

Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik pada IPAM Karangpilang III Kota Surabaya

Mar'atusholihah¹, Yulinah Trihadiningrum¹, dan Arlini Dyah Radityaningrum²

¹Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

²Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

e-mail: trihadiningrum@gmail.com

Abstrak—PDAM Surya Sembada Surabaya memiliki enam Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM), salah satunya IPAM Karangpilang III. IPAM Karangpilang III menggunakan Kali Surabaya sebagai sumber air baku. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kelimpahan dan karakteristik mikroplastik (MP) pada air baku dan air produksi di IPAM Karangpilang III dan menentukan efisiensi penyisihan mikroplastik pada setiap unit di IPAM Karangpilang III Kota Surabaya. Adapun variabel penelitian yang digunakan adalah unit-unit operasi yang terdapat pada IPAM. Unit-unit di IPAM Karangpilang III terdiri atas *intake*, aerator, prasedimentasi, *flashmix*, *clearator*, filtrasi, dan desinfeksi. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* sebanyak satu kali pada pukul 06.00 – 09.00 WIB, pada tanggal 22 Februari 2020. Prosedur ekstraksi MP pada sampel air dilakukan dengan *Wet Peroxide Oxidation*. Kemudian dilanjutkan dengan penyaringan menggunakan vacuum filter dan membran PTFE (ukuran pori: 0,2 μm). Selanjutnya partikel MP dipisahkan secara manual dari membran filter menggunakan pinset di bawah *dissecting microscope* (*Sunshine SZM45T-B1* dan *Dino Capture 2.0*) dengan pembesaran 40 \times – 60 \times . Kelimpahan MP selama proses pengolahan air minum menurun dari 54,4 partikel/L di air baku menjadi 13 partikel/L di air produksi (efisiensi penyisihan 76,1%). Bentuk MP didominasi oleh serat 94,1% di air baku dan 81,5% di air produksi. MP didominasi oleh partikel berukuran 351 – 1000 μm 42,3% di air baku dan 35,4% di air produksi). Partikel MP didominasi oleh warna hitam (53,7 % di air baku) dan biru (33,8% di air produksi). Kelimpahan MP berbeda pada setiap unit operasi. Tingkat penurunan kelimpahan MP adalah 62,17% di unit aerator, 33,33% di unit prasedimentasi, dan 75,1% di unit desinfeksi.

Kata Kunci—IPAM, Karangpilang, Karakteristik, Kelimpahan, Mikroplastik.

I. PENDAHULUAN

PADA tahun 2019 di titik Karangpilang Kali Surabaya ditemukan MP sebanyak 5,992 partikel/m³ [1]. Partikel MP didominasi bentuk film, sedangkan jenis MP yang ditemukan yaitu Low Density Polyethylene (LDPE), Polyethylene Terephthalate (PET), Polystyrene (PS), dan Polypropylene (PP) [1]. MP jenis LDPE, PE, PS, dan PP berasal dari sampah yang dibuang ke badan air. Polimer plastik dapat mengalami perubahan sifat fisik dan kimia karena pengaruh faktor cahaya, panas, kelembaban, atau aktivitas biologis [2]. Faktor-faktor tersebut dapat merubah sifat polimer dengan pemotongan ikatan pada rantai karbon, atau disebut dengan degradasi polimer [2]. Kegiatan domestik juga dapat menghasilkan MP yang berasal dari pencucian pakaian [3]. Pakaian yang mengandung 640.000 hingga 1.500.000 serat mikro dapat melepaskan serat tersebut sebanyak 124 hingga 308 mg setiap kg pakaian yang dicuci [3].

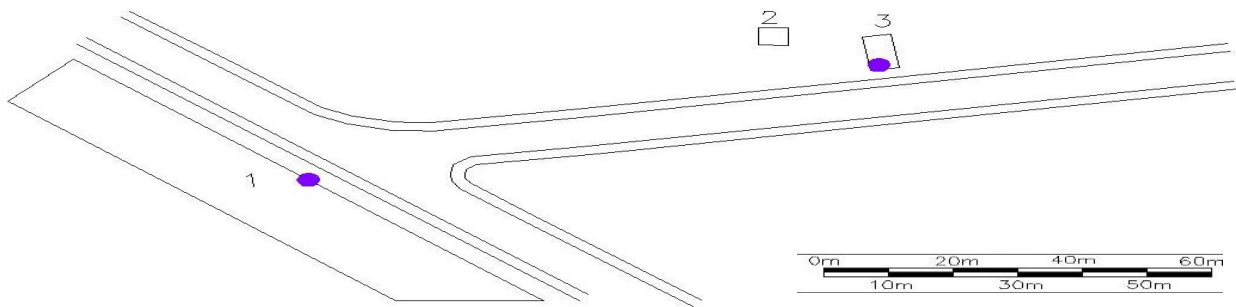
Kali Surabaya merupakan sumber air baku IPAM Karangpilang Surabaya. MP dalam air permukaan di sungai tersebut memiliki ukuran $\geq 300 \mu\text{m}$ [4]. Pada 14 negara (Kuba, Ekuador, Inggris, Prancis, Jerman, India, Indonesia, Irlandia, Itali, Lebanon, Slovakia, Swiss, Uganda, dan Amerika Serikat), dari 81% sampel air keran terdapat anthropogenic debris sebanyak 5,45 partikel/L berupa serat, fragmen, dan film [5]. Dari 539 partikel yang ditemukan, sebesar 98,3% berupa serat dengan panjang $0,1 \pm 5,0 \text{ mm}$ dan rata-rata 0,96 mm [5].

Pada air baku *Advanced Drinking Water Treatment Plant* (ADWTP) di Cina terdapat $6614 \pm 1132 \text{ MP/L}$. Sedangkan pada *treated water* terdapat $930 \pm 71 \text{ MP/L}$, sehingga efisiensi penyisihan mikroplastik yaitu 82,1 – 88,6% [6]. Kelimpahan MP pada air baku IPAM di Jerman mencapai sebanyak 0,7 MP/m³ dengan ukuran 50 hingga 150 μm [7]. IPAM yang terdiri atas unit operasi *flashmix*, *slowmix*, dan *sand filtration* dapat menyisihkan MP sebesar 70% [8]. Jika IPAM ditambahkan unit *Granular Activated Carbon* (GAC) *filtration*, efisiensi penyisihan MP meningkat menjadi 81% [8]. Jika ditambahkan unit *flotation* dan *GAC filtration*, efisiensi penyisihan MP meningkat menjadi 83% [8]. PDAM Kota Surabaya memiliki beberapa IPAM yaitu IPAM Ngagel I, II, dan III dan IPAM Karangpilang I, II, dan III. IPAM Karangpilang III (IPAM KP III) memiliki unit *intake*, aerator, prasedimentasi, *flashmix*, *clearator*, filtrasi, dan desinfeksi. Kelimpahan mikrodebris pada air distribusi Surabaya Timur sebesar 56,61 partikel/L di air tandon dan 30,77 partikel/L di air keran [9]. Namun, belum terdapat penelitian mengenai kelimpahan MP pada IPAM Karangpilang. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan kelimpahan, karakteristik, dan efisiensi penyisihan MP pada setiap unit IPAM KP III.

II. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

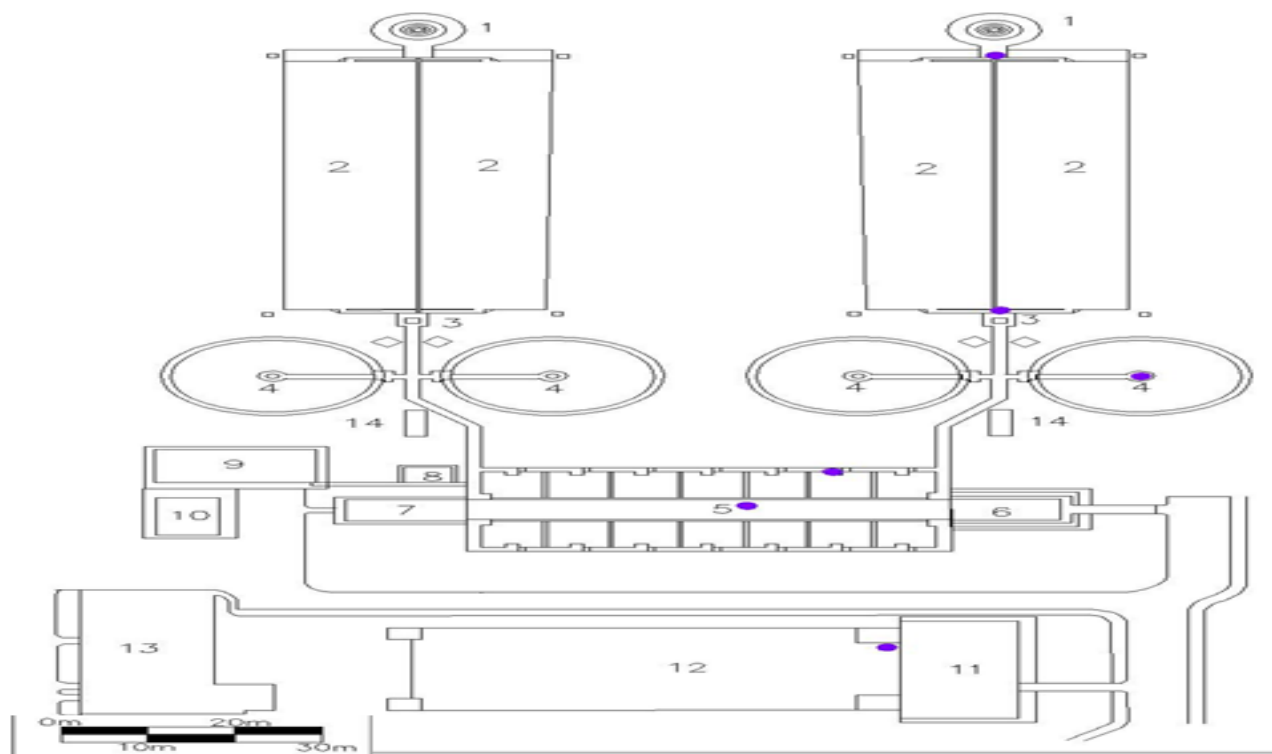
Data primer yang dikumpulkan yaitu kelimpahan MP, karakteristik MP, suhu, pH, dan kekeruhan. Data sekunder yang dikumpulkan yaitu data kekeruhan dan pH air baku dan air produksi. Data primer diperoleh dari sampel air pada 8 titik, yaitu: unit *intake*, sumur pengumpul (Gambar 1a), saluran pembawa pada *outlet* aerator, *outlet* prasedimentasi, *outlet flashmix*, *outlet clearator*, *outlet* filtrasi, dan *reservoir* (Gambar 1b). Sampling air dilakukan menggunakan botol kaca bervolume 2,5 L sebanyak 2 buah sehingga jumlah total sampel air 5 L. Sampel air disimpan pada *cooling box* dengan suhu 4°C. Lokasi titik sampling air dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan:

- 1. Intake
- 2. Pos Satpam
- 3. Sumur Pengumpul

(a)



Keterangan:

- | | | |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. Aerator | 6. Ruang Kompresor dan blower | 11. Pompa forwarding |
| 2. Bak Prasedimentasi | 7. Ruang pompa backwash | 12. Reservoir |
| 3. Bak Flashmix | 8. Dapur | 13. Kantor |
| 4. Clearator | 9. Ruang alum | 14. Sludge pump |
| 5. Filter | 10. Ruang Chlorine | |

(b)

Gambar 1. Lokasi titik sampling air. (a) intake dan sumur pengumpul, dan (b) outlet aerator, prasedimentasi, flashmix, clearator, filtrasi, dan desinfeksi.

B. Analisis Sampel

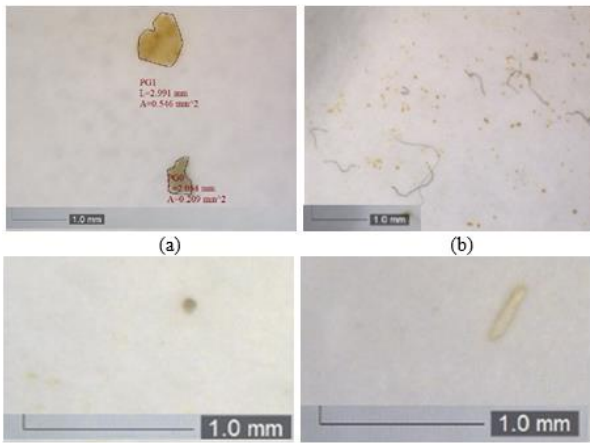
Analisis sampel terdiri atas ekstraksi MP, perhitungan kelimpahan MP, bentuk, warna, dan ukuran dari MP yang ada. Ekstraksi MP pada air menggunakan *Wet Peroxide Oxidation* (WPO) dengan menambahkan larutan Fe (II) 0,05 M. Kemudian menambahkan hidrogen peroksida (H₂O₂) 30% sebanyak 10 mL dan memanaskan dengan *hot magnetic stirrer* hingga 75°C selama 30 menit [10]. Hal itu bertujuan untuk menghilangkan zat organik dari sampel air. Selanjutnya sampel air tersebut disaring menggunakan *vacum filter* yang dilengkapi oleh membran *polytetraflouroethylene* (PTFE) ukuran pori 0,2 µm dan diameter 47 mm. Sebelum

membran PTFE digunakan ditambahkan beberapa tetes etanol menggunakan pipet tetes. Partikel tersebut kemudian diamati dengan menggunakan mikroskop (*Sunshine SZM45T-B1 dan Dino Capture 2.0*) dengan pembesaran 40× – 60×. Hal ini bertujuan untuk memisahkan MP berdasarkan warna (enam warna dasar), bentuk, dan ukurannya.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Kelimpahan dan Karakteristik MP

Pada IPAM KP III ditemukan MP sebesar 54,4 partikel/L di air baku dan 13 partikel/L di air produksi. MP di air baku (Kali Surabaya) berasal dari kegiatan domestik dan industri



Gambar 2. Bentuk MP. (a) *fragment*, (b) *serat*, (c) *pellet*, dan (d) *film*.

Tabel 1. Kelimpahan MP berdasarkan bentuk di IPAM KP III.

Bentuk	Air Baku		Air Produksi	
	(partikel/L)	%	(partikel/L)	%
Serat	51,6	94,1	10,6	81,5
Film	0	0	0,2	1,5
Fragment	3	5,5	2	15,4
Pellet	0,2	0,4	0,2	1,5

Tabel 2. Kelimpahan MP berdasarkan ukuran di IPAM KP III.

Ukuran	Air Baku		Air Produksi	
	(partikel/L)	%	(partikel/L)	%
1 µm – 100 µm	3	5,5	1,4	10,8
101 µm – 350 µm	9,8	18	3	23,1
351 µm – 1 mm	23	42,3	4,6	35,4
1 mm – 5 mm	18,6	34,2	4	30,8

yang disebabkan oleh terbatasnya tingkat pelayanan dan fasilitas pengelolaan sampah terbatas, serta partisipasi masyarakat rendah [11].

Berdasarkan karakteristik bentuk, MP yang ditemukan di air baku dan air produksi, yaitu MP berbentuk serat, film, fragmen, dan pelet (Gambar 2). Adapun kelimpahan MP berdasarkan bentuk terdapat pada Tabel 1.

Berdasarkan karakteristk ukuran, pengelompokan MP mengacu pada Frias dan Nash (2018) dan Lestari *et al.* (2020), dimana dibagi menjadi 4 kelas, yaitu: 1 µm – 100 µm, 101 µm – 350 µm, 351 µm – 1 mm, dan 1 mm – 5 mm. Kelimpahan MP berdasarkan ukuran terdapat pada Tabel 2. Selain karakteristik bentuk dan ukuran, juga dilakukan karakterisasi berdasarkan bentuk dan warna, sehingga dapat diketahui kemungkinan jenis MP yang terdapat pada IPAM KP III. Adapun kelimpahan MP berdasarkan bentuk dan warna terdapat pada Tabel 3.

Berdasarkan data pada Tabel 3 terdapat bentuk dan warna MP yang muncul pada air produksi yaitu serat *transparent*, fragmen merah, fragmen kuning, pellet biru, dan film kuning. Hal ini dikarenakan pengambilan sampel air tidak sesuai dengan waktu tinggal air di IPAM KP III. Adapun karakteristik bentuk dan warna MP berfungsi untuk mengetahui kemungkinan jenis MP di IPAM KP III dengan membandingkan data pada Tabel 4. Data jenis MP pada Tabel 4 diperoleh dari pembacaan MP menggunakan *Spectrofotometri Fourier-Transform Infrared* (FTIR).

Tabel 3. Kelimpahan MP berdasarkan bentuk dan warna

Bentuk	Warna	Air Baku (partikel/L)	Air Produksi (partikel/L)
Serat	Hijau	1,6	0,2
	Hitam/ abu-abu	29	3,4
	Biru	13,8	4,2
	Merah	4,8	2
	Kuning/ coklat	2	0,6
	<i>Transparent</i>	-	0,2
Fragmen	Hijau	0,2	-
	Hitam/ abu-abu	0,2	0,2
	Biru	0,2	-
	Merah	-	0,8
	Kuning	-	0,8
	<i>Transparent</i>	2,4	0,2
Pelet	Hijau	0,2	-
	Biru	-	0,2
Film	Kuning	-	0,2

Tabel 4. Tingkat kecenderungan jenis MP berdasarkan bentuk dan warna MP.

No	Bentuk dan warna	Jenis MP	Tingkat Kecenderungan (%)
1.	Serat hitam	<i>Polyester</i> (PES)	54,63
		<i>Polyethylene</i>	51,2
		<i>Terephthalate</i> (PET)	54,83
2.	Serat merah	<i>Polyester</i> (PES)	54,83
		<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	82,44
3.	Serat biru	<i>Polyethylene</i> (LDPE)	82,44
		<i>Polypropylene</i> (PP)	87,85
4.	Serat <i>trasparant</i>	<i>Polypropylene</i> (PP)	87,85
		<i>Polyethylene</i> (LDPE)	77,37
5.	Film kuning	<i>Polystyrene</i> (PS)	43,8
		<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	77,37
6.	Film biru	<i>Polyethylene</i> (LDPE)	77,37
		<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	84,42
7.	Film hitam	<i>Polyethylene</i> (LDPE)	84,42
		<i>Polyethylene</i> (PE)	48,12
8.	Film merah	<i>Polyethylene</i> (PE)	48,12
		<i>Polypropylene</i> (PP)	83,05
9.	Film <i>transparent</i>	<i>Polypropylene</i> (PP)	83,05
		<i>Polypropylene</i> (PP)	77,98
10.	Fragment hitam	<i>Polypropylene</i> (PP)	77,98
		<i>Polypropylene</i> (PP)	89,66
11.	Fragment merah	<i>Polypropylene</i> (PP)	89,66
		<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	81,78
12.	Fragment biru	<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	81,78
		<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	87
13.	Fragment <i>transparent</i>	<i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE)	87
		<i>Polyethylene</i> (LDPE)	87

Berdasarkan perbandingan data pada Tabel 2 dan 3 dapat diketahui kemungkinan jenis MP yang terdapat di IPAM KP III yaitu PES, PET, LDPE, PP, dan PS. Jenis plastik PS berasal dari pelampung yang digunakan untuk menangkap ikan, sedangkan plastik PP dan PET berasal dari jaring dan tali untuk menangkap ikan [12]. Selain itu, plastik jenis PP dan PS biasanya digunakan sebagai pengemas makanan serta minuman [13], sedangkan serat PES berasal dari serat pakaian yang terlepas karena proses pencucian [3].

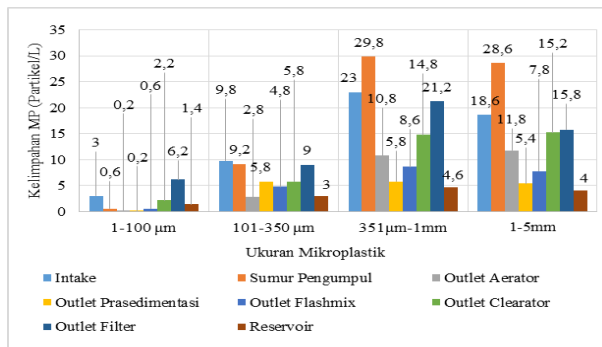
B. Efisiensi Penyisihan MP di Setiap Unit IPAM KP III

Unit operasi IPAM KP III terdiri atas unit *intake*, sumur pengumpul, aerator, prasedimentasi, *flashmix*, *clearator*, filtrasi, dan desinfeksi. Masing-masing unit operasi memiliki kriteria desain yang berbeda, sehingga menyebabkan perbedaan efisiensi penyisihan MP maupun parameter lainnya. Kelimpahan MP pada unit operasi IPAM KP III terdapat pada Tabel 5.

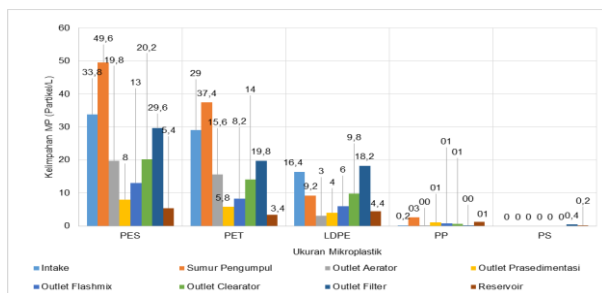
Berdasarkan data pada Tabel 5 kelimpahan MP mengalami fluktuasi setiap pergantian unit operasi IPAM. Hal ini dikarenakan setiap unit memiliki kekeruhan, debit, dan kriteria desain yang berbeda. Kelimpahan MP dapat terbaca

Tabel 5. Kelimpahan MP dan kekeruhan setiap unit di IPAM KP III.

Unit Operasi	Kelimpahan MP IPAM KP III (Partikel/L)	Kekeruhan (NTU)
Unit Intake	54,4	177
Unit Sumur	68,2	170
Pengumpul	25,8	95,7
Outlet Aerator	17,2	144
Outlet Prasedimentasi	21,8	78,3
Outlet Clearator	38	0,87
Outlet Filtrasi	52,2	0,44
Unit Reservoir	13	0,51



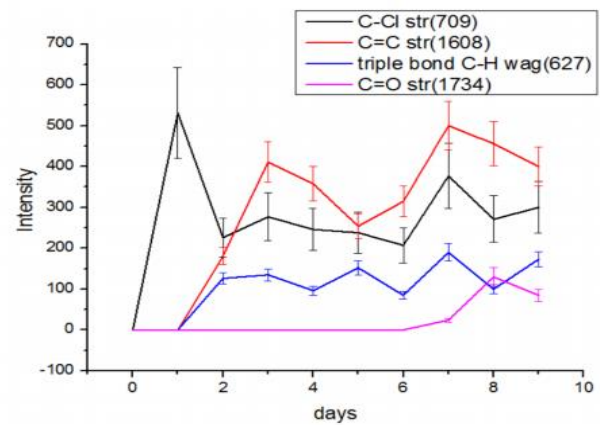
Gambar 3. Kelimpahan MP berdasarkan ukuran setiap unit operasi di IPAM KP III.



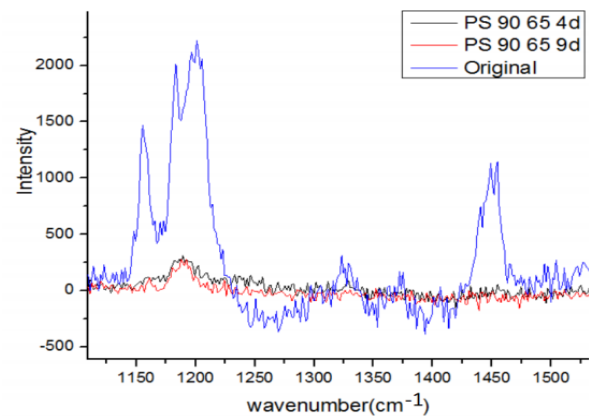
Gambar 4. Kelimpahan MP berdasarkan jenis setiap unit operasi di IPAM KP III.

sebagai kekeruhan (NTU) dan absorbansi pada air [14]. Namun berdasarkan data pada Tabel 5, kelimpahan MP yang cenderung sama memiliki nilai kekeruhan yang berbeda. Hal ini dikarenakan selain MP, kekeruhan juga dipengaruhi oleh alga, sedimen, partikel diskrit, serta partikel koloid lainnya [15]. Jika ditinjau berdasarkan ukuran, MP juga mengalami fluktuasi (Gambar 3), sedangkan jika ditinjau berdasarkan karakteristik bentuk dan warna terdapat pada Tabel 6.

Pada Gambar 3 menunjukkan kelimpahan MP berukuran 1 – 100 µm mengalami peningkatan sejak melewati unit *flashmix*. Kelimpahan MP berukuran 101 – 350 µm meningkat setelah unit prasedimentasi, kemudian menurun setelah melewati unit *flashmix*, dan meningkat kembali setelah unit *clearator* hingga filtrasi. Sedangkan kelimpahan MP berukuran 351 µm – 1 mm, dan 1 – 5 mm meningkat di sumur pengumpul, kemudian penurunan hingga melewati prasedimentasi dan meningkat kembali setelah melewati unit *flashmix* hingga filtrasi. Fluktuasi kelimpahan MP disebabkan oleh proses degradasi secara fisik maupun kimia. Selain itu, peningkatan kelimpahan MP juga dapat disebabkan oleh akumulasi MP yang mengendap pada unit operasi. Hal ini dikarenakan pengambilan sampel tidak sesuai dengan waktu tinggal air di setiap unit. Apabila data pada Tabel 6 dibandingkan dengan Tabel 4 maka dapat dibuat persebaran jenis MP di setiap unit IPAM KP III pada Gambar 4. Dimana



Gambar 5. Plot intensitas puncak baru PP pada konsentrasi klorin 90 mg / L.



Gambar 6. Spektrum Raman PS yang diinkubasi dalam larutan klorin 90 mg / L menunjukkan penurunan intensitas puncak.

jenis MP yang terdapat pada IPAM KP III juga mengalami fluktuasi.

Berdasarkan data pada Gambar 4 jenis MP yang terdapat di IPAM KP III yaitu PES, PET, LDPE, PP, dan PS. Jenis plastik didominasi oleh PET dan PES. Jenis MP tersebut perlu dikonfirmasi dengan menggunakan analisis FTIR. Hal tersebut karena bentuk dan warna MP yang sama dapat memiliki jenis MP yang berbeda dan sebaliknya. Selain itu, terdapat bentuk dan warna MP yang tidak ada pada kajian pustaka sehingga terdapat bentuk dan warna MP yang tidak diketahui jenisnya. Adapun proses yang terjadi pada masing-masing unit operasi adalah sebagai berikut

1) *Kelimpahan MP di Unit Aerator*

Unit aerator pada IPAM KP III merupakan aerasi jenis *cascade* aerator. Berdasarkan data pada Tabel 5 dapat dihitung efisiensi penyisihan MP pada unit aerator, yaitu:

$$Efisien = \frac{(MP_{masuk\ unit} - MP_{keluar\ unit})}{MP_{masuk\ unit}} \times 100\%$$

$$Efisien = \frac{(68,2 - 25,8)}{68,2} \times 100\%$$

$$= 62,17\%$$

Unit aerator memiliki debit dan kecepatan yang paling besar karena air dialirkan menggunakan pompa dan terjadi kontak dengan *cascade* aerator. Hal itulah yang menyebabkan MP mengalami degradasi secara fisik, dimana terjadi gesekan MP dengan air serta permukaan pada unit

Tabel 6.
Kelimpahan MP berdasarkan bentuk dan warna setiap unit operasi di IPAM KP III.

Bentuk	Warna	Intake	Sumur pengumpul	Outlet aerator	Outlet prasedimentasi	Outlet flashmix	Outlet clearator	Outlet filter	Reservoir
Serat	Hijau	1,6	1,2	2,2	0,6	0,4	4,2	1,6	0,2
	Hitam	29	37,4	15,6	5,8	8,2	14	19,8	3,4
	Biru	13,8	6,8	2	2,2	3	9,2	17,2	4,2
	Merah	4,8	12,2	4,2	2,2	4,8	6,2	9,8	2
	Kuning	2	5,6	0,6	1,8	1,2	2,6	1,2	0,6
	Transparant	-	1,2	0,2	0,6	0,2	-	-	0,2
Fragmen	Hijau	0,2	-	-	-	0,2	0,2	0,2	-
	Hitam	0,2	1,2	-	0,4	0,4	0,4	-	0,2
	Biru	0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	-	1	-
	Merah	-	0,2	-	-	-	-	0,2	0,8
	Kuning	-	-	-	1,8	-	0,2	0,8	0,8
	Transparant	2,4	2,2	0,8	1,2	2,6	0,6	-	0,2
Pelet	Hijau	0,2	-	-	-	-	0,2	-	-
	Hitam	-	-	-	-	0,2	-	-	-
Film	Biru	-	-	-	-	-	-	-	0,2
	Kuning	-	-	-	-	-	-	0,4	0,2

cascade aerator.

2) Kelimpahan MP di Unit Prasedimentasi

Bak prasedimentasi merupakan salah satu unit pretreatment. Dimana unit prasedimentasi berfungsi untuk mengendapkan partikel diskrit pada air baku seperti kerikil, pasir, dan partikel yang cukup kasar tanpa penambahan bahan kimia [9]. Berdasarkan data pada Tabel 5 dapat dihitung efisiensi penyisihan MP pada unit prasedimentasi, yaitu:

$$Efisien = \frac{(MP_{masuk\ unit} - MP_{keluar\ unit})}{MP_{masuk\ unit}} \times 100\%$$

$$Efisien = \frac{(25,8 - 17,2)}{25,8} \times 100\%$$

$$= 33,33\%$$

Pada IPAL di Cina, unit Preliminary treatment memiliki efisiensi penyisihan MP sebesar 35% – 59%, sedangkan primary treatment memiliki efisiensi penyisihan 50% – 98% [16]. Sedangkan primary treatment pada IPAL di Korea memiliki efisiensi penyisihan MP sebesar 56,8% – 64,4% [17]. Hal ini menunjukkan bahwa unit prasedimentasi IPAM KP III memiliki efisiensi penyisihan MP seperti di Cina.

3) Kelimpahan MP di Unit Flashmix, Slowmix, dan Sedimentasi (Clearator)

Proses flashmix, slowmix, dan sedimentasi merupakan kesatuan proses yang tidak dapat dipisahkan. Rangkaian tersebut adalah salah satu proses pengolahan kedua (secondary treatment). IPAM KP III menggunakan aluminium sulfat (Al₂SO₄) atau tawas sebagai koagulan serta menggunakan pengadukan cepat jenis hidrolis. Kelimpahan MP pada unit flashmix dan clearator mengalami peningkatan dari 17,2 partikel/L menjadi 21,8 partikel/L dan 38 partikel/L (Tabel 5).

Peningkatan MP pada unit flashmix disebabkan oleh gesekan antara partikel koagulan, pasir, dan lainnya. Gesekan MP terhadap pasir terjadi dari unit prasedimentasi, dimana gesekan tersebut menyebabkan fragmentasi pada permukaan MP [18]. Oleh karena itu, jika terjadi gesekan kembali dengan partikel lain maka MP akan mudah terfragmentasi sehingga

jumlah MP mengalami peningkatan. Selain itu, aliran turbulen pada unit flashmix juga dapat meningkatkan gesekan antar partikel sehingga potensi fragmentasi MP semakin tinggi. Pada unit clearator terdapat tube settler yang terbuat dari PVC. Dimana PVC dapat mengalami fragmentasi, sehingga terjadi peningkatan MP unit clearator. Peningkatan MP di unit clearator diduga disebabkan oleh proses akumulasi MP di endapan yang tertahan pada tube settler dan mengalami penggerusan.

Penambahan koagulan yang disertai pengadukan cepat dan lambat (flashmix dan slowmix) dapat membentuk gumpalan (flok) pada serat PES dan PE di permukaan air [16]. Gumpalan tersebut kemudian akan mengendap dalam waktu 1 – 2 jam [14]. Hal ini dikarenakan penambahan koagulan (tawas) pada dosis yang tepat dapat menurunkan nilai zeta potensial dan meningkatkan pH sehingga dapat terjadi proses koagulasi [14]. Penambahan koagulan AlCl₃ pada partikel PE yang berukuran kecil (kurang dari 5 mm) lebih mudah terbentuk flok dan mengendap [19]. Pada Gambar 4 kelimpahan PP mengalami penurunan sebesar 20% di unit flashmix dan 25% di unit clearator. Sedangkan kelimpahan LDPE, PET, dan PES mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan selisih waktu pengambilan sampel di outlet flashmix dan outlet clearator hanya sekitar 15 menit, sedangkan waktu pengendapan memerlukan waktu 1 – 2 jam. Hal tersebut menunjukkan plastik LDPE, PET, dan PES masih mengalami proses koagulasi-flokulasi sehingga terjadi akumulasi MP pada unit flashmix dan clearator.

4) Kelimpahan MP di Unit Filtrasi

Unit filtrasi IPAM KP III menggunakan dua media, yaitu pasir silika dan antrasit. Kelimpahan MP pada inlet filtrasi (outlet clearator) lebih kecil daripada outlet filtrasi (Tabel 5). Berdasarkan data pada Gambar 3, MP di inlet filtrasi didominasi oleh MP dengan ukuran 1 mm – 5 mm (40%), sedangkan di outlet filtrasi ukuran MP yaitu 351 µm – 1 mm (40,2%). Hal ini menunjukkan bahwa MP mengalami fragmentasi yang cukup besar dikarenakan terjadi gesekan dengan media filter berupa pasir silika dan antrasit. Selain itu, akumulasi fragmentasi dari unit-unit sebelumnya (prasedimentasi, flashmix, dan clearator) menyebabkan MP lebih mudah terfragmentasi menjadi ukuran yang lebih kecil.

Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3 dimana MP dari berbagai rentang ukuran mengalami peningkatan. Berdasarkan data pada Gambar 3 dapat dihitung persentase peningkatan ukuran MP sehingga dapat diketahui nilai persentase peningkatan dari yang tertinggi yaitu 1 μm – 100 μm (65%), 101 μm – 350 μm (36%), 351 μm – 1 mm (29%), dan 1 mm – 5 mm (4%). Bertambahnya MP berukuran 1 – 5 mm diduga akibat akumulasi partikel mesoplastik yang tertahan di media filter dalam rentang waktu yang lama, sehingga mengalami fragmentasi menjadi MP dan dapat melewati media filter. Sedangkan MP berukuran 1 μm – 1 mm berasal dari fragmentasi MP yang berukuran lebih besar.

Berdasarkan data pada Gambar 4 maka dapat diketahui jenis MP pada *inlet* filtrasi, yaitu: PET, PES, LDPE, dan PP. Sedangkan pada *outlet* filtrasi, yaitu: PET, PES, LDPE, PP, dan PS. Partikel MP di unit filtrasi mengalami penurunan hanya MP jenis PP, sedangkan LDPE, PET, PES, dan PS mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa MP jenis PP dapat tertahan di unit filtrasi. Sedangkan MP jenis LDPE, PET, PES, dan PS mengalami peningkatan dikarenakan selisih pengambil sampel di *inlet* dan *outlet* hanya sekitar 15 menit, sehingga kemungkinan sampel air di *inlet* dan *outlet* filtrasi berbeda.

5) Kelimpahan MP di Unit Desinfeksi

Unit desinfeksi IPAM KP III menggunakan desinfektan berupa gas Cl_2 . Berdasarkan data pada Tabel 5 dapat dihitung efisiensi penyisihan pada unit desinfeksi sebagai berikut:

$$Efisien = \frac{(MP_{masuk\ unit} - MP_{keluar\ unit})}{MP_{masuk\ unit}} \times 100 \%$$

$$Efisien = \frac{(52,2 - 13)}{52,2} \times 100 \%$$

$$= 75,1$$

Penambahan desinfektan dapat membunuh mikroorganisme dalam air IPAM [20]. Mikroorganisme dapat memproduksi enzim cutinase yang dapat memecah ikatan polimer pada plastik sehingga terjadi degradasi pada plastik (biofragmentasi) [21]-[22]. Hal ini menunjukkan bahwa pada penambahan desinfektan menyebabkan terhentinya proses biofragmentasi. Selain itu, aliran air pada unit reservoir laminar menyebabkan MP mudah mengendap sehingga efisiensi penyisihan MP pada unit desinfeksi cukup tinggi yaitu sebesar 75,1%. Penambahan gas klorin tidak secara langsung berdampak dalam degradasi MP [23]. Namun reaksi gas klorin dalam air menghasilkan asam hipoklorit dan anion klorida yang dapat mendegradasi MP [23]. Adapun reaksi gas klorin dalam air adalah sebagai berikut:



Berdasarkan data pada Gambar 4, jenis MP yang terdapat pada *inlet* desinfeksi (*outlet* filtrasi) dan unit reservoir sama, yaitu: PES, PET, PS, LDPE, dan PP. MP jenis PS, LDPE, PET, dan PES mengalami penurunan, sedangkan MP jenis PP mengalami kenaikan. Penambahan gas klorin pada plastik PP dapat merusak rantai ikatan kimia sehingga membentuk ikatan C = O dan C – Cl (Gambar 5) [23]. Selain itu, pemaparan gas klorin dengan intensitas tinggi juga dapat

mendegradasi PS yang terlihat pada pergeseran/ pemerataan puncak seperti pada Gambar 6.

IV. KESIMPULAN

Kelimpahan MP pada IPAM KP III adalah 54,4 partikel/L di air baku dan 13 partikel/L di air produksi. Bentuk MP yang terdapat pada unit-unit operasi IPAM yaitu serat, film, fragmen, dan pelet yang didominasi oleh serat (94,1% di air baku dan 81,5% di air produksi). Sedangkan ukuran MP didominasi pada rentang 351 – 1000 μm . Warna MP didominasi oleh hitam pada air baku dan biru pada air produksi. Jenis-jenis MP yang terdapat di IPAM KP III, yaitu: PES, PET, PS, LDPE, dan PP.

Efisiensi penyisihan MP pada IPAM KP III secara keseluruhan yaitu 76,1%. Kelimpahan MP pada setiap unit berbeda-beda. Penurunan terjadi pada unit aerator, unit prasedimentasi, dan unit desinfeksi. Efisiensi penyisihan pada masing-masing unit tersebut yaitu 62,17%, 33,33%; dan 75,1%. Sedangkan kelimpahan MP pada unit *flashmix*, *clearator*, dan filtrasi mengalami peningkatan. Meningkatnya kelimpahan MP dimungkinkan oleh pengambilan sampel air yang tidak sesuai dengan waktu tinggal di masing-masing unit. Hal itu memungkinkan perbedaan antara sampel air yang masuk dan keluar dalam unit tersebut. Oleh sebab itu dalam penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengambilan sampel secara lebih representatif dan melakukan analisis jenis polimer dengan menggunakan FTIR

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada ITS yang telah membiayai penelitian melalui Hibah Penelitian Pascasarjana ITS 2020. Selain itu penulis juga mengucapkan terimakasih kepada PDAM Surya Sembada yang telah membantu dalam penyediaan data dan pengambilan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Wijaya, "Distribusi meso- dan mikroplastik di kali surabaya pada segmen drierorejo hingga karangpilang," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2019.
- [2] A. A. Shah, F. Hasan, A. Hameed, and S. Ahmed, "Biological degradation of plastics : a comprehensive review," *Biotechnol. Adv.*, vol. 26, pp. 246–265, 2008, doi: 10.1016/j.biotechadv.2007.12.005.
- [3] F. De Falco, E. Di Pace, M. Cocca, and M. Avella, "The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution," *Sci. Rep.*, no. January, pp. 1–11, 2019.
- [4] J. P. G. L. Frias and R. Nash, "Microplastics : Finding a consensus on the definition," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 138, no. September 2018, pp. 145–147, 2019.
- [5] M. Kosuth, S. A. Mason, and E. V. Wattenberg, "Anthropogenic contamination of tap water , beer , and sea salt," *PLoS One*, pp. 1–18, 2018, doi: 10.7910/DVN/IFCKDL.Funding.
- [6] Z. Wang, T. Lin, and W. Chen, "Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water (adwpt)," *Sci. Total Environ.*, vol. 700, pp. 1–9, 2020.
- [7] S. M. Mintenig, M. G. J. Löder, S. Primpke, and G. Gerdts, "Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources," *Sci. Total Environ.*, vol. 648, pp. 631–635, 2019.
- [8] M. Pivokonsky, L. Cermakova, K. Novotna, P. Peer, T. Cajthaml, and V. Janda, "Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water," *Sci. Total Environ.*, vol. 643, pp. 1644–1651, 2018.
- [9] P. T. Ariskha, "Studi kandungan micro debris pada sistem distribusi air minum di surabaya timur," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2019.
- [10] J. Masura, J. Baker, G. Foster, and C. Arthur, "Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment : recommendations for quantifying synthetic particles in waters and

- sediments," *NOAA Tech. Memo. NOS-OR&R-48*, no. July, 2015.
- [11] P. Lestari, Y. Trihadiningrum, B. A. Wijaya, K. A. Yunus, and M. Firdaus, "Distribution of microplastics in surabaya river, indonesia," *Sci. Total Environ.*, vol. 726, p. 138560, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138560.
- [12] A. L. Lusher, P. C. H. Hollman, and J. J. Mendoza-Hill, *Microplastics in fisheries and aquaculture*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.
- [13] W. P. De Haan, A. Sanchez-vidal, M. Canals, and N. Shipboard, "Floating microplastics and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 140, no. February, pp. 523–535, 2019.
- [14] D. W. Skaf, V. L. Punzi, J. T. Rolle, and K. A. Kleinberg, "Removal of micron-sized microplastic particles from simulated drinking water via alum coagulation," *Chem. Eng. J.*, vol. 386, no. December 2019, 2020.
- [15] G. S. Bilotta and R. E. Brazier, "Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota," *Water Res.*, vol. 42, pp. 2849–2861, 2008, doi: 10.1016/j.watres.2008.03.018.
- [16] J. Sun, X. Dai, Q. Wang, M. C. M. Van Loosdrecht, and B. Ni, "Microplastics in wastewater treatment plants : detection , occurrence and removal," *Water Res.*, vol. 152, pp. 21–37, 2019.
- [17] H. Hidayaturrehman and T. Lee, "A Study on Characteristics of microplastic in wastewater of south korea : identification , quantification , and fate of microplastics during treatment process," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 146, no. May, pp. 696–702, 2019.
- [18] A. L. Andrady, "Microplastics in the marine environment," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 62, no. 8, pp. 1596–1605, 2011, doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
- [19] B. Ma, W. Xue, C. Hu, H. Liu, J. Qu, and L. Li, "Characteristics of microplastic removal via coagulation and ultra filtration during drinking water treatment," *Chem. Eng. J.*, vol. 359, no. September 2018, pp. 159–167, 2019.
- [20] F. Schute, *Handbook for the Operation of Water Treatment Works.*, vol. 3. South Africa: Department of Chemical Engineering University, University of Pretoria, 2006.
- [21] V. Ferrario, Alessandro Pellis, M. Cespuigli, and G. M. Guebitz, "Nature inspired solutions for polymers : will cutinase enzymes make polyesters and polyamides greener?," *Catalyst*, vol. 205, pp. 1–15, 2016, doi: 10.3390/catal6120205.
- [22] Z. Montazer, M. B. Habibi, N. Mohabbat, and M. Abdulrasool, "Microbial degradation of uv-pretreated low-density polyethylene films by novel polyethylene-degrading bacteria isolated from plastic-dump soil," *J. Polym. Environ.*, vol. 26, pp. 3613–3625, 2018.
- [23] V. Kelkar, "Analysis of chlorination and uv effects on microplastics using raman spectroscopy," Arizona State University, 2017