

TINJAUAN KONSORSIUM MIKROBA UNTUK DEGRADASI SAMPAH PLASTIK YANG EFISIEN DAN RAMAH LINGKUNGAN: ARTIKEL REVIEW

Noviani Arifina I.
Universitas Muhammadiyah Bandung,
Jl. Palasari 9A Bandung 40263, West Java, Indonesia

Email: noviani.a.i@gmail.com

Abstract

The use of plastics for daily needs is increasing along with the times and population. The plastic waste has characteristics that are not easily biodegradable and require a very long decomposition time. This needs serious handling so that plastic waste does not accumulate and damage the environment. The burning method is not expected because it is less effective and produce negative effect for environment. Bacteria can be used to degrade plastic polymers into compounds that are easier to transport into cells to be used as carbon and energy sources. The use of microbial consortium can degrade plastic efficiency compared to the use of single bacterial isolates. This paper tries to review some of the results of research on environmentally friendly, efficient, and cost-effective management of plastic waste using microbial consortium.

Keywords: *degradation of plastic waste, microbial consortium*

1. PENDAHULUAN

Plastik adalah polimer kompleks yang dibuat dari monomer hidrokarbon dengan memodifikasi bahan alam secara kimia atau disintesis dari bahan baku anorganik dan organik. Penggunaan plastik untuk kebutuhan sehari-hari semakin meningkat seiring dengan perkembangan zaman dan meningkatnya jumlah penduduk (Ainiyah dan Shovitri, 2014). Plastik sudah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam hidup kita sehari-hari, baik digunakan sebagai kemasan, bahan bangunan, dan lain sebagainya (Gnanavel et al., 2012). Tabel 1 menunjukkan tipe plastik sintesis yang biasa digunakan dan aplikasinya.

Meski memiliki banyak kelebihan, tidak dapat dipungkiri bahwa plastik sulit terdegradasi dan sulit dihilangkan dari lingkungan (Zubris dan Richards, 2005). Hal ini sangat mempengaruhi flora dan fauna tanah, kesehatan lingkungan, serta membahayakan kesehatan manusia dan hewan (Yadav et al., 2014).

Plastik, menyumbang 16% dari klorin di lingkungan dan mengandung 54 zat karsinogen

(Nkwachukwu et al., 2013). Kantong plastik polietilen, jika dibakar, akan melepaskan gas yang sangat beracun seperti fosgen, karbon monoksida, klorin, sulfur dioksida, nitrogen oksida, dan dioxin yang mematikan (Shrivastava, 2016). Selain itu, plastik yang dibuang di lautan akan merusak dan membunuh kehidupan laut melalui pengotoran ekosistem laut dan pengonsumsi plastik oleh biota laut (Gall dan Thompson, 2015). Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk pengelolaan limbah plastik secara alami, melalui pendekatan biologis yang aman, ramah lingkungan dan hemat biaya (Skariyachan et al., 2017).

Potensi mikroorganisme untuk mendegradasi plastik telah menjadi penelitian selama beberapa dekade terakhir (Magan et al. 2010; Anwar et al., 2013). Penggunaan bioteknologi mikroba dianggap paling aman, karena dapat menghindari produk akhir yang bersifat racun (Lu et al. 2011). Bio-degradasi menawarkan cara yang mudah untuk pembuangan dan daur ulang plastik dengan

Tabel 1. Plastik sintesis yang biasa digunakan dan aplikasinya (Rajendran et al., 2015)

Plastik	Simbol	Struktur	Aplikasi
Polypropylene terephthalate		$\left(\text{O} - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \end{array} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \end{array} - \text{O} - \text{CH}_2 \right)_n$	Botol minuman ringan, botol selai kacang, plastik film, kemasan microwave
High-density polyethylene		$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{---C---C---} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right)_n$	Kemasan susu, botol air dan jus, kantung sampah, kresek
Polyvinyl chloride		$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{---C---C---} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right]_n$	Botol jus, cling film, jas hujan, sol sepatu, selang taman, dan pipa listrik
Low-density polyethylene		$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{---C---C---} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right)_n$	Kantung makanan beku, botol yang bisa dipukul, tutup wadah fleksibel
Polypropylene		$\left(\begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$	Tutup botol, sedotan, botol obat, aki mobil, jarum suntik sekali pakai
Polystyrene		$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$	Bahan kemasan, peralatan laboratorium, gelas sekali pakai, piring, nampan, peralatan makan
Others (often polycarbonate)		$\left[\text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C} \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{O} - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \end{array} \right]_n$	Botol minuman, botol susu bayi, casing elektronik

tingkat degradasi yang lebih besar dibandingkan degradasi plastik tanpa keterlibatan mikroorganisme (Booth dan Robb, 2007). Penggunaan lebih dari satu strain bakteri (konsorsium mikroba) dapat meningkatkan efisiensi degradasi plastik dibandingkan dengan degradasi plastik menggunakan kultur bakteri isolat tunggal, hal ini dikarenakan adanya aktivitas kooperatif dari konsorsium mikroba (Soni et al., 2009).

Hasil penelitian mengungkapkan bahwa penggunaan bakteri pengurai plastik yang diisolasi dari tanah yang telah terkontaminasi plastik, menunjukkan kemampuan degradasi plastik yang efektif (Kathiresan 2003; Thomas et al., 2015). Namun, bakteri penghasil enzim dari

kotoran sapi juga dapat dimanfaatkan untuk degradasi hidrokarbon dengan efisien (Vijayaraghavan et al., 2016), karena penelitian telah mengungkapkan bahwa kotoran sapi adalah sumber melimpah beragam mikroorganisme dan berfungsi dalam proses bioremediasi yang cepat (Agamuthu et al., 2013). Selain itu, penelitian juga menunjukkan keberadaan potensial bakteri termofilik di kotoran sapi, yang dapat digunakan untuk menghilangkan hidrokarbon dengan cepat (Akinde dan Obire, 2008).

2. METODE PENELITIAN

Artikel review ini menggunakan metode penelitian komparatif (perbandingan) dari

beberapa sumber yang didapat dari beberapa jurnal penelitian yang berasal dari internet mengenai bakteri pendegradasi plastik. Studi literatur ini dilakukan secara *online* meliputi jurnal-jurnal yang terdapat pada *Science Direct*, *Pubmed*, *ResearchGate* serta *research article* yang lain.

Metode yang digunakan dalam penelitian komparatif ini adalah metode yang umum digunakan dalam penelitian pengukuran efisiensi degradasi plastik oleh bakteri.

Tahapan Penelitian

a. Pembuatan kultur, isolasi dan screening bakteri termofilik pendegradasi plastik

Sampel yang mengandung bakteri (bisa berasal dari kotoran sapi atau tanah dari situs pembuangan sampah plastik) dibiakan dan diencerkan menggunakan protokol standar (Geldreich et al. 1972), kemudian dibiakan di cawan petri menggunakan media minimal (Hemashenpagam et al., 2013) dan serbuk LDPE dan HDPE (1,0 g per cawan petri) sebagai satu-satunya sumber karbon untuk pertumbuhan bakteri. Media minimum tidak mengandung dekstrosa dan natrium sitrat, tetapi terdiri dari ammonium sulfat (1,0 g l⁻¹), di-kalium fosfat (7,0 g l⁻¹), kalium fosfat (2,0 g l⁻¹), magnesium sulfat (0,1 g l⁻¹), dan serbuk LDPE dan HDPE (1,0 g l⁻¹). Cawan petri diinkubasi pada 55 ° C selama 10 hari dalam inkubator bakteriologis. Koloni bakteri yang tumbuh di piring dihitung dengan ketentuan CFU / g sampel, dan karakteristik fisiologis bakteri diteliti. Koloni bakteri yang di cawan petri digunakan untuk coomassie noda biru (Howard dan Hilliard 1999), dan bakteri pendegradasi plastik diidentifikasi melalui zona bening yang dihasilkan (Dey et al. 2012).

b. Memformulasikan konsorsium mikroba untuk mendegradasi LDPE dan HDPE

Isolat yang menghasilkan zona bening setelah diaplikasikan Coomassie biru, dipilih untuk dijadikan bakteri konsorsium. Formulasi kombinasi bakteri dibuat berdasarkan variasi morfologi dan karakteristik kultur bakteri. Pewarnaan Gram dilakukan untuk mengkonfirmasi keberadaan kultur murni. Kultur konsorsium yang digunakan berada dalam fase logaritmik (OD pada 600 nm: 0,8-

0,9). Koloni tunggal juga diteliti sebagai pembanding atas efisiensinya dalam mendegradasi plastik (Skariyachan, 2017).

c. Penentuan tingkat biodegradasi melalui metode pengurangan berat

Sekitar 15 ml media tumbuh minimal dimasukkan ke tabung reaksi steril. Selebar plastik (berukuran 5 × 1 cm dengan ketebalan LDPE 20 µm, dan ketebalan HDPE 25 µm) dan pellet (diameter 2,5 mm) digunakan untuk studi biodegradasi. Lembar plastik mewakili bahan plastik yang lembut, sedangkan pelet mewakili plastik berbahan keras, yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Lembar LDPE dan HDPE (sekitar 1 g) dan pelet (sekitar 1 g) dimasukkan ke dalam tabung yang berisi media tumbuh. Konsorsium mikroba diinokulasikan ke dalam tabung yang sudah mengandung bahan plastik, kemudian berat awal dicatat. Minimal media (dengan polimer) tanpa konsorsium bakteri digunakan sebagai kontrol. Tabung diinkubasi pada suhu 55 ° C selama 120 hari untuk menentukan persentase penurunan berat badan. Tabung dipantau setiap minggu dan persentase penurunan berat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Persentase pengurangan berat} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

Percobaan dilakukan dengan tiga kali pengulangan, dan rata-rata pengurangan berat dicatat.

d. Karakterisasi isolat bakteri

Mikroba pendegradasi plastik dapat mendegradasi plastik salah satunya karena aktivitas enzimatis (Uchida et al. 2000; Bhardwaj et al. 2012). Faktor lainnya adalah hidrofobitas permukaan sel bakteri (Tribedi dan Sil, 2013). Sebagian besar bakteri yang mampu memecah polimer berantai panjang dalam plastik adalah basil Gram negatif (Kyaw et al. 2012; Nanda et al. 2010; John et al. 2012; Usha et al. 2011), dan diantara basil Gram negatif, *Pseudomonas spp.* adalah bakteri pengurai plastik yang utama (Kyaw et al. 2012; John et al. 2012; Tribedi et al. 2012). Untuk mengidentifikasi keberadaan bakteri yang serupa dengan *Pseudomonas spp.*, isolat bakteri ditumbuhkan di plat agar MacConkey (Mossel et al., 1962)-medium selektif untuk bakteri Gram

negatif- dan diinkubasi selama 48 jam. Karakterisasi isolat Gram-negatif dilakukan dengan teknik mikrobiologi standar.

Isolat kemudian dilapisi diatas agar susu dengan cetrimide, medium selektif untuk *Pseudomonas spp.* Tahapan ini dilakukan dengan mengacu pada hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa sebagian besar hidrokarbon didegradasi oleh bakteri *Pseudomonas spp.* (Kyaw et al. 2012; John et al. 2012).

e. Karakterisasi molekuler dari isolat terbaik menggunakan pengurutan gen 16S ribosom DNA

Isolat bakteri yang menunjukkan kemampuan degradasi terbaik disekuensing oleh gen 16S DNA ribosom (rDNA). Untuk mendapatkan urutan homolog terbaik, dilakukan BLAST pada urutan 16S rDNA yang dihasilkan (www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST). Hubungan evolusi dari sekuens dianalisis dengan membangun pohon filogenetik berdasarkan metode neighbor-joining (Saitou dan Nei, 1987), dan pohon itu divisualisasikan melalui software TreeView (Page, 2002). Semua urutan 16S rDNA disimpan ke GenBank (www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank).

f. Prediksi struktur sekunder 16S rDNA dari isolat terbaik

Urutan 16S rDNA dari isolat dilipat menggunakan software Mfold (<http://unafold.rna.albany.edu/>) (Zuker, 2003) untuk memeriksa struktur sekunder dan menganalisis kestabilan struktur terkait energi bebas Gibbs. Urutan 16S rDNA diinput ke server web Mfold, dan parameter-parameternya diperbaiki, seperti: ukuran bulge-loop, tipe lingkaran luar, mode gambar struktur, frekuensi penomoran dasar, penjelasan struktur, dan sudut rotasi struktur. Proses lipatan dilakukan pada 37 °C dan kondisi ionik dari NaCl 1M* (Skariyachan, 2017).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan kultur bakteri pendegradasi plastik

Mikroorganisme berperan dalam degradasi biologis suatu polimer (Oktavianda,

2016). Komponen molekul kompleks tersebut dipecah menjadi komponen yang lebih sederhana, yang kemudian digunakan dalam metabolisme sebagai sumber energi. Sumber karbon yang tidak umum inilah yang diharapkan dimanfaatkan oleh mikroorganisme dalam kondisi terbatas (Lucas, 2008). Ada beberapa jenis mikroba yang dapat menggunakan hidrokarbon dari plastik sebagai sumber energi, sehingga mikroba tersebut dapat dimanfaatkan untuk mendegradasi polimer plastik. Tabel 2 menunjukkan berbagai jenis mikroba dan efisiensi degradasi plastiknya.

Formulasikan konsorsium mikroba untuk mendegradasi LDPE dan HDPE

Ketika serbuk LDPE dan HDPE ditambahkan pada media dihasilkan bakteri berukuran kecil, koloni berwarna krem, bundar, buram, dan tembus cahaya tumbuh pada suhu termofilik 55 °C setelah waktu inkubasi 10 hari. Ini menyimpulkan bahwa sebagian besar bakteri yang diisolasi dari kotoran sapi atau tanah situs pembuangan sampah plastik mampu tumbuh pada kondisi termofilik. Total 8,14% bakteri mampu mendegradasi polietilen ketika serbuk HDPE digunakan dan 7.13% dari bakteri mendegradasi LDPE (Skariyachan, 2017). Hasil menunjukkan bahwa mikroorganisme mampu mendegradasi polietilen yang terdapat pada tanah, pada suhu yang tinggi (Duddu et al. 2015).

Proses degradasi sampah plastik banyak dipengaruhi oleh parameter-parameter yang mendukung, seperti suhu, pH, dan kadar air yang dihasilkan. Kondisi lingkungan yang optimum sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk tumbuh dan melakukan aktifitas penguraian sampah salah satunya suhu. Suhu sampah plastik dalam proses degradasi sampah akan berubah sesuai dengan fase yang akan dilaluinya (Black, 2002). Suhu tinggi yang dihasilkan oleh sampah plastik dapat meningkatkan kualitas mikroorganisme yang ada dalam sampah plastik tersebut. Peningkatan kualitas hidup mikroorganisme akan mempercepat laju degradasi (Dian dan Pandebesie, 2013).

Selain suhu, pH juga dapat mempengaruhi percepatan laju degradasi sampah plastik. Nilai pH yang dihasilkan oleh sampah plastik dapat mempengaruhi mikroorganisme dalam sampah plastik. Semakin

Tabel 2. Jenis mikroba dan efisiensi degradasi plastik (RaziyaFathima et al., 2016)

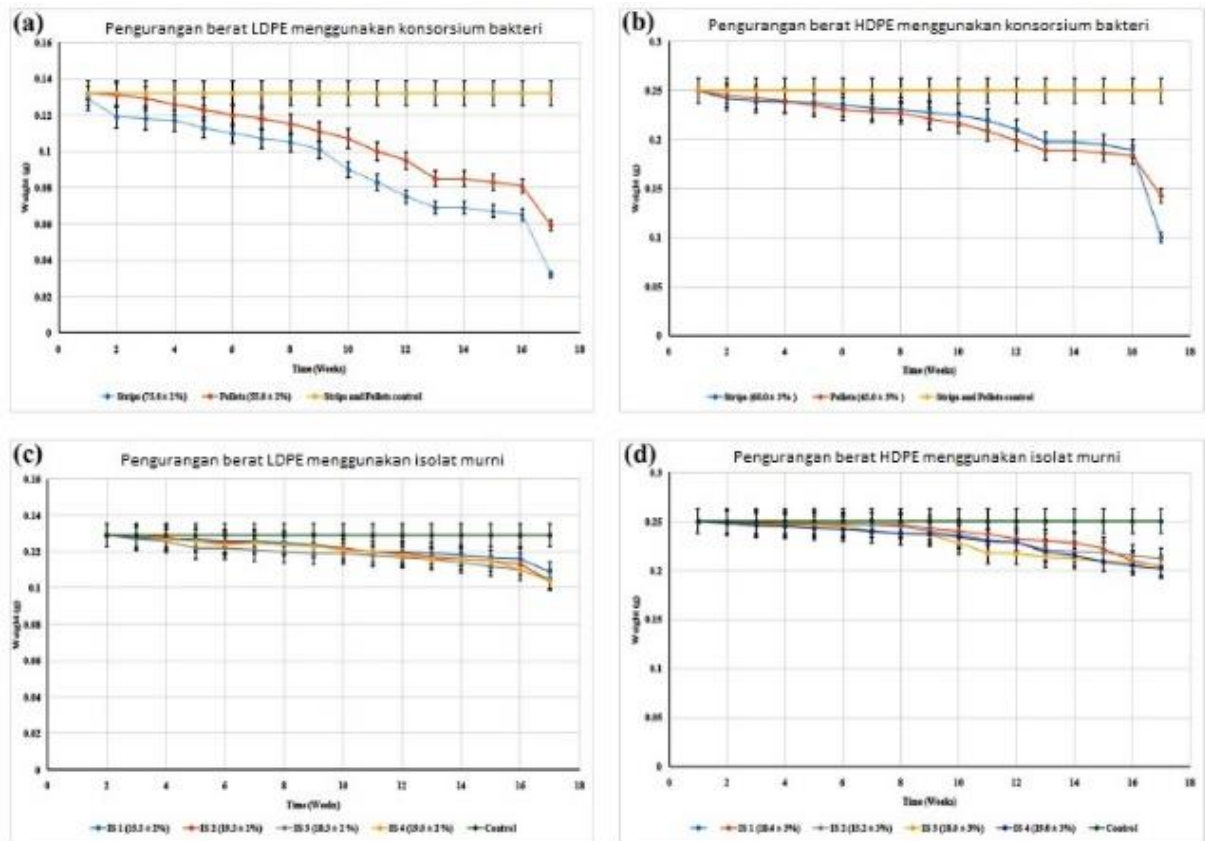
<u>Mikroba</u>	<u>Jenis plastik</u>	<u>Sumber mikroba</u>	<u>Efisiensi degradasi</u>
<i>Bacillus cereus</i>	polietilen	Tanah tempat pembuangan sampah.	7.2-2.4%
<i>Pseudomonas putida</i>	penutup susu	Tanah kebun	75.3%
<i>Streptomyces sp</i>	LDPE	Tanah sampah	46.7%
<i>Pseudomonas sp</i>	Polietilena alami dan sintetis	Tempat pembuangan lumpur limbah	46.2% dan 29.1%
<i>Pseudomonas sp</i>	Polietilena alami dan sintetis	Tempat pembuangan sampah rumah tangga	31.4% dan 16.3%
<i>Pseudomonas sp</i>	Polietilena alami dan sintetis	Situs drainase limbah tekstil	39.7% dan 19.6%
<i>Pseudomonas sp</i>	<u>Polietilena</u>	Tanah mangrove	20.54% dan 8.16%
<i>Aspergillus glaucus</i>	<u>Plastik dan polietilena</u>	Tanah mangrove	20.80% dan 7.26%
<i>Micrococcus luteus</i>	<u>Gelas plastik</u>	Tanah hutan	38%
<i>Masoniella sp</i>	<u>Gelas plastik</u>	Tanah hutan	27.4%
<i>Pseudomonas sp</i> dan <i>Bacillus cereus</i>	<u>Tas polietilena</u>	<u>Situs pembuangan plastik</u>	12.5%
<i>Aspergillus niger</i> dan <i>Streptococcus lactis</i>	Kantong plastik dan gelas plastik	Tanah Kebun Obat, Tanah Air Limbah, tanah Taman Energi, tanah Area Lumpur, Tanah Pertanian	12.25% dan 12.5%
<i>Aspergillus oryzae</i>	Film polietilen densitas tinggi	Film polietilen densitas tinggi (HDPE) terkubur di dalam tanah	72%
<i>Streptomyces</i> KU8, <i>Pseudomonas sp</i> and <i>Aspergillus flavus</i>	Serbuk polietilen densitas rendah	Tanah <u>tempat pembuangan sampah</u>	46.16%, 37.09%, dan 20.63%
8 strain <i>Streptomyces</i> dan 2 jamur, <i>M. rouxii</i> NRRL 1835 and <i>Aspergillus flavus</i>	Plastic film <u>sekali pakai</u>	Delta <u>sungai Nile</u>	28.5% dan 46.5%
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	Polietilena dan polietilena dengan kepadatan rendah	Tanah <u>dari situs pembuangan plastik</u>	73.38%
<i>Arthrobacter sp.</i> dan <i>Pseudomonas sp</i>	Polietilen densitas tinggi (HDPE)	<u>Situs pembuangan</u>	12% dan 15%
<i>Brevibacillus borstelensis</i> strain 707	Polietilen densitas rendah bercabang	<u>tanah</u>	11%
<i>Pseudomonas sp.</i>	Kantong plastik dan gelas plastik	Tanah <u>bakau</u>	20.54 ± 0.13% dan 28.80 ± 2.40%
<i>Aspergillus glaucus</i>	<u>Tas polietilen</u>	Tempat pembuangan plastik	22%
<i>Serretia marscence</i>	LDPE and BPE 10	<u>Kompos halaman</u>	17.036%
<i>Bacillus cereus</i>	LDPE <u>bubuk</u>	<u>Air laut</u>	4.1594 g/L
<i>Aspergillus versicolor</i> dan <i>Aspergillus sp</i>	LDPE	<u>Tidak spesifik</u>	22%

tinggi pH, laju proses degradasi plastik semakin cepat. Pada pH optimum, mikroorganisme semakin aktif bekerja dan mampu berkembang biak dengan baik (Dian dan Pandebesie, 2013).

Kadar air juga berpengaruh terhadap proses degradasi sampah plastik oleh mikroorganisme. Pada kondisi kadar air yang terus meningkat, mikroorganisme yang ada dalam sampah plastik menjadi lebih cepat tumbuh berkembang dan bekerja dengan baik (Tchobanoglous et al., 2003).

Penentuan tingkat biodegradasi melalui metode pengurangan berat

Pada gambar 1 dapat dilihat kurva kecepatan biodegradasi polietilen melalui metode pengurangan berat menggunakan konsorsium bakteri dan isolat murni. Ketika lembar dan pelet plastik diinkubasi selama 120 hari menggunakan konsorsium bakteri, lembar LDPE-HDPE mengalami degradasi sebesar $75.0 \pm 2\%$ - $60.0 \pm 3\%$, dan pelet mengalami degradasi sebesar $55.0 \pm 2\%$ - $43.0 \pm 3\%$. Sedangkan isolat murni memiliki kemampuan degradasi LDPE dan HDPE yang lebih rendah, yaitu $15.5-19.3 \pm 2\%$ dan $18.4 \pm 3\%$. Hal ini menunjukkan bahwa konsorsium bakteri mampu mendegradasi plastik lebih baik dibandingkan isolat murni. Lembar plastik lebih cepat didegradasi



Gambar 1. Penentuan kecepatan biodegradasi polietilen melalui metode pengurangan berat (Skariyachan, 2017)

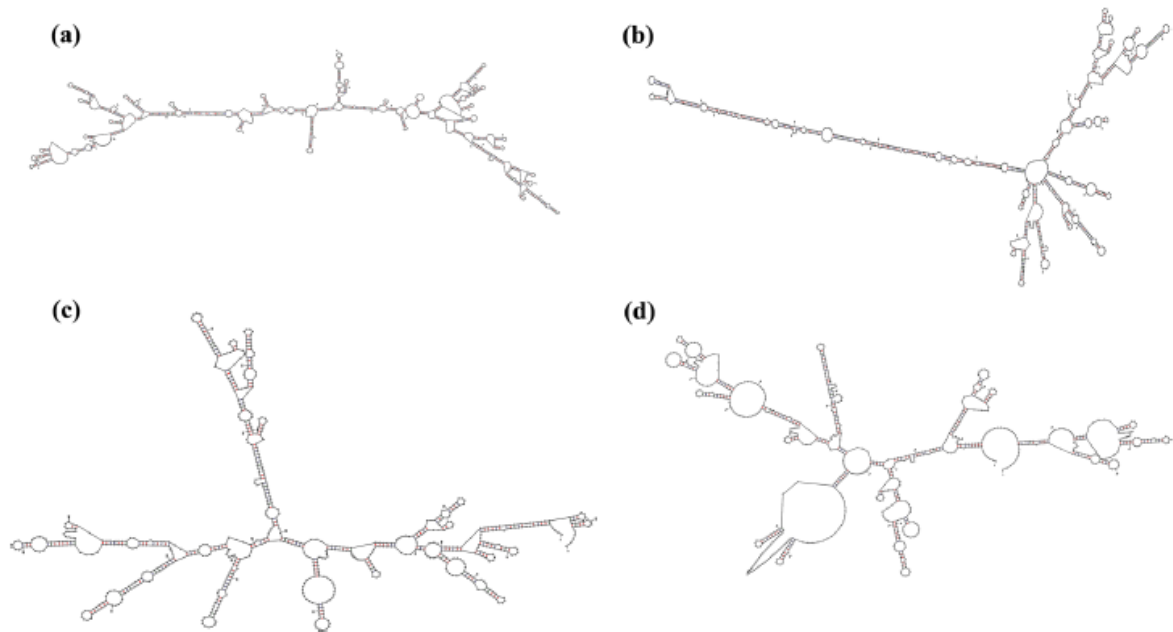
dibandingkan dengan pelet, hal ini kemungkinan disebabkan karena luas permukaan lembar plastik lebih besar dibandingkan luas permukaan pelet sehingga interaksi bakteri dengan plastik lebih besar (Skariyachan, 2017).

Metode berat adalah salah satu metode kualitatif ideal untuk menghitung proses degradasi plastik, dimana metode ini tidak hanya menunjukkan persentase penurunan berat, tetapi juga hilangnya sifat-sifat tertentu yang mengisyaratkan terurainya polietilen (Board, 2006).

Mekanisme biodegradasi plastik diawali dengan degradasi secara abiotik yaitu fotodegradasi yang mengubah gugus rantai utama dengan adanya gugus karbonil (C=O), sehingga terjadi oksidasi karbon pada rantai polimer polietilen (Leja dan Lewandowicz, 2009; Yoon et al., 2012). Oksidasi karbon ini menghasilkan gugus fungsional dengan berat molekul rendah seperti keton, asam karboksilat, dan hidrokarbon (Chiellini et al., 2007). Gugus fungsional yang terbentuk akan menyebabkan

sifat polimer hidrokarbon yang awalnya hidrofobik berubah menjadi hidrofilik, sehingga permukaan polimer dapat menyerap air dan memudahkan mikroorganisme (bakteri) untuk melakukan proses degradasi (Gilan et al., 2004; Hadad et al., 2005).

Proses selanjutnya adalah degradasi secara biotik atau biasa disebut sebagai biodegradasi. Biodegradasi dilakukan oleh mikroorganisme, salah satunya adalah bakteri. Permukaan plastik yang hidrofilik akan memudahkan bakteri menempel pada permukaan plastik dan akan melakukan kolonisasi (Usha et al., 2011). Koloni bakteri yang menempel pada permukaan plastik akan membentuk biofilm (Das dan Kumar, 2013), kemudian bakteri memecah polimer kompleks plastik menjadi senyawa yang lebih sederhana (oligomer, dimer, dan monomer) dengan bantuan enzim intraseluler dan ekstraseluler depolimerase sehingga senyawa tersebut dengan mudah diangkut ke dalam sel bakteri sebagai



Gambar 2. Prediksi struktur sekunder 16S rRNA dari isolat bakteri pendegradasi plastik terbaik (Skariyachan, 2017):
 a. *Pseudomonas protegens* (energi bebas Gibb: -407.67 kkal/mol)
 b. *Stenotrophomonas* sp. (energi bebas Gibb: -279.28 kkal/mol)
 c. *Bacillus vallismortis* (energi bebas Gibb: -451.94 kkal/mol)
 d. *Paenibacillus* sp (energi bebas Gibb: -196.98 kkal/mol)

sumber karbon dan energi (Mohan dan Srivastava, 2010).

Konsorsium bakteri dapat menghasilkan kinerja degradasi plastik yang lebih baik dibandingkan isolat bakteri murni. Hal ini mungkin disebabkan adanya sinergi dan co-metabolisme dari bakteri yang berada dalam populasi campuran (Skariyachan, 2017).

Prediksi struktur sekunder 16S rDNA dari isolat terbaik

Urutan 16S rDNA yang diperoleh kemudian dilipat menggunakan software Mfold, untuk melihat kestabilan urutan gen 16S rDNA. Kestabilan bentuk lipatan dari 16S rDNA ditunjukkan dengan nilai dari energi bebas Gibb.

Hasil pada gambar 2 menunjukkan jika energi bebas Gibb yang dihasilkan adalah negatif, hal tersebut menunjukkan bahwa energi yang berkaitan dengan urutan 16S rDNA berada dalam tingkat energi minimum yang berarti struktur stabil secara termodinamika. Hal ini adalah konsep penting dan memberikan petunjuk tentang evolusi diantara urutan 16S rDNA organisme-organisme yang tumbuh pada suhu tinggi dan mampu melakukan degradasi berbagai polimer. Namun, ini adalah konsep awal dan karakterisasi seluruh genom dari organisme-organisme perlu dilakukan untuk memprediksi stabilitas gen dan memprediksi gen yang bertanggung jawab atas degradasi LDPE dan HDPE (Skariyachan, 2017).

4. KESIMPULAN

1. Konsorsium bakteri mampu mendegradasi plastik lebih baik dibandingkan isolat murni.
2. Cepat dan lambatnya proses penguraian sampah plastik biodegradable bergantung pada suhu, pH, dan kadar air yang dihasilkan.

REFERENSI

- Agamuthu P, Tan YS, Fauziah SH (2013) Bioremediation of hydrocarbon contaminated soil using selected organic wastes. *Procedia Environ Sci* 18:694–702
- Ainiyah DN, dan Shovitri M. (2014). Bakteri Tanah Sampah Pendegradasi Plastik dalam

- Kolom Winogradsky. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 3(2): 63- 66
- Akinde SB, Obire O (2008) Aerobic heterotrophic bacteria and petroleum-utilizing bacteria from cow dung and poultry manure. *World J Microbiol Biotechnol* 24:1999–2002
- Alkaabi, S., van Geel, P.J. dan Warith, M.A (2009) Effect of saline water and sludge addition on biodegradation of municipal solid waste in bioreactor landfills. *Waste Management & Research* 27: 59–69
- Anwar MS, Negi H, Zaidi MGH, Gupta S, Goel R (2013) Biodeterioration studies of thermoplastics in nature using indigenous bacterial consortia. *Brazilian Arch Biol Technol* 56: 475–484
- Bhardwaj, H., Gupta, R., & Tiwari, A. (2012). Microbial population associated with plastic degradation. *Scientific Reports*, 5, 272–274.
- Black, J. G. (2002) *Microbiology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Board NI (2006) *The complete book on biodegradable plastics and polymers (recent developments properties, analyses, materials & processes)*. Asia Pacific Business Press, Delhi
- Booth GH, Robb JA (2007) Bacterial degradation of plasticized PVC-effect on some physical properties. *Int J Appl Chem* 18: 194–197
- Chiellini E, Corti A, and D'Antone S (2007) Oxobiodegradable Full Carbon Backbone Polymers Biodegradation Behaviour of Thermally Oxidized Polyethylene in Aqueous Medium. *Polymer Degradation and Stability*. 92: 1378-1383.
- Das MP and Kumar S (2013) Influence of Cell Surface Hydrophobicity in Colonization and Biofilm Formation on LDPE Biodegradation. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 5 (4): 690-694.
- Dey U, Mondal NK, Das K, Dutta S (2012) An approach to polymer degradation through microbes. *IOSRPHR* 2:385–388
- Dian GM dan Pandebesie ES (2013) Pengaruh penambahan mikroorganisme terhadap kondisi operasi pemusnahan sampah plastik biodegradable. *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 2, No. 1, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- DudduMK, Tripura LK, Guntuku G, Divya DS (2015) Biodegradation of LDPE by a new bio-surfactant producing thermophilic *Streptomyces coelicoflavus* NBRC 15399. *Afr J Biotechnol* 14: 327–340
- Gall SC, Thompson RC (2015) The impact of debris on marine life. *Marine Poll Bull* 92:170–179
- Geldreich EE, Nash HD, Reasoner DJ, Taylor RH (1972) The necessity of controlling bacterial populations in potable waters: community water supply. *J Am Water Works Ass* 64:596–602
- Gilan I, Hadar Y, and Sivan A (2004) Colonization, Biofilm Formation and Biodegradation of Polyethylene by a Strain of *Rhodococcus ruber*. *J. Appl Microbiol Biotechnol*. 65: 97-104.
- Gnanavel, G., JayaValli, M. V. P., Thirumarimurugan, M., & Kannadasan, T. (2012). Degradation of plastics using microorganisms. *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 1, 691–694.
- Hadad D, Geresh S, and Sivan A (2005) Biodegradation of Polyethylene by The Thermophilic Bacterium *Brevibacillus borstelensis*. *Journal of Applied Microbiology*. 98: 1093-1100.
- Hemashenpagam N, Growther L, Murgalatha N, Raj VS, Vimal SS (2013) Isolation and characterization of a bacterium that degrades PBSA. *Int J Pharm Bio Sci* 4:335–342
- Howard GT, Hilliard NP (1999) Use of coomassie blue-polyurethane interaction in detection of polyurethanease proteins and polyurethanolytic bacteria. *Int Biodeter Biodegr* 43:23–30
- John, R. C., Essien, J. P., Akpan, S. B., & Okpokwasili, G. C. (2012). Polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria from aviation fuel spill site at Ibeno, Nigeria. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88, 1014–1019.
- Kathiresan K (2003) Polythene and plastics-degrading microbes from the mangrove soil. *Rev Biol Trop* 51:629–633

- Kyaw, B.M., Chmpakalakshmi, 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, 411–419.
- Leja K and Lewandowicz G (2009) Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers-a Review. *Polish J. of Environ. Stud.* 19(2): 225-226.
- Lucas, N., Bienaime, Ch., Belloy, Ch., Queneudec, M., Silvestre, F., Nava-Saucedo, J.E., (2008) Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques: review, *Chemosphere* 73: 429-442.
- Lü JC, Li ZT, Hussain K, Yang GK (2011) Bioremediation: the new directions of oil spill cleanup. *Middle East J Sci Res* 7:738–740
- Magan N, Silvia F, Catarina B (2010) Environmental factors and bioremediation of xenobiotics using white rot fungi. *Mycobiol* 38:238–248
- Mohan SK, and Srivastava T (2010) Microbial Deterioration and Degradation of Polymeric Materials. *J. Biochem Tech.* 2(4): 210-215
- Mossel, D. A. A., Mengerink, W. H. J., & Scholts, H. H. (1962). Use of modified MacConkey agar medium for the selective growth and enumeration of Enterobacteriaceae. *Applied Microbiology*, 84, 235–240.
- Nanda, S., Sahu, S. S., & Abraham, J. (2010). Studies on the biodegradation of natural and synthetic polyethylene by *Pseudomonas* spp. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14, 57–60.
- Nkwachukwu OI, Chima CH, Ikenna AO, Albert L (2013) Focus on potential environmental issues on plastic world towards a sustainable plastic recycling in developing countries. *IJIC* 4:1–13
- Octavianda FT, Asri MT, Lisdiana L (2016) Potential of Oxo-Degradable Polyethylene-Degrading Bacteria of Benowo Landfill Soil Surabaya. *Lentera Bio* vol. 5 No. 1, Januari: 32-35
- Page RD (2002) Visualizing phylogenetic trees using TreeView. *Curr Protoc Bioinformatics*. Chapter 6: Unit 6.2. doi: [10.1002/0471250953.bi0602s01](https://doi.org/10.1002/0471250953.bi0602s01)
- Rajendran S, Kannan VR, Natarajan K, Durai N, Kannan K, Chandru S, Arokiaswamy RA (2015) Environmental Waste Management, chapter: 12 The role of microbes in plastic degradation.
- Razhiyafathima M, Praseetha PK, Rimal Isaac RS, (2016) Microbial Degradation of Plastic Waste: A Review, *J Pharm Chem Biol Sci*, June-August 2016;4(2):231-242
- Saitou N, Nei M (1987) The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol Biol Evol* 4:406–425
- Shrivastava RS (2016) Our environment: challenges and solutions. Diamond Pocket Books Pvt Ltd.
- Skariyachan S, Setlur AS, Naik SY, Naik AA, Usharani M, Vasist KS, (2017) Enhanced biodegradation of low and high-density polyethylene by novel bacterial consortia formulated from plastic-contaminated cow dung under thermophilic conditions. *Environ Sci Pollut Res* 24(9):8443-8457
- Soni R, Kapri A, Zaidi MGH, Goel R (2009) Comparative biodegradation studies of non-poronized and poronized LDPE using indigenous microbial consortium. *J Polym Environ* 17:233–239
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. dan Vigil, S.A. (2003) *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill International Editions: New York.
- Thomas BT, Olanrewaju-Kehinde DS, Popoola OD, James ES (2015) Degradation of plastic and polythene materials by some selected microorganisms isolated from soil. *World Appl Sci J* 33:1888–1891
- Tribedi, P., Sarkar, S., Mukherjee, K., & Sil, A. K. (2012). Isolation of a novel *Pseudomonas* sp. from soil that can efficiently degrade polyethylene succinate. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(6), 2115–2124.
- Uchida, H., Nakajima-Kambe, T., Shigeno-Akutsu, Y., Nomura, N., Tokiwa, Y., & Nakahara, T. (2000). Properties of a

- bacterium which degrades solid poly (tetramethylene succinate)- co-adipate, a biodegradable plastic. FEMS Microbiology Letters, 189(1), 25–29.
- Usha, R., Sangeetha, T., & Palaniswamy, M. (2011). Screening of polyethylene degrading microorganisms from garbage soil. Libyan Agriculture Research Center Journal International, 2, 200–204.
- Vijayaraghavan P, Arun A, Al-Dhabi NA, Vincent SG, Arasu MV, Choi KC (2016) Novel *Bacillus subtilis* IND19 cell factory for the simultaneous production of carboxy methyl cellulase and protease using cow dung substrate in solid-substrate fermentation. *Biotechnol Biofuels* 9:1
- Yadav A, Kumar A, Anupa M (2014) Retrospect and prospect of occupationally induced health hazards for plastic industry workers. *Weekly Sci Res J* 1:2321–7871
- Zubris, K. A. V., & Richards, B. K. (2005). Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental Pollution*, 138, 201–211.
- Zuker M (2003) Mfold web server for nucleic acid folding and hybridization prediction. *Nucleic Acids Res* 31:3406–3415