

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

#### **5.1. Proses Produksi Air Minum Isi Ulang (AMIU) di Kecamatan Pedurungan**

Proses produksi DAMIU diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 2014 Tentang Higiene Sanitasi Depot Air Minum. Air baku yang digunakan harus berasal dari sumber yang dapat terjamin kualitasnya, dimana seluruh depot sudah memenuhi syarat ini dengan mengambil air baku dari air Gunung Ungaran. Persyaratan bak penampung sendiri harus dibuat dari bahan *food grade*, harus dibersihkan baik bagian dalam maupun luar minimal 3 bulan sekali. Namun, berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan dengan praktisi, bak penampung dibersihkan minimal 6 bulan hingga 1 tahun sekali yang mana masih belum memenuhi standar.

Dalam proses *water treatment* terdapat pre-filter berupa saringan menggunakan pasir bertujuan untuk menyaring partikel yang berukuran besar, dilanjutkan dengan filter yang memiliki saringan halus dengan syarat ukuran maksimal 10  $\mu\text{m}$  dengan ukuran dari besar ke kecil. Ketiga depot telah memenuhi syarat penggunaan filter dengan ukuran partikel <10  $\mu\text{m}$ .

Proses selanjutnya adalah desinfeksi yang bertujuan membunuh bakteri serta patogen, dengan ozon ataupun sinar Ultra Violet (UV) sebagai alternatif dengan panjang gelombang 254 nm. Seluruh depot yang diamati sudah menggunakan UV dalam proses produksi dan para pekerja sudah mengetahui fungsi dari sinar UV itu sendiri. Namun, beberapa pekerja hanya menggunakan sinar UV ketika proses pengisian dan tidak mengetahui standar intensitas minimum yang diperlukan dalam proses desinfeksi.

Proses pencucian galon yang baik dianjurkan untuk membersihkan galon dengan pemutaran sekaligus penyemprotan air produk selama 15 detik serta menggunakan deterjen *food grade*. Ketiga depot tidak menggunakan air produk dalam membersihkan galon, air yang digunakan merupakan air keran biasa namun

disemprotkan dalam tekanan yang cukup tinggi. Setiap depot membilas wadah/galon dengan air produk guna membersihkan sisa deterjen.

Seluruh depot melakukan proses pengecekan kebocoran kemasan galon sebelum memulai proses produksi. Semua depot tidak pernah melakukan evaluasi umur galon yang digunakan. Padahal berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 2014 Tentang Higiene Sanitasi Depot Air Minum, umur galon yang baik seharusnya tidak melebihi 5 tahun.

Proses pengisian air ke dalam galon diharuskan menggunakan peralatan serta tempat yang higienis. PED III belum memenuhi syarat yang ada, karena tempat pengisian bercampur dengan gelas, keranjang, serta rokok yang menyebabkan tempat pengisian air menjadi tidak steril.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 2014 Tentang Higiene Sanitasi Depot Air Minum terkait persyaratan sanitasi Bab II Pasal 3 terkait wadah yang digunakan adalah para pekerja dilarang menyediakan *stock* produk air siap konsumsi dalam galon dan depot tidak diperbolehkan untuk menyimpan produk AMDK galon isi ulang lebih dari 24 jam. Tutup galon yang disediakan diharuskan untuk tidak memiliki merk serta tidak diperbolehkan memasang segel tambahan. Berdasarkan hasil wawancara, sampel galon dari PED I memberikan segel tambahan berupa segel di atas tutup galon yang diberikan merk. Hal ini tidak sesuai dengan anjuran dari rekomendasi dari regulasi terkait. PED II dan PED III juga menyediakan stok produk air siap konsumsi dalam galon sehari sebelum berjualan agar konsumen dapat langsung menukarkan galon, hal ini tidak sesuai dengan peraturan yang dianjurkan.

Dalam melakukan inspeksi sanitasi setiap depo, diberikan tabel berisikan pemeriksaan untuk setiap aspek higienitas. Skor minimal yang harus dicapai adalah 70 yang bahwa depot memenuhi persyaratan dalam kelayakan fisik. Jika skor yang dihasilkan kurang dari 70, maka diperkukan upaya untuk meningkatkan aspek yang bermasalah.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menjumlahkan seluruh nilai pada setiap aspek higienitas, PED I memiliki skor 74, PED II memiliki skor 73, dan PED III memiliki skor 67. PED I dan PED II telah memenuhi syarat yang

telah ditentukan, sedangkan PED III masih belum mencapai skor 70 dan beberapa aspek masih perlu diperbaiki. PED I sendiri belum memiliki persyaratan sterilisasi yang lengkap, hanya menggunakan UV untuk proses desinfeksi. Ozonisasi tidak digunakan dalam proses desinfeksi pada proses produksi. Penggunaan lampu UV juga hanya di saat pengisian air, tidak dari awal sejak mesin mulai memproduksi.

Operator yang bekerja pada setiap depot harus memiliki kesehatan yang baik dan melakukan pengecekan kesehatan minimal setiap 1 kali dalam setahun. PED I tetap beroperasi meskipun pemilik didapati sedang berada keadaan yang kurang sehat dan diduga membawa kuman penyakit. Pemilik depot juga jarang mencuci tangan dengan sabun ketika melayani konsumen. Hal ini tidak sesuai dengan peraturan tentang higienitas penjamah.

PED II masih harus memperbaiki atap-atap dan lantai yang berada di depot. Pada proses observasi, dijumpai bahwa lantai kotor dan licin serta atap yang sudah retak. Ventilasi yang terdapat pada PED II juga tidak cukup untuk pertukaran udara. Akses tempat kamar mandi juga masih sulit dan harus melalui rumah pemilik depot.

Pemilik PED II tidak memiliki sertifikat kursus sanitasi depot dan sering menagabaikan pengecekan kesehatan. Pakaian pekerja yang digunakan terlihat tidak rapi dan sudah kotor. Kurangnya perawatan diri dan kebersihan operator menjadi perhatian khusus yang dapat mempengaruhi operasional depot.

PED III memiliki tempat yang permukaannya tidak halus dan cenderung licin. Tata ruang yang dimiliki masih belum terbagi antara penyimpanan dan ruang tunggu konsumen. Akses kamar mandi juga terbatas dan tidak memiliki saluran pembuangan air limbah yang memadai.

Dalam melakukan proses produksi, pemilik depot kurang memperhatikan sanitasi ketika melayani konsumen. Dalam mesin produksi, didapati barang yang tidak diperlukan seperti adanya gelas dan rokok pada mesin produksi yang akan berpengaruh terhadap kebersihan proses produksi. Dalam melayani konsumen, pekerja tidak memakai masker serta tidak mencuci tangan dalam melayani pembeli. Pekerja juga tidak terlalu memperhatikan mengenai sertifikat higienitas dan jarang melakukan pengecekan kesehatan secara berkala.

## 5.2. Konsentrasi, Ukuran, Bentuk, dan Jenis Mikroplastik

Hasil pengamatan mikroskop mengenai konsentrasi mikroplastik yang ditemukan di kecamatan Pedurungan sejumlah  $166,67 \pm 52,50$  partikel/L. Berikut merupakan perbandingan konsentrasi mikroplastik pada botol kemasan dari beberapa studi.

Tabel 6. Perbandingan Jumlah Konsentrasi Mikroplastik Dalam Kemasan Berulang

Perbandingan	Penelitian	Schymanski <i>et al.</i> (2018)	Obmann <i>et al.</i> (2018)	Kankanige <i>et al.</i> (2020)
Batas konsentrasi partikel ( $\mu\text{m}$ )	5-300	5-100	1,5-10	6,5-50
Metode Analisis Total	<i>Micro-FTIR</i>	<i>Micro-Raman spectroscopy</i>	<i>Micro-Raman spectroscopy</i>	<i>Micro-FTIR</i>
Mikroplastik (Rata-rata $\pm$ SD)	$166,67 \pm 52,50$	$118 \pm 88$	$2689 \pm 4371$	$140 \pm 19$

Penelitian Kankanige & Babel (2020) menggunakan kemasan PET sekali pakai dengan hasil konsentrasi  $140 \pm 19$  partikel/L. Hasil temuan penelitian ini menunjukkan konsentrasi lebih tinggi yaitu sebanyak  $166,67 \pm 52,50$  partikel/L dengan kemasan berulang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Schymanski (2018) bahwa penggunaan kemasan plastik berulang memiliki jumlah rata-rata yang lebih besar dibandingkan dengan jumlah yang ditemukan dalam kemasan sekali pakai. Dalam penelitiannya juga dibuktikan bahwa kemasan isi ulang memiliki jumlah kandungan plastik 10 kali lebih tinggi dibandingkan dengan mikroplastik pada kemasan sekali pakai.

Penggunaan kemasan yang berulang akan menyebabkan adanya peningkatan mikroplastik secara signifikan. Konsentrasi mikroplastik yang semakin tinggi disebabkan karena bagian dalam galon yang mengalami proses pencucian lebih banyak dan menyebabkan migrasi mikroplastik (Schymanski *et al.*, 2018). Adanya abrasi dari peralatan yang digunakan ataupun kontaminasi dari

galon kosong yang digunakan kembali dapat mengontaminasi bagian luar dan dalam galon (Obmann *et al.*, 2018).

Berdasarkan Gambar 9, ukuran partikel mikroplastik terbanyak adalah dengan ukuran 21-50  $\mu\text{m}$  sebanyak 46,09%, dan ukuran yang banyak dijumpai juga adalah partikel dengan ukuran 5-20  $\mu\text{m}$  sebanyak 33,06%. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Schymanski *et al.* (2018) bahwa sebanyak 30% partikel mikroplastik yang ditemukan berukuran 10-20  $\mu\text{m}$ . Penelitian yang ditemukan Obmann *et al.* (2018) menemukan sebanyak 49,6% partikel mikroplastik berukuran <5  $\mu\text{m}$ . Penelitian Kankanige & Babel (2020) menemukan sebanyak 68% partikel berukuran <20  $\mu\text{m}$  dan sebanyak 21,85% partikel berukuran 20-50  $\mu\text{m}$ . Studi literatur yang dilakukan mengungkapkan bahwa sebagian besar partikel mikroplastik memiliki ukuran yang kecil dengan ukuran <50  $\mu\text{m}$ .

Partikel dengan ukuran terbesar yang ditemukan adalah >300  $\mu\text{m}$  dan terdapat 2,38% partikel. Hal ini sejalan dengan temuan Schymanski (2018) bahwa hanya ditemukan 2% partikel mikroplastik dengan ukuran terbesar yaitu >100  $\mu\text{m}$ . Kankanige dan Babel (2020) mengatakan bahwa air kemasan cenderung mengalami kontaminasi mikroplastik dengan ukuran partikel yang kecil dikarenakan adanya fragmentasi dari partikel plastik yang lebih besar.

Berdasarkan Gambar 7, ditemukan bahwa partikel *fragment* merupakan partikel yang sering dijumpai pada ketiga sampel yang dianalisis dengan rata-rata partikel sebesar 84,21%. Partikel *fiber* yang ditemukan pada ketiga sampel sebanyak 4,47%. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mason *et al.* (2018) bahwa sebanyak 66% partikel yang ditemukan berbentuk *fragment* kemudian partikel kedua terbanyak adalah *fiber* (13%). Penelitian yang ditemukan Kankanige & Babel (2020) menemukan partikel *fiber* sebanyak 62,8% diikuti dengan *fragment* sebanyak 37,2%. Kooi & Koelmans (2019) menemukan sebanyak 48,5% *fiber* dan 31% partikel *fragment*. Beberapa partikel digolongkan sebagai *film* (3,29%) namun karena jarang ditemukan serta adanya subjektivitas dalam pengamatan visual, partikel *film* terkadang dapat dikategorikan sebagai bentuk *fragment* (Kankanige dan Babel, 2020).

Berdasarkan Gambar 10, jenis partikel terbanyak yang ditemukan dalam penelitian adalah nylon atau poliamida. Partikel kedua terbanyak yang ditemukan adalah *polyvinyl chloride* (PVC). Partikel PP juga ditemukan sebesar 20% pada sampel Pedurungan II. Partikel yang sering ditemukan pada AMDK adalah PET, PP, PE, PS, dan PA (Obmann, 2021). Polimer mikroplastik yang ditemukan dapat ditelusuri dari asal penggunaannya. AMDK pada umumnya terbuat dari polimer PET, sedangkan tutup kemasan yang digunakan terbuat dari PP dan PE yang mana kandungan mikroplastik bisa diperoleh dari material kemasan yang digunakan (Schymanski, 2018).

### 5.3. Potensi Sumber Cemaran Mikroplastik Pada Kecamatan Pedurungan

Perbedaan konsentrasi mikroplastik pada beberapa penelitian cenderung memiliki hasil yang berbeda dikarenakan pengambilan sampel dengan volume yang berbeda. Perhitungan volume sampel diperlukan untuk mengukur kandungan mikroplastik per liter dengan satuan partikel/L (Mason *et al.*, 2018). Perbedaan konsentrasi, ukuran, bentuk, serta jenis polimer dari beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Studi Literatur Temuan Mikroplastik Dalam AMDK Isi Ulang

Kemasan	Bentuk	Konsentrasi (partikel/L)	Ukuran ( $\mu\text{m}$ )	Polimer	Referensi
PET	<i>Fiber</i>	315	6,5-100	PP, PS, PE, PEST	Mason <i>et al.</i> (2018)
PET	<i>Fiber, Fragment, Film</i>	4805,9	1-10	PET, PE, PP	Obmann <i>et al.</i> (2018)
PET	<i>Fiber, Fragment</i>	140	>6,5	PET, PE, PP, PA	Kankanige <i>et al.</i> (2020)
PET	-	118	5-1359	PEST, PE, PP, PA	Schymanski <i>et al.</i> 2018

Keterangan: PET = *polyethylene terephthalate*, PP = *polypropylene*, PE = *polyethylene*, PEST = *polyester + polyethylene terephthalate*, PA = *polyamide*

Berdasarkan pengamatan mikroskop yang telah dilakukan, semua sampel terdeteksi mengandung mikroplastik. Konsentrasi yang diperoleh digambarkan dalam bentuk rata-rata $\pm$ standar deviasi. Jumlah rerata partikel yang ditemukan adalah sebesar 166,67 partikel/L. Beberapa studi yang dilakukan pada Tabel 7 didapati konsentrasi yang beragam, namun masih dalam rentang yang sama. Perbedaan hasil konsentrasi mikroplastik dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti volume sampel yang digunakan, metode dalam menentukan mikroplastik, sumber air, teknologi yang digunakan, material pipa dalam proses pengolahan air, serta kondisi lingkungan (Tong *et al.*, 2020).

Keberadaan mikroplastik dapat dipengaruhi oleh gerakan abrasif selama proses produksi yang menyebabkan *mechanical stress* pada galon. Selama penggunaan kemasan galon, tekanan seperti pencucian, transportasi, penyimpanan, dan paparan sinar matahari dapat mempengaruhi kontaminasi mikroplastik (Gambino *et al.*, 2022). Konsentrasi mikroplastik yang semakin tinggi disebabkan karena bagian dalam galon yang mengalami proses pencucian lebih banyak dan menyebabkan migrasi mikroplastik (Schymanski *et al.*, 2018).

Penggunaan kemasan berulang kali secara signifikan dapat meningkatkan kandungan mikroplastik sebanyak 7 hingga 10 kali (Hadeed *et al.*, 2022). Penelitian Schymanski *et al.* (2018) menemukan mikroplastik yang pada kemasan sekali pakai sebanyak 14 partikel/L. Sedangkan pada kemasan berulang ditemukan sebanyak 118 partikel/L. Hal ini disebabkan karena adanya kerusakan kemasan selama penggunaan yang berulang. Material plastik akan memiliki resistensi yang tinggi pada awalnya. Namun, seiring dengan penggunaan yang berulang akan menyebabkan plastik kehilangan kemampuan untuk memperatahkan kekuatannya, yang mengakibatkan material plastik dapat mengalami migrasi pada air minum (Hadeed *et al.*, 2022).

Dalam penerapan *good practices*, PED III memiliki skor terendah dibandingkan PED I dan PED II. Skor yang dihasilkan adalah 67 dari skor minimum 70. Adanya penerapan beberapa aspek yang tidak memenuhi standar dapat mempengaruhi skor evaluasi higienitas pada PED III. Beberapa perlakuan selama proses observasi adalah pekerja yang tidak memperhatikan aspek kesehatan seperti

lalai dalam memakai masker, merokok, serta tidak mencuci tangan sebelum memulai proses produksi.

Penggunaan filter pada PED III menggunakan 6 filter dalam menyaring partikel yang mungkin larut dalam air. Namun, penggunaan ukuran filter yang digunakan cenderung tidak mengikuti syarat yang ditentukan yaitu dari ukuran besar menuju kecil. Sebagian besar filter yang digunakan juga memiliki ukuran  $>5$   $\mu\text{m}$ , dibandingkan dengan PED I dan PED II yang memiliki mikrofilter yang dapat mengurangi efektivitas dalam penyaringan partikel mikroplastik. Penerapan yang tidak sesuai dapat menyumbang partikel mikroplastik dalam jumlah besar. Hal ini dibuktikan juga dari hasil penelitian yang memiliki relevansi dengan skor evaluasi yang rendah pada Tabel 3 dimana partikel mikroplastik terbanyak ditemukan pada PED III yaitu sejumlah 210 partikel/L. Inspeksi pada PED III diperlukan untuk dapat mencapai skor minimum dan memenuhi persyaratan kelayakan dalam menyelenggarakan depot isi ulang.

Penelitian Obmann (2018) menemukan bahwa kemasan isi ulang dengan menggunakan botol baru memiliki jumlah partikel yang lebih sedikit dibandingkan kemasan isi ulang dengan botol yang lama. Hal ini menunjukkan bahwa umur kemasan yang semakin lama (*bottle aging*) akan meningkatkan kontaminasi mikroplastik. *Aging* dari kemasan dapat dibuktikan dari hasil penelitian dimana sampel PED I, menggunakan galon yang telah digunakan berulang kali dari tahun 2018 dan menghasilkan konsentrasi mikroplastik sebesar 197,17 partikel/L. Jika diakumulasikan dalam 1 galon yaitu 19 liter, total kandungan mikroplastik yang dapat diperoleh sebesar 3746,17 partikel/L.

Dalam pendeteksian partikel mikroplastik, jumlah mikroplastik akan bertambah seiring dengan berkurangnya ukuran partikel yang ditemukan (Obmann *et al.*, 2021). Hal ini berarti, partikel berukuran kecil lebih sering ditemukan dibandingkan dengan partikel yang berukuran besar. Distribusi partikel mikroplastik mengarah pada ukuran yang lebih kecil dikarenakan degradasi dari partikel dengan ukuran besar (Pivokonsky *et al.*, 2018). Penelitian yang dilakukan Zhao *et al.* (2014) juga mengatakan bahwa ukuran partikel yang terkandung dalam air cenderung lebih kecil akibat adanya fragmentasi.



Pada proses observasi, diamati bahwa PED I menggunakan mesin sikat otomatis dan juga sikat manual untuk membersihkan bagian dalam galon. Penggunaan sikat dalam jumlah yang banyak serta proses pencucian yang berulang dapat mengakibatkan adanya fragmentasi dari partikel mikroplastik (Shen *et al.*, 2021). Hal ini dibuktikan dengan ukuran mikroplastik yang ditemukan mayoritas berukuran kecil, dimana ditemukan sebesar 41,57% partikel dengan ukuran 21-50  $\mu\text{m}$  pada sampel PED I.

Penerapan *good practices* pada peralatan yang digunakan salah satunya adalah penggunaan mikrofilter dengan berbagai ukuran yang berjenjang. PED III belum memenuhi syarat ini dimana ukuran filter yang digunakan berada dalam ukuran yang hampir sama dimana ada 2 filter berukuran 6  $\mu\text{m}$  yang digunakan bersamaan. Penggunaan filter dengan ukuran yang tidak berjenjang dapat mengakibatkan partikel mikroplastik berukuran kecil tidak dapat tersaring dengan sempurna. Hal ini dibuktikan dengan partikel berukuran 21-50  $\mu\text{m}$  ditemukan sebesar 46,63% dan sebanyak 37,34% partikel berukuran 5-20  $\mu\text{m}$ .

Pendeteksian bentuk diamati secara visual melalui mikroskop. Dalam pendeteksian visual, partikel akan dikategorikan berdasarkan morfologinya. Pada penelitian ini, bentuk yang didapatkan adalah *fragment*, *fiber*, *pellet*, *film*. Ukuran masing-masing partikel didapat dari pengukuran dengan ujung terpanjang (GESAMP, 2019).

Berdasarkan morfologinya, partikel *fragment* ditemukan paling banyak pada penelitian ini. Partikel *fragment* erat kaitannya dengan abrasi dikarenakan ujungnya yang tajam (Burns & Boxall, 2018). Plastik *fragment* berasal dari degradasi dari plastik produk termasuk material kemasan (Pivokonsky *et al.*, 2018). Partikel *fiber* dalam air minum berasal dari polimer sintetis yang merupakan abrasi dari material pencucian seperti sikat (Novotna *et al.*, 2019).

Partikel dengan ukuran yang lebih kecil akan memberikan toksisitas lebih tinggi. Partikel *fiber* memiliki toksisitas lebih tinggi dibandingkan *fragment*. Hal ini disebabkan karena ukurannya yang kecil dan dapat lolos dari proses pengolahan air, yang mana dapat terakumulasi dalam air minum (Gambino *et al.*, 2022). Partikel *fiber* dapat berasal dari sumber transportasi mikroplastik secara *airborne*. Pelepasan

sintetis polimer *fiber* dapat berasal dari pakaian pekerja depo selama proses produksi (Wright & Kelly, 2017). Penggunaan sikat berbahan dasar *nylon* juga dapat menjadi sumber kontaminasi. Selama proses pencucian, gesekan antara *fiber* dari sikat dengan galon dapat memicu partikel *fiber* untuk dapat masuk ke dalam galon dan mengontaminasi air minum.

Partikel *film* memiliki karakteristik yang hampir mirip dengan *fragment*. Hal yang dapat membedakan adalah rasio panjang, yang biasa lebih kecil dari *fragment*. Partikel *film* juga memiliki penampang yang sangat tipis dan cenderung transparan (Kooi & Koelmans, 2019). Penelitian yang dilakukan Zhang *et al.* (2017) dengan analisis FTIR menunjukkan bahwa mikroplastik berbentuk *film* mengandung polimer PE dan PP. Partikel *film* yang ditemukan berasal dari tutup galon yang digunakan selama proses produksi. Hal ini didukung dengan penelitian Kankanige & Babel (2020) bahwa material penyusun tutup galon mayoritas adalah PE dan PP.

Mikroplastik berbentuk *pellet* dapat dikategorikan sebagai mikroplastik primer. Bentuk ini berasal dari bahan baku plastik yang berasal dari manufaktur. Bentuk *pellet* erat kaitannya dengan jenis plastik PP (Zhou *et al.*, 2018).

Dalam menentukan polimer plastik, diperlukan analisis lebih lanjut mengenai karakteristik dari masing-masing polimer. Pendeteksian ini dapat dilakukan dengan instrumen tambahan, dalam penelitian ini digunakan *micro*-FTIR sebagai alat untuk mengidentifikasi setiap polimer yang ditemukan.

Partikel yang umum ditemukan dari AMDK isi ulang adalah PET. Material penyusun kemasan galon yang paling umum adalah PET, partikel ini dapat mengalami *leaching* ke dalam air minum karena penggunaan galon yang berulang didukung dengan *mechanical stress* yang diberikan selama proses produksi (Gambino *et al.*, 2022). Selama proses pencucian, air dengan tekanan tinggi akan diberikan ke dalam material kemasan. Hal ini menyebabkan pelepasan partikel mikroplastik dari kemasan yang digunakan (Kankanige & Babel, 2020).

Penggunaan kemasan PET yang berulang menunjukkan konsentrasi mikroplastik yang lebih tinggi dibandingkan kemasan PET sekali pakai. Pengaruh gerakan abrasif dari kemasan akan meningkatkan kandungan mikroplastik pada

kemasan yang sudah lama digunakan. Bagian dalam kemasan dapat mengalami *stress* selama produksi, terutama pada proses pencucian (Obmann *et al.*, 2018).

Partikel PET memiliki permukaan yang transparan, dan tahan terhadap pelarut. Plastik yang terbuat dari PET diharuskan untuk disimpan pada ruangan dengan temperatur rendah untuk mencegah *leaching* bahan aditif (Alabi *et al.*, 2019). Namun, pada praktiknya hampir seluruh depo menyimpan galon pada tempat yang terkena sinar matahari. Hal ini memungkinkan untuk meningkatkan akumulasi mikroplastik pada AMDK isi ulang.

PP adalah tipe plastik yang keras dan semi transparan namun memiliki resistensi yang lebih kuat dibandingkan PE. Material PE dan PP tidak mengandung bahan aditif yang berbahaya sehingga sering digunakan dalam kemasan pangan (Alabi *et al.*, 2019). Partikel PE dan PP merupakan material kemasan yang digunakan pada tutup kemasan galon. Konsentrasi partikel mikroplastik berkaitan dengan frekuensi pembukaan tutup kemasan. Partikel PP yang halus dapat terbarasi oleh partikel PET pada saat pembukaan pertama. Ujung kemasan yang digunakan dapat mengalami abrasi partikel dan akan terakumulasi di dalam air (Kerpen *et al.*, 2021).

Material PP juga merupakan material penyusun bagian pipa yang digunakan selama proses *water treatment*. Penelitian yang dilakukan Pivokonsky *et al.* (2018) menemukan bahwa sebanyak 16-26% partikel PP masih ditemukan didalam air minum yang bahkan telah melalui serangkaian proses *water treatment*. Selama proses produksi, air baku yang berada dalam tangki akan dialirkan ke dalam mesin pengisian air melalui pipa dan kontak langsung dengan bagian dalam pipa. Hal ini menjadi perhatian khusus karena material *fiber* dan *fragment* pada pipa dapat mengalami migrasi ke dalam air minum (Soler *et al.*, 2021).

Partikel PVC sering ditemukan pada proses pengolahan air secara konvensional (Pivokonsky *et al.*, 2018). Penggunaan PVC banyak digunakan oleh masyarakat karena harganya yang murah, sifatnya yang fleksibel, dan memiliki resistensi yang tinggi (Alabi *et al.*, 2019). Penelitian yang dilakukan Amaludin (2022) mengungkapkan bahwa polimer PVC dapat berasal dari sikat yang digunakan selama proses pencucian. Gerakan abrasif yang dilakukan diduga

menjadi sumber potensi cemaran mikroplastik dari sikat PVC yang digunakan. Pencucian yang dilakukan dalam intensitas yang tinggi dapat menyebabkan peluruhan partikel mikroplastik pada galon (Obmann *et al.*, 2018).

Menurut GESAMP (2019), polimer penyusun pipa drainase sebagian besar adalah PVC. Partikel PVC dapat mengalami migrasi selama proses *water treatment* yang dapat mengontaminasi air minum (Kankanige & Babel, 2020). Material plastik PVC dapat mengalami deteorisasi selama proses penggunaan dalam jangka waktu yang lama dan akan berkontribusi dalam meningkatkan partikel mikroplastik pada air (Sol *et al.*, 2021).

Paparan dari material disinfektan yang berlangsung dalam waktu yang lama dapat mempengaruhi kekuatan pipa dan dapat menyebabkan adanya *leaching* partikel plastik (Xu *et al.*, 2019). Perubahan karakteristik plastik dapat menyebabkan korosi pada pipa dan akan membuat partikel *fragment* dapat mengalami pelepasan yang lebih banyak dibandingkan *fiber* (Ferraz *et al.*, 2020). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan bahwa sebagian besar partikel mikroplastik yang ditemukan adalah *fragment* dengan rerata partikel sebesar 84,21%. Sedangkan partikel *fiber* yang ditemukan hanya sebesar 4,47% dari seluruh sampel Pedurungan.

EVA adalah kopolimer yang terdiri dari *ethylene* dan *vinyl acetate* yang terbuat dari plastik yang lentur. Polimer ini memiliki kesamaan dengan PVC karena terbuat dari petroleum dan gas natural. Mikroplastik EVA sendiri berbentuk seperti lembaran *film* namun memiliki permukaan yang lebih tebal dibandingkan plastik PE (Yu *et al.*, 2016). Polimer EVA berasal dari penggunaan pipa selama proses produksi air minum (Li *et al.*, 2016). Penggunaan pipa plastik dapat meningkatkan risiko peningkatan kontaminasi mikroplastik pada sumber air yang digunakan selama proses produksi (Tong *et al.*, 2020).

Polimer terbanyak yang ditemukan pada penelitian adalah *nylon*. Plastik *nylon* yang ditemukan dalam analisis mikroplastik berasal dari bulu sikat yang digunakan selama proses pencucian galon (Amaludin, 2022). Sikat galon dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Mesin Sikat Pencuci Galon (Dokumentasi Pribadi)

Mesin pencuci yang berupa sikat galon terdiri dari dua bagian yaitu batang sikat serta bulu sikat. Syarat yang harus dimiliki dari batang sikat sendiri adalah sifatnya yang kuat. Hal ini bertujuan agar selama pencucian, sikat dapat berputar sempurna dan membersihkan seluruh bagian galon. Sikat yang digunakan memiliki bahan plastik yang fleksibel agar dapat menjangkau seluruh bagian galon. Bulu sikat juga harus tertempel erat dengan batang sikat agar selama proses pencucian, sikat tidak dapat masuk ke dalam galon.

Penelitian yang dilakukan Mason *et al.* (2018) memaparkan bahwa sebanyak 17% partikel serat yang dikonfirmasi oleh FTIR adalah jenis polimer nylon. Partikel serat cenderung memiliki densitas yang tinggi. Partikel nylon memiliki densitas sebesar  $1,15\text{g/cm}^3$ . Densitas yang dimiliki oleh polimer ini lebih berat dari beberapa partikel mikroplastik lainnya yang menyebabkan partikel nylon dapat tertinggal dalam air dan tidak dapat tersaring melalui proses filtrasi (Xue *et al.*, 2022). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan bahwa sebagian besar jenis polimer yang terdeteksi pada seluruh sampel Pedurangan adalah nylon yang berasal dari penggunaan sikat pencuci galon.

Polimer *polyamide* yang umum dikenal dengan *nylon* dapat mengalami degradasi dalam air karena proses oksidasi termal (Goncalves, 2007). Hasil analisis dengan menggunakan FTIR menunjukkan bahwa sebagian besar partikel PA yang ditemukan berasal dari *library* Thermal damaged dan UV damaged (Shimadzu, Jepang).

Plastik yang terpapar dengan sinar UV dapat menyebabkan abrasi fisik dan fragmentasi partikel (GESAMP, 2015). Hal ini erat kaitannya dengan proses penyimpanan serta distribusi galon pada setiap depot isi ulang air minum yang cenderung terpapar dengan sinar matahari. Proses penyimpanan berada di ruang terbuka dan terkena sinar matahari secara langsung. Distribusi yang dilakukan juga menggunakan motor roda tiga tanpa penutup. Paparan sinar matahari ini dapat memicu partikel mikroplastik dapat *leaching* ke dalam air minum. Hal ini didukung dengan pernyataan Yang *et al.* (2021) bahwa mikroplastik dapat mengalami deformasi setelah pemanasan dengan suhu yang tinggi. Mikroplastik juga dapat mengalami degradasi akibat kondisi lingkungan seperti paparan sinar matahari, pH, suhu tinggi (Li *et al.*, 2020).

#### **5.4. Estimasi Paparan Mikroplastik Pada Kecamatan Pedurungan**

Konsumsi air minum yang digunakan mengacu pada WHO (2017) bahwa konsumsi air minum adalah minimum 2L/hari. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan pada Tabel 5, nilai estimasi paparan mikroplastik memiliki rentang 226,66-420 partikel/orang/hari dalam skenario 100% konsumsi dari AMDK isi ulang, 169,98-840 partikel/orang/hari dalam skenario 75% konsumsi dari AMDK isi ulang, 113,34-210 partikel/orang/hari dalam skenario 50% konsumsi dari AMDK isi ulang.

Paparan mikroplastik dari air minum bergantung pada sumber air yang dikonsumsi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Cox *et al.* (2019), konsumsi mikroplastik dari 100% AMDK adalah 246 partikel/orang/hari. Jika dibandingkan dengan penelitian ini, estimasi paparan mikroplastik dari 100% konsumsi AMDK lebih tinggi yaitu sebanyak 169,98-840 partikel/orang/hari. Hal ini dapat disebabkan karena faktor lokasi juga akan berpengaruh pada kandungan kontaminan. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh penelitian terdahulu cenderung menggunakan kemasan sekali pakai, sedangkan penelitian ini menggunakan kemasan berulang yang dapat memicu akumulasi mikroplastik.

Akumulasi paparan yang diteliti bergantung pada konsentrasi partikel mikroplastik yang ditemukan. Konsentrasi partikel yang ditemukan pada PED III

menghasilkan jumlah terbanyak dengan nilai 210 partikel/L. Mengacu pada Tabel 5, konsumsi maksimum dari asupan mikroplastik adalah 420 partikel/orang/hari. Paparan mikroplastik yang tinggi ini dipengaruhi oleh penerapan higienitas dan sanitasi selama proses produksi di setiap depot. PED III memiliki konsentrasi yang paling tinggi, maka paparan mikroplastik yang terkandung juga akan lebih besar dibandingkan depot lain yang lebih menerapkan persyaratan kelayakan depot sesuai regulasi yang telah diterbitkan.

Sejauh ini, partikel mikroplastik masih tergolong *novel contaminant* yang mana belum ditetapkan batas maksimal yang aman untuk dikonsumsi. Efek kesehatan yang diberikan jika mengonsumsi mikroplastik juga belum banyak diketahui, namun beberapa penelitian mengungkapkan beberapa rute yang menjadi potensi konsumsi mikroplastik. Rute paparan mikroplastik paling umum dijumpai adalah melalui konsumsi dan melalui pernafasan. Konsumsi dapat melalui bahan pangan atau air yang terkontaminasi oleh mikroplastik (Enyoh et al 2020).

Rute paparan baik melalui konsumsi ataupun pernafasan, mikroplastik dapat terakumulasi pada organ dan jaringan tubuh. Mikroplastik dapat ditemukan pada saluran pencernaan, dan bagian partikel yang tidak terserap akan diekskresikan bersamaan dengan feses (Zhang et al 2020). Hal ini didukung dengan penelitian Schwabl *et al.* (2019) bahwa beberapa jenis mikroplastik seperti PS, PE, PET, serta PVC terdeteksi pada feses manusia.

Tingkat penyerapan mikroplastik bergantung pada bentuk, ukuran, serta kelarutan dari mikroplastik. Partikel dengan ukuran mikron dapat memasuki paru-paru, dan partikel berukuran 10 mikron meter bisa memasuki bagian usus. Mikroplastik jika sudah memasuki usus akan dapat melepaskan monomernya serta zat aditif. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan fisiologis berupa stres oksidatif (Cox et al, 2019).

Penemuan mikroplastik di tubuh manusia menunjukkan bahwa mikroplastik dapat tercerna oleh sistem pencernaan yang merupakan jalur utama dari paparan mikroplastik. Mikroplastik yang masuk ke dalam tubuh dapat mengganggu fungsi dari sistem pencernaan seperti metabolisme lemak. Mikroplastik dengan

permukaan hidrofobik dapat mengganggu aktivitas enzim yang dapat mengurangi aktivitas lipase dalam proses digesti lemak (Tan *et al.*, 2020).

Penyerapan mikroplastik juga erat kaitannya dengan permukaan serta sifat hidrofobik dari mikroplastik (Wright & Kelly, 2017). Plastik primer dan sekunder dapat mengikat polutan organik toksik serta logam berat akibat sifat hidrofobik yang kuat (Park *et al.*, 2020). Hal ini memicu untuk akumulasi partikel lain ke dalam tubuh manusia melalui serapan mikroplastik.

Mengingat keterbatasan data terkait kelas ukuran mikroplastik yang pasti, masih sulit untuk memperkirakan konsumsi mikroplastik yang berpengaruh signifikan terhadap kesehatan manusia. Ukuran partikel merupakan parameter penting dalam toksisitas terhadap kesehatan manusia. Partikel yang berukuran sangat kecil dapat memasuki tubuh dan mempengaruhi sistem kerja organ. Beberapa penyakit pernafasan, pencernaan, dan kanker dapat menjadi akibat dari partikel yang berukuran mikro (Natesan *et al.*, 2021).

Jumlah konsentrasi mikroplastik bertambah seiring dengan penurunan ukuran. Ukuran mikroplastik <20  $\mu\text{m}$  dapat terpenetrasi ke dalam organ tubuh dan ukuran 20-100  $\mu\text{m}$  dapat memasuki sel membran (Yu *et al.*, 2020). Persistensi mikroplastik dalam tubuh juga dipengaruhi oleh bentuk mikroplastik. *Fiber* yang tipis dan berukuran panjang akan lebih bertahan lama dalam tubuh dan bersifat toksisitas pada paru-paru. Mikroplastik berbentuk *fiber* dengan ukuran 15-20  $\mu\text{m}$  sulit dihilangkan dari paru-paru, sementara ukuran 10  $\mu\text{m}$  berpotensi menjadi karsinogenik (Wright & Kelly, 2017).

Translokasi jaringan dapat terjadi ketika mikroplastik memiliki ukuran <83  $\mu\text{m}$ . Translokasi ini dapat memindahkan sel pada saluran pencernaan ke sel jaringan lain. Adanya translokasi partikel menyebabkan efek seperti *stress* oksidatif dan peradangan. Efek lain yang dapat timbul adalah kerusakan DNA serta kanker (Jeong & Choi, 2019). Translokasi jaringan akan bergantung pada ukuran partikel. Mikroplastik dengan ukuran kecil akan memicu *stress* oksidatif berupa peroksidasi lipid, perubahan permeabilitas membran (Thornton *et al.*, 2022).

Bentuk mikroplastik menjadi perhatian khusus akan toksisitasnya di dalam tubuh manusia. Penelitian yang dilakukan Qiao *et al.* (2019) mengungkapkan



bahwa *fiber* membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai keadaan yang seimbang dibandingkan *fragment* dan *beads*. Bentuk *fiber* yang memiliki rasio besar mudah menempel pada jaringan tubuh.

Mikroplastik *fragment* memiliki permukaan yang kasar dan tajam serta bentuk irregular akibat fragmentasi partikel yang lebih besar (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012). Hal ini menyebabkan partikel *fragment* memiliki peluang lebih besar untuk menyebabkan peradangan pada usus karena permukaannya yang kasar (Mazurais *et al.*, 2015).

