

Deteksi Pencemaran Mikroplastik pada Air Lindi di TPA Piyungan Yogyakarta Indonesia

Inggita Utami¹, Agustina²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Terapan, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

¹Laboratorium Riset Ekologi dan Sistemika, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta

¹ inggitautami1@gmail.com

Corresponding Author: inggitautami1@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history

Received : 25 Januari 2022

Revised : 10 Mei 2022

Accepted : 14 Mei 2022

Published : 22 Mei 2022

Keywords

Microplastic

Soil

Leachate

Landfill

Piles of plastic waste at the Piyungan Landfill in Bantul Yogyakarta can be a source of microplastics and endanger if they accumulate in the bodies of living things. Data collection on microplastic contamination in leachate ponds at the Piyungan landfill is essential because the leachate will go to the Opak River, which is still used by the community. This study aimed to analyze the abundance and polymer types of microplastics in the leachate at the Piyungan landfill. The study was conducted from January to April 2021. Leachate samples were taken at the inlet pond (before treatment) and outlet pond (after treatment). The research stages include leachate sampling, filtering particles, drying samples, density separation, separation with organic compounds, and filtering supernatants containing microplastics. Identification of microplastics was carried out visually using a microscope, while the identification of polymer types was determined by the Fourier-transform infrared spectroscopy test. The data were analyzed quantitatively descriptively, and inferentially to compare the average abundance value and determine the correlation between microplastic abundance and abiotic parameters. The analysis results showed the abundance of microplastics in the inlet pool of 154.8 ± 21.22 particles/L, while in the outlet pool of 135.60 ± 12.18 particles/L. According to the T-paired test, it was found that the abundance of microplastics in the two ponds was not significantly different. Water temperature correlates with the abundance of microplastic in the leachate. The identified polymer types are Polystyrene (PS), Polyethylene (PE), and Polyvinyl Chloride (PVC), which are commonly used as raw materials for single-use plastic, food containers, and leachate sewer pipes. This study concludes that in the leachate at the Piyungan landfill, the highest microplastic was found in the inlet pond with polymer types, namely Polystyrene (PS), Polyethylene (PE), and Polyvinyl Chloride (PVC). Therefore, the Yogyakarta government needs to increase the leachate processing process to decompose this microplastic and not pollute the Opak river as a leachate disposal channel for the Piyungan landfill.

PENDAHULUAN

Penggunaan barang berbahan dasar plastik kini semakin banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Sebanyak 17,1% sampah plastik dihasilkan oleh masyarakat perkotaan di Indonesia setiap tahunnya (SIPSN KLHK, 2021). Sampah plastik akan membutuhkan waktu puluhan hingga ratusan tahun untuk dapat terurai di alam (Lusher et al., 2015). Sebanyak 53% sampah yang dihasilkan oleh masyarakat, diangkut dan dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) (Hariyanto, 2014). Sampah plastik yang tersusun dari polimer sintesis yang kuat pada akhirnya akan terus tertumpuk di TPA dan menimbulkan pencemaran lingkungan. Menurut Rillig (2012), sampah plastik yang berada di atas permukaan tanah berpeluang besar menjadi sumber mikroplastik di dalam tanah. Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm yang terbentuk melalui fotolisis, reaksi dengan panas dan oksigen (oksidasi termal), serta air (hidrolisis) (Browne, 2015). Organisme tanah seperti cacing dapat

menelan mikroplastik dan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan dan mengurangi bobot tubuh (Veronica, 2019). Mikroplastik yang berada di permukaan akan terdesak ke dalam tanah bercampur dengan air lindi, air dari proses pembusukan sampah (Arum et al., 2017), hingga masuk ke dalam aliran air tanah (Huerta-Lwanga et al., 2016). Puthcharoen & Leungprasert (2019) melaporkan terdapat mikroplastik dengan rata-rata kelimpahan $1.457,99 \pm 489,71$ partikel/kg dan $20,90 \pm 4,96$ partikel/L telah mencemari tanah dan kolam lindi pada 12 TPA di Thailand. Pencemaran mikroplastik juga dapat terjadi di lingkungan TPA di Indonesia mengingat sumber pencemar berupa sampah plastik terus menumpuk di TPA Indonesia. Utami & Liani (2021) melaporkan adanya temuan mikroplastik pada air sumur warga sejauh 0,5 hingga 3 km dari TPA Piyungan yang mengancam kesehatan masyarakat sekitar TPA.

Salah satu TPA utama di Indonesia dengan manajemen pengolahan sampah yang belum terselesaikan adalah TPA Piyungan. TPA tersebut merupakan TPA terbesar di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan terletak di Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul. Sejumlah 600 ton sampah per hari yang berasal dari Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, dan Kabupaten Bantul masuk ke TPA ini (Nuswantoro, 2019). Air lindi yang dihasilkan dari proses pembusukan sampah selanjutnya ditampung di kolam pengolahan lindi sebelum dibuang ke Sungai Opak (Sismanto & Hartantyo, 2005). Utami et al. (2022) melaporkan bahwa sedimen Sungai Opak sudah tercemar mikroplastik dengan kelimpahan yang sangat tinggi mencapai 1.700 partikel/kg. Tujuh kolam lindi di TPA Piyungan menerapkan sistem aerasi, sedimentasi, dan disinfeksi sebelum dibuang ke Sungai Opak. Air lindi yang mengalir ke Sungai Opak ditakutkan mengandung mikroplastik yang dapat tertelan oleh organisme di Sungai Opak tersebut. Mikroplastik nantinya akan masuk ke dalam rantai makanan dan berbahaya karena dapat bersifat karsinogenik (Sari & Afdal, 2017; Utami et al., 2021). Penelitian mikroplastik air lindi di TPA Indonesia sejauh ini belum banyak dilaporkan, sehingga perlu dilakukannya penelitian mikroplastik pada air lindi di TPA Piyungan sebagai upaya pencegahan pencemaran mikroplastik di lingkungan.

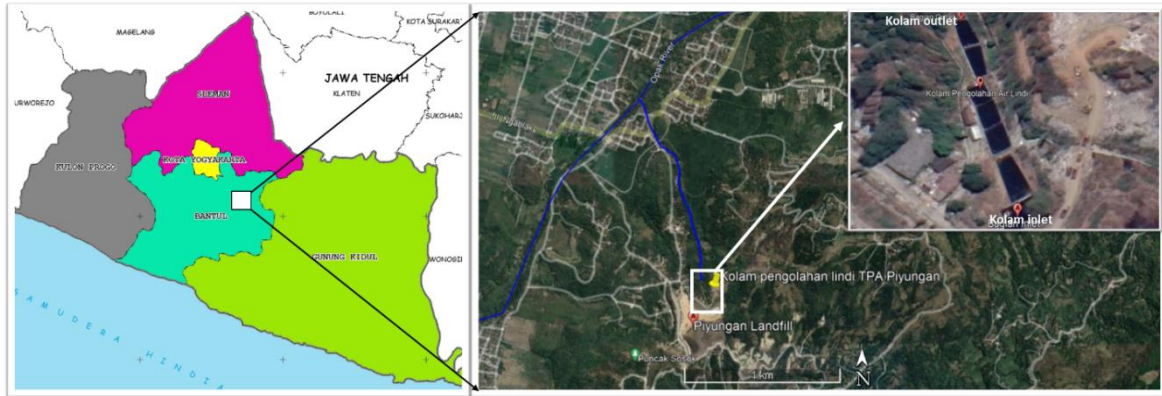
METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan antara lain botol kaca ukuran 1 L, corong kaca, *coolbox*, gel pendingin, kulkas, saringan (*mesh*) 5 mm, timbangan analitik, kompor listrik, oven, cawan petri, gelas kimia 1 L, mikroskop optik, pH meter, kamera mikroskop optilab, TDSmeter, *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FT-IR), termometer air raksa, refraktometer salinitas, lux meter, thermohyrometer, aluminium foil, kertas label, sampel air lindi, H₂O₂ 30%, FeSO₄ 0,05 M, tisu, kertas saring, dan sarung tangan.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan literatur studi dan survey ke lapangan, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan sampel lindi dan identifikasi mikroplastik pada sampel. Pada tahap akhir dilakukan tabulasi dan analisis data. Waktu pengambilan sampel air lindi TPA Piyungan dilakukan pada bulan Januari 2021, sedangkan waktu pengolahan hingga analisis data dilakukan pada bulan Februari hingga April 2021. Sampel air lindi diambil pada kolam inlet lindi (sebelum pengolahan) dan kolam outlet lindi (setelah pengolahan) di TPA Piyungan (Gambar 1). Pengolahan sampel air lindi serta pengolahan data dilakukan di Laboratorium Riset Ekologi dan Sistematis Universitas Ahmad Dahlan.



Gambar 1. Denah lokasi samping air lindi di TPA Piyungan (Google Earth Pro, 2021)

Pengambilan dan Pengolahan Sampel

Sampel air lindi diambil pada masing-masing kolam pengolahan dengan interval waktu 30 menit yang dimulai pada pukul 09.00 WIB dan diambil. Sampel air lindi diambil sebanyak 1 L dengan lima kali pengulangan untuk setiap kolam. Sampel air lindi selanjutnya dimasukkan ke dalam gelas kaca yang ditutup aluminium foil dan dimasukkan ke dalam *coolbox* yang berisi gel pendingin untuk selanjutnya di bawa ke Laboratorium (Hu *et al.*, 2018). Sampel kemudian disaring dengan saringan *mesh* 5 mm untuk memastikan partikel yang terukur adalah yang kurang dari 5 mm. Sampel yang lolos kemudian ditampung dengan gelas beaker dan dikeringkan dengan oven pada suhu 90 °C selama 24 jam (Espiritu *et al.*, 2019). Sampel yang telah kering ditambah 20 mL FeSO₄ konsentrasi 0,05 M dan 20 mL H₂O₂ konsentrasi 30 % untuk menghilangkan bahan organik (Dyachenko *et al.*, 2017). Sampel selanjutnya dipanaskan dengan kompor listrik pada suhu 70 °C sampai terdapat gelembung. Sampel selanjutnya didinginkan terlebih dahulu dan siklus pemanasan dan pendinginan dilakukan berulang selama 30 menit (Espiritu *et al.*, 2019). Sampel kemudian diidentifikasi mikroplastiknya secara visual menggunakan mikroskop dan kamera mikroskop. Kelimpahan mikroplastik dihitung dengan rumus jumlah partikel/L (Masura *et al.*, 2015) sebagai berikut:

$$\text{Kelimpahan Mikroplastik} = \frac{\text{jumlah partikel mikroplastik (Partikel)}}{\text{Volume air tersaring (L)}}$$

Langkah selanjutnya dilakukan uji FT-IR, menggunakan analisis nilai puncak gelombang dengan rentang panjang gelombang 450-4000 cm⁻¹ yang ditandai dengan puncak serapan yang muncul pada spektra (Atmaja & Silvia, 2013).

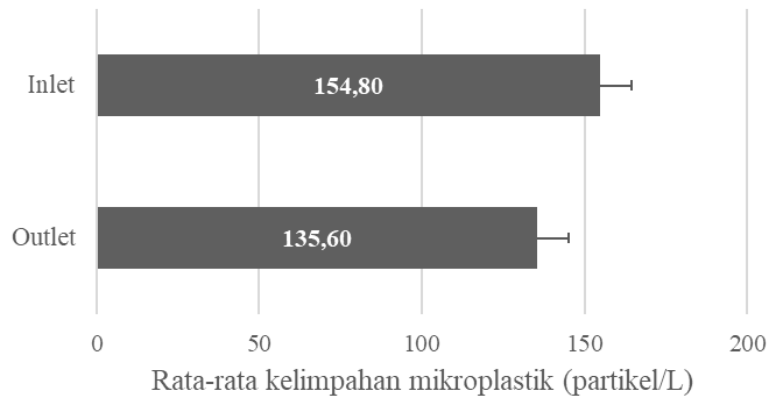
Analisis Data

Data kelimpahan mikroplastik yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif deskriptif dan inferensial. Analisis kuantitatif deskriptif dilakukan untuk membandingkan rata-rata kelimpahan mikroplastik pada kolam inlet lindi dan outlet lindi, sedangkan analisis inferensial dilakukan untuk menguji beda nyata antara dua kelompok data berpasangan (kelimpahan mikroplastik di kolam lindi sebelum dan setelah pengolahan).

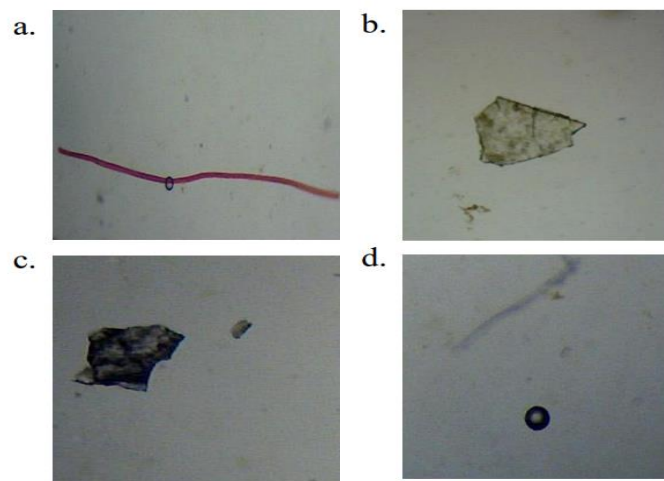
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan telah ditemukan mikroplastik pada seluruh sampel lindi dari kolam inlet maupun kolam outlet pengolahan lindi di TPA Piyungan. Kelimpahan mikroplastik pada kolam inlet rata-rata sebesar 154,80 ± 21,22 partikel/L, sedangkan pada kolam outlet rata-rata sebesar 135,60 ± 12,18 partikel/L (Gambar 2). Secara deskriptif terlihat bahwa kelimpahan mikroplastik pada kolam inlet lebih tinggi daripada di kolam outlet. Dilain pihak, berdasarkan hasil analisis uji *t-paired* menunjukkan bahwa tidak ada beda nyata antara dua kelompok data kelimpahan mikroplastik pada kolam inlet dan

outlet. Hal tersebut membuktikan bahwa proses pengolahan lindi di kolam inlet hingga outlet tidak memengaruhi kelimpahan mikroplastik pada kolam pengolahan lindi. Hal tersebut disimpulkan dari nilai signifikansi (Sig.) pada uji *t-paired* yang menunjukkan nilai 0,142 ($p < 0,05$). Mikroplastik yang teridentifikasi memiliki bentuk yang bervariasi, diantaranya serat (fiber), film, fragmen, dan granula (Gambar 3).



Gambar 2. Kelimpahan mikroplastik pada air lindi di TPA Piyungan



Gambar 3. Temuan mikroplastik pada kolam air lindi di TPA piyungan: (a) fiber, (b) film, (c) fragmen, (d) granula (Dokumentasi pribadi, 2021)

Kelimpahan mikroplastik yang lebih tinggi di inlet tersebut diduga karena belum adanya pengolahan lindi yang terdiri dari tiga tahap utama yaitu sedimentasi, aerasi serta disinfeksi. Adanya proses sedimentasi diperkirakan membuat mikroplastik mengendap pada dasar kolam, walaupun hal tersebut masih perlu dibuktikan dengan adanya identifikasi mikroplastik pada sedimen kolam pengolahan air lindi. Air lindi yang mengalami pengolahan terbukti dapat mengurangi mikroplastik sebesar 58,1%. Hal tersebut dikarenakan mikroplastik tertahan di lumpur pada kolam pengolahan ataupun tertahan di sedimen (Waddell *et al.*, 2020; Alam *et al.*, 2021). Terdapat beberapa faktor lain juga yang memengaruhi kelimpahan mikroplastik pada kolam air lindi yaitu jumlah sampah plastik yang masuk ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA), proses fragmentasi di TPA tersebut, curah hujan dan bahan organik yang terkandung di dalam air lindi (Vopi, 2021).

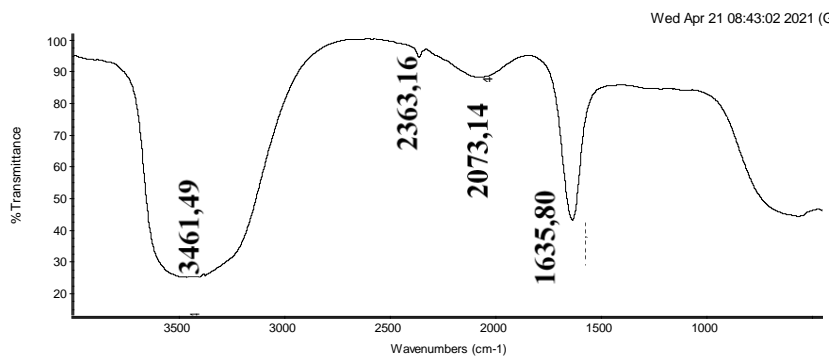
Hasil uji pearson menunjukkan bahwa suhu air lindi berkorelasi positif dan kuat dengan kelimpahan mikroplastik pada air lindi di TPA Piyungan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai *coefisien correlation* sebesar 0,698* (Tabel 1). Nilai tersebut dapat diasumsikan dengan semakin tinggi suhu pada air lindi, maka mikroplastik yang teridentifikasi kelimpahannya juga akan semakin tinggi. Fitri *et al.* (2019) mengatakan bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses fragmentasi

dari plastik menjadi mikroplastik. Semakin tinggi suhu maka akan semakin mempercepat proses fragmentasi plastik menjadi mikroplastik.

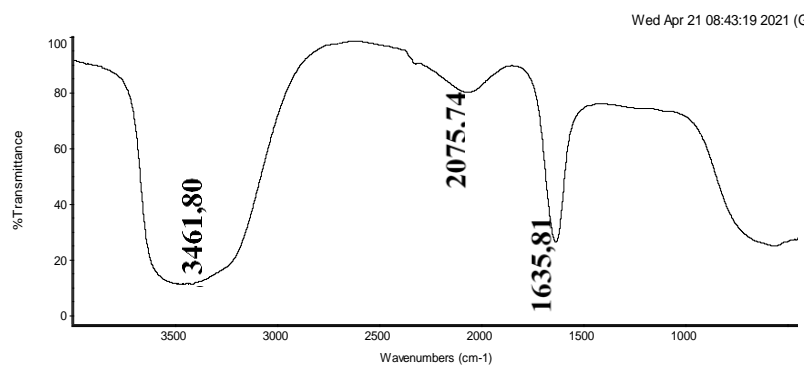
Tabel 1. Hasil uji korelasi Pearson antara kelimpahan mikroplastik dengan parameter abiotik

Parameter yang dibandingkan		Correlation coefficient	Sig (2-tailed)
Kelimpahan mikroplastik	pH air	.530	.115
	Salinitas air	-.052	.886
	Intensitas cahaya	-.308	.386
	Suhu air	.698*	.025
	TDS	.032	.930
	COD	.527	.117
	BOD	-.527	.117
	TSS	-.527	.117

Berdasarkan gambar 4 dan gambar 5 hasil uji FT-IR, diperoleh nilai puncak gelombang yang tidak jauh berbeda pada sampel lindi dari kedua kolam. Sedikit perbedaan yang terlihat pada hasil FTIR air lindi kolam inlet mempunyai empat puncak gelombang, sedangkan pada kolam outlet mempunyai tiga puncak gelombang. Hasil uji FT-IR air lindi dari kolam inlet (Gambar 4) mempunyai puncak gelombang diantaranya 3461,49 cm^{-1} , 2363,16 cm^{-1} , 2073,14 cm^{-1} , dan 1635,80 cm^{-1} . Hasil analisis uji FT-IR air lindi pada bagian outlet (Gambar 5) mempunyai puncak gelombang diantaranya 3416,80 cm^{-1} , 2075,74 cm^{-1} , dan 1635,81 cm^{-1} . Puncak gelombang hasil analisis FT-IR pada kedua bagian kolam lindi diketahui terdapat gugus kimia yang mengindikasikan jenis polimer plastik yang terdapat pada air lindi.



Gambar 4. Hasil uji FT-IR air lindi kolam inlet di TPA Piyungan (Dokumentasi pribadi, 2021)



Gambar 5. Hasil uji FT-IR air lindi pada kolam outlet di TPA Piyungan (Dokumentasi pribadi, 2021)

Berdasarkan hasil uji FT-IR, ditemukan jenis polimer *Polystyrene* (PS), *Polyethylene* (PE) dan *Polyvinyl Chloride* (PVC) pada kedua kolam pengolahan air lindi TPA Piyungan. Menurut Sumarni *et al.* (2013), jenis *polystyrene* (PS) memiliki ikatan hidrogen dengan puncak gelombang 3200 cm^{-1} hingga 3600 cm^{-1} , ikatan C=C dengan puncak gelombang 2700 cm^{-1} hingga 3000 cm^{-1} , ikatan C-C pada puncak gelombang 1500 cm^{-1} hingga 1675 cm^{-1} , dan pada puncak gelombang 1000 cm^{-1} hingga 650 cm^{-1} . Menurut Syakti *et al.* (2017), bahwa ikatan CH merupakan ikatan yang diduga menjadi penyusun utama polimer *Polyethylene* (PE), polimer ini muncul puncak gelombang 2915 cm^{-1} hingga 2935 cm^{-1} . Selain itu, terdapat pula ikatan hidroksil juga menjadi penyusun dari *Polyethylene* (PE) yang ditunjukkan pada puncak gelombang 3050 cm^{-1} hingga 3700 cm^{-1} (Paco *et al.*, 2017). Menurut Ul-Hamid *et al.* (2015) dan Waqifah *et al.* (2017), polimer penyusun *Polyvinyl Chloride* (PVC) terdiri dari gugus O-H yang terdeteksi pada puncak gelombang 3421,72 cm^{-1} hingga 2446,79 cm^{-1} , kemudian ikatan C=O pada puncak gelombang 2860,43 cm^{-1} hingga 2962,66 cm^{-1} , 1627,92 cm^{-1} hingga 1722,43 cm^{-1} , ikatan C-C pada puncak gelombang 143,38 cm^{-1} hingga 1253,73 cm^{-1} dan ikatan C-I pada puncak gelombang 692 cm^{-1} hingga 611,43 cm^{-1} .

Menurut Kilponen (2016), polimer *Polystyrene* (PS) merupakan salah satu jenis plastik yang umum digunakan untuk wadah gelas plastik. *Polystyrene* (PS) mampu melepaskan *styrene* apabila terkena suhu panas, yang dapat mengakibatkan gangguan pada sistem saraf dan otak, berdampak pada genetik, paru-paru, hati serta kekebalan tubuh (Warlina, 2019). Jenis polimer *Polystyrene* (PS) ini akan mudah rapuh apabila terpapar langsung oleh sinar UV setelah 350 jam (Fitriya, 2018). Jenis polimer selanjutnya ialah polimer *Polyethylene* (PE) merupakan jenis plastik yang paling umum digunakan sebagai pembentuk selang, cling wrap, produk tas, botol susu, dan popok sekali pakai (Kilponen, 2016). Menurut Utami & Putri (2019), popok sekali pakai menjadi salah satu sampah terbesar yang dihasilkan di Provinsi Yogyakarta dan banyak ditemukan terjebak di bawah jembatan sungai. Polimer *polyethylene* (PE) juga merupakan jenis plastik yang paling banyak digunakan untuk dijadikan bahan dasar dalam pembuatan berbagai jenis peralatan rumah tangga dan kemasan makanan maupun minuman. Polimer ini memiliki sifat mudah dibentuk, mudah dicetak, ringan serta harganya yang murah (Hendri *et al.*, 2007). Jenis polimer *Polyvinyl Chloride* (PVC) merupakan jenis plastik yang mempunyai kandungan klorin. Oleh karena itu, *Polyvinyl Chloride* (PVC) ini tidak mudah terbakar. Produk-produk PVC biasanya diproduksi untuk penggunaan industri dan konsumen seperti kabel, pakaian, produk mobil seperti jok mobil dan lainnya (Kilponen, 2016). Polimer *Polyvinyl Chloride* (PVC) mengandung DEHA, kandungan tersebut akan bereaksi dengan makanan yang dikemas apabila bersentuhan secara langsung dengan plastik berbahan PVC ini. Apabila polimer PVC ini bersentuhan dengan makanan yang dikemas dengan plastik ini akan membahayakan ginjal, hati, serta penurunan berat badan (Karuniastuti, 2013).

SIMPULAN

Mikroplastik teridentifikasi pada seluruh sampel air lindi baik yang berasal dari kolam inlet maupun kolam outlet pengolahan lindi di TPA Piyungan. Kelimpahan tertinggi berada pada air lindi kolam inlet sebesar $154,80 \pm 21,22$ partikel/l. Jenis polimer *Polystyrene* (PS), *Polyethylene* (PE) dan *Polyvinyl Chloride* (PVC).

DAFTAR PUSTAKA

Alam, F. C., Sembiring, E., Muntalif, B. S., Suendo, V. (2019). Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area (case study: Ciwalengke River, Majalaya district, Indonesia). *Chemosphere*, 224: 637-645. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.188.

- Arum, A. R., Mursid, R., Nikie, A. Y. (2017). Analisis Hubungan Penyebaran Lindi TPA Sumurbatu terhadap Kualitas Air Tanah di Kelurahan Sumurbatu Kecamatan Bantar Gebang Bekasi Tahun 2017. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(5): 461-469. <https://doi.org/10.14710/jkm.v5i5.19168>.
- Atmaja, Silvia, E. (2013). Pengaruh Variasi Komposisi Hibrid Epoksi-Nilon dengan Poliamin terhadap Kualitas Sifat Mekaniknya sebagai Pelapis Kayu. *Jurnal SAINS dan Seni POMITS*, 1 (1): 1-6.
- Browne, M.A. (2015). *Sources and Pathways of Microplastics to Habitats*. Australia: University of New South Wales.
- Dyachenko, A., Mitchell, J., Arsem, N. (2017). Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. *Analytical Methods*, 9 (9): 1412–1418. <https://doi.org/10.1039/C6AY02397E>.
- Espiritu, E. O., Dayrit, S. A. S. N., Coronel, A. S. O., Paz, N. S. C., Ronquillo, P. I. L., Castiloo, V.C.G., Enriquez, E.P. (2019). Assessment of Quantity and Quality of Microplastics in the Sediments, Waters, Oysters, and Selected Fish Species in Key Sites Along the Bombong Estuary and the Coastal Waters of Ticalan in San Juan, Batangas. *Philippine Journal of Science*, 148 (4): 789-801.
- Fitri, N., Nida, Q., Mulyono, S. (2015). Populasi Cacing Tanah Di Kawasan Ujung Seurudong Desa Sawang Ba'u Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Selatan. In *Proceedings Seminar Nasional Biotik 2015*. Aceh Selatan: UIN Ar-Raniry.
- Fitriya, N. (2018). Sintesis Carbon Nanodots (C-Dots) Berbahan Dasar Styrofoam. Bachelor thesis. Semarang: Unessa.
- Hariyanto. (2014). Pengelolaan Sampah Di Kota Semarang Untuk Menuju Kota Bersih. *Jurnal geografi*, 11(2): 237-246. <https://doi.org/10.15294/jg.v11i2.8031>.
- Hendri, J., Ginting, I. S., Simanjuntak., W., Anissa., Gatot. (2017). Karakteristik Film Polietilen Tergrafting Asam Akilat Diperoleh Dengan Metoda Radiasi Gamma. *Berkala MIPA*, 17(2): 33-42.
- Hu, L., Chernick, M., Hinton, D.E., Shi, H. (2018). Microplastics in Small Waterbodies and Tadpoles from Yangtze River Delta, China. *Environ. Sci. Technol*, 52 (15): 8885-8893. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02279>.
- Huerta-Lwanga. E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, Piet., Salanki, T., Van der Ploeg, M., Besseling, E., Koelmans, A.A., Geissen, V. (2016). Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science and Technology*, 50(5): 2685–2691. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05478>.
- Karuniastuti, N. (2013). Bahaya plastik terhadap kesehatan dan lingkungan. *Forum Teknologi*, 3(1): 6-14.
- Kilponen, J. (2016). *Microplastics and Harmful Substances in Urban Runoffs and Landfill Leachates*. In *Possible Emission Sourcer to Marine Environment*. Lathi University.
- Lusher, A. L., Tirelli, V., O'Conner, I., Officer, R. (2015). Microplastics in Arctic polar waters: The First reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific Reports*. 5(1): 1-9. <https://doi.org/10.1038/srep14947>.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. USA: NOAA Marine Debris Division.
- Nuswantoro. (2019). Kala TPS Piyungan Tetap Tampung Sampah Walau Sudah Membeludak. <https://www.mongabay.co.id/2019/04/15/kala-tps-piyungan-tetap-tampung-sampah-walau-sudah-membeludak/>. Diakses pada 24 Desember 2020.

- Paco, A., Duarte, K., da Costa, J.P., Patricia, S. M., R. Pereira., M. E. Pereira., Ana, C., Armondo, C., Teresa, A.P. (2017). Biodegradation of Polyethylene Microplastic by The Marina Fungus *Zalerion maritimum*. *Science of The Total Environment*, 586: 10-15.
- Puthcharoen, A., Leungprasert, S. (2019). Determination of Microplastics in Soil and Leachate from the Landfills. *Thai Environmental Engineering Journal*, 33(3): 39-46.
- Rillig, M. C. (2012). Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil? *Environ.Sci. Technol*, 46(12): 6453-6454. <https://doi.org/10.1021/es302011r>.
- Sari, R. N., Afdal. (2017). Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Universitas Andalas*, 6 (1): 93-99. <https://doi.org/10.25077/jfu.6.1.93-99.2017>.
- SIPSN KLHK. (2021). Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah. Diunduh dari <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>. Diakses tanggal 30 Agustus 2021.
- Sismanto, Hartantyo, E. (2005). Distribution of Leachate Pollution In The Final Disposal of Piyungan, Bantul, Yogyakarta, by Using the Electromagnetic Method. In *Proceedings of Joint Convention*, 395-405. Yogyakarta: Department of Physics.
- Sumarni, N. K., Sosidi, H., Rahman, A., Musafira. (2013). Kajian Fisika Kimia Limbah Styrofoam dan Aplikasinya. *Jurnal of Natural Science*, 2(3): 123-131
- Syakti, A. D., Bouhroum, R., Hidayati, N. V., Koenawan, C. J., Boulkamh, A., Sulisty, I., Wong-Wah-Chung, P. (2017). Beach macro-litter monitoring and floating microplastic in a coastal area of Indonesia. *Mar. Poll. Bull.*, 122(1-2): 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.046>.
- Ul-Hamid, A., Al-Soufi, K., Shemsi, A. (2015). Failure investigation of underground low voltage XLPE insulated cable. Saudi Arabia: University of Petroleum.
- Utami, I., Liani, M. (2021). Identifikasi Mikroplastik pada Air Sumur Gali di sekitar TPA Piyungan Yogyakarta. *Jurnal Riset Daerah Kabupaten Bantul*, 21 (3): 4003-4014. <https://ojs.bantulkab.go.id/index.php/jrd/article/view/57>.
- Utami, I., Putri, D. A. (2019). Pemberdayaan Anggota 'Aisyiyah Se-Daerah Istimewa Yogyakarta Dalam Pengolahan Diaper Bekas Sebagai Campuran Media Tanam. *LOGISTA: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*. 3(2): 76-81. <https://doi.org/10.25077/logista.3.2.76-81.2019>.
- Utami, I., Rahmawati, S., Tricahya, F. H., Pidiyanto, Sakti, A. D. (2021). The Abundance and Characteristics of Microplastics in the Sediments of The Progo River of Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Sustainability Science and Management*, 16 (8): 286-306. <http://dx.doi.org/10.46754/jssm.2021.12.021>.
- Utami, I., Resdianingsih, K., Rahmawati, S. (2022). Temuan Mikroplastik pada Sedimen Sungai Progo dan Sungai Opak Kabupaten Bantul. *Jurnal Riset Daerah Kabupaten Bantul*, 22(1): 4175-4184. <https://ojs.bantulkab.go.id/index.php/jrd/article/view/21>.
- Veronica, C. (2019). Mikroplastik dalam Tanah dapat Merusak Kehidupan Cacing Tanah. <https://nationalgeographic.grid.id/read/131899964/mikroplastikdalam-tanah-dapat-merusak-kehidupan-cacing-tanah>. Diakses tanggal 24 Desember 2020.
- Vopi, Haryanti. (2021). Kajian Kandungan Mikroplastik di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah. Master Thesis, Universitas Andalas: Padang.
- Waddell, M., Grassineau, N., Brakeley, J., Clemittshaw, K. (2020). Microplastics in a UK Landfill: Developing Methods and Assessing Concentrations in Leachate, Hydrogeology, and Release to the Environment, EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-21579>. Diakses pada 30 Juli 2021.

- Warlina, L. (2019). Pengelolaan Sampah Plastik untuk Mitigasi Bencana Lingkungan. Dalam Seminar Nasional FST Universitas Terbuka. Yogyakarta: Universitas Terbuka.
- Waqifah, U., Panggabean, A., Erwin. (2017). Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Selektif Ion Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Etilen Diamin Tetra Asetat (Edta) Sebagai Ionofor. Jurnal Atomik, 2 (1): 169-174.