



BIODEGRADASI PLASTIK LDPE HITAM DAN PUTIH PADA SAMPAH TPA ANTANG DALAM KOLOM WINOGRADSKY

BIODEGRADATION OF BLACK AND WHITE LDPE PLASTIC IN ANTANG LANDFILL USING WINOGRADSKY COLUMN

Isna Rasdianah Aziz*, Cut Muthiadin, Hafsan

*Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar
Jl. HM. Yasin Limpo No. 36, Romang Polong Kab. Gowa92113 Indonesia*

**Corresponding author: isna-rasdianah@uin-alauddin.ac.id*

Naskah Diterima: 21 Oktober 2018; Direvisi: 01 Januari 2019; Disetujui: 16 Februari 2019

Abstrak

Dalam dunia industri, baik industri sandang, pangan, papan, transportasi, medis maupun rekreasi tidak terlepas dari penggunaan kantong plastik. Karena bersifat praktis, berbagai jenis kantong plastik sebagai kemasan selalu menjadi pilihan dalam aktivitas masyarakat. Akan tetapi, sifat plastik yang sulit terdegradasi pada lingkungan alami menimbulkan permasalahan sebagai salah satu sumber pencemaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi mikroorganisme tanah yang diisolasi dari sampah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang Makassar dalam mendegradasi kantong plastik *Low-density Polyethylene* (LDPE) hitam dan putih. Metode biodegradasi plastik yang digunakan adalah kolom Winogradsky dengan menggunakan kolom kaca 1.000 mL yang berisi 500 g tanah sampah TPA Antang dan plastik uji LDPE warna hitam dan putih. Kemudian dilakukan pengukuran persentase degradasi selama 3 bulan masa inkubasi dengan waktu panen selama 3 minggu sekali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 6 isolat dalam kolom Winogradsky mampu mendegradasi plastik LDPE hitam sebesar 3,5% dan 6 isolat lainnya mampu mendegradasi plastik LDPE putih sebesar 2%. Selanjutnya, isolat ini dapat digunakan sebagai agen biodegradasi plastik di TPA Antang Makassar.

Kata kunci: Biodegradasi; Plastik; Sampah; TPA Antang; Winogradsky

Abstract

The use of plastic bags is almost unavoidable in industries, including the food, clothing, transportation, construction, medical, and recreational industries. Various types of plastic bags have been used in various types of packaging, because of the value of practicality. However, the difficulties in the degradation process become a problem as a pollution source in the environment. The purpose of this study was to determine the potential of soil microbes isolated in Antang landfill, Makassar, in degrading black and white plastics of Low-density Polyethylene (LDPE). The biodegradation method used was the Winogradsky column using a 1,000 mL glass column containing 500 g of Antang landfill soil and using black and white LDPE as well. The percentage of degradation was measured for three months incubation period with harvest time for three weeks. The results showed that the inoculum in Winogradsky column was able to degrade the black plastic by 3.5% and the white plastic by 2%. The results of macroscopic and microscopic characterization showed that six isolates were degrading the black plastic and six isolates were degrading the white plastic, with different characteristics. Furthermore, this isolate can be utilized as a biodegradation agent for plastic in the Antang landfill.

Keywords: Antang landfill; Biodegradation; Garbage; Plastic; Winogradsky

Permalink/DOI: <http://dx.doi.org/10.15408/kauniyah.v12i2.10037>

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik di Indonesia khususnya sebagai kemasan sangat populer di kalangan masyarakat, karena bersifat praktis dan memiliki banyak kegunaan. Konsumsi plastik di Indonesia tercatat 1,9 juta ton pada tahun 2013 dengan jumlah peningkatan sekitar 22,58% dibandingkan tahun 2012 sebanyak 1,55 juta ton, sedangkan pada akhir 2017, konsumsi plastik meningkat hingga 5,6 juta ton (Ainiyah & Shovitri, 2014; INAPLAS, 2017; KEMENPERIN, 2013).

Peningkatan kuantitas limbah kota bersumber dari konsumsi plastik masyarakat yang berpeluang mencemari tanah serta tidak adanya proses konversi limbah plastik yang menumpuk. Plastik mengandung polimer dengan berat molekul yang tinggi, struktur yang kompleks dan bersifat hidrofobik menyebabkan sifatnya tidak mudah terdegradasi secara alami di lingkungan dalam waktu singkat. Penimbunan limbah plastik menjadi sumber pencemaran tanah (Demirbas, 2011; Donlan, 2002; Hidayati, Aziz, & Muthiadin, 2017; Gross & Kalra, 2002).

Polietylena berdensitas rendah *Low-density Polyethylene* (LDPE) merupakan jenis plastik yang umumnya digunakan di Indonesia sebagai kantong kemasan belanja, kantong pembungkus makanan, kantong makanan segar, kantong sampah (*disposal bag*), kantong roti dan sebagai kemasan makanan lainnya (BPOM, 2017). Struktur kimiawi LDPE dengan rantai panjang dan pendek memiliki kepekaan yang rendah sehingga lebih fleksibel. Daya proteksi terhadap panas yang cukup baik, juga menjadikan plastik jenis ini memiliki daya tahan tinggi saat digunakan (Fan, Williams, & Choi, 2001; Gupta, Kumar, & Sharma, 2010). Meskipun jenis plastik dari bahan LDPE ini sulit dihancurkan, penggunaannya sebagai kemasan makanan relatif aman (BPOM, 2017). LDPE juga menjadi pilihan bagi pelaku industri, karena harga yang dapat dijangkau oleh masyarakat dengan kualitas ketahanan yang baik (Riandi, Kawuri, & Sudirga, 2017).

Sifat degradatif limbah plastik yang rendah dalam tanah menimbulkan dampak negatif pada berbagai lini, seperti pencemaran lingkungan, rusaknya pola rantai makanan, gangguan estetika, gangguan kesehatan (racun

karsinogen dari plastik), gangguan psikologi dan dampak sosial lainnya (Gross, 2013; Rochman *et al.*, 2013; Harse, 2011).

Salah satu jenis limbah yang terdapat di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang, Makassar, Sulawesi Selatan adalah plastik jenis LDPE. Pengolahan limbah plastik di TPA Antang melalui proses pemilahan, apabila limbah tersebut masih bernilai jual dan dapat didaur ulang seperti botol-botol plastik dan *styrofoam*. Akan tetapi limbah plastik seperti kantong, sedotan, plastik kemasan dan tutup kemasan diolah dengan cara ditimbun dan dipadatkan dengan tanah lain. Limbah jenis ini menumpuk di 5 stasiun TPA. Proses degradasi alami berlangsung sangat lambat, sehingga plastik yang berumur puluhan tahun masih dapat ditemukan di lokasi.

Berdasarkan hal tersebut, maka diidentifikasi pentingnya pengelolaan sampah secara biologi yang ramah lingkungan serta tidak menimbulkan pencemaran dan masalah baru. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi bakteri tanah sampah TPA Antang yang dikondisikan untuk proses biodegradasi plastik jenis LDPE.

MATERIAL DAN METODE

Pengambilan Sampel Tanah

Metode komposit pola zig-zag pada 5 stasiun TPA Antang digunakan dalam pengambilan sampel tanah. Sampel tanah sebanyak 500 g dari kelima titik tersebut dimasukkan dalam *zip lock* steril menggunakan sekop kecil. Sampel kemudian diletakkan dalam *icebox* yang telah diisi dengan *dry ices* dan segera dibawa ke laboratorium. Suhu lingkungan dan pH tanah diukur secara *in situ*. Semua alat yang digunakan telah disterilkan sebelum digunakan di lapangan (Zusfahair, Lestari, Ningsih, & Widyaningsih, 2007).

Persiapan Kantong Plastik

Plastik yang digunakan berupa kantong plastik jenis LDPE berwarna hitam dan putih. Plastik dipotong-potong dengan ukuran 15x4 cm sebanyak 3 ulangan. Plastik disterilkan menggunakan alkohol 70% dan dikering-anginkan dengan sinar UV pada *Laminar Air Flow* selama 30 menit, kemudian dimasukkan dalam oven suhu 80 °C. Potongan plastik ditimbang dengan neraca analitik sebagai berat

kering awal. Semua plastik diberi tanda untuk membedakan dengan plastik lain.

Uji Biodegradasi

Proses degradasi ini menggunakan metode *Winogradsky Column* dengan kolom kaca volume 1.000 mL. Masing-masing kolom tersebut diisi dengan 500 g sampel tanah yang telah diambil sebelumnya di TPA Antang, Makassar. Pada lapisan kedua ditambahkan *Mineral Salt Medium* (MSM) yang telah diformulasi untuk proses biodegradasi sebanyak 500 mL. Kemudian dimasukkan potongan plastik LDPE hitam dan putih dengan pisau steril hingga tercelup pada sampel tanah. Kolom ditutup dan direkatkan dengan *wrap*. Berat kering plastik ditimbang setiap 3 minggu. Proses degradasi menggunakan metode ini dilakukan selama 3 bulan (Ainiyah & Shovitri, 2014).

Karakterisasi Bakteri Tanah Pendegradasi Plastik

Potongan plastik hitam dan putih diambil dari kolom *Winogradsky* menggunakan pinset steril kemudian dimasukkan dalam botol flakon yang telah diisi dengan 13 mL akuades dan vortex dengan kecepatan 2.000 rpm selama 30 detik. Biofilm yang telah terpisah dari plastik hitam dan putih kemudian divortex kembali selama 2 menit hingga homogen. Masing-masing sebanyak 100 μ L dipindahkan ke tabung reaksi untuk dilakukan pengenceran. Media *Nutrient Agar* (NA) yang telah disiapkan dituang ke masing-masing cawan *petridish* dan dibiarkan padat hingga dingin. Inokulum ditambahkan dan diratakan menggunakan *drygalski*, kemudian dimasukkan

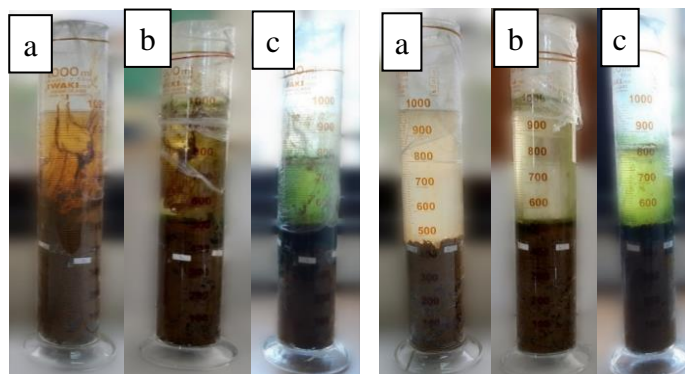
dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 48 jam. Koloni mikroba yang tumbuh pada masing-masing cawan 30–300 koloni cfu/g dicatat dan dihitung dengan *colony counter* (Sivan, Szanto, & Pavlov, 2006).

Persentase Kehilangan Berat Plastik

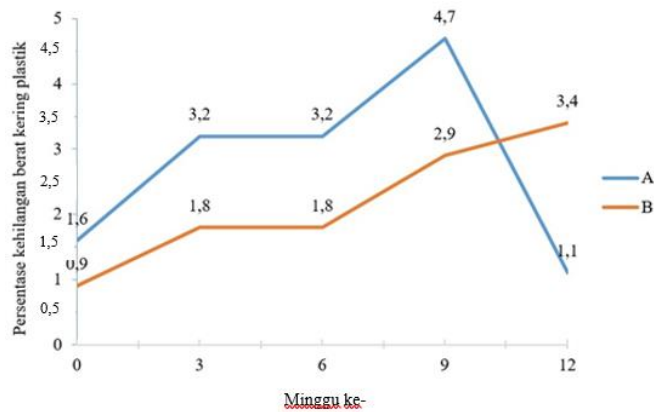
Pengukuran kehilangan berat plastik dilakukan dengan cara menghitung selisih berat potongan plastik sebelum didegradasi dan setelah proses degradasi. Potongan plastik yang sudah terpisah dengan biofilm disterilisasi dengan alkohol 70% dan dikering-anginkan. Setelah kering, potongan plastik dimasukkan ke dalam oven pada suhu 80 °C. Potongan plastik yang telah dioven dimasukkan ke dalam desikator selama 24 jam dan ditimbang berat keringnya. Perhitungan persentase kehilangan berat plastik menggunakan rumus berikut (Hadad, Geresh, & Sivan, 2005; Kyaw, Champakalakshmi, Sakharkar, Lim, & Sakharkar, 2012; Sivan *et al.*, 2006): kehilangan berat = $\frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100\%$, keterangan: W_i = berat kering awal sebelum degradasi (g), W_f = berat kering akhir setelah degradasi (g).

HASIL

Uji biodegradasi menggunakan kolom *Winogradsky* plastik LDPE hitam dan putih setelah masa inkubasi 12 minggu dapat dilihat pada Gambar 1. Persentase kehilangan berat plastik LDPE hitam dan putih inkubasi 0, 3, 6, 9, dan 12 minggu ada di Gambar 2, sedangkan karakteristik koloni bakteri tanah TPA Antang yang mampu mendegradasi plastik LDPE hitam dan putih terdapat pada Tabel 1.



Gambar 1. Uji biodegradasi menggunakan kolom *Winogradsky* plastik LDPE hitam (kiri) dan plastik LDPE putih (kanan) pada inkubasi 0 hari (a), 6 minggu (b), dan 12 minggu



Gambar 2. Persentase kehilangan berat plastik LDPE hitam dan putih pada inkubasi 0, 3, 6, 9, dan 12 minggu. (A) inokulum plastik hitam, (B) inokulum plastik putih

Tabel 1. Karakteristik koloni bakteri tanah TPA Antang yang mampu mendegradasi plastik LDPE hitam dan putih

Kode isolat	Warna plastik	Bentuk	Warna isolat	Tepi	Elevasi	Gram
H1	Hitam	<i>Circular</i>	Krem	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	Kokus (+)
H2	Hitam	<i>Circular</i>	Krem	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	Basil (+)
H3	Hitam	<i>Irregular</i>	Krem	<i>Undulate</i>	<i>Raised</i>	Kokus (+)
H4	Hitam	<i>Irregular</i>	Krem	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	Kokus (+)
H5	Hitam	<i>Irregular</i>	Krem	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	Basil (+)
H6	Hitam	<i>Circular</i>	Kuning	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	Kokus (+)
P1	Putih	<i>Irregular</i>	Putih	<i>Undulate</i>	<i>Umbonate</i>	Basil (-)
P2	Putih	<i>Irregular</i>	Krem	<i>Undulate</i>	<i>Flat</i>	Basil (+)
P3	Putih	<i>Irregular</i>	Krem	<i>Entire</i>	<i>Flat</i>	Basil (-)
P4	Putih	<i>Irregular</i>	Krem	<i>Undulate</i>	<i>Flat</i>	Basil (+)
P5	Putih	<i>Circular</i>	Krem	<i>Entire</i>	<i>Raised</i>	Basil (-)
P6	Putih	<i>Circular</i>	Kuning	<i>Undulate</i>	<i>Flat</i>	Basil (-)

PEMBAHASAN

Metode uji biodegradasi plastik dalam penelitian ini adalah metode kolom Winogradsky (Gambar 1) dengan menggunakan inokulum berupa mikroorganisme tanah yang berasal dari sampah TPA Antang, Makassar. Kolom Winogradsky merupakan model ekosistem mikroba pada kolom kaca dengan menambahkan media yang diperkaya dan diinkubasi cahaya cukup (Esteban, Hysa, & Bartow-McKenney, 2015; Parks, 2015). Pada penelitian ini kolom Winogradsky diisi dengan tanah sampah dari 5 stasiun di TPA Antang dan medium mineral untuk inokulum A dengan plastik hitam dan inokulum B dengan plastik putih. Potongan plastik yang ditanam pada tanah diukur persentase degradasi plastiknya selama 3 bulan masa inkubasi, dengan interval pengukuran 3 minggu sekali.

Dalam 6 minggu, terdapat pertumbuhan mikroorganisme yang hidup secara aerob dan

anaerob pada kolom Winogradsky dan membentuk zona-zona yang berbeda (Gambar 1). Air pada bagian kolom yang terkena cahaya terlihat lebih keruh karena adanya pertumbuhan bakteri fotoautotrof yang tumbuh secara aerob. Mikroorganisme yang butuh kadar oksigen rendah atau tidak butuh sama sekali akan menempati lapisan bawah, seperti bakteri sulfur ungu dan bakteri non-sulfur ungu. Warna hitam atau hijau di permukaan tanah terjadi karena bakteri pereduksi sulfat yang menghasilkan gas hidrogen sulfida yang bereaksi dengan Fe membentuk endapan serta menghasilkan bau belerang pada saat kolom dibuka (Parks, 2015). Gas-gas yang terbentuk akan membuat terbentuknya rongga udara pada kolom yang semakin lama akan semakin membesar dan akan mengangkat tanah di atasnya semakin tinggi.

Berdasarkan rata-rata persentase degradasi plastik (Gambar 2), inokulum A memiliki kemampuan lebih tinggi dalam

mendegradasi plastik hitam. Setelah 3 bulan masa inkubasi persentase degradasi inokulum A mencapai 3,5% sedangkan degradasi optimum terjadi setelah 9 minggu masa inkubasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa inokulum A sudah teradaptasi dengan baik dalam mendegradasi plastik, sehingga hasil degradasinya menunjukkan pola yang stabil, sedangkan inokulum B memiliki kemampuan lebih rendah dalam mendegradasi plastik putih. Setelah 3 bulan masa inkubasi persentase degradasi inokulum B mencapai 2%, sedangkan degradasi optimum terjadi setelah 12 minggu masa inkubasi. Ketebalan plastik putih LDPE yang lebih besar dibandingkan plastik hitam berkaitan dengan densitas dan kerapatan plastik tersebut. Semakin tebal dan berat kemasan, semakin besar densitas dan kerapatannya. Senyawa yang disekresikan secara ekstraseluler oleh mikroorganisme inokulum A lebih cepat merusak struktur molekul kompleks plastik tersebut, sehingga proses degradasi plastik hitam LDPE lebih cepat dibandingkan pada plastik putih. Pada proses biodegradasi ini, polimer plastik LDPE dipecah menjadi oligomer dan monomer oleh bakteri dengan proses degradasi enzimatik. Bakteri yang tumbuh memanfaatkan sumber karbon pada polimer LDPE menyebabkan integritas dan hidrofobisitas polimer menjadi berkurang (Gajendiran, Krishnamoorthy, & Abraham, 2016; Priyanka & Archana, 2011; Yaşa, Çadircı, Koçyigit, & Öztürk, 2006).

Diperoleh 6 isolat yang mampu mendegradasi plastik hitam dan putih (Tabel 1). Isolat-isolat tersebut memiliki 3 perbedaan pada warna dan bentuk elevasi. Bentuk koloni terdiri dari *circular* dan *irregular*, tepi koloni *entire* dan *undulate*, serta pewarnaan Gram positif dan negatif. Berdasarkan karakteristik morfologi isolat tersebut, isolat-isolat tersebut memiliki familia yang berbeda satu dengan yang lainnya.

Hasil karakterisasi menunjukkan 12 isolat mampu mendegradasi plastik hitam dan putih berdasarkan morfologi warna, bentuk koloni, tepi koloni, dan elevasi koloni. Adanya keanekaragaman dan jumlah isolat bakteri disebabkan oleh tingkat perbedaan dalam mengkonsumsi mineral dalam kolom Winogradsky. *Mineral Salt Medium* (MSM) yang telah diformulasi dengan menghilangkan

unsur karbon memaksa bakteri-bakteri tersebut menggunakan plastik hitam dan putih sebagai sumber karbon dalam proses metabolisme. Kemungkinan terjadi zona penghambatan antara koloni satu dengan yang lain agar mencegah perluasan koloni dalam konsumsi nutrisi dan hara di wilayah koloni masing-masing. Hal ini menyebabkan jenis-jenis isolat yang diperoleh menjadi beragam.

SIMPULAN

Persentase degradasi plastik hitam oleh inokulum A mencapai 3,5% sedangkan inokulum B mencapai 2%. Inokulum dalam kolom Winogradsky memiliki kemampuan dalam mendegradasi plastik LDPE hitam dan putih. Proses degradasi plastik hitam lebih cepat dibanding dengan plastik putih. Isolasi dan karakterisasi makroskopis dan mikroskopis menunjukkan 6 isolat pendegradasi plastik LDPE hitam dan 6 isolat pendegradasi plastik LDPE putih yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Agama RI atas Bantuan Penelitian Dasar Program Studi PTKI (BPDPS) 2018 melalui LP2M/P3M di lingkungan PTKI. Terima kasih untuk Tim Peneliti Lab. Genetika UINAM yang telah membantu penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- Ainiyah, D. N., & Shovitri, M. (2014). bakteri tanah sampah pendegradasi plastik dalam kolom winogradsky. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 3(2), E63-E66.
- BPOM. (2017). Kemasan pangan plastik. *InfoPOM*, 18(3), 1-13.
- Demirbas, A. (2011). Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1280-1287. doi: 10.1016/j.enconman.2010.09.025
- Donlan, R. M. (2002). Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases*, 8(9), 881-890. doi: 10.3201/eid0809.020063

- Esteban, D. J., Hysa, B., & Bartow-McKenney, C. (2015). Temporal and spatial distribution of the microbial community of winogradsky columns. *PLoS ONE*, *10*(8), 1-21. doi: 10.1371/journal.pone.0134588
- Fan, Z. J., Williams, M. C., & Choi, P. (2001). A molecular dynamics study of the effects of branching characteristics of LDPE on its miscibility with HDPE. *Polymer*, *43*(4), 1497-1502. doi: 10.1016/S0032-3861(01)00730-3
- Gajendiran, A., Krishnamoorthy, S., & Abraham, J. (2016). Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE) by *Aspergillus clavatus* strain JASK1 isolated from landfill soil. *3 Biotech*, *6*(1), 1-6. doi: 10.1007/s13205-016-0394-x
- Gross, M. (2013). Plastic waste is all at sea. *Current Biology*, *23*(4), R135-R137. doi: 10.1016/j.cub.2013.01.070
- Gross, R. A., & Kalra, B. (2002). Biodegradable polymers for the environment. *Science*, *297*(5582), 803-807. doi: 10.1126/science.297.5582.803
- Gupta, A. P., Kumar, V., & Sharma, M. (2010). Formulation and characterization of biodegradable packaging film derived from potato starch & LDPE grafted with maleic anhydride-LDPE composition. *Journal of Polymers and the Environment*, *18*(4), 484-491. doi: 10.1007/s10924-010-0213-0
- Hadad, D., Geresh, S., & Sivan, A. (2005). Biodegradation of polyethylene by the thermophilic bacterium *Brevibacillus borstelensis*. *Journal of Applied Microbiology*, *98*(5), 1093-1100. doi: 10.1111/j.1365-2672.2005.02553.x
- Harse, G. A. (2011). Plastic, the great pacific garbage patch, and international misfires at a cure. *Journal of Environmental Law and Policy*, *29*(2), 331-363.
- Hidayati, N. A., Aziz, I. R., Muthiadin, C. (2017, November 10). *Pemanfaatan limbah plastik sebagai alternatif bahan bakar terbarukan*. Paper presented at the Prosiding Seminar Biologi for Life, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. Retrieved from <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/psb/article/view/4730>
- INAPLAS. (2017). *Inaplas: kebijakan cukai plastik berpotensi matikan industri*. Jakarta: Asosiasi Industri Olefin, Aromatik, dan Plastik Indonesia. Retrieved from <http://inaplas.net/index.php/home/news>
- KEMENPERIN. (2013). *Semester I, konsumsi plastik 1,9 juta ton*. Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Kyaw, B. M., Champakalakshmi, R., Sakharkar, M. K., Lim, C. S., & Sakharkar, K. R. (2012). Biodegradation of low density polythene (LDPE) by *Pseudomonas* species. *Indian Journal of Microbiology*, *52*(3), 411-419. doi: 10.1007/s12088-012-0250-6
- Parks, S. (2015). Microbial life in a winogradsky column: from lab course to diverse research experience. *Journal of Microbiology and Biology Education*, *16*(1), 82-82.
- Priyanka, N., & Archana, T. (2011). Biodegradability of polythene and plastic by the help of microorganism: a way for brighter future. *Environmental and Analytical Toxicology*, *1*(4), 1-4. doi: 10.4172/2161-0525.1000111
- Riandi, M. I., Kawuri, R., & Sudirga, S. K. (2017). Potensi bakteri *Pseudomonas* sp. dan *Ochrobactrum* sp. yang diisolasi dari berbagai sampel tanah dalam mendegradasi limbah polimer plastik berbahan dasar high density polyethylene (HDPE) dan low density polyethylene (LDPE). *Jurnal Simbiosis*, *5*(2), 58-63. doi: 10.24843/JSIMBIOSIS.2017.v05.i02
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., ... Thompson, R. C. (2013). Policy: classify plastic waste as hazardous. *Nature*, *494*, 169-171. doi: 10.1038/494169a
- Sivan, A., Szanto, M., & Pavlov, V. (2006). Biofilm development of the polyethylene-degrading bacterium *Rhodococcus ruber*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *26*(3), 246-265. doi: 10.1007/s00253-005-0259-4

Yaşa, İ., Çadircı, B. H., Koçyigit, A., & Öztürk, T. (2006). Enrichment and isolation of anoxygenic phototrophic bacteria in winogradsky column. *U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences Cilt Sayı/Issue*, 23(1), 71-73.

Zusfahair, Z., Lestari, P., Ningsih, D. R., & Widyaningsih, S. (2007). Biodegradasi polietilena menggunakan bakteri dari TPA (tempat pembuangan akhir) Gunung Tugel Kabupaten Banyumas. *Molekul*, 2(2), 98-106. doi: 10.20884/1.jm.2007.2.2.39