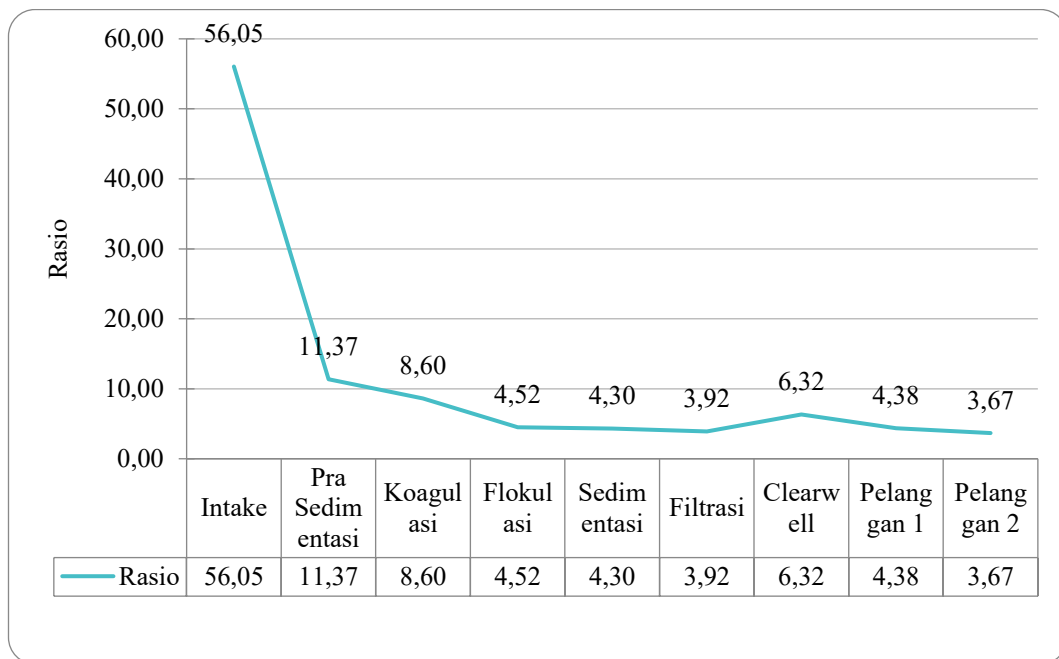
yang dapat dikategorikan sebagai tidak berkorelasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa fluktuasi suhu dalam rentang normal sistem pengolahan air tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi mikroplastik, meskipun secara teoritis suhu dapat mempengaruhi densitas air dan perilaku sedimentasi partikel (Hartmann et al., 2019). Penting untuk dicatat bahwa semua korelasi yang diamati tidak signifikan secara statistik ($p\text{-value} > 0,05$), dengan nilai t -hitung yang lebih kecil dari t -kritis (2,365), sehingga hubungan yang teramati mungkin terjadi secara kebetulan dan memerlukan validasi dengan ukuran sampel yang lebih besar atau kondisi yang lebih terkontrol.

4.2.2 Rasio Mikroplastik terhadap TSS

Rasio antara jumlah mikroplastik (per 100 mL) dengan konsentrasi TSS, dalam mg/L) digunakan untuk menilai proporsi mikroplastik terhadap total padatan tersuspensi dalam air. Nilai rasio ini dapat memberikan indikasi apakah mikroplastik merupakan kontributor signifikan terhadap TSS, atau hanya bagian kecil dari komponen tersuspensi secara keseluruhan.

Tabel 4. 11 Rasio mikroplastik terhadap TSS

Sampel	Mikroplastik (partikel/L)	TSS (mg/L)	Rasio
<i>Intake</i>	9640	172	56,05
Prasedimentasi	1410	124	11,37
Koagulasi	980	114	8,60
Flokulasi	940	208	4,52
Sedimentasi	650	151	4,30
Filtrasi	560	143	3,92
<i>Clearwell</i>	550	87	6,32
Pelanggan 1	490	112	4,38
Pelanggan 2	540	147	3,67



Gambar 4. 15 Rasio mikroplastik terhadap TSS

Pada Gambar 4.15 rasio tertinggi terjadi pada sampel *intake* dengan nilai 56,05 partikel mikroplastik per mg TSS, yang mengindikasikan bahwa mikroplastik merupakan kontributor signifikan terhadap padatan tersuspensi di sumber air baku. Tingginya rasio ini menunjukkan bahwa pencemaran mikroplastik di sumber air relatif dominan dibandingkan dengan partikel tersuspensi lainnya, kemungkinan karena karakteristik mikroplastik yang memiliki densitas rendah sehingga cenderung tetap tersuspensi dalam kolom air (Kooi et al., 2017; Liu et al., 2021). Proses pengolahan air menunjukkan penurunan rasio yang signifikan, dari 56,05 pada *intake* menjadi 11,37 pada prasedimentasi, dan terus menurun hingga 3,67 pada Pelanggan 2. Penurunan rasio ini mengindikasikan bahwa proses pengolahan air lebih efektif dalam menghilangkan mikroplastik dibandingkan dengan partikel tersuspensi lainnya, atau sebaliknya, terjadi peningkatan konsentrasi partikel non-plastik selama proses pengolahan.

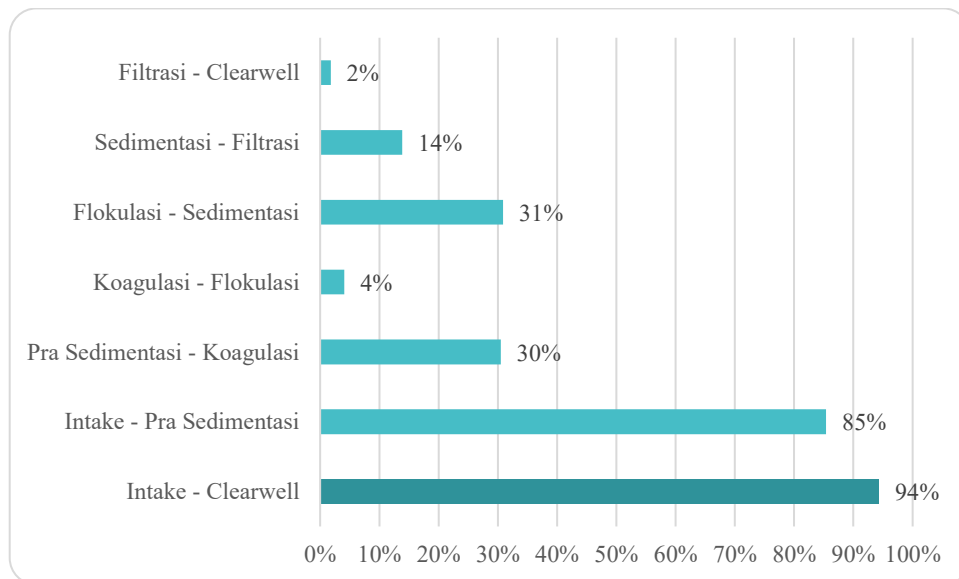
Pola penurunan rasio yang tidak linear sepanjang sistem pengolahan memberikan informasi penting tentang mekanisme removal yang berbeda antara mikroplastik

dan TSS. Pada tahap flokulasi dan sedimentasi, rasio menurun menjadi 4,52 dan 4,30, yang menunjukkan bahwa proses agregasi flok dan sedimentasi gravitasi efektif dalam mengikat dan mengendapkan mikroplastik bersama dengan partikel lainnya (Ma et al., 2019). Namun, terjadi peningkatan rasio pada *clearwell* menjadi 6,32, yang dapat dijelaskan oleh terjadinya re-release mikroplastik dari biofilm atau sedimen yang terakumulasi dalam reservoir, atau masuknya mikroplastik baru dari sistem distribusi (Mintenig et al., 2019). Rasio yang relatif stabil pada titik distribusi (Pelanggan 1: 4,38 dan Pelanggan 2: 3,67) mengindikasikan bahwa kontaminasi silang dalam sistem distribusi minimal, meskipun variasi rasio antar pelanggan dapat disebabkan oleh perbedaan jarak distribusi, umur pipa, atau kondisi lokal sistem perpipaan (Tong et al., 2020). Secara keseluruhan, rasio mikroplastik terhadap TSS yang masih terdeteksi pada air minum (3,67-4,38) menunjukkan perlunya optimalisasi lebih lanjut dalam proses pengolahan air untuk meminimalkan paparan mikroplastik kepada konsumen.

4.2.3 Efisiensi Penyisihan Mikroplastik

Tabel 4. 12 Efisiensi penyisihan mikroplastik

Sampel	Kelimpahan Awal	Kelimpahan Akhir	Efisiensi Removal (%)
<i>Intake</i> - Prasedimentasi	9640	1410	85%
Prasedimentasi - Koagulasi	1410	980	30%
Koagulasi - Flokulasi	980	940	4%
Flokulasi - Sedimentasi	940	650	31%
Sedimentasi - Filtrasi	650	560	14%
Filtrasi - <i>Clearwell</i>	560	550	2%
<i>Intake - Clearwell</i>	9640	550	94%



Gambar 4. 16 Grafik efisiensi removal

Analisis efisiensi penyisihan mikroplastik dalam sistem pengolahan air SPAM Regional Kartamantul menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan efisiensi removal total sebesar 94% dari intake hingga clearwell. Tahap prasedimentasi menunjukkan efisiensi removal tertinggi sebesar 85%, yang mengindikasikan bahwa proses sedimentasi alami dan pengendapan gravitasi sangat efektif dalam menghilangkan sebagian besar mikroplastik dari air baku. Hal ini dapat dijelaskan karena sebagian besar mikroplastik yang masuk ke sistem memiliki ukuran yang relatif besar atau telah teragregasi dengan partikel lain sehingga mudah mengendap secara gravitasi (Ziajahromi et al., 2017). Tahap flokulasi-sedimentasi juga menunjukkan kinerja yang baik dengan efisiensi 31%, dimana proses pembentukan flok memungkinkan mikroplastik yang berukuran kecil untuk teragregasi dan mengendap bersama dengan partikel flok (Ma et al., 2019). Sebaliknya, tahap koagulasi menunjukkan efisiensi sedang (30%), sementara tahap filtrasi hanya mencapai 14%, yang mengindikasikan bahwa mikroplastik yang tersisa setelah proses sedimentasi memiliki karakteristik yang lebih sulit dihilangkan melalui proses konvensional.

Efisiensi *removal* yang rendah pada tahap koagulasi-flokulasi (4%) dan filtrasi-*clearwell* (2%) menunjukkan bahwa mikroplastik yang tersisa pada tahap akhir proses pengolahan memiliki karakteristik fisiko-kimia yang membuatnya sulit dihilangkan dengan teknologi konvensional. Mikroplastik dengan ukuran submikron atau yang memiliki densitas mendekati air cenderung stabil dalam suspensi dan sulit teragregasi dalam proses koagulasi-flokulasi (Pivokonsky et al., 2018). Selain itu, mikroplastik dengan permukaan yang halus atau hidrofobik dapat menghindari penangkapan dalam media filter konvensional (Li et al., 2020). Meskipun demikian, efisiensi total sebesar 94% menunjukkan bahwa sistem pengolahan air konvensional masih cukup efektif dalam mengurangi beban mikroplastik, namun 6% mikroplastik yang lolos ke sistem distribusi tetap menjadi *concern* karena berpotensi terpapar kepada konsumen.

4.2.4 Potensi Paparan Mikroplastik ke Konsumen

Untuk menilai potensi paparan mikroplastik oleh konsumen, dilakukan estimasi jumlah partikel mikroplastik yang dapat tertelan melalui konsumsi air minum. Dengan asumsi konsumsi air sebesar 2 liter per hari, maka estimasi paparan mikroplastik harian adalah:

Tabel 4. 13 Estimasi paparan harian mikroplastik

Sampel	Konsentrasi (partikel/L)	Estimasi Paparan Harian (MPs/Kg bw/day)
Pelanggan 1	490	16,3
Pelanggan 2	540	18

Berdasarkan hasil estimasi, penduduk yang mengonsumsi air dari jaringan SPAM Kartamantul berpotensi terpapar antara 16,3-18 MPs/Kg bw/day hanya dari air minum. Meskipun belum ada nilai ambang batas paparan yang disepakati secara global, nilai ini menunjukkan pentingnya pemantauan mikroplastik dalam air olahan dan perlunya peningkatan kualitas jaringan distribusi untuk mencegah kontaminasi sekunder.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Keberadaan partikel mikroplastik terdeteksi pada seluruh unit pengolahan air minum dengan konsentrasi awal sebesar 964 partikel/100 mL pada *intake* dan menurun bertahap selama proses pengolahan hingga mencapai 55 partikel/100 mL pada *clearwell* dengan efisiensi penyisihan mikroplastik sebesar 94%.
2. Potensi paparan mikroplastik oleh konsumen melalui konsumsi air minum masih ada dengan ditemukannya mikroplastik pada *clearwell* hingga pelanggan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian tersebut disarankan sebagai berikut:

1. Pada pengujian perlu adanya sampel kontrol (*blank control*) untuk memastikan hasil dari partikel mikroplastik yang ditemukan tidak ada kontaminasi dari alat, bahan maupun lingkungan selama proses analisis.
2. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi mikroplastik di sedimen, media pasirnya untuk membuktikan mikroplastiknya benar tersisih.
3. Perlu dilakukan pengujian parameter mikroplastik dalam program pemantauan rutin kualitas air di pengolahan air minum.
4. Dalam mencegah kontaminasi sekunder mikroplastik, perlu dilakukan rehabilitasi dan penggantian pipa distribusi yang sudah tua, karena degradasi material pipa dapat menjadi sumber tambahan mikroplastik.
5. Pemerintah perlu menyusun peraturan yang memasukkan parameter mikroplastik sebagai salah satu parameter kualitas air minum karena hasil penelitian menunjukkan keberadaan mikroplastik yang signifikan dalam air distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aarushi, A., Ruby, R., Dimple, D., Balda, A., & Giri, A. (2025). A review on the presence of microplastics in Asian water and health consequences. In *Discover Environment* (Vol. 3, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00314-7>
- Adams, H., Burlingame, G., Ikehata, K., Furatian, L., & Suffet, I. H. (2022). The effect of pH on taste and odor production and control of drinking water. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(11), 1278–1290. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.133>
- Adewuyi, A., & Li, Q. (2024). Emergence of microplastics in African environmental drinking water sources: A review on sources, analysis and treatment strategies. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 16, 100465. <https://doi.org/10.1016/J.HAZADV.2024.100465>
- Adjovu, G. E., Stephen, H., & Ahmad, S. (2023). Spatial and Temporal Dynamics of Key Water Quality Parameters in a Thermal Stratified Lake Ecosystem: The Case Study of Lake Mead. *Earth (Switzerland)*, 4(3), 461–502. <https://doi.org/10.3390/earth4030025>
- Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques. In *Remote Sensing* (Vol. 15, Issue 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/rs15143534>
- Al-Mansoori, M., Harrad, S., & Abdallah, M. A. E. (2025). Synthetic microplastics in hot and cold beverages from the UK market: Comprehensive assessment of human exposure via total beverage intake. *Science of The Total Environment*, 996, 180188. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2025.180188>
- Alonso-Vázquez, P., Luján-Facundo, M. J., Cuartas-Urbe, B., Bes-Piá, A., Alonso-Molina, J. L., & Mendoza-Roca, J. A. (2023). Advances in analysis of microplastics in drinking water treatment plants. Fluorescence techniques using iDye Pink. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103430. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2023.103430>
- Barcelo, D., & Pico, Y. (2020). Case studies of macro- and microplastics pollution in coastal waters and rivers: Is there a solution with new removal technologies and policy actions? *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100019. <https://doi.org/10.1016/J.CSCEE.2020.100019>
- Cao, N. D. T., Vo, D. H. T., Pham, M. D. T., Nguyen, V. T., Nguyen, T. B., Le, L. T., Mukhtar, H., Nguyen, H. V., Visvanathan, C., & Bui, X. T. (2024). Microplastics contamination in water supply system and treatment processes. *Science of The Total Environment*, 926, 171793. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.171793>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 62, Issue 12, pp. 2588–2597). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cui, Y., Wu, Y., Shi, P., Ni, Y., Zeng, H., Zhang, Z., Zhao, C., Sun, W., & Yi, Q. (2025a). Mitigating microplastic-induced organ Damage: Mechanistic insights from the microplastic-macrophage axes. *Redox Biology*, 84, 103688. <https://doi.org/10.1016/J.REDOX.2025.103688>

- Cui, Y., Wu, Y., Shi, P., Ni, Y., Zeng, H., Zhang, Z., Zhao, C., Sun, W., & Yi, Q. (2025b). Mitigating microplastic-induced organ Damage: Mechanistic insights from the microplastic-macrophage axes. *Redox Biology*, 84, 103688. <https://doi.org/10.1016/J.REDOX.2025.103688>
- D. Advisors, W. de W. N. B. (2019). *No plastic in nature: assessing plastic ingestion from nature to people*. World Wildlife Fund. www.newcastle.edu.au/
- Dalu, T., Xozumti, A. P., Dalu, M. T. B., Munyai, L. F., Nkosi, S. M., Themba, S. T., Mudzielwana, R., & Mpopetsi, P. P. (2025). Microplastics in municipal water: analysing variations in contamination in a Lowveld city, South Africa. *Discover Sustainability*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01690-z>
- Enfrin, M., Dumée, L. F., & Lee, J. (2019). Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – Origin, impact and potential solutions. *Water Research*, 161, 621–638. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2019.06.049>
- Firdausy, A. S., Lestari, P., Si, S., Program, S., Teknik, L., & Program, S. (2025). *Identifikasi Kandungan Mikroplastik Pada Instalasi Pengolahan Air Unit Padasan PDAM Tirtamarta Kota Yogyakarta*.
- Fitzpatrick, C. S. B., Fradin, E., & Gregory, J. (2004). Temperature effects on flocculation, using different coagulants. *Water Science and Technology*, 50(12), 171–175. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0710>
- Fox, S., Stefánsson, H., Peternell, M., Zlotskiy, E., Ásbjörnsson, E. J., Sturkell, E., Wanner, P., & Konrad-Schmolke, M. (2024). Physical characteristics of microplastic particles and potential for global atmospheric transport: A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 342, 122938. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2023.122938>
- Han, Z., Jiang, J., Ni, X., Xia, J., Yan, C., & Cui, C. (2025). Occurrence and risk of microplastics and hexabromocyclododecane in urban drinking water systems: From source water to tap water. *Science of The Total Environment*, 958, 177966. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.177966>
- Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L., & Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science and Technology*, 53(3), 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
- Jeon, C., & Kim, H. (2024). Microplastics and nanoplastics in groundwater: Occurrence, analysis, and identification. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 44, e00246. <https://doi.org/10.1016/J.TEAC.2024.E00246>
- Jia, R., Jia, R., & Wang, W. (2025). Study on the flocculation performance of composite coagulant PAC-CTS on low-temperature and low-turbidity drinking water source. *Desalination and Water Treatment*, 321, 100972. <https://doi.org/10.1016/J.DWT.2024.100972>
- Khan, I., Khan, A., Khan, M. S., Zafar, S., Hameed, A., Badshah, S., Rehman, S. U., Ullah, H., & Yasmeen, G. (2018). Impact of city effluents on water quality of Indus River: assessment of temporal and spatial variations in the southern region of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6621-7>
- Khu, S. T., Li, F., & Zhao, W. (2025). Microplastics in drinking water distribution systems: Occurrence, environmental behavior, and human health concerns.

- Environmental Pollution*, 382, 126666.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2025.126666>
- Kutralam-Muniasamy, G., Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., & Roy, P. D. (2023). Microplastic diagnostics in humans: “The 3Ps” Progress, problems, and prospects. *Science of The Total Environment*, 856, 159164.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.159164>
- Lebreton, L. C. M., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world’s oceans. *Nature Communications*, 8.
<https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lee, Y., Sung, M., Sung, S. E., Choi, J. H., Kang, K. K., Park, J. W., Kim, Y. J., & Lee, S. (2025). The histopathological and functional consequences of microplastic exposure. *Discover Applied Sciences*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06470-y>
- Mangla, S., Pathak, G., & Bhan, V. (2025). Microplastics contamination in soil, water, air, and environmental health risk assessment. *Microplastics: Origins, Risks, and Mitigation*, 3–30. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-29804-2.00001-9>
- Orlando, M., Kasoep, W., & Yolanda, D. (2020). *Sistem Monitoring dan Penjernihan Air Berdasarkan Derajat Keasaman (PH) dan Kekeruhan Pada Bak Penampungan Air Berbasis Internet of Things*.
- Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T., & Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of The Total Environment*, 643, 1644–1651. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.102>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020a). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of The Total Environment*, 702, 134455.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134455>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020b). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of The Total Environment*, 702, 134455.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134455>
- Romphophak, P., Faikhaw, O., Sairiam, S., Thuptimdang, P., & Coufort-Saudejaud, C. (2024). Removal of microplastics and nanoplastics in water treatment processes: A systematic literature review. *Journal of Water Process Engineering*, 64, 105669.
<https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2024.105669>
- Samandra, S., Johnston, J. M., Jaeger, J. E., Symons, B., Xie, S., Currell, M., Ellis, A. V., & Clarke, B. O. (2022). Microplastic contamination of an unconfined groundwater aquifer in Victoria, Australia. *Science of the Total Environment*, 802.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149727>
- Sanchez, C. A. G. (2025). *Plastics and Microplastics in Environment - an Introduction*. Arcler Education Incorporated.
<https://books.google.co.id/books?id=kWMH0QEACAAJ>
- Standard Methods Committee. (2000). *Methods 2540*. https://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Waste_SM2540.pdf
- Szymańska, M., & Obolewski, K. (2020). Microplastics as contaminants in freshwater environments: A multidisciplinary review. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 20(3), 333–345. <https://doi.org/10.1016/J.ECOHYD.2020.05.001>
- Tian, X., Xu, H., & Pei, H. (2025). Distribution and characteristics of microplastics in a dam-regulated lake along the eastern route of China’s South-to-North water

- diversion project. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(6), 119576. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2025.119576>
- Vicario, A. D., Bernawis, L., Mansur, L. K., Badriana, M. R., & Sunuddin, A. (2025). The Accuracy of Turbidity by Midi Secchi Disc and Hydrocolor Application in Cirebon Waters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1472(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1472/1/012018>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134520>
- World Health Organization. (2007). *pH in Drinking-water*.
- World Health Organization's. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality FOURTH EDITION INCORPORATING THE FIRST ADDENDUM*.
- Zhao, W., Li, J., Liu, M., Wang, R., Zhang, B., Meng, X. Z., & Zhang, S. (2024). Seasonal variations of microplastics in surface water and sediment in an inland river drinking water source in southern China. *Science of The Total Environment*, 908, 168241. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.168241>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Sampling



Lampiran 2 Pengujian di Laboratorium



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Kintan Parenza Yasa yang lahir di Payakumbuh, 11 Desember 2001. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Syawal dan Ibu Indrayani. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 04 Payakumbuh, kemudian melanjutkan jenjang menengah di SMPN 1 Payakumbuh dan SMAN 2 Payakumbuh. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah atas, penulis melanjutkan studi di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.