Maximus: Journal of Biological and Life Sciences
March 2025. Volume 3 No 1: 34-40
E-ISSN : 3021-8195

Original research

BIODEGRADASI PLASTIK POLIETILENA DAN POLIETILENA *OXO-DEGRADABLE* OLEH ISOLAT BAKTERI TERPILIH DARI PESISIR TERCEMAR TELUK LAMPUNG

BIODEGRADATION OF POLYETHYLENE AND POLYETHYLENE OXO-DEGRADABLE BY BACTERIAL ISOLATE FROM CONTAMINATED LAMPUNG BAY

Deviany Deviany[1]*, Siti Nurchasanah[1], Khaysa Nur Azima[1], Damayanti Damayanti[1], Dennis F. Nury[2]
1Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung
2Program Studi Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten
Email: deviany@tk.itera.ac.id

Abstrak
Pandemi COVID-19 mendorong peningkatan kesadaran masyarakat terhadap kebersihan dengan penggunaan material sekali pakai seperti plastik dan masker. Hal ini menimbulkan pencemaran mikroplastik di lingkungan, sehingga diperlukan upaya penanggulangan salah satunya melalui proses biodegradasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan isolat bakteri dari perairan tercemar Teluk Lampung terhadap degradasi plastik polietilena dan plastik polietilena *oxo-degradable*. Proses biodegradasi dilakukan menggunakan isolat bakteri terpilih dari Pantai Sukaraja, Lampung yang diinkubasi selama 21 hari. Media *Mineral Salt Medium* tanpa penambahan sumber karbon digunakan pada tahap penapisan dan proses degradasi. Pada proses degradasi, isolat bakteri terpilih diinkubasi bersama sampel plastik PE dan PE *oxo-degradable* dengan kontrol tanpa penambahan isolat. Semua sampel hasil degradasi kemudian dianalisis menggunakan metode gravimetri. Hasil analisis menunjukkan adanya penurunan berat pada setiap variasi sampel yaitu kontrol plastik PE sebesar 12,3%, plastik PE sebesar 17,31%, kontrol plastik PE *oxo-degradable* 8,9% dan plastik PE *oxo-degradable* sebesar 10,84%. Penelitian ini menunjukkan penambahan isolat bakteri terpilih dari Teluk Lampung mempengaruhi degradasi plastik PE dan PE *oxo-degradable*. Isolasi bakteri dari lingkungan perairan tercemar ini berpotensi digunakan sebagai agen biologis dalam upaya mitigasi pencemaran plastik. Temuan ini dapat menjadi dasar dalam pengembangan strategi pengelolaan limbah plastik berbasis bioteknologi untuk mengurangi dampak pencemaran mikroplastik di lingkungan.
Kata kunci: Biodegradasi, Polietilena, Polietilena *Oxo-degradable,* Teluk Lampung.

Abstract:
The COVID-19 pandemic has increased public awareness of hygiene by using disposable materials such as plastics and masks. This causes microplastic pollution in the environment so that countermeasures are needed, one of which is through the biodegradation process. This study aims to determine the effect of adding bacterial isolates from polluted waters of Lampung Bay on the degradation of polyethylene plastic and oxo-degradable polyethylene plastic. The biodegradation process was carried out using selected bacterial isolate from Sukaraja Beach, Lampung which was incubated for 21 days. Mineral Salt Medium without the addition of carbon source was used in the screening stage and the degradation process. During the degradation process, the selected bacterial isolate was incubated with PE and PE oxo-degradable plastic samples and the control without the addition of isolate. All degradation samples were then analyzed using the gravimetric method. The analysis results showed a weight loss in each sample variation, namely PE plastic control by 12.3%, PE plastic by 17.31%, PE oxo-degradable plastic control by 8.9% and PE oxo-degradable plastic by 10.84%. This study showed the addition of selected bacterial isolate from Lampung Bay affected the degradation of PE and PE oxo-degradable plastics. Bacterial isolates from this polluted aquatic environment have the potential to be used as biological agents in plastic pollution mitigation efforts. These findings can serve as a basis in the development of biotechnology-based plastic waste management strategies to reduce the impact of microplastic pollution in the environment.
Keywords : Biodegradation, Polyethylene, Oxo-degradable Polyethylene, Lampung Bay

Pendahuluan

Produk plastik memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari dan biasa digunakan dalam jumlah besar karena daya tahan, kemudahan dalam penggunaan, bobot yang ringan serta biaya produksi yang rendah (Papari et al., 2021). Pandemi COVID-19 membuat masyarakat memiliki tingkat kepekaan tinggi untuk menjaga kebersihan selama pandemi. Hal tersebut menyebabkan bertambahnya sampah material sekali pakai seperti plastik yang disarankan untuk mengurangi penyebaran virus. Sampah tersebut dapat meningkatkan ancaman polusi mikroplastik fiber di lingkungan, mikroplastik dapat masuk ke dalam rantai makanan dan membawa dampak buruk bagi makhluk

hidup. Sebuah studi yang dipublikasikan pada 2021 menyebutkan bahwa jumlah sampah plastik di Indonesia mencapai sekitar 9,52 juta ton atau sekitar 14% dari total sampah (Saputra et al., 2023).

Plastik memiliki rantai panjang yang berulang dan berat molekul yang tinggi, sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk memecah rantai panjang tersebut menjadi rantai yang lebih pendek (Fachrul et al., 2021). Sebagian besar sampah plastik bersifat *non-biodegradable* yang membutuhkan ribuan tahun untuk terurai atau terdegradasi. Selain bersifat *non-biodegradable* plastik juga ada yang bersifat *biodegradable*. Plastik *biodegradable* atau *oxo-degradable* merupakan plastik yang mudah terdegradasi atau terurai pada kondisi dan waktu tertentu yang dipengaruhi mikroorganisme seperti bakteri, fungi, atau alga. Mikroorganisme tersebut akan memutus rantai panjang plastik dan menjadikan bentuknya lebih sederhana sehingga lebih cepat terurai (Asiandu et al., 2021).

Upaya untuk mengatasi pencemaran limbah plastik dapat dilakukan dengan degradasi secara fisika, kimia, maupun biologi. Saat ini pengolahan limbah plastik yang paling umum dilakukan adalah secara fisika yaitu melalui pembakaran atau insinerasi. Namun, dari proses pembakaran tersebut dapat menimbulkan pencemaran udara berupa gas-gas hasil pembakaran yaitu CO_2 dan CO yang menyebabkan sesak nafas dan gangguan kesehatan lainnya (Woldemar D'ambrières, 2019). Selain itu, degradasi secara kimia dapat dilakukan dengan metode seperti pirolisis, hidrogenasi, dan solvolisis, yang bertujuan untuk memecah rantai polimer plastik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Meskipun metode ini dapat mengurangi akumulasi limbah plastik, beberapa proses kimia memerlukan bahan kimia berbahaya dan energi tinggi, sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan limbah plastik yang ramah lingkungan dan aman, salah satunya dengan biodegradasi menggunakan mikro-organisme *indi-genous*, yang mampu mendegradasi plastik secara alami tanpa menghasilkan polutan berbahaya.

Teluk lampung dipilih sebagai lokasi peng-ambilan isolat bakteri dalam penelitian ini karena perairannya diketahui telah terpapar polusi plastik dalam jangka waktu lama. Perairan yang tercemar plastik berpotensi menjadi sumber mikroorganisme yang telah beradaptasi dan mampu mendegradasi plastik secara alami. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan isolat bakteri dari Perairan Teluk Lampung terhadap degradasi plastik polietilena serta plastik polietilena *oxo-degradable*.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera pada bulan Juli hingga Desember 2024.

Persiapan Media Padat dan Cair

Media yang digunakan pada penelitian ini adalah media *Nutrient Agar* (NA)*, Nutrient Broth* (NB) dan *Mineral Salt Medium* (MSM). Media padat disiapkan dengan melarutkan 20 gr NA dalam 1000 ml aquades, sedangkan media cair untuk tahap isolasi awal dibuat dengan melarutkan 8 gr NB dalam 1000 ml aquades. Media MSM yang digunakan pada tahap penapisan dan proses degradasi terdiri dari 1,73 gr K_2HPO_4, 0,68 gr KH_2PO_4, 0,1 gr $MgSO_4.7H_2O$, 4 gram NaCl , 0,03 gr $FeSO_4$.7H2O, 1 gr NH_4NO_3 dan 0,02 gr $CaCl_2.2H_2O$ yang dilarutkan dalam 1000 ml aquades. Semua media dilarutkan hingga homogen selama 15 menit dan disterilisasi menggunakan *autoclave* pada temperatur 121℃.

Persiapan Plastik

Plastik PE dan PE *oxo-degradable* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *marketplace online*. Kantong plastik dipotong dengan ukuran 1x1 cm masing-masing sebanyak 30 potongan kemudian dicuci dengan alkohol 95% selama 15 menit dan dikeringkan dibawah sinar UV untuk sterilisasi.

Isolasi Bakteri

Sampel air laut dari pantai Sukaraja, yang merupakan bagian dari Perairan Teluk Lampung. Sampel tersebut diencerkan dengan larutan isotonis 0.9% NaCl. Hasil pengenceran diinokulasikan pada media NA dilanjutkan dengan inkubasi pada temperatur 37 ℃ selama 5x24 jam. Koloni yang tumbuh dengan morfologi yang berbeda diisolasi dan diinokulasikan ke media baru berupa media NA.

Penapisan Isolat Bakteri Terpilih

Tahap penapisan dilakukan untuk memperoleh isolat terpilih yang akan digunakan pada proses degradasi. Masing-masing isolat hasil isolasi kemudian diinokulasikan ke dalam media MSM tanpa

sumber karbon dengan penambahan potongan plastik PE dan PE *oxo-degradable* steril kemudian diinkubasi selama 8x24 jam menggunakan *rotary shaker*. Potongan sampel plastik dipindahkan ke media padat MSM dan diinkubasi selama 5x24 jam. Isolat yang tumbuh di area sekitar plastik PE dipilih sebagai isolat yang akan digunakan dalam proses degradasi. Pewarnaan Gram dilakukan untuk isolat terpilih.

Pembuatan Kurva Pertumbuhan

Kurva pertumbuhan isolat terpilih diperlukan untuk menentukan fase pertumbuhan yang digunakan pada tahap degradasi. Isolat bakteri terpilih ditumbuhkan di media MSM dengan penambahan potongan masker kemudian diinkubasi di *rotary shaker*. Kekeruhan dari inokulum diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 600 nm.

Tahap Biodegradasi

Tahap biodegradasi dilakukan menggunakan media cair MSM tanpa sumber karbon. Isolat bakteri terpilih pada fase pertumbuhan yang diinginkan diinokulasikan kedalam MSM steril dengan penambahan plastik PE dan PE-*oxodegradable*. Kontrol yang digunakan adalah media MSM dengan plastik PE dan PE *oxo-degradable* tanpa isolat bakteri. Degradasi dilakukan selama 21 hari dengan kecepatan *rotary shaker* sebesar 130 rpm. Durasi ini dipilih berdasarkan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa waktu tersebut cukup untuk mengamati aktivitas awal biodegradasi plastik oleh bakteri, termasuk perubahan berat dan morfologi plastik akibat degradasi enzimatik.

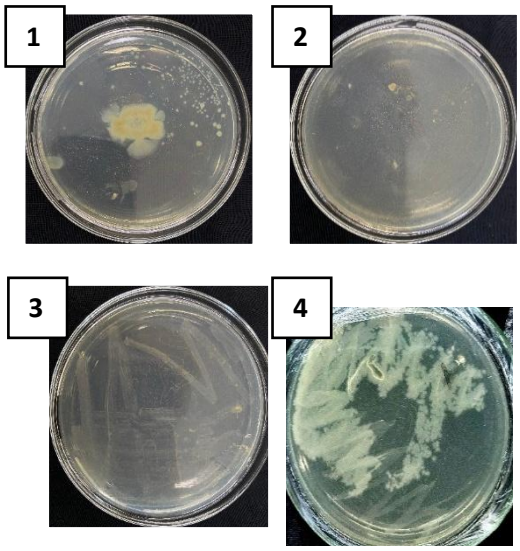
Hasil dan Pembahasan

Isolasi dan Penapisan Bakteri dari Pantai Sukaraja

Isolasi bakteri dengan sampel air laut pantai Sukaraja, Lampung, diperoleh empat isolat yang menunjukkan perbedaan morfologi dapat dilihat pada **Tabel 1** dan empat isolat hasil isolasi dapat dilihat pada **Gambar 1.**

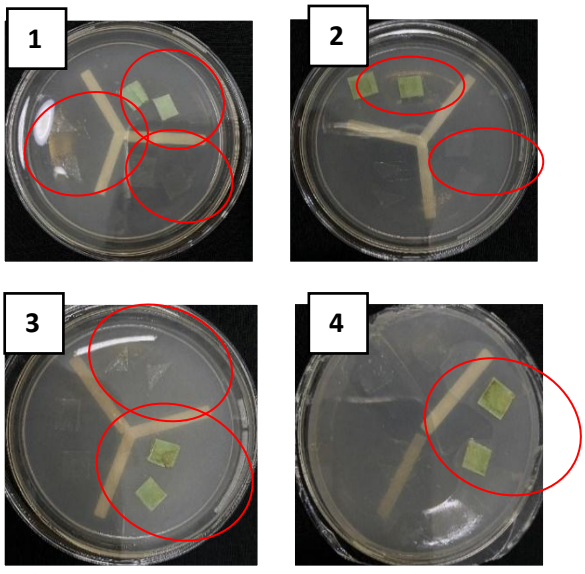
Tabel 1 Perbedaan Morfologi

Isolat	Bentuk	Warna
1	Bulat	Putih
2	Bulat	Putih kekuningan
3	Bulat bergerigi	Kuning
4	Bulat bergerigi	Putih



Gambar 1 Isolat Bakteri Hasil Isolasi : (1) Isolat 1, (2) Isolat 2, (3) Isolat 3, (4) Isolat 4

Untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri dalam mendegradasi plastik, dilakukan tahap penapisan dengan menggunakan media *Mineral Salt Medium* (MSM). *Mineral Salt Medium* (MSM) merupakan media sintesis yang terdiri dari garam-garam mineral dan tidak mengandung sumber karbon, sehingga bakteri memanfaatkan plastik menjadi satu-satunya sumber karbon untuk pertumbuhan (Divyalakshmi & Subhashini A, 2017). Hasil dari tahap penapisan dapat dilihat pada **Gambar 2**.

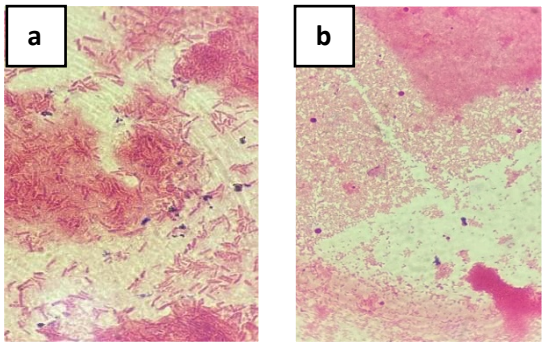


Gambar 2 Isolat Bakteri Hasil Penapisan (1) Isolat 1, (2) Isolat 2, (3) Isolat 3, (4) Isolat 4

Berdasarkan pengamatan **Gambar 2** secara makroskopis, pada semua isolat yang ada koloni bakteri terlihat tumbuh di sekitar potongan plastik PE

dan PE *oxo-degradable*. Isolat bakteri yang terpilih sebagai bakteri pendegradasi yaitu isolat 1 berdasarkan seberapa banyak bakteri yang dapat tumbuh pada semua area sampel yaitu plastik PE dan PE *oxo-degradable*.

Uji pewarnaan Gram dilakukan pada isolat bekteri terpilih. Uji ini dapat membantu memperjelas bentuk struktur dari sel bakteri. Bakteri yang teridentifikasi sebagai bakteri Gram positif memberikan warna ungu sebaliknya untuk Gram negatif akan menghasilkan warna merah (Sari et al., 2020). Dari pengamatan yang dilakukan, diperoleh hasil uji pewarnaan Gram bakteri isolat 1 yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.



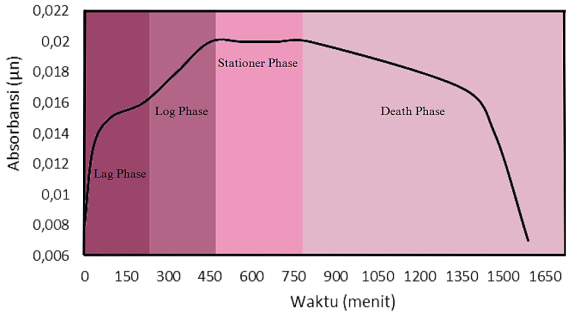
Gambar 3 Uji Pewarnaan Gram Pada Isolat Bakteri Terpilih Perbesaran 100x. (a) Pewarnaan Gram Isolat dengan Media NB, (b) Pewarnaan Gram Isolat Bakteri setelah penapisan dengan Media MSM

Gambar 3 menunjukkan bahwa isolat bakteri terpilih termasuk dalam jenis bakteri Gram negatif. Perbedaan kedua jenis bakteri Gram terletak pada adanya lapisan peptidoglikan tebal pada bakteri Gram positif dan lapisan lipid tebal pada bakteri Gram negatif. Penambahan larutan alkohol menyebabkan warna kristal violet tidak dapat luntur pada bakteri Gram positif, sedangkan pada Gram negatif warna kristal violet yang terikat pada sel bakteri dapat luntur (Purwaningsih & Wulandari, 2020). Lunturnya warna kristal violet memberikan hasil akhir akan terlihat bakteri gram negatif yang berwarna merah (Ibrahim et al., 2017).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Juliandi et al., 2020), tentang degradasi plastik PE selama 30 hari menggunakan bakteri *Stenotro-pomonas maltophilia* dan penelitian oleh (Azizi et al., 2024) tentang degradasi plastik polietilena selama 14 hari menggunakan bakteri *Pseudomonas marincola*, kedua bakteri yang digunakan termasuk kedalam kelompok bakteri gram negatif. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa bakteri Gram negatif berpotensi untuk mendegradasi plastik PE.

Kurva Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Plastik

Kurva pertumbuhan bakteri diperlukan untuk mengetahui fase pertumbuhan yang akan digunakan pada tahap degradasi. Hasil dari pengamatan kurva pertumbuhan diperoleh grafik pertumbuhan bakteri yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Kurva Pertumbuhan Bakteri

Fase pertumbuhan bakteri terbagi menjadi empat yaitu fase penyesuaian (*lag phase*), fase eksponensial atau fase logaritmik, fase stasioner, dan fase kematian. Fase lag disebut periode awal penyesuaian pada lingkungan, ditandai dengan tidak adanya penambahan jumlah sel atau massa sel, adanya aktivitas seluler dan belum disertai pembelahan sel bakteri (Yuniar Respati et al., 2017). Pada fase logaritmik atau eksponensial, sel mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Selama fase ini, sel dapat membelah diri secara teratur dengan waktu generasi yang tetap sehingga populasinya meningkat dua kali lipat pada setiap siklus (Fernández-Martínez et al., 2024).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kim et al., (2021), mengungkapkan bahwa isolat bakteri pada awal fase stasioner dapat dimanfaatkan sebagai isolat yang efektif untuk proses daur ulang limbah polistirena dengan mengubah bahan kimia melalui jalur metabolisme tertentu. Hal ini karena pada fase stasioner isolat bakteri dapat memanfaatkan polistirena sebagai satu-satunya sumber karbon, yang biasanya digunakan sebagai media untuk *protein expression*. Selain itu, meskipun sel bakteri tidak mengalami pertumbuhan pada fase stasioner, metabolisme mereka tetap aktif, memungkinkan mereka menghasilkan produk sekunder. Berdasarkan

penjelasan tersebut, fase awal stasioner dipilih untuk proses degradasi.

Tahap Biodegradasi dan Analisis Gravimetri

Analisis gravimetri merupakan analisis yang dilakukan dengan cara penimbangan (Muawanah et al., 2020). Kinerja metode gravimetri ini sebenarnya relatif lambat, keakuratannya rendah, selektivitasnya tidak terlalu spesifik, namun metode ini tidak memerlukan kalibrasi karena hasilnya didasarkan pada berat molekul yang tersedia (Khofifah & Utami, 2022). Uji penentuan berat kering plastik merupakan salah satu metode kuantitatif yang digunakan untuk mengukur tingkat degradasi plastik oleh mikroba. Metode ini dilakukan dengan menghitung penurunan massa, yaitu dengan menimbang berat plastik sebelum serta sesudah proses degradasi. Analisis gravimetri dilakukan pada sampel kontrol PE, kontrol PE *oxo-degradable*, plastik PE, dan plastik PE *oxo-degradable*.

Tabel 2 Hasil Analisis Gravimetri

Sampel	Berat Sebelum Degradasi	Berat Sesudah Degradasi	Penurunan Berat (%)
Kontrol Polietilena *Oxo-degradable*	0,1333	0,1214	8,9%
Plastik Polietilena *Oxo-degradable*	0,1324	0,1218	10,84 %
Kontrol Polietilena	0,0455	0,0399	12,3 %
Plastik Polietilena	0,0565	0,0492	17,31%

Berdasarkan **Tabel 2** didapatkan hasil uji analisis gravimetri yaitu dengan menghitung persentase selisih berat awal dan berat akhir sampel plastik. Kontrol PE, kontrol PE *oxo-degradable* merupakan sampel yang tidak diberi isolat. Kedua jenis kontrol tersebut digunakan sebagai pembanding dari hasil uji plastik PE dan plastik PE *oxo-degradable*. Penurunan berat plastik setelah tahap biodegradasi dapat disebabkan oleh bakteri yang menempel dan mengikis permukaan plastik sehingga terjadi kehilangan berat dan penurunan persentase berat kering plastik. Hasil ini mengindikasikan bahwa bakteri yang digunakan memiliki potensi dalam membantu proses biodegradasi plastik, terutama pada jenis plastik PE dan PE *oxo-degradable*.

Menurut Asmi et al., (2022), bakteri dapat tumbuh pada media yang mengandung sumber karbon. Bakteri dapat memanfaatkan unsur karbon dari plastik tersebut dalam proses metabolismenya, sehingga terjadi penurunan berat plastik.

Plastik Polietilena

Hasil gravimetri dengan penambahan isolat pada plastik PE menunjukkan penurunan berat sebesar 17,31%, sedangkan kontrol plastik PE yang tidak diberi isolat mengalami penurunan berat sebesar 12,3%. Hasil ini menunjukkan bahwa isolat bakteri terpilih memiliki kemampuan dalam mendegradasi plastik PE. Proses biodegradasi ini dilakukan dengan menggunakan *Mineral Salt Medium* (MSM) yang mengandung garam-garam mineral tanpa adanya sumber karbon, sehingga mikroorganisme distimulasi untuk memanfaatkan plastik sebagai sumber karbon. Berdasarkan penelitian oleh Islami et al., (2019), tentang degradasi plastik polietilena selama 14 hari menggunakan bakteri *Thiobacillus* sp. dan *Clostridium* sp. pada media pertumbuhan MSM yang ditambahkan 10 g LDPE sebagai sumber karbon, hasil penelitian ini menunjukkan adanya proses biodegradasi yang ditandai dengan persentase penurunan berat plastik *Low Density Poliethylene* (LDPE) sebesar 2-7%.

Plastik Polietilena *Oxo-degradable*

Plastik PE *oxo-degradable* memiliki hasil gravimetri yang lebih berat dibandingkan dengan kontrol plastik PE *oxo-degradable*. Penurunan berat plastik kontrol PE *oxo-degradable* adalah sebesar 8,9% dan untuk plastik PE *oxo-degradable* memiliki nilai penurunan sebesar 10,84%. Hasil sesuai dengan tahap penapisan awal yang menunjukkan bahwa isolat bakteri terpilih ini memiliki kemampuan dalam mendegradasi plastik PE *oxo-degradable*. Plastik PE *oxo-degradable* menggunakan aditif oxium yang mengandung *cobalt salt* sehingga dapat membantu proses memutus rantai yang terjadi pada degradasi (Aldas et al., 2018). Penelitian oleh Octavianda et al., (2018) mengenai degradasi plastik PE *oxo-degradable* selama 30 hari menggunakan bakteri pada media pertumbuhan *Enrichment Broth*, hasil penelitian menunjukkan adanya proses degradasi yang terjadi, ditandai dengan adanya penurunan berat pada plastik setelah degradasi sebesar 0,247%.

Kesimpulan

Empat isolat bakteri berhasil diisolasi dari kawasan pesisir pantai Sukaraja, Lampung yang tercemar oleh sampah plastik. Hasil penapisan dengan media MSM tanpa sumber karbon diperoleh satu isolat bakteri terpilih yang dapat tumbuh di sekitar plastik PE dan PE *oxo-degradable*. Uji biodegradasi menunjukkan bahwa isolat bakteri terpilih mampu mendegradasi plastik PE dan PE *oxo-degradable*, dibuktikan dengan hasil analisis gravimetri setelah tahap degradasi. Bakteri yang diperoleh akan diekstraksi enzimnya untuk digunakan dalam industri daur ulang plastik sehingga mempercepat proses pengolahan limbah.

Conflict of Interest

Karya tulis ini tidak memiliki *conflict of interest*.

Referensi

Aldas, M., Paladines, A., Valle, V., Pazmiño, M., & Quiroz, F. (2018). Effect of The Prodegradant-Additive Plastics Incorporated On the Polyethylene Recycling. *International Journal of Polymer Science*. https://doi.org/10.1155/2018/2474176

Asiandu, A. P., Wahyudi, A., & Sari, S. W. (2021). A Review: Plastics Waste Biodegradation Using Plastics-Degrading Bacteria. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, *9*(1), 148–157. https://doi.org/10.47277/jett/9(1)157

Asmi, N., Baharuddin, M., & Febryanti, A. (2022). Skrining Mikroba Pendegradasi Plastik Dari Tanah dan Uji Biodegradasi Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR). *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, *15*(1), 151–163. https://doi.org/10.15408/kauniyah.v15i1.19826

Azizi, A., Fairus, S., & Sari, D. A. P. (2024). Isolation and Characterization of Polyethylene and Polyethylene Terephthalate-degrading Bacteria from Jakarta Bay, Indonesia. *The Open Biotechnology Journal*, *18*(1). https://doi.org/10.2174/0118740707280343231208102253

Divyalakshmi, S., & Subhashini A. (2017). Screening and Isolation of Polyethylene Degrading Bacteria from Various Soil Environments. *IOSR Journal of Environmental Science*, *10*(12), 01–07. https://doi.org/10.9790/2402-1012040107

Fachrul, M. F., Rinanti, A., Tazkiaturrizki, Agustria, A., & Naswadi, D. A. (2021). Degradasi Mikroplastik Pada Ekosistem Perairan Oleh Bakteri Kultur Campuran Clostridium sp. dan Thiobacillus sp. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, *6*(2), 304–316. https://doi.org/10.25105/pdk.v6i2.9536

Fernández-Martínez, L. T., Javelle, A., & Hoskisson, P. A. (2024). Microbial Primer: Bacterial growth kinetics. *Microbiology (United Kingdom)*, *170*(2). https://doi.org/10.1099/mic.0.001428

Ibrahim, A., Fridayanti, A., & Delvia, F. (2017). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Asam Laktat (BAL) dari Buah Mangga (Mangifera Indica L.). *Jurnal Ilmiah Manuntung*, *1*(2), 159–163. https://doi.org/10.51352/jim.v1i2.29

Islami, A. N., Tazkiaturrizki, T., & Rinanti, A. (2019). The effect of pH-temperature on plastic allowance for Low-Density Polyethylene (LDPE) by Thiobacillus sp. and Clostridium sp. *Journal of Physics: Conference Series*, *1402*(3). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/3/033003

Juliandi, M. D., Agustien, A., Ligo, A., & Djamaan, A. (2020). Characterization of Polypropylene Synthetic Plastic-Degrading Bacteria from Seawater Samples and Their Decomposition Profiles. *IOSR Journal Of Pharmacy And Biological Sciences (IOSR-JPBS) e-ISSN*, *15*, 50–58. https://doi.org/10.9790/3008-1505055058

Khofifah, & Utami, M. (2022). Analisis Kadar Total Dissolved Solid (TDS) dan Total Suspended Solid (TSS) Pada Limbah Cair Dari Industri Gula Tebu. *Indonesia Journal of Chemical Research*, *7*(1), 43–49.

Kim, H., Jo, J. H., Kim, Y.-B., Le, T.-K. Le, Cho, C.-W., Yun, C.-H., Chi. Won Seok, & Yeom, S.-Ji. (2021). Biodegradation of polystyrene by bacteria from the soil in common environments. *Journal of Hazardous Materials*, *416*(26239). https://doi.org/doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126239

Muawanah, Nurhidayat, Qadri Rasyid, N., & Susanti, S. (2020). Analisis Kadar Siklamat Pada Selai Tidak Bermerek Yang Dijual Di Pasar Tradisional Kota Makassar. *Journal of Helath Sciencce and Technology*, *1*(2), 65–72. https://doi.org/https://doi.org/

Octavianda, F. T., Asri, M. T., & Lisdiana, L. (2018). Potensi Isolat Bakteri Pendegradasi Plastik Jenis Polietilen Oxo-Degradable dari Tanah TPA Benowo Surabaya Potential of Oxo-Degradable Polyethylene-Degrading Bacteria of Benowo Landfill Soil Surabaya. *Lentera Bio*.

Papari, S., Bamdad, H., & Berruti, F. (2021). Pyrolytic Conversion of Plastic Waste to Value-Added Products and Fuels: A Review. *Journal Materials*, *14*.

https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma14102586

Purwaningsih, D., & Wulandari, D. (2020). Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol Daun Suruhan (Peperomia pellucida L. Kunth) Terhadap Bakteri Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 1–7. https://doi.org/10.24002/biota.v5i1.3077

Saputra, D., Ndibale, W., & Assidieq, M. (2023). Studi Timbulan, Komposisi dan Potensi Daur Ulang Sampah di Kompleks Perumahan BTN Gemilang 2 Residence. *Jurnal Teknik Lingkungan UM Kendari*, *3*(01), 14–21.

Sari, D. P., Amir, H., & Elvia, R. (2020). Isolasi Bakteri Dari TanahTempat Pembuangan Akhir (TPA) Air Sebakul Sebagai Agen Biodegradasi Limbah Plastik Polyethylene. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, *4*(2), 98–106.

Woldemar D'ambrières. (2019). Field Actions Science Reports Plastics Recycling Worldwide: Current Overview and Desirable Changes. *The Journal of Field Actions*, *19*.

Yuniar Respati, N., Yulianti, E., Rakhmawati, A., & Biologi UNY, mahasiswa. (2017). Optimasi Suhu dan pH Media Pertumbuhan Bakteri Pelarut Fosfat dari Isolat Bakteri Termofilik. *Jurnal Prodi Biologi*, *6*(7), 423–430.