

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Konsentrasi mikroplastik dalam air minum dalam kemasan (AMDK) galon isi ulang

Tabel 3. menunjukkan pada semua sampel AMDK galon bermerek ditemukan adanya mikroplastik. Pada Tabel 3., dapat dilihat bahwa konsentrasi mikroplastik yang ditemukan pada tiap merek AMDK galon bermerek berbeda-beda yaitu 74,00–195,67 partikel/L. Hasil yang didapatkan hampir sama dengan penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Giese *et al.* (2021) menemukan pada botol *polyethylene terephthalate* (PET) isi ulang ditemukan mikroplastik dengan konsentrasi 242 ± 64 partikel/L. Schymanski *et al.* (2018) menemukan 118 ± 88 partikel mikroplastik/L pada botol PET isi ulang. Oßmann *et al.* (2018), menemukan 4889 ± 5432 partikel mikroplastik/L pada botol PET isi ulang.

Menurut Eerkes-Medrano *et al.* (2019) dan WHO (2019) sumber kontaminasi mikroplastik dapat berasal dari air baku, bahan pengemas, proses produksi, proses distribusi, proses pembersihan, proses pengisian ulang, dan proses pengemasan. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi konsentrasi mikroplastik dalam AMDK galon bermerek yaitu sumber air baku yang digunakan, *water treatment process* yang digunakan, proses pembersihan galon dan pengisian ulang, umur galon dan juga jenis kemasan yang dipakai.

Sumber air baku yang digunakan pada semua merek AMDK galon bermerek berasal dari air tanah. Air tanah dapat mengalami kontaminasi mikroplastik yang berasal dari limbah plastik padat atau cair yang dibuang ke tanah dan mengalami degradasi sehingga dapat mengontaminasi air tanah (WHO, 2019). Mintenig *et al.* (2019) menemukan adanya mikroplastik pada air baku yang berasal dari air tanah dengan konsentrasi 0,007 partikel/L di Jerman, Panno *et al.* (2019) menemukan adanya 15,2 partikel mikroplastik di Amerika Serikat, dan Selvam *et al.* (2021) menemukan adanya 19,9 partikel mikroplastik di India. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa air tanah dari lokasi yang berbeda akan memiliki konsentrasi

mikroplastik yang berbeda. Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan tingkat cemaran plastik pada masing–masing daerah.

Sumber air baku yang berbeda dapat mempengaruhi konsentrasi mikroplastik pada air minum. Koelmans *et al.* (2019) menemukan bahwa pada air tanah konsentrasi mikroplastik lebih sedikit dibandingkan pada air tawar yang disebabkan oleh adanya perbedaan konsentrasi kontaminasi plastik pada lingkungan tersebut. Pada penelitian ini, semua merek AMDK galon bermerek berasal dari air tanah namun tidak dari daerah yang sama. Sehingga, salah satu faktor yang dapat menyebabkan perbedaan konsentrasi pada AMDK galon bermerek yaitu perbedaan daerah sumber air baku.

Water treatment process (WTP) dapat menjadi salah satu sumber kontaminasi mikroplastik pada air minum. Pivokonsky *et al.* (2018) juga menemukan bahwa pada air yang sudah diolah menggunakan sistem flotasi, *sand* dan *carbon filtration* masih terdapat partikel mikroplastik dengan konsentrasi 338 ± 76 partikel/L sampel. Sumber kontaminasi dapat berasal dari filter, wadah penampung filter dan pipa yang digunakan untuk mengalirkan air (Dalmau-Soler *et al.*, 2021).

WTP yang berbeda dapat mempengaruhi konsentrasi mikroplastik pada air minum. Pivokonsky *et al.* (2018) menemukan bahwa WTP yang menggunakan flotasi, *sand filtration* dan *carbon filtration* merupakan metode yang paling efektif dalam menghilangkan mikroplastik dari air minum. Sedangkan, metode WTP konvensional yang hanya menggunakan *sand filtration* hanya dapat menghilangkan 70% mikroplastik dari air baku. Na *et al.* (2021) juga menemukan bahwa dengan WTP *sand filtration* hanya efektif dalam menghilangkan partikel mikroplastik yang berukuran 45–90 μm .

Perbedaan WTP yang digunakan akan menghasilkan konsentrasi mikroplastik yang berbeda pula. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi mikroplastik yang ditemukan pada setiap merek AMDK galon bermerek berbeda – berbeda. Pada penelitian ini AMDK galon merek E menggunakan filtrasi dengan metode *reverse osmosis* (PT Amidis Tirta Mulya, 2019). Sedangkan, pada AMDK galon merek A, B, dan D diduga menggunakan WTP metode *clarification* (*sand*

filtration) dan *carbon filtration* dengan granula pasir berukuran 200-500 μm (Dalmau-Soler *et al.*, 2021; WHO, 2019). Menurut Dalmau-Soler *et al.* (2021) air minum yang menggunakan *advanced water treatment process* yaitu menggunakan *reverse osmosis* memiliki konsentrasi mikroplastik yang lebih sedikit yaitu $0,06 \pm 0,04$ partikel/L sampel dibandingkan yang hanya menggunakan *sand* dan *carbon filtration* (0,14–0,13 partikel/L sampel). Oleh karena itu, AMDK galon merek E memiliki konsentrasi yang lebih sedikit dibandingkan AMDK galon merek A dan B. Pivokonský *et al.* (2020), juga menemukan bahwa pada *advanced water treatment process*, kemampuan menghilangkan mikroplastik lebih tinggi (88%) dibandingkan *regular water treatment process* (40%). Pada metode *reverse osmosis* ukuran filter yang digunakan sangat kecil (0,001 μm) sehingga partikel mikroplastik yang berukuran besar tidak dapat lolos dari filter dan masuk ke dalam air minum (Dalmau-Soler *et al.*, 2021).

AMDK galon merek C menggunakan metode hiperfiltrasi. Meskipun bukan merupakan *advanced water treatment process*, metode hiperfiltrasi menggunakan ukuran filter yang lebih kecil (0,1–0,2 μm) dibandingkan metode *sand* dan *carbon filtration* (200-500 μm) (Malkin, 2001; Tanobel, 2022; WHO, 2019). Sehingga, konsentrasi mikroplastik pada AMDK galon merek C lebih sedikit dibandingkan AMDK galon merek A.

Proses pembersihan galon dan pengisian ulang juga dapat menjadi sumber kontaminasi. Weisser *et al.* (2021) menemukan bahwa selama proses pembersihan kemasan air minum terdapat mikroplastik dengan konsentrasi 489–3240 partikel/L. Sedangkan, pada proses pengisian dan *sealing* air minum ditemukan mikroplastik dengan konsentrasi 75–700 partikel/L. Proses penyikatan dan penyemprotan yang terjadi selama pembersihan dapat menyebabkan terjadinya abrasi pada galon maupun bagian mesin. Sehingga, partikel-partikel mikroplastik lepas dan mengontaminasi produk (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019; Oßmann *et al.*, 2018). Oleh karena itu, proses pembersihan yang kurang baik dapat menyebabkan adanya peningkatan konsentrasi mikroplastik pada air minum.

Jenis kemasan menjadi salah satu faktor yang sangat mempengaruhi konsentrasi mikroplastik pada air minum. Schymanski *et al.*, (2018) dan Oßmann

et al. (2018), menemukan bahwa mikroplastik pada air minum kemasan botol yang dapat dipakai berulang lebih tinggi dibandingkan air minum kemasan botol sekali pakai. Praktik penggunaan berulang kali dapat menyebabkan botol mengalami tekanan yang lebih banyak yang dapat menyebabkan peningkatan abrasi pada bahan pengemas. Oleh karena itu, terjadi peningkatan konsentrasi mikroplastik pada air minum dengan kemasan botol yang sudah dipakai berulang kali. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian Giese *et al.* (2021), yaitu pada botol yang dibuka berkali-kali memiliki konsentrasi mikroplastik (242 ± 64 partikel/L sampel) yang lebih tinggi dibandingkan botol yang dibuka sekali (131 ± 25 partikel/L sampel). Proses membuka dan menutup botol dapat menyebabkan terjadinya abrasi pada kemasan maupun tutup botol. Sehingga partikel mikroplastik dapat terlepas dan mengontaminasi air minum di dalamnya (Giese *et al.*, 2021). Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa AMDK galon merek B menggunakan kemasan botol PET sekali pakai. Sedangkan AMDK galon merek C menggunakan kemasan botol PET isi ulang. Oleh karena itu, konsentrasi mikroplastik pada AMDK galon merek B lebih sedikit dibandingkan AMDK galon merek C.

Usia dari galon dapat mempengaruhi konsentrasi mikroplastik pada air minum. Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa setiap AMDK galon bermerek memiliki umur yang berbeda – beda. Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin tua usia galon, semakin tinggi konsentrasi mikroplastik. Semakin tua usia galon, semakin sering galon tersebut digunakan untuk pengisian ulang. Oßmann *et al.* (2018) juga menemukan bahwa pada galon yang lebih baru, jumlah mikroplastik (2689 ± 4371 partikel/L sampel) lebih sedikit dibandingkan galon yang lebih tua (8339 ± 7043 partikel/L). Pada botol yang lebih tua, tekanan yang dialami lebih banyak karena penggunaan galon yang lebih sering. Proses pencucian, penyimpanan galon yang terkena sinar matahari langsung, dan *refilling* dapat memberikan “*stress*” pada botol yang dapat meningkatkan proses abrasi dan pelepasan mikroplastik. Proses – proses tersebut juga dapat mempengaruhi permukaan dalam dari kemasan yang menyebabkannya semakin tipis dan rapuh sehingga semakin mudah untuk melepaskan partikel – partikel plastik. Sehingga, semakin sering proses tersebut dilakukan, kondisi galon akan semakin jelek yang dapat menyebabkan kontaminasi

mikroplastik semakin tinggi (Oßmann *et al.*, 2018). Oleh karena itu, AMDK galon merek D yang memiliki umur galon paling baru mempunyai konsentrasi mikroplastik yang paling sedikit.

Mengacu pada Gambar 7., dapat dilihat bahwa konsentrasi galon yang berusia 2017 lebih sedikit dibandingkan galon usia 2018. Galon yang berusia 2017 merupakan AMDK galon merek E dan galon usia 2018 merupakan merek C. AMDK galon merek E menggunakan filtrasi dengan metode *reverse osmosis* (PT Amidis Tirta Mulya, 2019). Sedangkan, pada AMDK galon bermerek C menggunakan WTP metode hiperfiltrasi (Tanobel, 2022). Sehingga membran filter yang digunakan pada merek E ($0,001 \mu\text{m}$) berukuran lebih kecil dibandingkan merek C ($0,1-0,2 \mu\text{m}$) (WHO, 2019). Oleh karena itu, WTP pada AMDK galon merek E lebih efektif dalam menghilangkan partikel-partikel mikroplastik terutama yang berukuran besar. Sehingga, meskipun usia galon merek E lebih tua dibandingkan merek C, didapatkan konsentrasi mikroplastik yang lebih sedikit dibandingkan AMDK galon bermerek C.

Selama proses penyimpanan, plastik termasuk kemasan galon juga dapat mengalami degradasi karena sinar matahari, oksigen dan panas yang berlebihan. Degradasi karena cahaya dapat menyebabkan reaksi pemotongan rantai dan *crosslinking* yang dapat mempengaruhi sifat fisik dari plastik tersebut seperti menjadi lebih rapuh (Ainali *et al.*, 2021). Selama proses foto degradasi permukaan plastik akan menyerap sinar UV dan menyebabkan pemotongan pada rantai C-C dan C-H sehingga densitas plastik menurun, ikatan polimer plastik melemah yang menyebabkan plastik menjadi rapuh dan pecah. Proses degradasi secara termal hampir sama dengan degradasi karena cahaya dimana panas yang tinggi akan memotong rantai C-C (Luo *et al.*, 2022). Sehingga proses penyimpanan yang tidak benar seperti terpapar sinar matahari langsung dan diletakkan di tempat yang panas dapat menyebabkan degradasi pada kemasan galon dan meningkatkan konsentrasi mikroplastik pada air minum. Song *et al.* (2017) menemukan bahwa pada *pellet polyethylene* (PE) dan *polypropylene* (PP) yang diberi radiasi UV selama 12 bulan mengalami degradasi dan melepaskan mikroplastik dengan konsentrasi $6,084 \pm 1,061$ partikel/*pellet*.

5.2. Bentuk partikel mikroplastik pada air minum dalam kemasan (AMDK) galon isi ulang

Mengacu pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa pada semua sampel AMDK galon bermerek, ditemukan bentuk partikel mikroplastik yang paling dominan adalah *fragment* dan kemudian diikuti oleh *fiber*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar mikroplastik yang ditemukan merupakan mikroplastik sekunder. Mikroplastik sekunder merupakan mikroplastik yang dihasilkan dari proses degradasi sampah plastik yang lebih besar sehingga memiliki bentuk dan karakteristik fisik dan kimia yang sangat bervariasi (Lozano *et al.*, 2021). Hasil yang didapatkan sebanding dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan seperti penelitian oleh Schymanski *et al.* (2018), Pivokonsky *et al.* (2018), Kankanige dan Babel (2020), Oßmann *et al.* (2018), Mason *et al.* (2018) bahwa sebagian besar polimer yang ditemukan merupakan *fragment* dan *fiber*.

Bentuk partikel *fragment* dapat menunjukkan bahwa sumber cemaran dapat berasal dari degradasi berbagai jenis produk plastik seperti degradasi bahan pengemas plastik yang digunakan, peralatan yang digunakan untuk pencucian, peralatan yang digunakan untuk sistem transportasi air seperti pipa, dan dapat juga berasal dari sumber air baku yang digunakan (Pivokonsky *et al.*, 2018). Proses fragmentasi pada plastik dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti oksidasi oleh cahaya dan suhu, abrasi secara mekanis, hidrolisis, dan biodegradasi. Proses oksidasi oleh cahaya dan suhu, hidrolisis serta biodegradasi biasanya terjadi di lingkungan atau sumber air baku. Sedangkan, adanya abrasi secara mekanis dapat terjadi selama proses pencucian galon dan di lingkungan (Song *et al.*, 2017). Proses pencucian dengan penyikatan bagian dalam galon dapat menyebabkan adanya abrasi secara mekanis sehingga polimer plastik dapat terlepas dan masuk ke dalam air (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019). Song *et al.* (2017) menemukan adanya 8,7-10 partikel mikroplastik berbentuk *fragment* per pellet PE dan PP yang mengalami abrasi secara mekanis. Sehingga ditemukan banyak partikel berbentuk *fragment* dapat menunjukkan salah satu sumber kontaminasi mikroplastik dapat berasal dari proses pembersihan. Partikel-partikel mikroplastik di lingkungan yang mengalami

fragmentasi dapat masuk ke sumber air baku yang digunakan pada AMDK galon bermerek. Sehingga, sumber kontaminasi juga dapat berasal dari air baku yang digunakan (Lozano *et al.*, 2021).

Bentuk fiber biasanya dapat berasal dari limbah tekstil yang dibuang ke lingkungan ataupun dari alat pelindung diri (APD) karyawan apabila APD yang digunakan berbahan plastik (Pivokonsky *et al.*, 2018). Selain itu, bentuk *fiber* juga dapat berasal dari udara. Dris *et al.* (2016) menemukan adanya mikro partikel berbentuk fiber dengan jumlah 110 ± 96 partikel/m²/hari dan sebagian besar merupakan *synthetic fiber* seperti PET, PA dan PU. Sehingga udara atau lingkungan sekitar ruang produksi air minum dapat menjadi salah satu sumber kontaminasi mikroplastik. Pada beberapa sampel seperti merek A dan merek B ditemukan adanya bentuk *pellet* dan *spherical*. Kedua bentuk tersebut menunjukkan bahwa terdapat mikroplastik primer yang sejak awal sudah berbentuk mikroplastik. Sehingga, sumber kontaminasi juga dapat berasal dari limbah industri kosmetik yang mengontaminasi air baku (Lozano *et al.*, 2021).

Bentuk mikroplastik juga sangat mempengaruhi bioavailabilitasnya dalam tubuh. Bentuk *spherical* lebih mudah diserap oleh tubuh dan masuk ke dalam peredaran darah (Leslie *et al.*, 2022). Bentuk fiber lebih bersifat persisten di dalam tubuh dan dapat menyebabkan inflamasi akut dan kronis pada saluran pernafasan. Mikroplastik berbentuk *fiber* dengan ukuran yang lebih panjang ($>10 \mu\text{m}$) lebih bersifat karsinogenik (Wright & Kelly, 2017). Bentuk partikel juga berkaitan dengan perpindahan pada *air-liquid interphase* dimana bentuk yang lebih tajam seperti *fragment* cenderung tidak pindah ke dalam cairan. Sedangkan, bentuk *fiber* lebih mudah berpindah ke media cair di dalam tubuh (Kankanige & Babel, 2020).

5.3. Ukuran partikel mikroplastik pada air minum dalam kemasan (AMDK) galon isi ulang

Mengacu pada Gambar 5. dapat dilihat bahwa pada semua sampel AMDK galon bermerek ukuran mikroplastik yang paling dominan adalah 21–50 μm (36,74%–56,01%). Hasil yang didapatkan cukup berbeda dengan beberapa

penelitian – penelitian terdahulu. Mason *et al.* (2018), menemukan bahwa sebagian besar ukuran partikel mikroplastik yang ditemukan pada AMDK adalah 6,5–100 μm . Sedangkan, Kankanige & Babel (2020) menemukan bahwa ukuran mikroplastik yang paling dominan pada AMDK adalah 6,5–20 μm . Schymanski *et al.* (2018) juga menemukan ukuran mikroplastik yang paling dominan pada AMDK adalah 5–20 μm . Perbedaan ukuran yang ditemukan dapat disebabkan oleh berbagai hal seperti sumber kontaminasi, perbedaan tingkat degradasi plastik, perbedaan metode identifikasi dan analisis yang digunakan (Danopoulos *et al.*, 2020).

WTP yang digunakan dapat mempengaruhi ukuran partikel mikroplastik yang didapatkan. AMDK galon merek E menggunakan filtrasi dengan metode *reverse osmosis* (PT Amidis Tirta Mulya, 2019) sehingga ukuran membran yang digunakan mencapai 0,001 μm (WHO, 2019). Sedangkan, pada AMDK galon merek A diduga menggunakan WTP metode *sand* dan *carbon filtration*, sehingga ukuran granula pasir yang digunakan adalah 200-500 μm (WHO, 2019).

Sebagian besar mikroplastik pada AMDK galon merek E yang berasal dari air baku dan berukuran besar ($>0,001 \mu\text{m}$) akan tersaring selama WTP. Sehingga, kontaminasi mikroplastik dari air baku akan lebih sedikit (Dalmau-Soler *et al.*, 2021; Pivokonsky *et al.*, 2018). Namun, pada Gambar 6. dapat dilihat bahwa rata – rata ukuran partikel yang didapatkan adalah $74,47 \pm 33,37 \mu\text{m}$. Proses pencucian, *refilling*, transportasi air minum, dan pengemasan masih dapat melepaskan mikroplastik dan menyebabkan kontaminasi (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019; Winkler *et al.*, 2019). Kemasan yang digunakan berupa *polycarbonate* (PC) dan *polyethylene terephthalate* (PET) dapat mengalami degradasi dan *leaching* akibat adanya gesekan selama proses pencucian, panas selama proses pencucian ataupun transportasi dan penyimpanan di retail, serta tekanan mekanis dari gerakan menutup dan membuka botol (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019; Winkler *et al.*, 2019). Selama proses pencucian, penggunaan sikat berbahan plastik juga dapat mengontaminasi air minum (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019). Pada penelitian Weisser *et al.* (2021) juga ditemukan adanya peningkatan konsentrasi mikroplastik pada air yang sudah dimasukkan dalam botol dan dikemas (75-700 partikel/L) dibandingkan air yang sudah diolah (0,046-0,053 partikel/L). Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses

pengisian air dan pengemasan dapat menjadi salah satu sumber kontaminasi mikroplastik.

Ukuran rata-rata partikel mikroplastik AMDK galon merek A adalah $33,50 \pm 19,66 \mu\text{m}$. Hasil yang didapatkan sesuai dengan penemuan Na *et al.* (2021) bahwa WTP *sand filtration* hanya efektif dalam menghilangkan partikel mikroplastik yang berukuran $45\text{--}90 \mu\text{m}$. Oleh karena itu, masih banyak ditemukan partikel mikroplastik berukuran $<45 \mu\text{m}$ pada AMDK galon merek A.

Ukuran partikel mikroplastik sangat mempengaruhi toksisitasnya. Semakin kecil ukuran partikel, semakin mudah partikel tersebut masuk ke dalam sel tubuh sehingga semakin tinggi toksisitasnya (Leslie *et al.*, 2022). Partikel mikroplastik yang berukuran $<2,5 \mu\text{m}$ dapat melewati membran sel dan menyebabkan stres oksidatif dan inflamasi pada tubuh serta dapat menyebabkan peningkatan risiko penyakit kardiovaskular dan penyakit saluran pernafasan atau kanker paru-paru (Vethaak & Legler, 2021). Partikel yang memiliki ukuran $10 \mu\text{m}$ dapat melewati sel membran dan masuk ke dalam pembuluh darah serta berbagai organ tubuh sehingga dapat menimbulkan toksisitas pada tubuh manusia (Campanale *et al.*, 2020). Partikel mikroplastik yang berukuran paling kecil ($<0,1 \mu\text{m}$) akan lebih mudah melewati membran sel dan masuk ke berbagai organ seperti plasenta dan otak (Vethaak & Legler, 2021). Partikel yang berukuran $<20 \mu\text{m}$ dapat menembus organ (Campanale *et al.*, 2020). Sedangkan, partikel mikroplastik yang berukuran lebih besar akan diekskresikan melalui feses ataupun apabila ada pengendapan di saluran pernafasan atau paru – paru, akan dibersihkan melalui *mucociliary* menuju ke usus (Vethaak & Legler, 2021).

Schwabl *et al.* (2019), menemukan adanya partikel mikroplastik berukuran $50\text{--}500 \mu\text{m}$ pada feses manusia. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa partikel yang berukuran $<50 \mu\text{m}$ masih dapat masuk dan terakumulasi dalam tubuh. Pada penelitian ini, mayoritas ukuran partikel yang ditemukan yaitu $20\text{--}50 \mu\text{m}$. Namun, masih ditemukan partikel berukuran $<20 \mu\text{m}$ ($9,83 \pm 10,66\%$) pada sampel AMDK galon bermerek. Sehingga, konsumsi mikroplastik melalui AMDK galon bermerek diduga dapat menyebabkan masuknya mikroplastik ke dalam organ-organ tubuh dan menimbulkan berbagai risiko kesehatan.

5.4. Jenis polimer mikroplastik pada air minum dalam kemasan (AMDK) galon isi ulang

Metode spektrofotometri *fourier transform infrared* (FTIR) merupakan salah satu metode verifikasi partikel yang ditemukan merupakan plastik atau bukan. Dari hasil analisis menggunakan spektrofotometer FTIR, dapat dilihat jenis polimer plastik yang ditemukan (Elkhatib & Oyanedel-Craver, 2020; Schymanski *et al.*, 2018).

Mengacu pada Gambar 6., dapat dilihat bahwa jenis polimer yang paling sering ditemukan pada AMDK galon bermerek adalah *polyamide* (PA) (40-10,53%), *polyvinyl chloride* (PVC) (11,11-26,32%), *polyethylene terephthalate* (PET) (5,56-20%), *polyethylene* (PE) (4,00-18,55%), dan *polypropylene* (PP) (6,45-21,05%). Hasil yang didapatkan sebanding dengan beberapa penelitian terdahulu. Oßmann *et al.* (2018), menemukan pada AMDK, polimer PET, PP dan PE merupakan yang paling dominan. Sedangkan, Schymanski *et al.* (2018) menemukan PET, PP, PE dan PA sebagai polimer yang paling dominan dalam AMDK. Kankanige & Babel (2020), menemukan sebagian besar polimer pada AMDK adalah PET, PE, PP, PA dan PVC. Mason *et al.* (2018) polimer yang paling dominan dalam AMDK adalah PP dan PA.

Polimer PA banyak ditemukan pada AMDK galon merek A, C, D dan E. PA atau *nylon* merupakan material yang biasanya digunakan sebagai bahan baju atau APD. Selain itu, PA juga merupakan mikro partikel yang banyak terdapat di udara (Dris *et al.*, 2016). PA juga digunakan sebagai material pada sikat untuk membersihkan galon (Gabrielle *et al.*, 2019). Sehingga keberadaan PA dapat menunjukkan bahwa sumber kontaminasi mikroplastik pada air minum dapat berasal dari udara atau lingkungan di ruang produksi, APD dan proses pembersihan galon. Proses penyikatan bagian dalam galon dapat menyebabkan adanya abrasi secara mekanis sehingga polimer plastik pada sikat dan galon dapat terlepas dan masuk ke dalam air (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019). PA juga biasanya digunakan sebagai bahan untuk membran *reverse osmosis* (Ben-David *et al.*, 2006). AMDK galon merek E menggunakan metode WTP *reverse osmosis* (PT Amidis Tirta

Mulya, 2019). Sehingga, dapat disimpulkan bahwa salah satu sumber cemaran mikroplastik pada AMDK galon merek E dapat berasal dari proses pengolahan air. Hasil yang sama juga didapatkan oleh Dalmau-Soler *et al.* (2021), bahwa pada air yang diolah dengan metode *reverse osmosis* banyak ditemukan PA dikarenakan adanya migrasi dari membran filter (Dalmau-Soler *et al.*, 2021).

PVC merupakan material yang biasanya digunakan untuk pipa transportasi air selama proses produksi (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019). Selain itu, PVC juga digunakan sebagai material sikat untuk membersihkan galon (Aprilman *et al.*, 2022). PVC ditemukan pada semua merek AMDK galon bermerek dengan konsentrasi 11-21%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa salah satu sumber cemaran mikroplastik pada air minum dapat berasal dari proses pembersihan galon dan transportasi air. Pada AMDK galon merek C PVC merupakan polimer yang sering ditemukan. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan sumber cemaran pada AMDK galon merek C berasal dari proses pembersihan galon. Proses pencucian dengan penyikatan bagian dalam galon dapat menyebabkan adanya abrasi secara mekanis sehingga polimer plastik pada sikat dan galon dapat terlepas dan masuk ke dalam air (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019). Hasil yang didapatkan juga didukung oleh rata-rata ukuran partikel yang ditemukan pada merek C. Rata-rata ukuran mikroplastik yang ditemukan pada merek C adalah $49,83 \pm 12,65 \mu\text{m}$. Sedangkan, WTP yang digunakan pada merek C adalah hiperfiltrasi sehingga partikel yang berukuran relatif besar akan tersaring selama proses filtrasi. Oleh karena itu, ukuran yang cukup besar menunjukkan bahwa kemungkinan sumber cemaran berasal dari proses pencucian, *refilling*, transportasi air minum, dan pengemasan (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019; Winkler *et al.*, 2019).

PP merupakan polimer yang sering ditemukan pada AMDK galon merek C. Selain itu, PP juga ditemukan pada AMDK galon merek A, B, D, dan E. PP merupakan material yang biasanya digunakan untuk tutup pada botol dan galon (Oßmann, 2021). Sehingga, keberadaan PP menunjukkan bahwa salah satu sumber kontaminasi mikroplastik pada air minum dapat berasal dari tutup botol. Proses membuka dan menutup botol dapat menyebabkan terjadinya abrasi pada kemasan maupun tutup botol sehingga material dapat *leaching* dan masuk ke dalam air

minum (Winkler *et al.*, 2019). Hasil yang didapatkan sebanding dengan penelitian Winkler *et al.* (2019) yaitu ditemukan banyak polimer PP pada AMDK sekali pakai dan salah satu sumbernya yaitu abrasi pada tutup botol. Giese *et al.* (2021) juga menemukan pada AMDK kemasan isi ulang terdapat PP yang berasal dari abrasi tutup botol pada saat membuka botol pertama kali.

PE merupakan material yang biasanya digunakan pada pipa untuk mengalirkan air minum selama proses produksi (Gomiero *et al.*, 2021; Kirstein *et al.*, 2021). PE juga biasanya digunakan sebagai material tutup botol dan galon (Oßmann, 2021). PE merupakan partikel yang sering ditemukan pada merek A. Pada merek B, C, D, dan E juga ditemukan adanya PE (4-16%). Selama proses distribusi air, dapat terjadi abrasi secara mekanis pada pipa yang digunakan sehingga material pada pipa dapat *leaching* dan masuk ke dalam air minum (Gomiero *et al.*, 2021). Sehingga kemunculan PE menunjukkan bahwa sumber cemaran mikroplastik pada air minum dapat berasal dari proses transportasi air selama produksi dan tutup botol. Adanya abrasi selama proses membuka dan menutup botol dapat menyebabkan adanya *leaching* dan mengkontaminasi air minum (Winkler *et al.*, 2019). Selain itu, proses pengemasan juga dapat menyebabkan adanya abrasi pada tutup botol dan menyebabkan *leaching* sehingga mikroplastik dapat masuk ke dalam air minum (Weisser *et al.*, 2021).

Ethylene vinyl acetate (EVA) merupakan jenis polimer yang sering digunakan sebagai material pada *multilayer film* bersama LDPE. Selain itu, EVA juga digunakan sebagai material insulator pada kabel, mainan, sepatu, dan bahan pengemas alat medis (Susan & John, 2016). Sehingga salah satu sumber EVA dapat berasal dari pembuangan limbah – limbah plastik padat ke lingkungan yang dapat menyebabkan adanya kontaminasi mikroplastik pada sumber air baku yang digunakan (Sarmah *et al.*, 2018). Adanya berbagai jenis limbah plastik yang dibuang ke lingkungan menyebabkan jenis polimer plastik yang teridentifikasi pada air baku juga dapat sangat beragam (Mintenig *et al.*, 2019; Panno *et al.*, 2019; Selvam *et al.*, 2021). EVA merupakan salah satu polimer yang paling sering ditemukan di AMDK galon merek B. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa

sumber kontaminasi mikroplastik pada merek C juga dapat berasal dari air baku yang digunakan.

PET ditemukan pada semua merek AMDK galon bermerek dengan sebaran 10-20%. PET merupakan material yang biasanya digunakan sebagai bahan kemasan botol dan galon (Kankanige & Babel, 2020; Schymanski *et al.*, 2018; Winkler *et al.*, 2019). Sehingga keberadaan PET dapat menunjukkan bahwa sumber kontaminasi mikroplastik pada air minum dapat berasal dari kemasan yang digunakan. Mortula *et al.* (2021) juga menemukan PET dapat melepaskan 72,2 mg mikroplastik/L sampel. Proses pencucian, penyimpanan galon yang terkena sinar matahari langsung, *refilling*, dan gerakan membukakan dan menutup botol dapat memberikan “*stress*” pada galon yang menyebabkan terlepasnya partikel – partikel plastik (Giese *et al.*, 2021; Oßmann *et al.*, 2018; Schymanski *et al.*, 2018). Selain PET, bahan kemasan galon lainnya adalah *polycarbonate* (PC). Pada beberapa AMDK galon bermerek seperti merek A, D, dan E yang menggunakan material PC sebagai bahan kemasannya, ditemukan adanya mikroplastik jenis PC (6-14%). Mortula *et al.* (2021) menemukan bahwa PC dapat mengalami *leaching* ketika mengalami abrasi secara mekanis. Oleh karena itu, penyikatan bagian dalam galon menyebabkan adanya abrasi secara mekanis yang menyebabkan polimer plastik pada sikat dan galon dapat terlepas dan masuk ke dalam air (Eerkes-Medrano *et al.*, 2019).

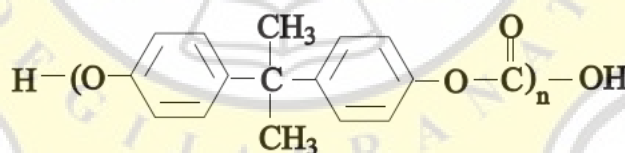
Polimer plastik yang berbeda memiliki stabilitas yang berbeda pula, termasuk kemasan galon. Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa kemasan galon yang digunakan pada AMDK galon bermerek adalah PC dan PET. PC dan PET memiliki struktur kimia yang berbeda sehingga memiliki stabilitas yang berbeda. PC memiliki 2 cincin benzena di dalam strukturnya. Struktur benzena yang tertutup dan terisi penuh oleh *bonding orbital* menjadikan struktur ini tidak mudah lepas dan menerima elektron sehingga lebih stabil. Sedangkan, PET hanya memiliki 1 cincin benzena dalam strukturnya sehingga lebih mudah dalam melepas dan menerima elektron dibandingkan PC (Ouellette & Rawn, 2014). Sehingga PC lebih stabil dalam menghadapi “*stress*” dari lingkungan dibandingkan PET. Oleh karena itu,

pada sampel AMDK galon bermerek PET (5,56-20%) lebih sering ditemukan dibandingkan PC (0-16,67%).

Polimer yang berbeda memiliki stabilitas terhadap cahaya dan panas yang berbeda pula. Hal ini dipengaruhi oleh energi disosiasi ikatan pada tiap polimer yang berbeda. PE memiliki energi disosiasi ikatan 363,9 kJ/mol. PP memiliki energi disosiasi ikatan 362,2 kJ/mol. PC memiliki energi disosiasi ikatan 432,5 kJ/mol. PET memiliki energi disosiasi ikatan 358,2 kJ/mol (Huang *et al.*, 2018). Semakin besar energi disosiasi ikatan, semakin besar energi yang diperlukan untuk memutus ikatan tersebut sehingga polimer tersebut semakin stabil (Song *et al.*, 2017). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa stabilitas PC > PE > PP > PET terhadap cahaya dan panas. Sehingga, pada AMDK galon bermerek, PET (5,56-20%) lebih sering ditemukan dibandingkan PC (0-16,67%), PP (6,45-21,05%), dan PE (4,00-18,55%).



Gambar 8. Struktur kimia polyethylene terephthalate (PET)
Sumber: (Susan & John, 2016)



Gambar 9. Struktur kimia polycarbonate (PC)
Sumber: (Susan & John, 2016)

Proses penuaan atau degradasi pada plastik baik secara fisik, kimia, panas, dan biologi dapat menyebabkan perubahan pada permukaan mikroplastik sehingga dapat menyebabkan berbagai kontaminan lingkungan. Pada PE dan PVC yang sudah mengalami penuaan, penyerapan berbagai logam berat seperti *argentum* (Ag), *cadmium* (Cd), *cobalt* (Co), *plumbum* (Pb), *cuprum* (Cu), dan *nickel* (Ni) mengalami peningkatan dibandingkan PE dan PVC yang masih baru (Luo *et al.*, 2022). Konsumsi logam berat dapat menyebabkan berbagai macam permasalahan

pada kesehatan kerusakan jaringan dan sel, mengganggu reproduksi dan menyebabkan kanker payudara (Campanale *et al.*, 2020). Selain itu, proses penuaan menyebabkan adanya pemotongan pada rantai polimer sehingga dapat meningkatkan pelepasan bahan tambahan plastik yang berbahaya. Seperti PE dapat melepaskan Cr, Pb, dan *Di-isobutyl phthalate*. PVC dapat melepaskan dimethyl phthalate, dimethyltin, dan Pb. PC dapat melepaskan *bisphenol A* (BPA) (Luo *et al.*, 2022). Bahan tambahan plastik ini dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti inflamasi, gangguan pada reproduksi dan menyebabkan kanker (Campanale *et al.*, 2020).

Praktik penggunaan botol berulang kali juga dapat mempengaruhi jumlah mikroplastik yang *leaching* terutama dari kemasan. Praktik penggunaan berulang kali dapat menyebabkan botol mengalami tekanan yang lebih banyak seperti proses pembersihan dan penyikatan yang dapat menyebabkan peningkatan abrasi pada bahan pengemas (Oßmann *et al.*, 2018; Schymanski *et al.*, 2018). Sehingga pada AMDK galon merek C yang menggunakan kemasan PET isi ulang, PET lebih sering ditemukan dibandingkan AMDK galon merek B yang menggunakan kemasan PET sekali pakai. Konsentrasi mikroplastik yang didapatkan pada AMDK galon merek C juga lebih tinggi dibandingkan merek B. Hasil yang didapatkan sebanding dengan penelitian Schymanski *et al.* (2018) dan Oßmann *et al.* (2018) yaitu PET lebih banyak ditemukan pada AMDK isi ulang.

Jenis polimer plastik yang berbeda dapat mempengaruhi toksisitas dari partikel mikroplastik. Polimer yang berbedan memiliki rantai kimia utama, jenis dan jumlah rantai cabang serta residu monomer dan aditif yang berbeda sehingga dapat memberikan efek yang berbeda pada tubuh. Pada ikan, jenis mikroplastik PP, PE, dan PVC dapat meningkatkan ekspresi enzim GST (Glutathione S-transferase). Enzim GST merupakan enzim yang bertanggung jawab untuk melakukan detoksifikasi dari partikel asing. Sehingga apabila enzim tersebut terganggu maka akan menyebabkan terjadinya gangguan pada tubuh pula. Adanya paparan PS dan LDPE dapat meningkatkan aktivitas peroksidase dan katalase (Hollerová *et al.*, 2021).

Penggunaan galon dengan kemasan PC dapat menimbulkan risiko bagi kesehatan karena bahan tambahannya yaitu BPA. BPA merupakan *plasticizer* yang digunakan pada PC untuk memberikan karakteristik plastik yang kuat dan lebih tahan panas. BPA bersifat tidak stabil dengan plastik sehingga mudah mengalami *leaching*. Adanya degradasi dan abrasi pada plastik dapat meningkatkan pelepasan BPA. Konsumsi BPA sendiri dapat menimbulkan berbagai macam masalah Kesehatan seperti obesitas, penyakit kardiovaskular, gangguan reproduksi dan kanker payudara (Campanale *et al.*, 2020).

5.5. Nilai dugaan asupan mikroplastik melalui air minum dalam kemasan (AMDK) galon isi ulangan

Mengacu pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa rerata jumlah partikel yang ditemukan yaitu $137,60 \pm 48,81$ partikel/L. Hasil yang didapatkan tidak berbeda jauh dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan Schymanski *et al.* (2018) yaitu rata-rata jumlah partikel mikroplastik dalam air minum botol isi ulang adalah 118 partikel/L sampel. Konsentrasi mikroplastik yang ditemukan pada AMDK galon bermerek memiliki rentang 74,00-195,67 partikel/L sampel.

Menurut Kemenkes (2018), anjuran konsumsi air minum pada orang dewasa yaitu sekitar 2 liter per hari. Sehingga dengan asumsi bahwa asupan air minum penduduk kota Semarang melalui AMDK galon bermerek sama dengan anjuran konsumsi air minum, maka estimasi jumlah konsumsi AMDK galon bermerek masyarakat kota Semarang dalam waktu sehari adalah 2 Liter. Namun, tidak dapat dipastikan bahwa asupan air minum sebanyak 2L per hari semuanya berasal dari AMDK galon bermerek. Sehingga, dibuat estimasi asupan ketika asupan air minum 100%, 75% dan 50% berasal dari AMDK galon bermerek yang dapat dilihat lebih lanjut pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan bahwa ketika asupan air minum semuanya berasal dari AMDK galon bermerek nilai dugaan asupan mikroplastik pada masyarakat Semarang yaitu 147,60-391,80 partikel/orang/hari. Hasil yang didapatkan relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan penelitian-penelitian lain. Makhdoumi *et al.* (2021) menemukan bahwa melalui konsumsi AMDK di Iran, nilai dugaan asupan

mikroplastik yaitu 1,05 partikel/orang/hari. Zhou *et al.* (2021) menemukan nilai dugaan asupan mikroplastik melalui konsumsi AMDK di China yaitu 19,18 partikel/orang/hari. Hasil yang didapatkan lebih tinggi karena adanya perbedaan konsentrasi mikroplastik pada AMDK yang diteliti. Penelitian Makhdoumi *et al.* (2021) dan Zhou *et al.* (2021) menggunakan sampel AMDK sekali pakai sedangkan pada penelitian ini digunakan AMDK galon bermerek. Menurut Schymanski *et al.*, (2018) dan Oßmann *et al.* (2018) mikroplastik pada air minum kemasan botol yang dapat dipakai berulang lebih tinggi dibandingkan air minum kemasan botol sekali pakai. Selain itu, jumlah asupan air minum yang digunakan juga berbeda. Makhdoumi *et al.* (2021) menghitung nilai dugaan paparan mikroplastik ketika asupan air minum melalui AMDK adalah 0,04-0,05 L/hari. Sedangkan, Zhou *et al.* (2021) menggunakan asupan air minum melalui AMDK adalah 1,2L/hari. Pada penelitian ini, asupan air minum melalui AMDK galon bermerek yang digunakan adalah 2L/hari. Jumlah asupan air minum yang lebih tinggi menyebabkan estimasi paparan yang didapatkan juga semakin tinggi.

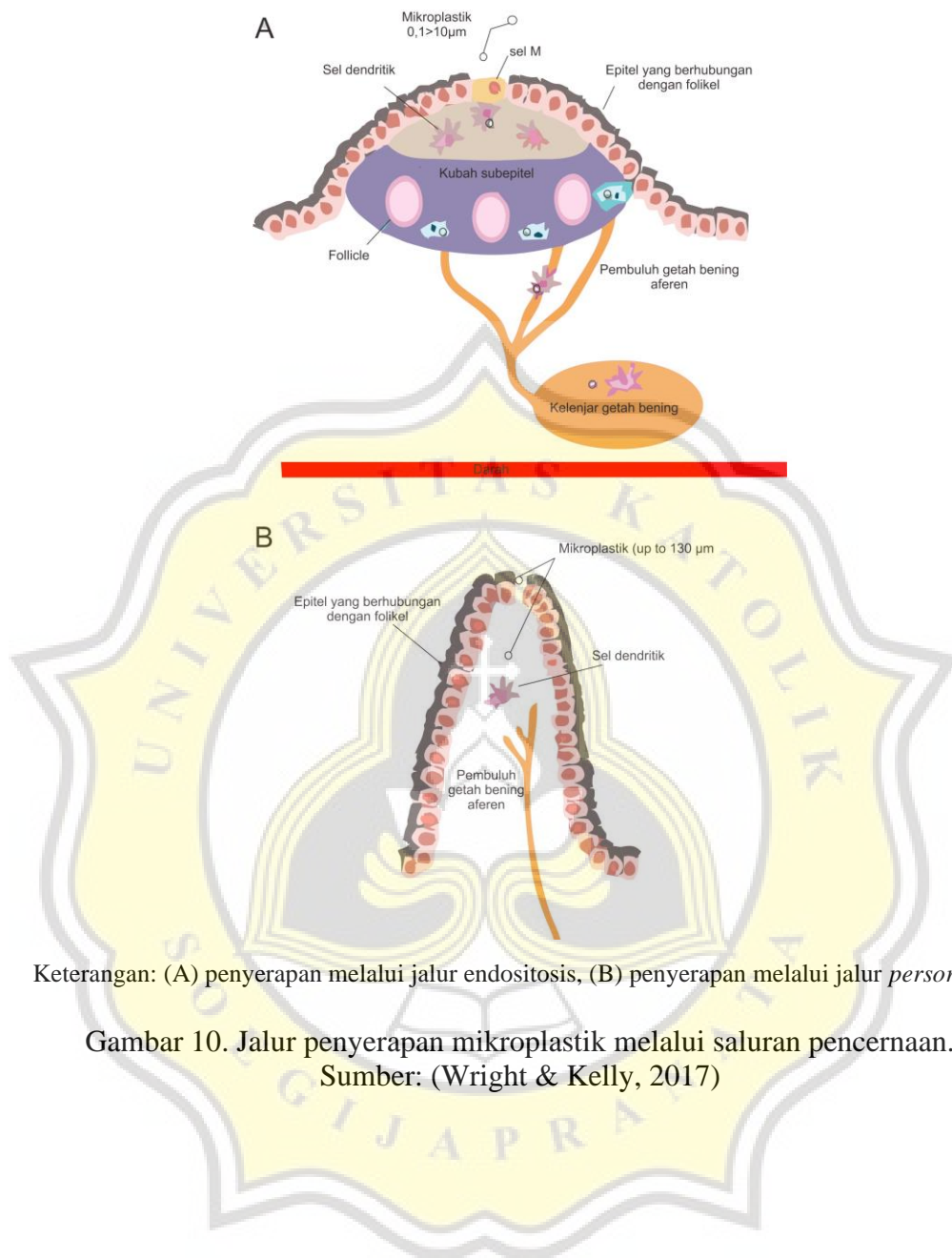
Semakin tinggi konsentrasi mikroplastik yang terdapat pada lingkungan ataupun makanan dan minuman, semakin tinggi pula asupan mikroplastik pada manusia. Apabila asupan mikroplastik pada manusia semakin banyak, bioakumulasi plastik di dalam tubuh juga meningkat (Botterell *et al.*, 2019; Leslie *et al.*, 2022). Deng *et al.* (2017) dan Lu *et al.* (2018) telah menemukan adanya bioakumulasi mikroplastik *polystyrene* dalam hati, ginjal, dan usus pada tikus.

Melalui konsumsi air minum, mikroplastik dapat diserap ke dalam tubuh melalui 2 jalur yaitu endositosis dan *persorption*. Mikroplastik bersifat tahan terhadap degradasi kimia dalam tubuh sehingga ketika masuk ke dalam tubuh ia dapat tahan terhadap mekanisme pembersihan dalam tubuh dan terakumulasi dalam tubuh. Pada jalur endositosis *Peyer's patches* dari *ileum* berperan penting dalam penyerapan dan translokasi mikroplastik. *Subepithelial dome* dari *Peyer's patches* mengandung jaringan limfoid dan makrofag berfungsi sebagai wastafel yang menyimpan partikel yang tidak dapat terdegradasi dengan baik. Sehingga ketika partikel mikroplastik masuk ke dalam saluran pencernaan sel M dari *Peyer's patches* akan mengangkut mikroplastik dari lumen usus ke jaringan limfoid mukosa

sehingga mikroplastik dapat mengalami akumulasi pada kompartemen tersebut. Mikroplastik memiliki sifat hidrofobik sehingga cenderung diserap oleh jaringan limfa. Apabila hal tersebut terjadi, maka rute penyerapan mikro partikel endogen, *immunosensing* dan kekebalan tubuh dapat terganggu.

Persorpsi adalah pengadukan mekanis partikel padat melalui celah pada epitel lapisan tunggal di ujung villus saluran pencernaan. Apabila terdapat partikel yang tidak dapat terurai seperti mikroplastik, maka partikel tersebut akan diremas secara mekanis di lapisan epitel sel tunggal dan masuk ke sel dendritik. Sel dendritik dapat memfagositosis partikel tersebut dan mengangkutnya ke pembuluh vena dan limfa. Sehingga, mikroplastik dapat terdistribusi ke jaringan-jaringan sekunder seperti hati, otot, dan otak.

Sifat hidrofobik dari mikroplastik menyebabkan komponen sekresi usus seperti endoprotein, bakteri yang dicerna, dan antigen makanan yang tidak diserap cenderung menempel padanya. Hal ini mendorong adanya penyerapan mikroplastik pada saluran pencernaan (Wright & Kelly, 2017). Akumulasi mikroplastik dalam tubuh dapat menyebabkan berbagai gangguan pada tubuh seperti defisiensi energi, gangguan pada penyerapan dan pembentukan lipid, stres oksidatif, inflamasi, dan respon *neurotoxic* (Deng *et al.*, 2017).



Keterangan: (A) penyerapan melalui jalur endositosis, (B) penyerapan melalui jalur *persorption*

Gambar 10. Jalur penyerapan mikroplastik melalui saluran pencernaan.

Sumber: (Wright & Kelly, 2017)