



**POTENSI PENGGUNAAN KONSORSIUM ISOLAT BAKTERI *PLASTISPHERE*
DARI PANTAI SADRANAN, GUNUNG KIDUL SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI
*HIGH DENSITY POLYETHYLENE***

Salma Putri Saladina^{1*}, Bernadetta Octavia¹

¹Departemen Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Yogyakarta

*Corresponding author: salmasaladina205@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan efektivitas penggunaan konsorsium bakteri *plastisphere* dibandingkan dengan isolat tunggal dalam mendegradasi plastik HDPE. Perbedaan efektivitas diukur berdasarkan analisis pengurangan berat plastik, analisis bakteri permukaan plastik dan analisis permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Penelitian ini termasuk dalam jenis eksperimen dengan proses isolasi bakteri pada sampah plastik yang ditemukan pada Pantai Sadranan, Gunungkidul, diseleksi berdasarkan kemampuan enzimatis lignolitik serta tiga isolat terbaik diuji kemampuan biodegradasinya dalam bentuk konsorsium serta isolat tunggal. Hasil penelitian menunjukkan adanya persentase degradasi tertinggi sebesar $7,14\% \pm 0,59$ ditunjukkan oleh perlakuan konsorsium sedangkan perlakuan isolat tunggal H5, H9, dan H10 secara berturut sebesar $1,55\% \pm 0,5$, $5,62\% \pm 0,19$, dan $3,11\% \pm 0,49$. Tiga bakteri *plastisphere* dikarakterisasi dan identifikasi dan menunjukkan bahwa terdapat 2 isolat dengan indeks similaritas $\geq 80\%$ terhadap acuan *Arthrobacter* sp. dan satu isolat dengan similaritas 68% terhadap acuan *Micrococcus* sp. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penggunaan konsorsium bakteri sebagai agen biodegradasi efektif dalam mendegradasi plastik HDPE dibandingkan dengan penggunaan isolat tunggal.

Kata Kunci: *High Density Polyethylene, konsorsium bakteri, biodegradasi, enzim lignolitik.*

***BIODEGRADATION POTENTIAL OF A PLASTIPHARE BACTERIAL ISOLATE
CONSORTIUM FROM SADRANAN BEACH, GUNUNGKIDUL, ON HIGH-DENSITY
POLYETHYLENE***

Abstract. This study aimed to evaluate the comparative effectiveness of *plastisphere* bacterial consortia versus single isolates in the biodegradation of high-density polyethylene (HDPE) plastic. Effectiveness was assessed through measurements of plastic weight reduction, bacterial colonization on the plastic surface, and morphological surface alterations analyzed using *Scanning Electron Microscopy* (SEM). This experimental research involved the isolation of bacteria from plastic waste collected at Sadranan Beach, Gunungkidul. Isolates were selected based on their ligninolytic enzymatic activity, and the three most promising strains were further tested for their biodegradation potential, both individually and in consortium form. The results demonstrated that the bacterial consortium achieved the highest degradation rate, with a percentage weight loss of $7.14\% \pm 0.59$, compared to single isolates H5, H9, and H10, which exhibited degradation rates of $1.55\% \pm 0.50$, $5.62\% \pm 0.19$, and $3.11\% \pm 0.49$, respectively. Molecular characterization revealed that two isolates shared $\geq 80\%$ similarity with *Arthrobacter* sp., while one isolate displayed 68% similarity with *Micrococcus* sp. These findings indicate that the bacterial consortium exhibits superior biodegradation activity against HDPE plastic compared to single bacterial isolates.

Keywords: *High-Density Polyethylene, bacterial consortium, biodegradation, lignolytic enzymes*

PENDAHULUAN

Plastik merupakan material jenis polimer sintetis dari proses polimerisasi yang kini tak lepas menjadi bagian dari keseharian kegiatan manusia. Plastik juga umum digunakan dan diminati karena sifatnya yang ringan, tingkat durabilitas serta versatilitas yang baik, penggunaannya yang mudah, harga yang terjangkau, sehingga menimbulkan peningkatan produksi secara eksponensial akibat tingginya peminat. Limbah plastik yang terus meningkat memberikan konsekuensi yang besar bagi lingkungan. Meningkatnya pertumbuhan penduduk di Indonesia, secara tidak langsung menaikkan konsumsi plastik, juga akan mengarah pada peningkatan limbah plastik. Dari berbagai jenis limbah plastik yang ada, HDPE (*High Density Polyethylene*) merupakan salah satu jenis yang dapat ditemukan pada ekosistem laut (Int-Veen et al., 2021; Tuladhar & Yin, 2019).

Namun, plastik juga memiliki dampak buruk bagi lingkungan karena metode pengelolaan limbah plastik yang masih kurang baik. Sekitar 9% dari sampah yang terproduksi diolah kembali dengan proses *recycle*, kemudian 80% sisanya dilaporkan terkumpul pada tempat pembuangan sampah atau di lingkungan alami. Beberapa strategi dalam mengelola limbah plastik dilakukan seperti *recycling*, iniserasi, bioremediasi dan *landfill*. Di sisi lain, proses *recycle* juga memiliki potensial yang kurang baik bagi lingkungan, dimana fasilitas *recycling* plastik berpotensi sebagai sumber cemaran mikroplastik (Gourmelon, 2015).

Salah satu alternatif pengelolaan limbah plastik dengan potensi bahaya mikroplastik yang lebih kecil adalah dengan penggunaan metode bioremediasi. Metode bioremediasi limbah plastik dibantu dengan mikroorganisme seperti biodegradasi dapat dilakukan oleh bakteri pendegradasi plastik yaitu *plastisphere*. Agar proses biodegradasi memberikan hasil maksimal, beberapa cara dapat digunakan seperti penggunaan konsorsium bakteri dalam proses biodegradasi. Penggunaan konsorsium dari berbagai isolat yang berbeda memiliki potensi biodegradasi yang lebih besar jika dibandingkan dengan aplikasi isolat tunggal (Anand et al., 2023).

Oleh karena itu perlu dilakukan eksplorasi dan eksperimen mengenai potensi konsorsium bakteri *plastisphere* pendegradasi plastik yang diisolasi dari sampah plastik pada daerah perairan seperti Pantai Sadranan, Sidoharjo, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul, DIY sebagai agen biodegradasi plastik HDPE. Dari hasil penelitian ini, diharapkan dapat menjadi referensi yang berguna bagi penelitian selanjutnya khususnya mengenai potensi konsorsium bakteri dalam proses biodegradasi plastik jenis HDPE.

METODE

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan sampel sampah plastik yang ditemukan di Pantai Sadranan, Sidoharjo, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sampel dibawa menuju Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta untuk selanjutnya dilakukan pengkayaan, bakteri diisolasi dari medium pengkayaan sebelumnya menggunakan medium ZMA (*Zobell Marine Agar*). Koloni yang tumbuh dengan penampakan yang berbeda akan dimurnikan menggunakan media ZMA *slant*.

Pengujian kemampuan biodegradasi dilakukan dengan menggunakan plastik HDPE yang telah melalui *pre-treatment* untuk memastikan plastik bebas dari kotoran atau adanya potensi bakteri yang menempel pada plastik yang dapat mengganggu proses berjalannya degradasi. Proses *screening* dilakukan secara kualitatif untuk mengetahui kemampuan lignolitik terbaik dari isolat sebelumnya yang telah dimurnikan untuk digunakan dalam proses biodegradasi. *Screening* dilakukan berdasarkan produksi enzim lignolitik seperti enzim laccase, enzim lignin peroksidase, dan enzim mangan peroksidase.

Tiga isolat dengan kemampuan produksi terbaik akan digunakan dalam proses pembuatan konsorsium dan uji biodegradasi. Sebelum dilakukan uji biodegradasi, ketiga isolat diuji kompatibilitasnya dengan menggunakan metode *cross-streak*. Konsorsium bakteri dibuat dengan menggunakan isolat yang telah dipanen dari media ZMB dengan rasio 1:1:1.

Uji biodegradasi dilakukan dengan perlakuan konsorsium bakteri dari ketiga isolat dan masing-masing isolat tunggal sebagai agen biodegradasi selama 3 bulan pada suhu ruang menggunakan *shaker*. Analisis persentase degradasi berdasarkan pengurangan berat plastik dilakukan setiap bulannya selama 3 bulan untuk mengetahui persentase degradasi. Evaluasi berat plastik dihitung dengan rumus berikut: (Maheswaran et al., 2023).

$$\% \text{ weight loss} = (a - b) / a \times 100\%$$

a = berat plastik sebelum biodegradasi

b = berat plastik setelah biodegradasi

Analisis pertumbuhan bakteri dilakukan dengan mengukur OD dari biofilm pada permukaan plastik yang dilarutkan dalam akuades. Analisis permukaan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat adanya retakan dan lubang akibat proses biodegradasi. Isolat bakteri juga dikarakterisasi dan diidentifikasi secara fenotipik

dengan panduan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* dan menggunakan software *Multivariate Statistical Package* (MVSP) untuk melihat similaritas terhadap spesies rujukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Hasil penelitian meliputi hasil pengamatan kualitatif *screening* isolat bakteri *plastisphere*, analisis degradasi plastik berupa pengurangan berat plastik, pertumbuhan bakteri permukaan plastik, analisis permukaan plastik perlakuan konsorsium, dan analisis dendogram similaritas isolat bakteri *plastisphere*.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Kualitatif Screening Isolat Bakteri Pendegradasi Plastik HDPE berdasarkan Produksi Enzim Lignolitik.

Isolat	Hasil		
	Laccase (Lac)	Lignin Peroksidase (LiP)	Mangan Peroksidase (MnP)
H1	+	++	++
H2	-	+	+++
H3	-	-	-
H4	-	-	-
H5	+	++	++
H6	-	-	+++
H7	+	+++	-
H8	+	++	+/-
H9	+	+++	+
H10	+	+	+++
H11	-	-	-

Tabel 1 menunjukkan hasil *screening* isolat bakteri berdasarkan produksi enzim lignolitik yang akan digunakan dalam uji biodegradasi. Dari 11 isolat yang telah diisolasi sebelumnya, didapatkan bahwa hasil secara kuantitatif terbaik ditunjukkan oleh isolat H5, H9, dan H10 yang menunjukkan adanya produksi enzim lignolitik seperti enzim lignin peroksidase dan enzim mangan peroksidase.

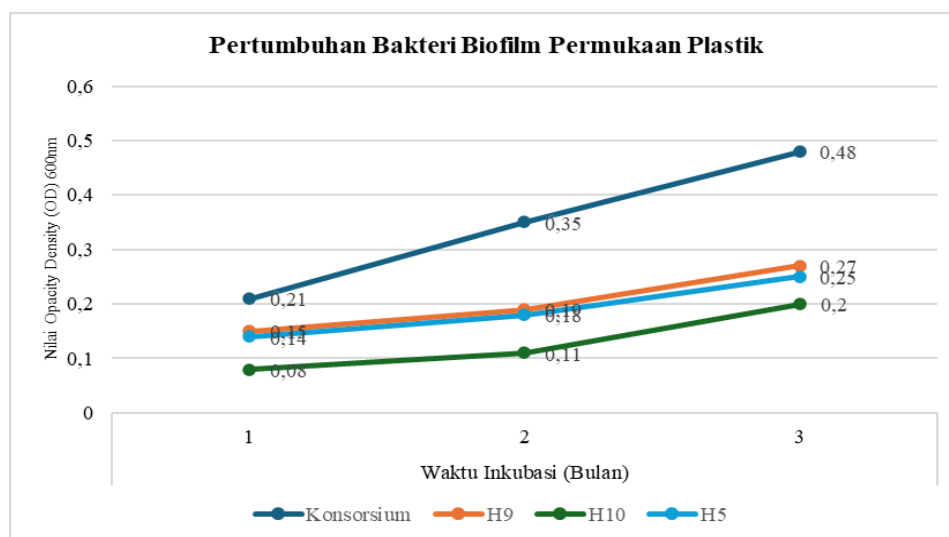
Tabel 2 menunjukkan hasil analisis persentase degradasi plastik berdasarkan pengurangan berat plastik selama masa inkubasi 3 bulan. Diketahui nilai tertinggi persentase ditunjukkan oleh perlakuan konsorsium yang tersusun atas isolat H5, H9 dan H10 dengan rata-

rata sebesar $7,14\% \pm 0,59\%$. Sementara penggunaan isolat tunggal masing-masing ketiga isolat (H5, H9, dan H10) secara berturut-turut menunjukkan hasil sebesar $1,55\% \pm 0,5$, $5,62\% \pm 0,19$, dan $3,11\% \pm 0,49$.

Tabel 2. Hasil Analisis Degradasi Plastik berdasarkan pengurangan berat plastik

Isolat	Berat Awal	Berat Akhir	Persentase Degradasi (%)	Rata-rata (%)
H5-1	0,0096	0,0095	1,0	$1,55 \pm 0,54$
H5-2	0,0087	0,0085	2,3	
H5-3	0,0076	0,0075	1,3	
H9-1	0,0092	0,0087	5,4	$5,62 \pm 0,19$
H9-2	0,0102	0,0096	5,9	
H9-3	0,0072	0,0068	5,6	
H10-1	0,0081	0,0079	2,5	$3,11 \pm 0,49$
H10-2	0,0082	0,0079	3,7	
H10-3	0,0094	0,0091	3,2	
K-1	0,0087	0,0081	6,9	$7,14 \pm 0,59$
K-2	0,0076	0,0071	6,6	
K-3	0,0088	0,0081	8,0	

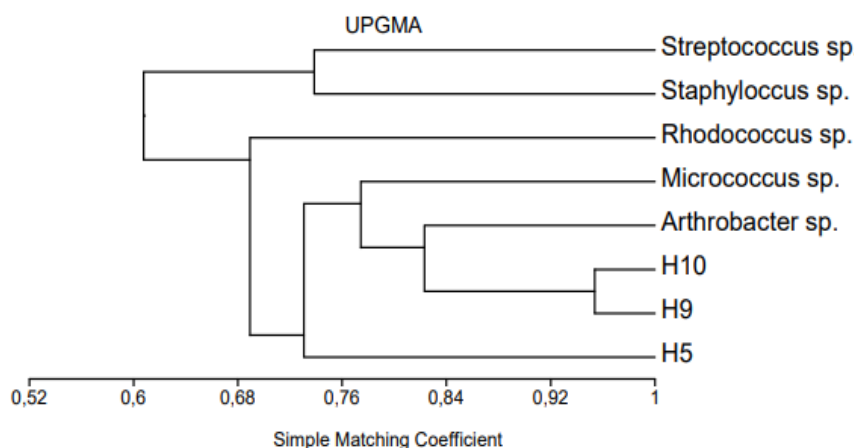
Keterangan: H5, H9, H10: Isolat tunggal; K: Konsorsium



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Bakteri Biofilm Permukaan Plastik

Berdasarkan analisis pertumbuhan bakteri biofilm yang telah dilakukan dengan menggunakan nilai OD_{600nm} dari biofilm yang dilarutkan ke dalam akuades (Gambar 1),

didapatkan bahwa pertumbuhan bakteri pada perlakuan konsorsium menunjukkan pertumbuhan dengan stabilitas yang tinggi dibandingkan dengan penggunaan isolat tunggal.



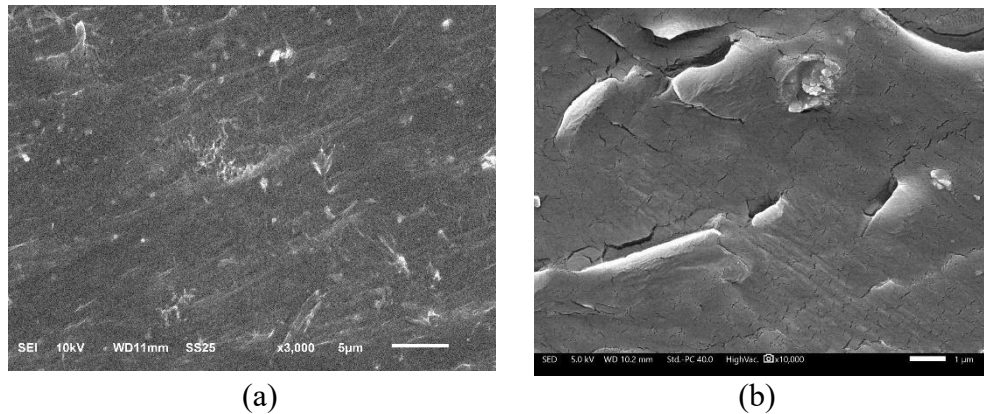
Gambar 2. Dendrogram Kenakeragaman Fenetik Isolat Bakteri Plastisphere Pendeградasi HDPE.

Tabel 3. Matriks Similaritas Simple Matching Coefficient

Isolat	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Streptococcus</i> sp.	<i>Micrococcus</i> sp.	<i>Rhodococcus</i> sp.	<i>Arthrobacte</i> r sp.
H5	59%	60%	68%	62%	63%
H9	51%	55%	75%	66%	80%
H10	55%	57%	80%	71%	85%

Berdasarkan hasil nilai similaritas yang diperoleh, terdapat dua isolat bakteri yaitu H9 dan H10 yang menunjukkan indeks similaritas tinggi sebesar 80% dan 85% terhadap mikroorganisme acuan *Arthrobacter* sp. Isolat bakteri H5 menunjukkan tingkat similaritas tertinggi yaitu 68% terhadap mikroorganisme acuan *Micrococcus* sp. dibandingkan dengan mikroorganisme acuan lainnya.

Berdasarkan hasil pengujian biodegradasi yang telah dilakukan selama 3 bulan (Gambar 3), plastik HDPE dengan perlakuan konsorsium sebagai hasil tertinggi dilakukan analisis morfologis permukaannya menggunakan SEM dengan perbesaran hingga 10.000x. Permukaan plastik HDPE dengan perlakuan penggunaan konsorsium sebagai agen biodegradasi menunjukkan adanya retakan dan juga lubang pada bagian permukaan plastik, sedangkan pada permukaan plastik HDPE perlakuan kontrol tidak terlihat adanya retakan dan juga lubang yang menandakan terjadinya proses degradasi.



Gambar 3. Analisis Permukaan Plastik HDPE Hasil Biodegradasi dengan Penggunaan Konsorsium : a. Kontrol HDPE pada perbesaran 3000x; B. Penggunaan Konsorsium pada HDPE pada perbesaran 10.000x

PEMBAHASAN

Bakteri *plastisphere* diisolasi dari sampel berupa sampah plastik diambil mulai dari bagian pesisir hingga bagian perairan dangkal sepanjang pantai Sadranan, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan titik koordinat - 8.14559655288795, 110.60438436243912. Sampel sampah plastik yang diambil di antaranya berupa sampah bekas makanan, plastik mika, botol minuman, sedotan, dan potongan kantung kresek plastik. Bakteri *plastisphere* diisolasi dengan menggunakan media *Zobell Marine Agar* (ZMA) *slant* dan dihasilkan 11 isolat bakteri *plastisphere* yang memiliki ciri morfologis pada koloni yang berbeda.

Bakteri yang telah diisolasi akan lanjut diseleksi dengan tujuan untuk mendapatkan isolat bakteri yang dapat menghasilkan enzim pendegradasi plastik dengan kemampuan lignolitik tertinggi. Selama 90 hari inkubasi dalam *shaker*, plastik HDPE yang diletakkan dalam media basal MSM diberi perlakuan berbeda, yaitu perlakuan dengan penggunaan isolat tunggal H5, H9, H10, dan perlakuan berupa konsorsium yang terdiri atas ketiga isolat tersebut. Proses *screening* pada penelitian ini dilakukan dengan menyeleksi bakteri melalui produksi enzim lignolitik yang dapat berperan dalam oksidasi rantai utama polimer plastik karena enzim lignolitik tidak memiliki preferensi khusus untuk substrat yang dibutuhkan.

Penelitian terbaru melaporkan bahwa enzim lignolitik dalam mikroorganisme jamur putih pelapuk (*white rot fungi*) terbukti berperan dalam keberhasilan biodegradasi plastik. Enzim lignolitik yang akan diujikan dalam proses *screening* bakteri pada penelitian ini adalah enzim laccase (Lac), lignin peroksidase (LiP), dan mangan peroksidase (MnP). Produksi ketiga

enzim tersebut dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan menggunakan indikator perubahan warna.

Berdasarkan proses seleksi yang telah dilakukan dari 11 isolat bakteri, dihasilkan bahwa hasil positif ditandai dengan adanya perubahan warna dan dekolorisasi pada media pertumbuhan, sedangkan hasil negatif ditandai dengan tidak adanya perubahan warna media atau dekolorisasi pada media. Hasil positif akan produksi enzim laccase ditunjukkan dengan adanya perubahan warna coklat kemerahan pada media pertumbuhan di sekitar koloni akibat terjadinya proses oksidasi guaiacole oleh enzim laccase, sedangkan hasil negatif ditunjukkan dengan tidak adanya perubahan warna pada media di sekitar koloni (Sheikhi, 2012). Produksi enzim lignin peroksidase ditunjukkan dengan adanya zona dekolorisasi pada medium di sekitar koloni yang berubah dari warna biru menjadi tidak berwarna (transparan) (Pham, 2022). Sedangkan untuk produksi enzim mangan peroksidase, menurut Kheti et al. (2023) produksi ditunjukkan dengan adanya perubahan warna media menjadi warna kuning hingga oranye. Dari proses seleksi yang telah dilakukan, isolat yang menunjukkan produksi ketiga enzim tersebut paling baik secara kualitatif ialah isolat H5, H9 dan H10.

Sebelum melakukan pengujian kemampuan biodegradasi plastik HDPE, ketiga isolat yang digunakan dilakukan uji kompatibilitas menggunakan teknik *cross-streak*. Uji ini dilakukan dengan menyilangkan ketiga isolat secara bertumpukan dalam satu media untuk melihat potensi sinergitas antara ketiga isolat tersebut. Ketiga isolat yang diujikan menghasilkan hasil positif yang memperlihatkan pertumbuhan koloni bakteri dari ketiga isolat sama dan juga pada bagian yang bertumpang tindih antara isolat satu sama lain (Hadi et al., 2021).

Berdasarkan nilai rata-rata persentase degradasi, nilai tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan konsorsium sebesar $7.14 \pm 0.59\%$, dan dibandingkan dengan nilai perlakuan lainnya nilai tersebut berada pada subset yang berbeda dari ketiga perlakuan lainnya. Hal ini dapat diartikan nilai dari perlakuan konsorsium berbeda signifikan apabila dibandingkan satu per satu dengan nilai perlakuan penggunaan ketiga isolat tunggal. Sedangkan ketiga isolat H5, H9 dan H10, secara berturut-turut menghasilkan nilai rata-rata persentase sebesar 1.55 ± 0.54 , 5.62 ± 0.19 , dan $3.10 \pm 0.49\%$ yang memiliki nilai lebih kecil dibandingkan rata-rata persentase degradasi pada perlakuan konsorsium. Hal ini sesuai dengan penelitian Zhang et al. (2023) yang menyatakan bahwa penggunaan konsorsium bakteri dapat meningkatkan persentase degradasi hingga 31.3% setelah 60 hari inkubasi.

Penggunaan konsorsium tergolong efektif dibandingkan dengan isolat tunggal karena kemampuannya dalam bersinergi antara satu sama lain untuk terus tumbuh walaupun dengan adanya akumulasi metabolit yang dihasilkan dari ketiga *strain* penyusun konsorsium tersebut dikarenakan metabolit toksik dari suatu strain akan diambil oleh strain lainnya untuk menjaga keseimbangan. *Strain* penyusun konsorsium berperan penting dan saling membutuhkan untuk bertahan hidup dan akan terus mengeluarkan enzim ekstraseluler untuk menjaga aktivitas enzim tetap tinggi dalam kondisi bersinergi antara satu sama lainnya (Wao & Vyas, 2023).

Sinergi antara strain penyusun konsorsium juga berhubungan dengan mekanisme yang terjadi dalam proses degradasi plastik HDPE. Proses biodegradasi menggunakan mikroorganisme berupa bakteri melalui beberapa tahap, yaitu proses adhesi, degradasi enzimatis secara oksidatif, degradasi oleh mikroorganisme, dan proses mineralisasi. Bakteri pendegradasi plastik akan menempel pada plastik membentuk lapisan biofilm yang tersusun atas komunitas bakteri plastisphere pada permukaan plastik. Bakteri mengsekresikan EPS untuk membantu pembentukan biofilm pada permukaan plastik, menjaga stabilitas biofilm dan melindungi koloni dari lingkungan yang bersifat toksik. Pada tahap ini, proses degradasi enzimatis dimulai oleh enzim ekstraseluler yang ikut termobilisasi bersamaan dengan EPS (Liu et al., 2022; Mahto et al., 2022; Zhang et al., 2023).

Enzim ekstraseluler lignolitik yang berupa enzim laccase, enzim lignin peroksidase dan enzim mangan peroksidase bekerja memecah rantai utama dari plastik HDPE menjadi rantai pendek dan bentuk sederhana yang akan dilanjutkan pada proses metabolisme bakteri. Mekanisme kerja enzim laccase, lignin peroksidase, dan mangan peroksidase dalam mendegradasi plastik HDPE telah diteliti secara hipotesis oleh Santacruz-ju et al. (2021). Enzim laccase akan bekerja dengan bereaksi dengan HDPE menghasilkan metabolit sekunder berupa H_2O_2 yang dibutuhkan oleh enzim lignin peroksidase dan mangan peroksidase selanjutnya sebagai kosubstrat. Proses selanjutnya dilanjutkan oleh aktivasi enzim lignin peroksidase dengan oksidasi bagian besi heme yang akan bereaksi dengan PE dan menghasilkan H_2O . PE radikal bebas akan terbentuk dan bereaksi dengan besi heme, dan menghasilkan alkana (rantai pendek), etil dengan radikal bebas dan alkana dengan radikal bebas. Bentuk akhir tersebut dapat langsung masuk ke dalam siklus Krebs, atau dilanjutkan untuk dikatalisis enzim mangan peroksidase menjadi asam organik yang akan masuk ke dalam siklus Krebs juga. Siklus Krebs akan memineralisasi hasil degradasi secara enzimatis menjadi hasil akhir CO_2 dan H_2O .

Karakterisasi dan identifikasi bakteri juga dilakukan menggunakan metode *Simple Profile Matching* mengacu pada buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* dan dilakukan analisis secara statistika menggunakan MVSP 3.1 dan ditampilkan menjadi bentuk dendogram. Berdasarkan hasil nilai similaritas yang diperoleh, terdapat dua isolat bakteri yaitu H9 dan H10 yang menunjukkan indeks similaritas tinggi sebesar 80% dan 85% terhadap mikroorganisme acuan *Arthrobacter* sp. Isolat bakteri H5 menunjukkan tingkat similaritas tertinggi yaitu 68% terhadap mikroorganisme acuan *Micrococcus* sp. dibandingkan dengan mikroorganisme acuan lainnya. Hal ini juga sejalan dengan penelitian oleh Han et al. (2020) dan Emmanuel-Akerele et al. (2022) yang menjelaskan *Arthrobacter* sp. dan *Micrococcus* sp. memiliki kemampuan dalam mendegradasi plastik PE. *Strain Arthrobacter* dan *Micrococcus* juga diketahui memiliki kemampuan sebagai bakteri penghasil enzim ligninolitik yang dirujuk dari penelitian oleh Chauhan et al. (2017) dan Johnson & Choi, (2021). Namun, belum terdapat penelitian yang membahas mengenai sinergi kedua bakteri dalam konstruksi konsorsium secara spesifik, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui mekanisme sinergi dari kedua bakteri dalam bentuk konsorsium.

Analisis permukaan plastik HDPE juga dilakukan khusus untuk perlakuan konsorsium sebagai hasil tertinggi dilakukan analisis morfologis permukaannya menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran hingga 10.000x. Permukaan plastik HDPE dengan perlakuan penggunaan konsorsium sebagai agen biodegradasi menunjukkan adanya retakan dan juga lubang yang menjadi bukti terjadinya proses degradasi secara abiotik dan biotik. Hal ini juga sejalan dengan penelitian terdahulu bahwa penggunaan konsorsium memiliki kemampuan degradasi yang dapat menghasilkan retakan dan lubang yang dapat terlihat pada permukaan plastik HDPE (Zhang et al., 2023). Penelitian lainnya oleh Rani et al. (2020) menyebutkan retakan dan lubang yang terbentuk selama proses biodegradasi terjadi akibat aktivitas enzimatik yang terjadi pada permukaan plastik HDPE.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan konsorsium bakteri sebagai agen biodegradasi efektif dalam mendegradasi plastik HDPE dengan nilai persentase degradasi sebesar $7,14 \pm 0,59\%$ dibandingkan dengan penggunaan isolat tunggal dari ketiga isolat (H5, H9, dan H10) secara berturut sebesar $1,55 \pm 0,5\%$, $5,62 \pm 0,19\%$, dan $3,11 \pm 0,49\%$. Bakteri *plastisphere* terisolasi memiliki kemampuan lignolitik yang dapat mendegradasi plastik HDPE menunjukkan kedekatan similaritas dengan bakteri *Arthrobacter* sp. dan *Micrococcus* sp. Terdapat 2 isolat dengan indeks similaritas $\geq$

80% terhadap acuan *Arthrobacter* sp. dan satu isolat dengan similaritas 68% terhadap acuan *Micrococcus* sp.

DAFTAR PUSTAKA

- Anand, U., Dey, S., Bontempi, E., Ducoli, S., Vethaak, A. D., Dey, A., & Federici, S. (2023). Biotechnological Methods to Remove Microplastics: a Review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1787–1810. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01552-4>
- Chauhan, P. S., Goradia, B., & Saxena, A. (2017). Bacterial Laccase: Recent Update on Production, Properties and Industrial Applications. *3 Biotech*, 7(5), 323. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0955-7>
- Emmanuel-Akerele, H. A., Akinyemi, P., & Igbogbo-Ekpunobi, O. E. (2022). Isolation and Identification of Plastic Degrading Bacteria from Dumpsites Lagos. *Advances in Environmental Technology*, 8(1), 59–71. <https://doi.org/10.22104/aet.2022.5268.1428>
- Gourmelon, G. (2015) Global Plastic Production Rises, Recycling Lags. *Vital Signs*, 22, 91-95.
- Hadi, A. E., Khalisha, A., Pambudi, A., & Effendi, Y. (2021). Potential of Bacteria Consortium as Growth Controller of Pathogenic Fungi *Fusarium oxysporum* F. sp. cubense (Foc). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 637(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/637/1/012029>
- Han, Y.-N., Wei, M., Han, F., Fang, C., Wang, D., Zhong, Y.-J., Guo, C.-L., Shi, X.-Y., Xie, Z.-K., & Li, F.-M. (2020). Greater Biofilm Formation and Increased Biodegradation of Polyethylene Film by a Microbial Consortium of *Arthrobacter* sp. and *Streptomyces* sp. *Microorganisms*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121979>
- Int-Veen, I., Nogueira, P., Isigkeit, J., Hanel, R., & Kammann, U. (2021). Positively Buoyant but Sinking: Polymer Identification and Composition Of Marine Litter at The Seafloor of the North Sea and Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 172(November), 112876. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112876>
- Johnson, J., & Choi, K.-Y. (2021). Enzymatic Utilization Of Oil And Lignocellulosic Biomass Using Halophilic Marine Bacteria *Micrococcus Luteus* and *Pseudoalteromonas Peptidolytica*. *3 Biotech*, 11(7), 360. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02902-9>
- Kheti, N. K., Rath, S., & Thatoi, H. (2023). Screening and optimization of Manganese peroxidase (MnP) production by *Pseudoduganella violacea* (SMB4), a bacterial isolate

- from Similipal Biosphere Reserve, Odisha and evaluation of Maillard reaction products degradation. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 2, 100009. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scenv.2023.100009>
- Liu, H., Xu, L., Bao, X., Zhou, J., Qian, X., Dong, W., & Jiang, M. (2022). *Chapter 17 - Microbial fermentation for biodegradation and biotransformation of waste plastics into high value-added chemicals* (A. Pandey, Y. W. Tong, L. Zhang, & J. B. T.-B. Zhang. *Biofuels, Biochemicals* (eds.); pp. 395–412). *Elsevier*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90633-3.00010-9>
- Maheswaran, B., Al-Ansari, M., Al-Humaid, L., Raj, J. S., Kim, W., Karmegam, N., & Rafi, K. M. (2023). In Vivo Degradation of Polyethylene Terephthalate Using Microbial Isolates from Plastic Polluted Environment. *Chemosphere*, 310, 136757.
- Mahto, K. U., Vandana, Priyadarshane, M., Samantaray, D. P., & Das, S. (2022). Bacterial Biofilm and Extracellular Polymeric Substances in The Treatment of Environmental Pollutants: Beyond The Protective Role in Survivability. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134759. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134759>
- Pham, V. H. T., Kim, J., Chang, S., & Chung, W. (2022). Biodegradation of Methylene Blue Using a Novel Lignin Peroxidase Enzyme Producing Bacteria, Named *Bacillus* sp. React3, as a Promising Candidate for Dye-Contaminated Wastewater Treatment. *Fermentation*, 8(5), 190. <https://doi.org/10.3390/fermentation8050190>
- Rani, A., Singh, P., & Kumar, R. (2020). *Microbial deterioration of high-density polyethylene by selected microorganisms*. 8(6), 64–66. <https://doi.org/10.7324/JABB.2020.80611>
- Santacruz-ju, E., Buendia-corona, R. E., & Ramírez, E. (2021). *Fungal enzymes for the degradation of polyethylene: Molecular docking simulation and biodegradation pathway proposal*. 411(January).
- Sheikhi, F., Roayaei Ardakani, M., Enayatizamir, N., & Rodriguez-Couto, S. (2012). The Determination of Assay for Laccase of *Bacillus subtilis* WPI with Two Classes of Chemical Compounds as Substrates. *Indian journal of microbiology*, 52(4), 701–707. <https://doi.org/10.1007/s12088-012-0298-3>
- Tuladhar, R., & Yin, S. (2019). Sustainability of using recycled plastic fiber in concrete. *Use of Recycled Plastics in Eco-Efficient Concrete*, 441–460. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00021-9>
- Wao, A. A., & Vyas, C. (2023). Microbes for the remediation of heavy metal-contaminated soil. *Integrative Strategies for Bioremediation of Environmental Contaminants, Volume Two: Avenues to a Cleaner Society*, 297–316. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-10000-0.00010-9>

14013-6.00014-7

Zhang, H., Wu, H., Liu, Q., Sun, W., Yang, F., & Ma, Y. (2023). Degradation of High-Density Polyethylene (HDPE) Film by Bacterial Consortium. *JOM*, 75(12), 5350–5360.
<https://doi.org/10.1007/S11837-023-06178-7>/METRICS