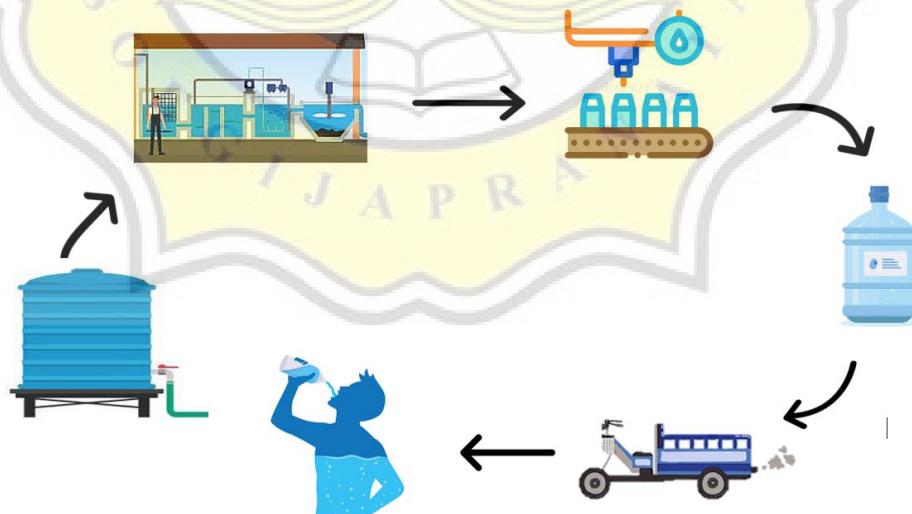


## V. PEMBAHASAN

### 5.1. Proses Produksi Air Minum Isi ulang

Proses produksi DIUAM TEM 1 merupakan proses yang paling sederhana dimana hanya terdapat 3 tahapan utama tanpa adanya penyinaran UV. Sedangkan DIUAM TEM 1 dan TEM 2 memiliki proses yang hampir sama yaitu sedimentasi, filtrasi, UV *treatment*, *cleaning*, dan *filling*. Perbedaan dari ketiga DIUAM terletak pada jumlah variasi *microfilter* menggunakan dengan variasi ukuran yang berbeda yaitu filter 1 dan 5 mikron. Menurut SK Menperindag No. 651/MPP/KEP/10/2004, proses produksi yang baik harus meliputi 3 tahap utama antara lain penampungan bak air baku, penyaringan bertingkat, dan desinfeksi. Pada ketiga DIUAM hanya TEM 1 yang tidak melakukan praktik desinfeksi yang sesuai dengan regulasi yang ada sehingga menghasilkan tingkat kontaminasi yang paling tinggi dibanding 2 depot lainnya.



Gambar 8. Proses produksi AMDK isi ulang yang ideal

Dalam proses penyimpanan air baku, tangki harus dibersihkan dan diberi perlakuan desinfeksi pada bagian luar minimal 3 (tiga) bulan sekali (Peraturan Kementerian Perindustrian nomor 651 tahun 2004). Dari ketiga DIUAM di Kecamatan Tembalang TEM 2 dan TEM 3 yang telah mengikuti regulasi dalam melakukan pembersihan sesuai dengan regulasi yang ada. DIUAM TEM 1 tidak melakukan praktik tersebut yang menimbulkan terjadinya kemungkinan cemaran mikroplastik sejak proses penyimpanan awal.

Peraturan Menperindag No. 651/MPP/KEP/10/2004, menyebutkan bahwa perlu adanya perlakuan khusus misalnya, dalam wadah atau galon yang akan diisi harus disterilisasi dengan menggunakan ozon ( $O_3$ ) atau air ozon (air yang mengandung ozon). Apabila dilakukan pencucian maka harus dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis sabun berbahan *food grade* dan air bersih dengan suhu berkisar  $60 - 85^{\circ}C$ , kemudian dibilas dengan air minum atau air produk secukupnya untuk menghilangkan sisa – sisa sabun cuci. Tindakan desinfeksi lainnya adalah dengan menggunakan penyinaran Ultra Violet (UV) dengan panjang gelombang 254 nm atau kekuatan 25370 A dengan intensitas minimum  $10.000 \text{ mw/cm}^2$ . Pada DIUAM TEM 2 dan TEM 3, menggunakan penyinaran UV sebagai metode desinfeksi pada produk AMDK Isi Ulang. Penyinaran dengan UV dilakukan sebelum proses pengisian air minum untuk meminimalkan kontaminasi zat organik dan anorganik. Namun TEM 1 tidak menggunakan perlakuan desinfeksi dan unit instalasi air minum hanya dibersihkan melalui proses pencucian secara berkala.

Dalam kontrol dan pengawasan DIUAM periode yang ideal sesuai dengan Peraturan Kementerian Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2014, paling tidak dilakukan pengambilan satu sampel air minum tiga bulan sekali untuk mengontrol kualitas AMDK Isi Ulang. Dari observasi yang dilakukan semua DIUAM, tidak mendapatkan pengawasan dari Dinas Kesehatan Semarang sesuai dengan periode yang ada. Proses pengawasan hanya dilakukan secara mandiri. Hal ini menunjukkan bahwa pada aspek pengawasan DIUAM yang ada

pada kecamatan belum menerapkan praktik yang baik sesuai dengan regulasi yang ada.

Skor evaluasi dari observasi dan wawancara menunjukkan angka pada DIUAM TEM 1, TEM 2, dan TEM 3 sebesar 56, 74, dan 78. Dari penilaian tersebut hanya TEM 1 yang belum terqualifikasi dan tidak menerapkan *good practices* yang benar. Skor tersebut berbanding lurus dengan kelimpahan mikroplastik yang didapatkan. Hal ini membuktikan bahwa aspek *hygiene* dan sanitasi sangat mempengaruhi konsentrasi dan kelimpahan mikroplastik pada tiap-tiap depot. DIUAM TEM 2 dan TEM 3 telah melakukan penerapan *good practices* yang benar sesuai dengan regulasi. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa pada sampel TEM 2 dan TEM 3 memiliki konsentrasi mikroplastik yang lebih kecil dibanding TEM 1. Hal ini merepresentasikan bahwa penerapan *good practices* pada proses produksi sangat berpengaruh dengan konsentrasi kelimpahan mikroplastik. Cemaran mikroplastik dalam proses produksi dapat berasal dari cemaran eksternal seperti debu, tumpukan sampah plastik, dan peralatan produksi yang sudah tidak layak.

## **5.2. Karakterisasi Mikroplastik pada AMDK isi ulang Kecamatan Tembalang**

Hasil penelitian yang dilakukan sampel AMDK isi ulang pada kecamatan Tembalang memiliki rentang cemaran dengan konsentrasi 139,17 hingga 190,3 partikel/L. Beberapa penelitian terkait cemaran mikroplastik pada air minum dalam kemasan yang memiliki konsentrasi yang kurang lebih sama seperti yang ditemukan pada sampel DIUAM Kecamatan Tembalang. Kankanige & Babel (2020) yang menemukan 140 partikel/L pada sampel AMDK plastik, Schimansky *et al.* (2018) dan Ali (2019) yang menemukan cemaran mikroplastik pada sampel AMDK isi ulang berturut-turut sebesar sebesar 118 partikel/L dan 109 partikel/L. Namun hasil yang berbeda signifikan dikemukakan oleh Oßmann *et al.* (2018) yang mendeteksi cemaran

mikroplastik pada AMDK pada kemasan yang dapat digunakan kembali dan kemasan gelas sebesar 4.889 partikel/L dan 6.292 partikel/L secara berturut-turut. Hasil berbeda lainnya ditemukan pada AMDK kemasan sekali pakai oleh Schimansky *et al.* (2018) dan Kankanige & Babel, (2020) sebesar 50 partikel/L dan 52 partikel/L .

Adanya perbedaan konsentrasi cemaran disebabkan oleh beberapa aspek yang berkaitan dengan produksi air minum di masing-masing penelitian. Aspek pertama adalah perbedaan kemasan yang digunakan pada tiap-tiap penelitian. Pada ketiga sampel yang dianalisa di kecamatan Tembalang menggunakan kemasan galon plastik yang digunakan berulang dan dilakukan penukaran. Hal ini dikonfirmasi oleh penelitian Schymanski *et al.* (2018) dan Oßmann *et al.* (2018) yang sama-sama memperoleh nilai konsentrasi mikroplastik tertinggi pada sampel kemasan plastik yang digunakan berulang-ulang. Ini membuktikan bahwa lama dan usia penggunaan kemasan isi ulang juga mempengaruhi konsentrasi mikroplastik yang ditemukan. Namun dalam penelitian yang dilakukan pada DIUAM Kecamatan Tembalang, faktor usia galon tidak dapat dipergunakan karena tidak adanya kode produksi galon yang tertulis dan pengisian dilakukan secara acak.

Aspek pembeda kedua merupakan keadaan geografis sumber air baku dan angka konsumsi plastik. Angka konsumsi plastik akan berdampak pada jumlah cemaran plastik yang ada sejak awal yang mencemari air baku dalam proses produksi AMDK isi ulang. Weisser *et al.* (2021) menyampaikan, air tanah maupun air permukaan yang digunakan sebagai sumber air dalam produksi air minum pada wilayah tertentu dapat mengandung cemaran mikroplastik yang dapat masuk ke dalam proses produksi air minum selanjutnya. Oleh karena itu konsentrasi yang ditemukan oleh beberapa penelitian perlu ditinjau pula dari aspek lokasi yang merepresentasikan kondisi konsumsi plastiknya.

Dalam analisis bentuk yang dilakukan, *fragment* merupakan dominasi bentuk mikroplastik yang paling tinggi yang pada umumnya memiliki bentuk yang tidak beraturan. Pada sampel TEM 1, TEM 2, dan TEM 3 menunjukkan persentase yang tertinggi dimana partikel *fragment* memiliki nilai persentase berturut – turut sebesar 97,38 %, 95,96%, dan 98,44%. Hasil serupa juga dikemukakan Makhdoumi *et al.* (2021) yang menemukan 93 % partikel berbentuk *fragment* pada sampel AMDK yang diteliti. Partikel bentuk *fragment* umumnya mendominasi bentuk mikroplastik yang ditemukan (Mason *et al.*, 2018; Schymansky *et al.*, 2018). Partikel jenis *fragment* memiliki bentuk yang *irregular* (tidak beraturan) yang dapat disebabkan dari proses degradasi dari partikel besar serta metode pengolahan galon seperti *leaching*, dan *cleaning* yang menyebabkan abrasi mekanis antara partikel plastik.

Partikel bentuk *fiber* memiliki ciri-ciri yang panjang, tipis, dan ramping , dalam air minum partikel ini menduduki peringkat 2 dengan bentuk partikel terbanyak setelah *fragment* (Shruti *et al.*, 2020;Ali, 2019). Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan dimana partikel *fiber* memiliki persentase terbanyak kedua dengan nilai persentase pada sampel TEM1, TEM2, dan TEM3 sebesar 2,62%, 3,94%, dan 1,56%. Partikel jenis *fiber* biasanya berasal dari polimer plastik berbentuk benang-benang seperti sabut, pakaian, sikat pencuci dan benang pencuci galon yang ada pada proses *cleaning*.

Dalam penelitian yang dilakukan hanya menemukan 0,09% partikel jenis pellet dari ketiga sampel yang dianalisa. Sedangkan partikel *film* dan *sphere* tidak ditemukan dalam analisa mikroplastik yang dilakukan di kecamatan Tembalang. Kosuth *et al.*, (2018) menyatakan bahwa partikel jenis *pellet*, *foam*, *sphere*, dan *film* merupakan partikel yang jarang ditemukan. Selain karena jumlahnya yang banyak ditemukan, faktor kategorisasi partikel mikroplastik juga dapat memengaruhi jumlah penemuan bentuk *fragment* pada sampel air minum. Partikel *fragment* memiliki bentuk yang beragam, dalam penelitian ini apabila ada partikel yang tidak dapat diidentifikasi kedalam kategori bentuk mikroplastik, akan diklasifikasikan ke dalam jenis *fragment*. Di & Wang,

(2018) menyatakan bentuk partikel mikroplastik yang tidak dapat dimasukkan ke dalam kategori *fiber*, *spherical*, *film*, ataupun *foam* akan dikategorikan menjadi *fragment*.

Pada analisa yang dilakukan pada sampel AMDK isi ulang Kecamatan Tembalang menemukan bahwa rata-rata ukuran partikel sebesar 85.2 mikron dan ukuran >5-20  $\mu\text{m}$  dengan persentase sebesar 50,7% yang paling banyak ditemukan dalam sampel. Hasil yang dilakukan oleh peneliti memiliki rentang yang berbeda-beda, Schymanski *et al.* pada tahun 2018, menemukan mikroplastik yang berukuran 5-10  $\mu\text{m}$  sebanyak 45,25%. Kankanige & Babel, (2020) menyatakan ukuran <10  $\mu\text{m}$  yang paling banyak ditemukan pada sampel AMDK. Namun ukuran partikel mikroplastik yang terdapat pada air minum dalam kemasan pada umumnya tidak akan melebihi ukuran 500  $\mu\text{m}$  (Pivokonsky *et al.*, 2018). Hal ini disebabkan karena sebelum dilakukan proses *filling* akan terlebih dahulu dilakukan proses *treatment* dan filtrasi. Pivokonsky *et al.*, (2018) juga menyebutkan dengan variasi *treatment* dan filtrasi memungkinkan partikel mikroplastik berukuran besar tidak tersaring dari air minum. Dalam penelitian yang dilakukan ukuran partikel <5 mikron memiliki persentase yang sedikit, karena pada ketiga DIUAM telah menggunakan *microfilter* dengan ukuran 1 mikron. Perbedaan hasil kategori menunjukkan hasil yang berbeda-beda karena adanya variasi dan modifikasi kategori pada masing-masing peneliti yang disebabkan oleh variasi rentang. Penggunaan rentang akan mempengaruhi hasil kategorisasi ukuran mikroplastik, rentang ukuran yang digunakan dalam mengelompokkan ukuran mikroplastik dapat berbeda pada tiap penelitian. Koelmans *et al.*, (2019) mengkonfirmasi bahwa variasi kategori penggolongan ukuran mikroplastik menyebabkan hasil penelitian tiap studi sulit dibandingkan.

Data dari hasil penelitian pada sampel TEM 1, TEM 2, TEM 3 AMDK isi ulang Kecamatan Tembalang menunjukkan bahwa jenis polimer plastik yang paling sering dijumpai adalah PA dan PVC pada TEM1, TEM 2, dan TEM 3 dengan

persentase yang berturut-turut sebesar 20%, 30%, dan 27,78% . Penelitian yang dilakukan oleh Weisser *et al.*, (2021) menunjukkan hasil yang sama dimana pada sampel air mentah partikel PVC mendominasi hasil identifikasi yang ditemukan. Pada sampel air yang dilakukan *treatment* penanggulangan mayoritas ditemukan adalah PVC dengan persentase sebesar 35,3% dan dilanjutkan PA dengan persentase sebesar 29,4 %. Namun studi lain menunjukkan jenis dominasi mayoritas polimer yang berbeda-beda, misalnya Mason *et al.*, (2018) yang menyebutkan bahwa mayoritas polimer yang ditemukan adalah PP. Lain halnya dengan Schymanski *et al.*, (2018) dan Oßmann *et al.*, (2018) yang menemukan partikel PET sebagai jenis polimer yang mendominasi cemaran mikroplastik. Perbedaan jenis polimer dapat dipengaruhi secara langsung oleh jenis bahan peralatan produksi dan kemasan yang digunakan pada produk air minum.

Kelimpahan PVC yang ada pada DIUAM Kecamatan Tembalang dikarenakan karena pada ketiga DIUAM menggunakan jenis pipa PVC dalam seluruh proses produksi AMDK isi ulang. PVC sendiri merupakan salah satu polimer plastik yang paling banyak diproduksi untuk industri pangan dalam bentuk pipa saluran (Plastics Europe, 2019; Winkler *et al.*, 2019). Polimer PA sendiri dalam proses produksi ditemukan pada sikat pencuci putar pada proses *cleaning*. Polimer PA atau yang biasa dikenal dengan nilon merupakan polimer yang dimanfaatkan dalam bentuk peralatan sapu, sikat pencuci, pakaian, dan alat perlindungan diri (Scymanski *et al.*, 2019).

Dalam hasil penelitian ditemukan pula beberapa polimer plastik PE, PU, PC, EVA, PET, POM, ABS, PS dengan presentase yang bervariasi. Polimer PE sendiri merupakan jenis plastik penyusun tutup wadah kemasan. Polimer PET dan PE merupakan jenis polimer yang paling banyak digunakan sebagai bahan pembuatan wadah AMDK. Polimer PET dan PE merupakan jenis polimer yang paling banyak digunakan sebagai bahan pembuatan wadah dan tutup dalam produk air minum (Plastics Europe, 2019). POM merupakan partikel yang ditemukan di DIUAM TEM 1 dan TEM 2, polimer jenis ini biasa digunakan sebagai kopolimer pada proses pembuatan wadah kemasan botol dan galon. Biji

plastik POM adalah bahan baku kemasan seperti botol minuman, yang dapat digunakan bersentuhan langsung sebagai kopolimer dengan peralatan produksi, produk makanan, farmasi, dan bahan kimia (Ensinger, 2020).

PC, PS, dan PU merupakan polimer yang hanya ditemukan di DIUAM TEM 1. Polimer PC sendiri merupakan jenis polimer yang paling banyak digunakan sebagai bahan baku utama dari pembuatan galon. PC dipilih karena sifatnya yang kaku, kuat, dan tidak mudah terdegradasi. Srivastava dan Godara (2013) menyampaikan bahwa polimer PC dan PET merupakan polimer utama penyusun bahan baku galon air minum. PU dan PS merupakan jenis plastik yang jarang dijumpai karena dalam aplikasinya di industri pangan kedua jenis plastik tersebut hanya digunakan sebagai bahan tambahan plastik seperti kemasan dan alat produksi (American Chemistry Council, 2022; Arfin *et al*, 2014).

EVA merupakan jenis polimer yang ditemukan pada DIUAM TEM 2 dan TEM 3. EVA merupakan plastik elastis dengan daya rekat yang cukup kuat yang digunakan dalam pembuatan *rubber*, *seal plastic*, dan bahan aditif pipa (Fellow, 2017). Sedangkan jenis plastik yang ditemukan hanya pada DIUAM TEM 3 merupakan jenis plastik ABS. Plastik jenis ini jarang ditemukan karena merupakan bahan tambahan dan pelapis. Plastik jenis ABS merupakan plastik yang berstandar *food grade* yang aman untuk digunakan sebagai *plasticizer* (Fast Radius, 2021). Bahan aditif plastik seperti *plasticizer* dan kopolimer mampu menambahkan kelimpahan mikroplastik dalam sampel. Hal ini dikonfirmasi oleh Kannan dan Vimalkumar, (2021), bahan aditif plastik dapat berkontribusi menambah paparan dan kelimpahan produk tersebut.

### **5.3. Aspek Produksi Air Minum Yang Berpotensi Menjadi Sumber Kontaminasi Mikroplastik**

Adanya perbedaan proses produksi AMDK isi ulang bisa mempengaruhi jumlah mikroplastik pada masing – masing sampel. Treatment yang diberikan pada air minum dapat berupa koagulasi atau flokulasi, sedimentasi, filtrasi



menggunakan pasir, maupun filtrasi dengan karbon aktif (Pivokonsky *et al.*, 2018). Dengan adanya treatment tertentu dan praktik yang baik konsentrasi mikroplastik dapat berkurang signifikan. Dalam penelitian ini menunjukkan DIUAM TEM 1 yang tidak menggunakan penyinaran UV dan tidak melakukan praktik produksi yang baik memiliki cemaran konsentrasi mikroplastik paling tinggi. Perbedaan penyinaran UV dalam proses produksi mampu mempengaruhi kelimpahan mikroplastik.

Mikroplastik juga dapat ditemukan pada saat *cleaning* dan *filling*. Proses *cleaning* secara langsung menggunakan sikat mampu menyebabkan gesekan antara permukaan sikat dan kemasan galon yang tentunya menyebabkan terjadinya degradasi mekanik. Sikat yang berbahan dasar nilon dan galon yang berbahan dasar PC akan mengalami gesekan yang jumlahnya tentu menambah konsentrasi mikroplastik dengan bentuk tak beraturan di dalam galon. Schymanski *et al.* (2018) memperoleh nilai konsentrasi mikroplastik tertinggi pada sampel kemasan plastik yang digunakan berulang-ulang yang disebabkan oleh aspek pemakaian berulang dan pencucian. Weisser *et al.* (2021) menemukan adanya peningkatan konsentrasi mikroplastik yang signifikan selama proses *filling*. Kontaminasi yang mungkin terjadi disebabkan karena bahan pipa produksi DIUAM yang berbahan dasar PVC yang terdegradasi dan masuk kedalam galon AMDK isi ulang.

Proses dalam proses filtrasi dilakukan penyaringan dengan ukuran hingga 1 mikron, apabila filter tersebut digunakan terus menerus tanpa ada penggantian berkala akan memicu kerusakan dan ketidak efektifan hasil saring dari microfilter. *Microfilter* DIUAM apabila digunakan secara terus menerus tanpa penggantian akan terkikis dan memicu kontaminasi mikroplastik dalam AMDK isi ulang. Komponen *microfilter* dalam proses filtrasi itu sendiri juga mampu mempengaruhi kelimpahan mikroplastik. *Microfilter* berbahan dasar plastik *fiber* PP yang disusun dengan ukuran tertentu (Anis & Hilal, 2019). Ketika terkena *stress* mekanis dalam jangka waktu tertentu *fiber* dapat terdegradasi.

Proses distribusi pada AMDK isi ulang juga dapat mempengaruhi kelimpahan mikroplastik. Susunan galon yang tinggi dalam proses distribusi memungkinkan terjadinya tekanan pada kemasan dan tutup kemasan AMDK Isi Ulang. Adanya tekanan dan gesekan akan memicu polimer plastik untuk rusak dan terdegradasi. Hal yang sama juga dikemukakan oleh Kankanige & Babel pada tahun 2020, yang menyampaikan stress pada kemasan AMDK selama penyimpanan dan distribusi dapat menyebabkan pelepasan partikel mikroplastik ke dalam AMDK. Hal serupa juga ditemukan pada penelitian lain yang menyampaikan bahwa lingkungan dan adanya degradasi mekanis pada peralatan plastik yang digunakan selama distribusi dan treatment pada air berpengaruh secara langsung dengan kelimpahan mikroplastik secara signifikan (Lam *et al.*, 2020; Shruti *et al.*, 2020).

Dari beberapa aspek produksi yang mungkin menyebabkan kelimpahan mikroplastik dalam AMDK isi ulang ada beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan. Dalam segi regulasi, pemerintah perlu melakukan pengawasan sesuai dengan standar yang ada secara berkala. Rekomendasi standar produksi untuk DIUAM diawali dengan perlunya *pre-treatment* yang ada baik dalam bentuk sedimentasi, flokulasi, dan penggunaan aerasi sesuai dengan kondisi air baku. Tentunya penggunaan *pre-treatment* dapat meminimalisir kontaminasi mikroplastik sebelum proses produksi dimulai. Rekomendasi selanjutnya merupakan penggunaan metode *cleaning* dengan metode *pump* lebih mengurangi kelimpahan mikroplastik yang ada. Penyemprotan lebih mampu meminimalisir *leaching* yang terjadi pada kemasan. Sedangkan penggunaan penyikatan akan lebih menimbulkan gesekan secara langsung antara sikat dan kemasan AMDK Isi Ulang.

#### **5.4. Estimasi Paparan Mikroplastik**

Paparan partikel mikroplastik dalam manusia dapat berasal dari berbagai sumber, seperti: konsumsi makanan atau minuman dan melalui inhalasi atau

pernafasan (Cox *et al.*, 2019). Pedoman nilai konsumsi air putih setiap hari adalah 2 L untuk dewasa (WHO, 2016). Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa estimasi maksimal paparan mikroplastik dengan sebesar 333,34 partikel/hari hingga 406,6 partikel/hari. Donopoulos *et al.* (2020) mengestimasi paparan mikroplastik di wilayah asia pada instalasi air minum dan air minum dalam botol berturut-turut sebesar 880 partikel/hari dan 280 partikel/hari. Penelitian Nor *et al.* (2021) mengestimasi paparan mikroplastik dari melalui ingesti makanan sebesar 863 partikel/kapita/hari. Studi lain juga mengesrimasikan paparan mikroplastik melauai air minum 382 partikel/hari (Yadav *et al.*, 2022). Hasil estimasi memiliki nilai yang berbeda-beda disebabkan oleh kelimpahan konsentrasi mikroplastik masing-masing.

Konsumsi air minum merupakan salah satu jalur masuknya mikroplastik ke dalam tubuh manusia. Nilai paparan mikroplastik dalam tubuh manusia dipengaruhi oleh 2 faktor utama yaitu konsentrasi mikroplastik dan konsumsi air minum tiap harinya. Semakin besar nilai kelimpahan konsentrasi mikroplastik akan semakin besar pula paparannya ke tubuh manusia. Dari hasil penelitian yang dilakukan salah satu faktor yang mempengaruhi kelimpahan mikroplastik adalah penerapan *good practices*. Pemilihan depot dengan penerapan praktik yang baik dapat dilakukan untuk meminimalisir paparan mikroplastik pada tubuh manusia. Sama halnya dengan konsumsi air minum, semakin tinggi konsumsi air minum, semakin tinggi pula paparannya. Perbedaan konsumsi air minum dapat bervariasi tergantung jenis kelamin, cuaca, dan aktivitas dari masing-masing individu. Danopoulus *et al.* (2020) menyampaikan bahwa paparan mikroplastik pada tubuh manusia bervariasi tergantung pada jenis kelamin, iklim, pola makan, dan aktivitas fisik