

Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik pada Air Minum serta Potensi Dampaknya terhadap Kesehatan Manusia

ISMA NUR FAUJIAH,^{1*} DAN IRA RYSKI WAHYUNI¹

¹ Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia,
Jl. A. H. Nasution No. 105 Cibiru Kota Bandung 40614

*alamat email korespondensi: issmanur08@gmail.com

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata Kunci:
Mikroplastik;
Kelimpahan;
Karakteristik; Air
Minum Kemasan;
Air Minum Isi
Ulang.

Mikroplastik merupakan polutan baru yang saat ini menjadi masalah global yang mengkhawatirkan bagi lingkungan. Mikroplastik adalah partikel plastik dengan ukuran <5 mm. Mikroplastik dapat berasal dari hasil produksi industri atau dari sampah plastik yang mengalami degradasi menjadi potongan-potongan kecil. Tidak hanya terdapat di lingkungan kini mikroplastik ditemukan keberadaannya dalam air minum. Penulisan ini bertujuan untuk merangkum keberadaan polutan mikroplastik di dalam air minum baik air minum kemasan maupun air minum isi ulang dan bagaimana dampak yang dihasilkan jika terakumulasi di dalam tubuh. Pada air minum kemasan ditemukan mikroplastik berbentuk fragmen dengan jenis *polypropylene* (PP) sebanyak 10,4 partikel/L dengan ukuran >100 µm, 335 partikel/L dengan ukuran 6,5-100 µm. Pada air minum isi ulang ditemukan mikroplastik berbentuk fiber dengan jenis *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), dan *Polyethylene* (PE) sebanyak 159, 130, 67, dan 35 partikel masing-masing berwarna biru, merah, bening, dan kuning. Ditemukan pula mikroplastik pada air minum isi ulang sebanyak 0,8 partikel/L dengan ukuran 1,02-1,49 mm. Jika terakumulasi di dalam tubuh mikroplastik dapat memberikan dampak negatif seperti peradangan pada organ, cedera internal dan/ atau eksternal, transformasi kandungan kimia plastik ke dalam tubuh, gangguan mikroba usus yang menyebabkan penyumbatan saluran usus sehingga mengakibatkan sensasi kenyang semu, stres fisiologis, perubahan pola makan, dan penghambatan pertumbuhan.

Keywords:
Microplastic;
Abundance;
Characteristics;
Bottled Drinking
Water; Refill
Drinking Water.

Microplastic is a new pollutant that is currently a global problem that threatens the environment. Microplastics are plastic particles with a size of <5 mm. Microplastics potentially come from industrial production or from plastic waste that is degraded into small pieces. Microplastics are not only found in the environment but also found in drinking water. This paper aims to summarize the presence of microplastic pollutants in drinking water, both bottled drinking water and refilled drinking water, and how the resulting impact if they accumulate in the body. In bottled drinking water found microplastic fragments with the type of polypropylene (PP) as many as 10.4 particles/L with a size >100 m, 335 particles/L with a size of 6.5-100 m. In refill drinking water, it was found that there were 159, 130, 67, and 35 particles of high-density polyethylene (HDPE), polyvinyl chloride (PVC), and polyethylene (PE) as many as 159, 130, 67, and 35 particles in blue, red, clear and yellow, respectively. Microplastics were also found in refilled drinking water as much as 0.8 particles/L with a size of 1.02-1.49 mm. If accumulated in the body, microplastics can have negative impacts, such as inflammation of organs, internal and/or external injuries, a transformation of the chemical content of plastics into the body, intestinal microbial disturbances that cause blockage of the intestinal tract resulting in a sensation of false satiety, physiological stress, changes in diet, and growth inhibition.

PENDAHULUAN

Saat ini sampah plastik menjadi salah satu masalah global yang mengkhawatirkan bagi lingkungan khususnya perairan. Faktor utamanya yaitu karena sampah plastik tidak mudah terurai ketika masuk ke badan lingkungan dan

memerlukan waktu hingga ratusan tahun lamanya untuk dapat terdegradasi. Ketika terkena radiasi ultra violet, sampah plastik akan mengalami degradasi oksidatif polimer dan menghasilkan partikel berukuran kecil yang disebut mikroplastik [1]. Adanya temuan mikroplastik pada air minum kemasan yang ditemukan oleh peneliti dari

Amerika Serikat sebanyak 93% dari 259 botol dari 11 merek yang dijual di beberapa negara termasuk Indonesia menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan [2]. Sehingga kajian keberadaan mikroplastik pada air minum kemasan maupun air minum isi ulang sangat diperlukan sebagai informasi kepada masyarakat mengenai adanya polutan mikroplastik.

EKSPERIMEN

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dengan melakukan tinjauan hasil-hasil riset dalam bentuk jurnal yang berkaitan dengan tema yakni mengenai mikroplastik, karakteristik dan jenisnya, kemudian difokuskan pada kajian mikroplastik pada air minum dan dampaknya bagi kesehatan manusia.

Sumber Jurnal

Jurnal yang digunakan sebagai sumber data seluruhnya berjumlah 43 jurnal. Dengan jurnal yang didapat berdasarkan sumbernya yaitu Research Gate, Google Scholar, dan Science Direct (El Sevier). Semua jurnal tersebut mempunyai DOI. Jurnal yang digunakan penulis sebagai sumber data yaitu jurnal yang telah diterbitkan 5 tahun terakhir.

Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan yaitu metode analisis data kualitatif deskriptif. Metode data kualitatif adalah mengenai mikroplastik, karakteristik dan jenisnya, kemudian difokuskan pada kajian mikroplastik pada air minum dan dampaknya bagi kesehatan manusia. Metode analisis data kualitatif terdiri atas 3 alur kegiatan yang terjadi bersamaan yaitu reduksi data, penyajian data dan penarikan kesimpulan/verifikasi. Reduksi data artinya merangkum, memilih hal yang pokok dan memfokuskan pada hal penting yang sesuai dengan tema. Penyajian data merupakan sekumpulan informasi yang tersusun dan memberikan kemungkinan adanya penarikan kesimpulan. Kesimpulan atau verifikasi merupakan bagian tahap akhir dalam analisis yang bertujuan untuk

mencari hubungan, persamaan atau perbedaan dari data-data yang sudah didapat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mikroplastik

Mikroplastik merupakan partikel plastik dengan rentang ukuran <5 mm. Mikroplastik dapat dibedakan menjadi mikroplastik primer dan sekunder. Mikroplastik primer berasal dari partikel mikro seperti bahan mentah plastik perindustrian dan *microbead* pada scrub kosmetik [3, 4, 5, 6]. Sedangkan mikroplastik sekunder berasal dari sampah plastik yang tidak tertangani dengan baik yang langsung dibuang begitu saja ke badan lingkungan kemudian berfragmentasi menjadi partikel-partikel kecil akibat proses degradasi [7, 3]. Ukuran mikroplastik yang sangat kecil dan jumlahnya yang banyak di lautan membuat sifatnya *ubiquitous* dan *bioavailability* bagi organisme akuatik tinggi. Sehingga dapat termakan oleh biota laut [8].

Sifat Mikroplastik

Mikroplastik sangat tahan terhadap biodegradasi dan dapat bertahan di lingkungan selama ratusan tahun dengan potensi menyebabkan kerusakan ekologi dan biologis [9]. Mikroplastik dapat menyerap bahan kimia yang beracun seperti PBTs (*persistent, bioaccumulative and toxic substances*) dan POPs (*Persistent organic pollutant*) [10, 11].

Karakteristik Mikroplastik

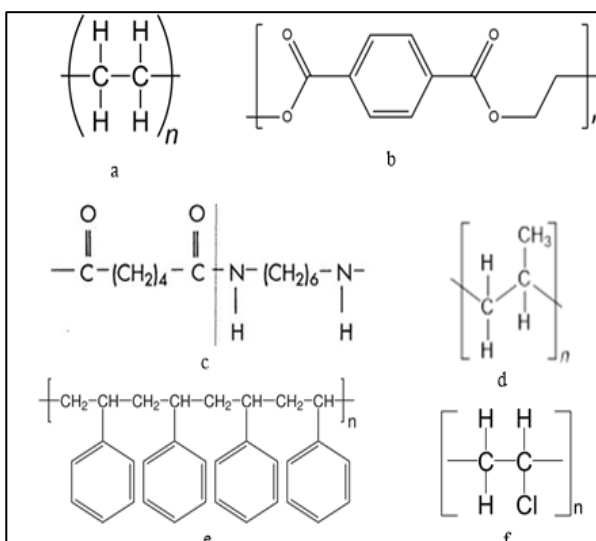
Bentuk

Mikroplastik memiliki beberapa bentuk yang umum ditemukan diperairan yaitu fiber, fragmen film, serat, pelet, lembaran dan *foam* [12, 13]. Fragmen merupakan partikel keras yang berbentuk tidak beraturan dari pecahan plastik yang lebih besar. Mikroplastik bentuk fragmen berasal dari hasil aktivitas manusia seperti fragmentasi dari botol minuman, toples, galon, map mika, dan pipa paralon [14]. Mikroplastik bentuk fiber dihasilkan dari aktivitas masyarakat pesisir seperti fragmentasi monofilamen pakaian, tali, dan alat tangkap nelayan seperti pancing dan jaring [15].

Mikroplastik dengan bentuk film dapat berasal dari produk plastik yang memiliki densitas rendah sehingga sangat mudah robek dan terpecah-pecah. Mikroplastik jenis ini berasal dari fragmentasi kantong plastik atau plastik makanan [16]. Mikroplastik bentuk pelet berasal dari sisa bahan baku kegiatan industri, bahan toiletries, sabun, dan pembersih muka [17]. Dan mikroplastik bentuk *foam* dapat berasal dari kemasan pengepakan dan tas plastik [15].

Jenis Polimer

Jenis polimer mikroplastik yang umumnya berada di lingkungan yaitu *Polystyrene* (PS), *Polypropylene* (PP), *Polyethylene* (PE), *Polyethylene-terefthalat* (PET), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Polyamide* atau *nylon* (PA), *Acrylonitril Butadiene styrene* (ABS), *Polymethyl methacrylate* (PMMA), dan *Polycarbonate* (PC) [18, 19]. *Polystyrene* biasa digunakan untuk pembuatan *furniture* atau pelapis kayu dan wadah box penyimpanan; *Polypropylene* diaplikasikan dalam pembuatan tali, tutup botol, roda gigi, alat pemancing, dan pengikat; *Polyethylene* diaplikasikan dalam pembuatan kantong plastik, kontainer penyimpanan; *Polyethylene-terefthalat* (PET) diaplikasikan dalam pembuatan botol, pengikat, dan tekstil; *Polyvinyl Chloride* digunakan dalam pembuatan selaput, pipa, dan kontainer; *Polyamide* digunakan dalam pembuatan tali dan jaring ikan [12].



Gambar 1. Struktur polimer (a) PE (b) PET (c) Nylon (d) PP (e) PS (f) PVC.

Mikroplastik dari Air Minum

Mikroplastik pertama kali diidentifikasi keberadaannya pada sekitar tahun 1970 [20]. Keberadaan mikroplastik di perairan tawar kemungkinan hampir sama dengan yang berada di perairan laut yang dapat terbawa oleh arus permukaan dan jumlahnya yang melimpah sehingga ada dimana mana. Adanya mikroplastik pada air minum dalam kemasan (AMDK) ditemukan oleh peneliti dari Amerika Serikat sebanyak 93% dari 259 botol dari 11 merek yang dijual di beberapa negara termasuk Indonesia dengan rata-rata 10,4 partikel /L mikroplastik berukuran $>100 \mu\text{m}$, 335 partikel/L berukuran (6,5-100 μm) dengan bentuk fragmen dan jenis polimer *Polypropylene* (PP) [2].

Ditemukan pula mikroplastik pada 23 merek sampel air minum dalam kemasan (AMDK) sebanyak 215 partikel di Cina yang sebagian besar berbentuk fiber dan fragment dengan jenis polimer *Polystyrene* (PS), *Polyethylene-terefthalat* (PET) dan *Polyethylene* (PE) dengan ukuran 0,025-5,000 mm dan kelimpahan mulai dari 2 partikel/botol hingga 23 partikel/botol [21]. Mikroplastik pada air minum dalam kemasan (AMDK) ditemukan pula oleh peneliti di Korea sebanyak 12 hingga 58 partikel/L dari 2 sampel AMDK dengan distribusi ukuran partikel berkisar 40 hingga 723 μm dan sebagian besar partikel lebih kecil dari 300 μm [22]. Peneliti asal Jerman juga menemukan mikroplastik pada air minum dalam kemasan (AMDK) dengan menguji 22 botol plastik yang dapat digunakan kembali dan botol plastik sekali pakai, ditemukan mikroplastik dengan rata-rata 118 ± 88 partikel/L dalam botol yang dapat digunakan kembali dengan jenis polimer *Polyethylene-terefthalat* (PET) 84% dan *Polypropylene* (PP) 7% serta sebanyak 14 ± 14 partikel/L dalam botol sekali pakai dengan jenis polimer *Polyethylene-terefthalat* (PET) [23].

Kemudian ditemukan mikroplastik pada air minum isi ulang (AMIU) di Kecamatan Gunung Anyar Surabaya sebanyak 25 sampel mengandung mikroplastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE), 13 sampel mengandung mikroplastik dengan jenis *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan 11 sampel mengandung mikroplastik jenis *Polyethylene* (PE). Mikroplastik tersebut berbentuk fiber dengan 159 partikel berwarna biru, 130 partikel berwarna merah, 67 partikel berwarna

bening dan 35 partikel kuning [24]. Ditemukan juga mikroplastik pada air minum isi ulang di Kelurahan Tamangapa Kota Makassar sebanyak 0,8 partikel/L dengan bentuk *line* berwarna merah dan ukurannya 1.02 - 1,49 mm [25].

Mikroplastik dapat memasuki lingkungan air tawar melalui berbagai cara seperti berasal dari sampah plastik yang terdegradasi, limbah industri, air limbah dan deposisi atmosfer [26]. Keberadaan mikroplastik pada air minum dalam kemasan (AMDK) sebagian berasal dari kemasan dan atau proses pembotolan itu sendiri [2]. Atau sumber kontaminasi lainnya dapat berasal dari sumber air baku, bahan kemasan, mesin pencuci maupun rangkaian dalam proses pengisian air kedalam kemasan [27, 28]. Kontaminasi mikroplastik dapat terjadi di botol sekali pakai atau botol yang dapat digunakan kembali, karton minuman atau bahkan dalam botol kaca [2, 23]. Sedangkan mikroplastik pada air minum isi ulang dapat berasal dari proses pengelolaannya yang menggunakan beberapa peralatan atau pipa yang terbuat dari plastik seperti PVC, PP, dan PE [24, 29].

Dampak Mikroplastik Untuk Kesehatan

Karena ukurannya yang sangat kecil, mikroplastik dapat dengan mudah ditelan oleh biota laut dan berpotensi memberikan dampak negatif jika terakumulasi didalam tubuh manusia atau biota lainnya melalui rantai makanan [30]. Mikroplastik dengan ukuran lebih kecil dari 20 μm dapat meningkatkan kekhawatiran terhadap kesehatan manusia [19]. Berdasarkan investigasi mikroplastik pada ikan dan invertebrata bahwa mikroplastik dengan ukuran lebih kecil dari 500 μm mungkin melewati dinding usus [31] dan mikroplastik <20 μm dapat terakumulasi di hati, ginjal, dan usus mencit [32]. Mikroplastik jika terakumulasi didalam tubuh dapat memberikan dampak negatif seperti peradangan pada organ, cedera internal dan/ atau eksternal, transformasi kandungan kimia plastik kedalam tubuh, gangguan mikroba usus yang menyebabkan penyumbatan saluran usus sehingga mengakibatkan sensasi kenyang semu, stres fisiologis, perubahan pola makan, penghambatan pertumbuhan, dan penurunan kesuburan [33, 34, 35, 36, 37, 38, 39]. Mikroplastik dapat dikatakan sebagai vektor patogen karena memiliki potensi sebagai pembawa mikroba [40]. Selain itu, dengan ukurannya yang

sangat kecil juga dapat memungkinkan untuk terjadinya transportasi ke jaringan organ lain [41].

SIMPULAN

Keberadaan mikroplastik pada air minum kemasan dan air minum isi ulang telah ditemukan. Pada air minum dalam kemasan (AMDK) ditemukan mikroplastik berbentuk fragmen dengan jenis *Polypropylene* (PP) sebanyak 10,4 partikel/L dengan ukuran >100 μm , 335 partikel/L dengan ukuran 6,5-100 μm ; mikroplastik berbentuk fiber dan fragment dengan jenis *Polystyrene* (PS), *Polyethylene-terefthalat* (PET) dan *Polyethylene* (PE) ukuran 0,025-5,000 mm; mikroplastik sebanyak 12 hingga 58 partikel/L dengan ukuran 40 hingga 723 μm ; mikroplastik sebanyak 118 \pm 88 partikel/L jenis *Polyethylene-terefthalat* (PET) dan *Polypropylene* (PP) serta 14 \pm 14 partikel/L jenis *Polyethylene-terefthalat* (PET). Sementara itu pada air minum isi ulang (AMIU) ditemukan mikroplastik berbentuk fiber dengan jenis *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), dan *Polyethylene* (PE) sebanyak 159, 130, 67, dan 35 partikel masing-masing berwarna biru, merah, bening, dan kuning serta sebanyak 0,8 partikel/L dengan ukuran 1,02-1,49 mm. Mikroplastik jika teakumulasi pada tubuh dapat memberikan berbagai macam dampak negatif. Penelitian keberadaan mikroplastik pada air minum di Indonesia masih sangat sedikit sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memberikan informasi mengenai keberadaan polutan mikroplastik pada air minum

REFERENSI

- [1] C. B. Crawford dan B. Quinn, *Microplastic Pollutants*, Elsevier Science, 2016.
- [2] S. A. Mason, V. G. Welch dan Joseph Neratko, "Synthetic Polymer contamination in Bottled water," *Frontiers in Chemistry*, 2018.
- [3] S. Rachmat, N. Purba, M. Agung dan L. Yuliadi, "Karakteristik Mikroplastik di Muara Sungai DKI Jakarta," *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan Pesisir dan perikanan*, vol. 8(1), 2019.

- [4] L. Andrady , “Microplastics in The Marine Environment,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62 (8), pp. 1596-605, 2011.
- [5] M. Browne, P. Crump, S. Niven dan et al., “Accumulation of microplastic on shorelines worldwide : sources and sinks,” *Environmental Science & Technology*, vol. 45 (21), pp. pp. 9175-9179, 2011.
- [6] J. Wang , Z. Tan, J. Peng, Q. Qiu dan M. Li, “The Behaviors of Microplastics in The Marine Environment,” *Marine Environmental Research*, vol. 45 (21), pp. 9175-9179, 2016.
- [7] E. Zettler, T. Mincer dan L. Amaral-Zettler , “Life in the "Plastisphere" : microbial communities on plastic marine debris,” *Environmental Science Technology*, vol. 47, pp. 7137-7146, 2013.
- [8] J. Li, X. Qu, L. Su, W. Zhang , D. Yang, P. Kolandhasamy, D. Li dan H. Shi, “Microplastics in mussels along the coastal waters of China,” *Environmental Pollution*, vol. 214, pp. 177-184, 2016.
- [9] S. Yoshida, K. Hiraga , T. Takehana, I. Taniguchi, H. Yamaji, Y. Maeda, K. Toyohara, K. Miyamoto, Y. Kimura dan K. Oda, “A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate),” *Science*, vol. 351 (6278), pp. 1196-1199, 2016.
- [10] D. Barnes , F. Galgani, R. Thompson dan M. Barlaz, “Accumulation and Fragmentation of Plastics Debris in Global Environments,” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364(1526), 2009.
- [11] P. Roy, M. Hakkarainen , I. Varma dan A. Albertsson, “Degradable Polyethylene: Fantasy or Reality,” *Environmental Science and Technology*, vol. 45(10), pp. 4217-4277, 2011.
- [12] A. Lusher, H. Peter dan M. Jeremy, “Microplastics in fisheries and 81 aquaculture,” *Food and Agriculture Organization of The United Nations* , 2017.
- [13] V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow dan R. Thompson, “Microplastics in the marine environment : a review of the methods used for identification and quantification,” *Environmental Science and Technology*, vol. 46 (6), pp. 3060-3075, 2012.
- [14] H. Hiwari, “Kondisi sampah mikroplastik di permukaan air laut sekita Kupang dan Rote Provinsi Nusa Tenggara Timur,” *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, vol. 5 (2), pp. 165-171, 2019.
- [15] N. Nor dan J. Obbard , “Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystem,” *Elsevier*, vol. 79, no. 1-2, pp. 278-283, 2014.
- [16] I. Dewi, A. Budiarsa dan I. Ritonga, “Distribusi mikroplastik pada sedimen di Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara,” *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir, dan Perikanan*, vol. 4 (3), pp. 121-131, 2015.
- [17] L. Fendall dan M. Sewell, “Contributing to marine pollution by washing your face : microplastics in facial cleansers,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 55, pp. 1225-1228, 2009.
- [18] A. Koelmans , N. Nor, E. Hermsen, M. Kooi, S. Mintenig dan J. de France, “Microplastic in freshwaters and drinking water : Critical review and assesment of data quality,” *Water Research*, vol. 155, pp. 410-422, 2018.
- [19] I. V. Kirstein, F. Hensel, A. Gomiero, L. Iordachescu, A. Vianello, H. B. Wittgren dan J. Vollertsen, “Drinking plastics? – Quantification and qualification of microplastics in drinking water distribution systems by μ FTIR and Py-GCMS,” *Water Research*, vol. 188, 2021.
- [20] A. Dehaut, A. Cassone, L. Frere, L. Hermabessiere, C. Himber, E. Rinnert dan I. Paul-Pont, “Microplastics in seafood : Benchmark protocol for their extraction and characterization,” *Environmental Pollution*, vol. 215, pp. 223-233, 2016.
- [21] X.-j. Zhou, J. Wang, H.-y. Li, H.-m. Zhang, Hua-Jiang dan D. L. Zhang, “Microplastic pollution of bottled water in China,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 40, p. 101884, 2021.
- [22] E.-H. Lee, S. Lee, Y. Chang dan S.-W. Lee, “Simple screening of microplastics in bottled waters and environmental freshwaters using a novel fluorophore,” *Chemosphere*, vol. 285, pp. 0045-6535, 2021.

- [23] D. Schymanski, C. Goldbeck, H.-U. Humpf dan P. Fürst, "Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water," *Water Research*, vol. 129, pp. 154-162, 2018.
- [24] M. N. Abdulloh, Identifikasi Kandungan Mikroplastik Pada Air Minum Isi Ulang Di Kecamatan Gunung Anyar Surabaya, Other thesis: UPN Veteran Jawa Timur, 2020.
- [25] M. Syarif, Identifikasi Mikroplastik Pada Air Minum Isi Ulang di Kelurahan Tamangapa Kota Makassar, Skripsi-S1 thesis: Universitas Hasanuddin, 2020.
- [26] A. A. Horton, A. Walton, D. J. Spurgeon, E. Lahive dan C. Svendsen, "Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities," *Science of The Total Environment*, vol. 586, pp. 127-141, 2017.
- [27] R. Akhbarizadeh, S. Dobaradaran, T. C. Schmidt, I. Nabipour dan J. Spitz, "Worldwide bottled water occurrence of emerging contaminants: A review of the recent scientific literature," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 392, pp. 0304-3894, 2020.
- [28] A. Winkler, N. Santo, M. A. Ortenzi, E. Bolzoni, R. Bacchetta dan P. Tremolada, "Does mechanical stress cause microplastic release from plastic water bottles?," *Water Research*, vol. 166, pp. 0043-1354, 2019.
- [29] S. Mintenig, M. Löder, S. Primpke dan G. Gerdt, "Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources," *Science of The Total Environment*, vol. 648, pp. 631-635, 2019.
- [30] M. Eriksen, C. Laurent, S. Henry, M. Thiel, C. Moore, J. Borerro, F. Galgani, P. Ryan dan J. Reisser, "Plastic Pollution in the World's Oceans: More Than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing Over 250,000 Tons Afloat at Sea," *PLoS One*, vol. 9 (12), no. 111913, 2014.
- [31] A. Lusher, N. Welden, P. Sobral dan M. Cole, "Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates," *Analytical Methods*, no. 9, pp. 1346-1360, 2017.
- [32] Y. Deng, Y. Zhang, B. Lemos dan H. Ren, "Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure," *Sci. Rep.*, vol. 7, p. 46687, 2017.
- [33] S. Wright dan F. Kelly, "Plastic and Human Health : A Micro Issue ?," *Environmental Science and Technology*, vol. 51, no. 6634-6647, 2017.
- [34] M. Cole, P. Lindeque, E. Fileman, C. Halsband dan T. Galloway, "The impact of polystyrene microplastics on feeding, function, and fecundity in the marine copepod calanus helgolandicus," *Environmental, Science and Technology*, vol. 49, pp. 1130-1137, 2016.
- [35] E. Nelms, E. Duncan, A. Broderick, T. Galloway, M. Godfrey, M. Hamann, P. Lindeque dan B. Godley, "Plastics and marine turtles : a review and call for research," *Ices J. Mar. Sci.*, vol. 72, pp. 165-181, 2015.
- [36] M. Ogonowski, C. Schur, A. Jarsen dan E. Gorokhova, "The effects of natural and anthropogenic microparticles on individual fitness in *Daphnia magna*," *PLoS One*, vol. 11, p. 0155063, 2016.
- [37] R. Sussarellu, M. Suquet, Y. Thomas, C. Lambert, C. Fabioux, M. Pernet, N. Le Goic, V. Quillien, C. Mingant, Y. Epelboin, C. Corporeau, J. Guyomarch, J. Robbens, I. Paul-Pont, P. Soudant dan A. Huvet, "Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics," *proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 99, pp. 2430-2435, 2016.
- [38] N. Welden dan P. Cowie, "Environment and gut morphology influence microplastic retention in langoustine, *Nephrops norvegicus*," *Environ. Pollut.*, vol. 214, pp. 859-865, 2016.
- [39] S. Wright, D. Rowe, R. Thompson dan T. Galloway, "Microplastic ingestion decrease energy reserves in marine worms," *Curr. Biol.*, vol. 23 (23), pp. R1031-R1033, 2013a.
- [40] M. Rochman, A. Browne, J. Underwood, R. Van Franeker, L. Thompson dan Amaral-Zettler, "The Ecological Impacts of Marine Debris: Unraveling the Demonstrated

- Evidence from What is Perceived,” *Ecology*, vol. 97, pp. 302-312, 2015.
- [41] P. Hollman, H. Bouwmeester dan R. Peters, *Microplastics in the aquatic food chain: Sources, measurement, occurrence and potential health risks*, Wageningen: RIKILT Wageningen UR, 2013.
- [42] P. Bormans, *Ceramics are more than Clay Alone*, Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2004.
- [43] M. P. Fewell, "The atomic nuclide with the highest mean binding energy," *American Journal of Physics*, vol. 63, no. 7, pp. 653-658, 1995.