

## Potential of *Ideonella sakaiensis* bacteria in Degrading Plastic Waste Type *Polyethylene Terephthalate*

Sherina Juliana<sup>1</sup>, Mia Parhusip<sup>1</sup>, Argoby Simanullang<sup>1</sup>, Elisabeth Tita<sup>1</sup>, Wahyu Irawati\*

<sup>1</sup>Biology Education Study Program, The Faculty of Education, Pelita Harapan University, Tangerang, Indonesia

### Article History

Received : January 20<sup>th</sup>, 2022

Revised : February 25<sup>th</sup>, 2022

Accepted : March 18<sup>th</sup>, 2022

\*Corresponding Author:

**Wahyu Irawati,**

Biology Education Study Program, The Faculty of Education, Pelita Harapan University, Tangerang, Indonesia;

Email: [w.irawati3@gmail](mailto:w.irawati3@gmail.com)

**Abstract:** *Polyethylene terephthalate* (PET) is a type of plastic content that is commonly is difficult to degrade so that it has an impact on global environmental problems. Plastic waste pollution needs to be overcome by using environmentally friendly methods to accelerate the PET plastic biodegradation process. Biodegradation is the use of microorganism activity to decompose plastic compounds so as to reduce the volume of waste. The purpose of this literature is to know the potential of *Ideonella sakaiensis* encoding the PETase gene in degrading *polyethylene terephthalate* plastic waste. The method used is study literature by using the appropriate literature to discuss: 1) PET plastic waste (*Polyethylene terephthalate*), 2) the potential for *Ideonella sakaiensis*, 3) the PETase coding and the degradation of plastic waste. Biodegradation of plastic waste *Polyethylene terephthalate* using *Ideonella sakaiensis* which has the potential to degrade PET faster with the PETase enzyme. The *Polyethylene terephthalate* degradation of *Ideonella sakaiensis* has the potential to break down more rapidly 5-120 times in general. *Ideonella sakaiensis* potential for the biodegradation process is more optimally transforming the PETase code-coding genes of *Escherichia coli* that aim to improve the performance of dissolving plastic polymer surfaces.

**Keywords:** Biodegradation, *Ideonella sakaiensis*, microorganism, PETase coding gene, plastic waste.

### Pendahuluan

Lingkungan merupakan komponen penting dalam aktivitas makhluk hidup di bumi. Perkembangan teknologi yang semakin canggih memengaruhi jumlah produksi barang dan bahan industri yang berhubungan dengan aktivitas manusia. Kebutuhan produksi domestik maupun industri memengaruhi peningkatan jumlah limbah di lingkungan (Rusli, 2016). Limbah merupakan jenis barang hasil dari pemakaian aktivitas makhluk hidup yang berdampak negatif terhadap keberlangsungan aktivitas manusia maupun kehidupan sekitarnya (Hartono, 2008). Limbah tidak akan berhenti memproduksi secara jangka panjang yang berkaitan dengan aktivitas makhluk hidup. Permasalahan lingkungan yang diakibatkan karena limbah harus dilakukan pengolahan pada limbah karena dapat memberikan dampak negatif (Hardiatmi, 2011).

Salah satu jenis sifat limbah yang berdampak negatif pada lingkungan yaitu sulit diuraikan seperti plastik.

Plastik merupakan jenis limbah dengan jumlah pemakaian yang tinggi dalam aktivitas manusia serta mempunyai beberapa karakteristik dan sifat. Kandungan bahan kimia pada plastik berkaitan dengan pencemaran lingkungan karena membutuhkan kurang lebih 80 tahun untuk mendegradasi secara sempurna atau sulit diuraikan (Narsun, et al., 2015). Pemakaian kemasan plastik yang meningkat menyebabkan penumpukan limbah plastik dan pencemaran lingkungan karena plastik dapat bertahan lama hingga berabad-abad. Plastik yang sulit diuraikan mempunyai sifat ketahanan terhadap suhu dan bahan kimia yang bervariasi serta terbatas (Sejati, 2009). Menurut UNEP (2009) terdapat enam jenis plastik berdasarkan produknya, yaitu PET atau *Polyethylene Terephthalate*, PS atau

*Polystyrene*, PVC atau *Polyvinyl Chloride*, HDPE atau *High Density Polyethylene*, PP atau *Polypropylene*, LDPE atau *Low Density Polyethylene* dan lainnya.

*Polyethylene terephthalate* (PET) merupakan kandungan plastik yang sering digunakan perindustrian dengan sifat ketahanan sulit terurai sehingga berdampak pada masalah lingkungan global. PET mempunyai sifat ketahanan tinggi, kaku, tahan terhadap bahan kimia maupun panas, serta memiliki serap uap air yang rendah (Mawardi & Lubis, 2018). Penggunaan PET sangat banyak digunakan pada kegiatan manusia, diantaranya adalah kemasan botol air, selai, saus, kecap, kemasan sirup, plastik pembungkus makanan, dan *soft drink* (Mawardi & Lubis, 2018). PET dalam botol mengandung struktur semi-kristal di mana molekul-molekul memiliki komposisi padat sehingga sulit ditembus oleh enzim (Fauziah, 2018). Sifat PET yang sulit terurai dan meningkatnya penggunaan plastik dalam aktivitas manusia membutuhkan cara untuk mengatasi permasalahan lingkungan melalui beberapa penelitian.

Mikroorganisme mempunyai peranan penting dalam mengatasi permasalahan lingkungan khususnya limbah PET. Beberapa kelompok mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan alga sering digunakan untuk biodegradasi limbah *Polyethylene terephthalate* (PET) (Kurniasari, 2010). *Ideonella sakaiensis* merupakan bakteri pertama yang ditemukan mampu untuk mendegradasi PET. Proses *Ideonella sakaiensis* mendegradasi limbah plastik melalui beberapa senyawa organik yang terdapat dibagian tubuh (Fecker, et al., 2018).

Biodegradasi merupakan proses oksidasi senyawa organik oleh mikroorganisme yaitu bakteri pengolahan limbah melalui sistem enzim yang menghasilkan karbon dioksida, air, dan energi (Paramita, Shovitri, & Kuswytasari, 2012). Komponen senyawa yang dihasilkan *Ideonella sakaiensis* mempunyai peranan penting dalam biodegradasi. Limbah plastik yang terdapat kandungan *Polyethylene terephthalate* (PET) diuraikan dengan cara biodegradasi melalui komponen enzim *Ideonella sakaiensis*. Enzim cutinase dan enzim PETase merupakan komponen *Ideonella sakaiensis* untuk biodegradasi limbah plastik terkhususnya jenis

*Polyethylene terephthalate* (PET) (Surono & Ismanto, 2016).

Kajian literatur ini bertujuan untuk mengetahui potensi *Ideonella sakaiensis* pengkode Gen PETase dalam mendegradasi limbah plastik *Polyethylene terephthalate*. Adapun manfaat dari penelitian ini juga untuk mengetahui bagaimana kinerja dari *Ideonella sakaiensis* dalam mendegradasi limbah plastik *Polyethylene terephthalate*.

## Bahan dan Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah kajian literatur dengan memanfaatkan literatur yang mendukung untuk membahas tentang: 1) limbah sampah plastik PET (*Polyethylene terephthalate*), 2) potensi bakteri *Ideonella sakaiensis*, 3) Gen Pengkode PETase dan degradasi limbah plastik PET.

## Hasil dan Pembahasan

### Limbah Sampah Plastik PET (*Polyethylene terephthalate*)

Penggunaan limbah menjadi permasalahan yang sangat sulit untuk ditangani. Kurangnya kesadaran manusia dalam pengelolaan dan pembuangan limbah menjadi faktor utama dari permasalahan tersebut. *World Health Organization* (WHO) menyampaikan bahwa limbah merupakan sesuatu yang tidak dipakai pada aktivitas manusia sehingga dibuang (Chandra, 2006). Hal ini didukung oleh Elamin, dkk (2018) yang menjelaskan bahwa limbah merupakan benda yang terbuang dan tidak dapat digunakan lagi. Mulasari, Husodo dan Muhadjir (2016) menyatakan bahwa limbah harus dikelola agar tidak membahayakan kehidupan manusia terutama lingkungan. Berdasarkan tiga pendapat ahli, dapat disimpulkan bahwa limbah adalah suatu zat yang tidak dipakai dan dibuang oleh manusia, sehingga membutuhkan proses pengolahan limbah yang baik.

Jenis-jenis limbah dapat dibagi sesuai sifatnya. Menurut Tim Penulis PS (2008), limbah dibagi berdasarkan sifatnya yaitu limbah organik dan limbah anorganik. Jenis limbah basah adalah termasuk limbah yang mudah untuk terurai. Limbah ini berasal dari makhluk hidup seperti limbah rumah tangga sedangkan limbah

anorganik biasa disebut dengan limbah kering. Limbah yang termasuk jenis ini adalah limbah yang sulit untuk terurai. Plastik, kaleng, karet dan logam termasuk dalam limbah anorganik atau limbah basah. Limbah plastik menjadi salah satu jenis limbah yang menjadi perhatian saat ini. Banyaknya penggunaan limbah plastik, menimbulkan penimbunan limbah plastik yang cukup besar. Wahyudi, Prayitno dan Astuti (2018) menyampaikan bahwa limbah plastik sangat memungkinkan untuk menjadi penyumbang terbesar kedua dalam pencemaran lingkungan setelah limbah organik. Terdapat 15% total produksi limbah plastik menjadi kontribusi limbah nasional dengan pertumbuhan rata-rata 14.7% per tahun.

Plastik mempunyai sifat daya tahan yang kuat dan tidak mudah untuk diuraikan. Sejalan dengan pernyataan tersebut, Widiyatmoko, Purwingrum dan Arum (2015) menyatakan bahwa plastik memiliki sifat yang susah terurai dan sifat yang tahan terhadap serangan mikroba dalam waktu singkat. Plastik adalah polimer sintetik berantai panjang dan terdiri dari suatu zat guna meningkatkan ekonomi atau performa (Elpawati, 2015). Menurut UNEP (2009) terdapat enam jenis plastik berdasarkan produknya, yaitu PET, PP, PVC, LDPE, HDPE, PS dan lainnya. Jenis kandungan bahan plastic dapat dilihat dari Gambar 1.



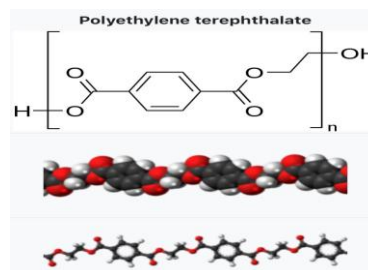
Gambar 1. Jenis-jenis kandungan bahan plastik

(Sumber: <https://www.universaleco.id/jenis-jenis-plastik-logo-daur-ulang>)

*Polyethylene terephthalate* (PET) merupakan kandungan plastik yang sering digunakan perindustrian dengan sifat ketahanan (sulit terurai) berdampak pada masalah

lingkungan global. PET mempunyai sifat yang ketahanan tinggi, kaku, tahan terhadap bahan kimia maupun panas, serta memiliki serap uap air yang rendah (Mawardi & Lubis, 2018). Penggunaan PET sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, antara lain botol, bungkus sirup, saus, kecap, dan plastik pembungkus makanan (Mawardi & Lubis, 2018). PET dalam botol mengandung struktur semi-kristal di mana molekul-molekul memiliki komposisi padat sehingga sulit ditembus oleh enzim (Fauziah, 2018). Sifat PET yang sulit terurai dan meningkatnya penggunaan plastik dalam aktivitas manusia membutuhkan cara untuk mengatasi permasalahan lingkungan melalui beberapa penelitian.

Jenis-jenis plastik mempunyai kesulitan pada saat diuraikan terkhususnya jenis limbah PET karena sifat fisiknya. PET mempunyai ciri-ciri kuat terhadap pelarut, gas, serta mudah dibentuk pada suhu 80°C (Ermawati, 2011). Kemampuan kuat dan tahan pelarut menjadi indikator plastik sukar diuraikan, hal ini berkaitan dengan polimer rantai panjang yang ditemukan dalam kandungan plastik. Struktur PET terdiri dari polimer rantai yang panjang dan termasuk dalam kelompok polimer termoplastik (Mokhtar, Jufri, Budiono, & Rahmandika, 2019) (Gambar 2).



Gambar 2. Ikatan kimia *Polyethylene terephthalate* (PET)

(Sumber: <https://www.quora.com/Which-intermolecular-forces-are-present-between-polyethylene-terephthalate-molecules>)

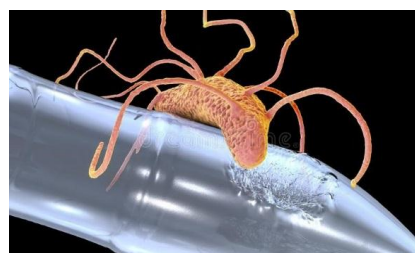
Polimer termoplastik membentuk suatu cabang dan ikatan karbon yang kuat, sehingga sulit diuraikan secara alami maupun berinteraksi dengan bahan pelarut atau enzim. Termoplastik adalah polimer yang mudah berubah bentuk disuhu panas (Purwaningrum, 2016). Perubahan yang terlihat pada saat dipanaskan maupun

dinginkan terlihat bentuk yang berubah. Perubahan kandungan polimer tersebut pada suhu menjadi daya tahan plastik PET sampai bertahun-tahun dalam masa penguraian alami.

Kandungan polimer termoplastik yang terdapat di *Polyethylene* mengalami pengolahan secara kimia untuk menghasilkan PET. *Polyethylene* dan ikatan-ikatan karbon kuat yang sudah mengalami proses kimia menjadi benda asing yang sukar dikenali maupun dikonsumsi oleh organisme alam (Abdullah, Irawati, Qomariah, & Ain, 2020). Kandungan *Polyethylene* pada plastik PET mempunyai sifat tahan pada pengurai dan tidak dihasilkan secara alami sehingga proses penguraian secara alami memakan waktu jangka panjang. *Polyethylene* tidak dihasilkan secara alami di alam, karena memerlukan energi yang besar untuk mengikat bagian karbon (Hidayani et al, 2015). Pengikatan karbon pada kandungan plastik PET tidak secara alami melainkan terbentuk pada proses kimia.

### Potensi Bakteri *Ideonella sakaiensis*

Bakteri yang berdampak positif dalam mendegradasi plastik adalah *Ideonella sakaiensis*. Menurut Odobašić (2020) *Ideonella sakaiensis* merupakan bakteri yang tergolong genus *Ideonella*, keluarga Comamonadaceae, kelas Betaproteobacteria. *Ideonella sakaiensis* mempunyai kelebihan mampu mensekresikan PETase dan mendegradasi PET menjadi bentuk yang sederhana (Fitriyano, 2019). *Ideonella sakaiensis* merupakan jenis bakteri strain gram-negatif yang mempunyai kemampuan untuk mendegradasi dan menguraikan jenis plastik yang mengandung bahan kimia yaitu *Polyethylene terephthalate* (PET). Menurut Erlambang, et al., (2019) menjelaskan bahwa *Ideonella sakaiensis* mempunyai karakteristik yang berbentuk koloni bulat yang berbentuk diameter sekitar 0.5-1 mm, mempunyai alat gerak berebentuk flagella, berwarna kuning ataupun tidak berwarna. Menurut Tanasupawat, dkk (2016) *Ideonella sakaiensis* mempunyai sifat aerobik mesofilik, berbentuk lurus atau sedikit melengkung, batang asporogen, terdapat dua atau beberapa flagela kutub, koloni berbentuk lingkaran yang halus dan tidak berpigmen, dan aktivitas positif untuk katalase dan oksidase.



Gambar 3. Bakteri *Ideonella sakaiensis* berada pada objek plastik.

(Sumber: <https://www.dreamstime.com/plastic-degrading-bacteria-ideonella-sakaiensis-illustration-recently-discovered-have-potential-destruction-wastes-image154889444> )

Kemampuan *Ideonella sakaiensis* untuk mendegradasi kandungan bahan kimia berupa *polyethylene terephthalate* dengan menempelkan pada objek untuk melihat perubahan yang terjadi (Gambar 3). *Ideonella sakaiensis* memiliki efisiensi dan spesifisitas yang tinggi dalam mendegradasi PET (Liu, et al., 2018). Berdasarkan pengujian efektivitas bakteri dalam mendegradasi PET diketahui bahwa kemampuan bakteri sangat baik untuk menghidrolisis PET. Struktur *Ideonella sakaiensis* merupakan komponen utama yang menunjang kemampuan mengkatalis PETase sehingga berpotensi baik dalam degradasi PET. *Ideonella sakaiensis* memiliki ciri-ciri struktural enzim yang baik yang terkandung berupa lipatan  $\alpha / \beta$ -hidrolase yang dapat mengubah PET menjadi mono- (2-hidroksietil) tereftalat (MHET) (Palm, et al., 2019). *Ideonella sakaiensis* mengeluarkan enzim cutinase untuk menghidrolisis PET. Enzim cutinase dan PETase merupakan enzim dengan urutan tertinggi dalam degradasi PET yang terdapat pada limbah plastik yang ditunjukkan dengan strukturnya yang bertanggung jawab atas pengikatan substrat.

Penelitian yang dilakukan oleh Chen, et al., (2018) menyatakan beberapa mikroba dapat menghasilkan enzim pendegradasi plastik mampu untuk melepaskan keterikatan pada ikatan ester khususnya lipase, esterase, carboxylesterase, dan enzim cutinase untuk menghidrolisis PET. Mendukung penelitian sebelumnya pada tahun 2016 ilmuwan dari jepang melakukan penelitian bahwa *Ideonella sakaiensis* 201-F6 mampu mencerna plastik

dengan cara mengeluarkan enzim PETase sehingga menyebabkan pemutusan ikatan kimia PET (Fauziah, 2018). *Ideonella sakaiensis* mempunyai kemampuan menguraikan dan memakan PET melalui dua enzim PETase dan MHETase, yang mengubah sifat plastik sulit terurai menjadi mudah terurai (Bucchianico, et al., 2020). Enzim MHETase berfungsi untuk menghidrolisis menjadi mono-(2-hidroksietil) tereftalat (MHET) menjadi PET yang menghasilkan tereftalat dan etilen glikol sehingga bahan dasar PET dapat sepenuhnya dimetabolisme oleh *Ideonella sakaiensis* (Palm, et al., 2019). Kedua enzim *Ideonella sakaiensis* merupakan komponen yang berbeda untuk bekerja sama dalam mendegradasi PET.

*Ideonella sakaiensis* mempunyai kemampuan biodegradasi mikrobial terhadap PET melalui tahapan isolasi dengan menggunakan enzim yang dimiliki yaitu *terephthalic acid* dan *ethylene glycol* (Pikoli, Rahma & Sari, 2020). Pendegradasian PET dengan kemampuan enzim *Ideonella sakaiensis* dapat dilakukan dengan rekayasa genetik guna meningkatkan proses menguraikan lebih cepat 5-120 kali pada umumnya (Erlambang, et al., 2019). Kemampuan *Ideonella sakaiensis* dapat diteliti dengan melihat presentase hilangnya berat plastik akibat keluarnya enzim. Enzim *Ideonella sakaiensis* mempunyai kemampuan menguraikan permukaan plastik melalui terjadinya proses hidrolisis (Singh, Singh, & Bhatt, 2016).

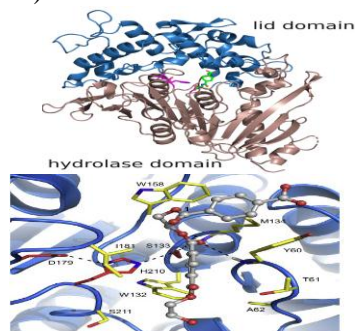
Penggunaan *Ideonella sakaiensis* dalam proses biodegradasi pada limbah plastik lebih cepat 5-120 kali dari pada bioderadasi pada umumnya (Fecker, et al., 2018). *Ideonella sakaiensis* melakukan degradasi plastik PET ditentukan berdasarkan kualitas limbah. Membutuhkan waktu 6 minggu untuk menguraikan plastik PET kualitas rendah, sedangkan kualitas tinggi harus mengalami penurunan kualitas dengan memanaskan (Thee, 2018). Proses pendinginan dilakukan bertujuan memberikan kondisi optimum 30°C *Ideonella sakaiensis* melakukan degradasi menggunakan enzim. Degradasi dilakukan dengan memecahkan PET menjadi monomer terpisah yaitu etilen glikol dan terephthalic acid, kemudian dicerna menjadi bahan makan *Ideonella sakaiensis* (Abdullah, Irawati, Qomariah, & Ain, 2020). Polimer dipecah

dengan kemampuan kinerja enzim *Ideonella sakaiensis* terjadi proses hidrolisis yaitu memotong senyawa polimer dan pemutusan rantai PET dengan hasil akhir zat PET yang sudah diuraikan. Enzim dari *Ideonella sakaiensis* terdiri dari PETase yang merusak bagian PET dan MHETase mempunyai peran merusak MHET (Liu, et al., 2018). Hasil dari zat penguraian PET melalui enzim menjadi makanan dari koloni *Ideonella sakaiensis*.

### **Hubungan Gen Pengkode PETase dengan Degradasi Limbah Plastik PET (*Polyethylene terephthalate*)**

*Ideonella sakaiensis* mempunyai kemampuan mendegradasi plastik melalui transformasi gen pengkode PETase dengan *Escherichia coli*. Peran *Escherichia coli* melalui transformasi gen yaitu mendegradasi PET lebih efisien melalui kemampuannya yaitu ekspresi protein yang cepat, proses fermentasi yang pendek, dan biaya budidaya yang rendah. Transformasi gen merupakan bagian dari teknik rekayasa genetika dengan memasukkan gen-gen pilihan ke dalam medium hidup seperti bakteri untuk tujuan tertentu (Mulyaningsih, et al., 2010). Hasil penelitian Shi, Liu, Gao, Weng dan Zhu (2021) menyatakan enzim PETase dari *Ideonella sakaiensis* 201-F6 dapat menunjukkan aktivitas hidrolitik yang lebih tinggi dan spesifisitas untuk PET bila dibandingkan dengan enzim lain pada suhu kamar. *Ideonella sakaiensis* mampu mengeluarkan enzim PETase untuk mendegradasi limbah dengan hasil yang lebih cepat sekitar 5-120 kali. Teknik rekayasa biodegradasi dapat membantu penguraian limbah menggunakan cara *cloning* dan transformasi gen pengkode PETase di bakteri *Escherichia coli*. Gen pengkode PETase merupakan gen yang menghasilkan enzim dengan kemampuan memutuskan ikatan kimia sebagai bahan pembuatan botol minuman. Enzim PETase mampu mempercepat reaksi kimia dan meningkatkan proses degradasi yang biasanya memakai waktu hingga ratusan tahun (Flashman, 2018). Peningkatan degradasi limbah secara cepat dan efisien dapat dilakukan dengan mentransformasikan gen PETase pada bakteri *Escherichia coli*.

Terdapat beberapa mekanisme untuk transformasi gen PETase yang bermanfaat dalam proses biodegradasi. Menurut Fecker, Davidson, Engelberger dan Sotomayor (2018) mengatakan terdapat beberapa tahapan yang pertama pengisolasian gen pengkode enzim PETase pada *Ideonella sakaiensis* yang disiapkan untuk tahapan kloning dan ditransformasikan ke *Escherichia coli*. Tahap kedua hasil tersebut mengalami ekspresi protein lalu diinduksi selama 18 jam pada suhu 25°C menggunakan *Terrific Broth*. Tahapan ketiga sel yang mengalami ekspresi protein diambil dengan menggunakan teknik sentrifugasi, dan mengalami lisis dalam buffer denaturasi. Tahapan keempat sel *Escherichia coli* mengalami dua kali lisis dan pemurnian dengan kromatografi untuk menghasilkan peningkatan kemampuan enzim PETase. Tahapan kelima, enzim PETase dianalisis, diultrafiltrasi dan kristalisasi, pengumpulan data dengan proses pengujian. Tahapan akhir yaitu menguji aktivitas enzim menggunakan spektrofotometer. Hasilnya dianalisis dengan *molecular docking* yaitu proses penambatan kedua molekul yang membentuk struktur 3D dengan tujuan mencocokkan melalui pengamatan ruang tiga dimensi (Pratoko, 2012) (Gambar 4). Keberhasilan pada PETase dengan  $\alpha$  atau hidrolase pada sisi aktif memiliki tingkat efisiensi lebih tinggi dan lebih menguntungkan pada suhu ruang (Erlambang, Oktariani, & Wathon, 2019).



Gambar 4. Struktur 3D PETase dari *I. sakaiensis*

(Sumber: <https://kumparan.com/lampuedison/epemakan-plastik-memberiharapan->)

Proses Biodegradasi mikroorganisme dilakukan dengan menyatukan permukaan polimer plastik pada hasil enzim PETase untuk meningkatkan pertumbuhan molekul sederhana yang berasal dari unsur karbon dan nitrogen.

Keretakan pada polimer plastik diakibatkan oleh pertumbuhan mikroorganisme yang meningkat sehingga struktur polimer tidak stabil dan mengubah permukaan polimer (Guzman, Gnutek, & Janik, 2011). Biodegradasi melibatkan mikroba yang mempunyai enzim PETase untuk mendegradasi PET pada suhu yang lebih rendah pendegradasi ke substrat polimer (Katiyar, et al., 2020). Proses degradasi limbah plastik yang dilakukan oleh enzim PETase dapat berjalan sangat cepat dikarenakan adanya aktivitas pusat aktif enzim PETase yang memungkinkan untuk dicapai oleh pelarut yang mengandung PET, akibatnya interaksi antara PETase dengan plastik sangat mudah (Fecker, et al., 2018). Bakteri *Escherichia coli* mengekspresikan gen pengkode PETase melalui enzim PETase yang dimiliki oleh *I. sakaiensis* mempunyai kemampuan lebih baik dalam mendegradasi limbah plastik *Polyethylene terephthalate* (Erlambang, Oktariani, & Wathon, 2019). Tahap selanjutnya proses asimilasi yang terdapat pada sitoplasma mikroorganisme. Proses ini mengakibatkan terjadinya proses metabolisme mikroorganisme yang mampu memproduksi biomassa, energi, cadangan makanan serta metabolit primer dan sekunder (Artham & Doble, 2008). Tahap akhir pada proses biodegradasi adalah tahap mineralisasi. Pada tahap mineralisasi produk akhir berupa H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, dan CO<sub>2</sub> dikeluarkan ke lingkungan (Guzman, Gnutek, & Janik, 2011). Biodegradasi menggunakan hasil transformasi gen pada *Escherichia coli* dengan enzim PETase dari *Ideonella sakaiensis* dilakukan dengan menempelkan bagian plastik PET, sehingga permukaan polimer plastik lebih cepat terurai dari pada pendegradasi plastik hanya menggunakan enzim PETase.

## Kesimpulan

*Polyethylene terephthalate* mempunyai sifat fisik tahan terhadap bahan kimia dan panas, sifat tersebut menjadi daya minat tinggi beberapa usaha atau perindustrian menggunakan bahan limbah PET untuk beberapa produksi barang. Kemampuan yang dimiliki PET dalam ketahanan benturan dan fleksibel, serta mempunyai sifat yang sukar untuk diuraikan, mengakibatkan terdapat permasalahan lingkungan yaitu meningkatnya jumlah limbah plastik. Kemampuan menguraikan permukaan plastik

sehingga penurunan berat plastik merupakan kinerja enzim *Ideonella sakaiensis*. Proses degradasi *Polyethylene terephthalate* menggunakan *Ideonella sakaiensis* mempunyai potensi menguraikan lebih cepat 5-120 kali pada umumnya. Potensi *Ideonella sakaiensis* pada proses biodegradasi lebih optimal menggunakan transformasi gen pengkode PETase pada *Escherichia coli* yang bertujuan meningkatkan kinerja penguraian permukaan polimer plastik.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih dierikan kepada semua penulis artikel yang tulisan dan atau gambarnya disitasi dan menjad sumber dalam penulisan kajian literatur ini.

### Referensi

- Abdullah, Irawati, U., Qomariah, N., & Ain, N. (2020). *Mengelolah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Artham, T., & Doble, M. (2008). Biodegradation of aliphatic and aromatic polycarbonates. *Macromol Biosci*, 14-24. DOI: 10.1002/mabi.200700106.
- Bucchianico, G. D., Shin, C. S., Shim, S., Fukuda, S., Montagna, G., & Carvalho, C. (2020). *roceedings of the AHFE 2020 Virtual Conferences on Design for Inclusion, Affective and Pleasurable Design, Interdisciplinary Practice in Industrial Design, Kansei Engineering, and Human Factors for Apparel and Textile Engineering*. USA: The register company springer nature switzerland AG.
- Chandra, B. (2006). *Pengantar kesehatan lingkungan*. Jakarta: EGC.
- Chen, C. C., Han, X., Ko, T. P., Liu, W., & Guo, R. T. (2018). Structural studies reveal the molecular mechanism of PETase. *The FEBS Journal*, 285(20), 3717-3723. DOI: [10.1111/febs.14612](https://doi.org/10.1111/febs.14612).
- Elamin, M. Z., Ilmi, K. N., Tahriah, T., Zarnuzi, Y. A., Suci, Y. C., Rahmawati, D. R., . . . Dwi, D. M. (2018). Analisis pengelolaan limbah pada masyarakat desa disanah Kecamatan Sreseh Kabupaten Sampang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(4), 368-375. DOI: <https://doi.org/10.18196/jpk.v3i1.13390>
- Elpawati. (2015). Uji coba produksi mikroorganisme pendegradasi (penghancur) limbah plastik. *Jurnal Agribisnis*, 9(1), 11-22. DOI: <https://doi.org/10.15408/aj.v9i1.5064>
- Erlambang, B. P., Oktariani, R., & Wathon, S. (2019). Mikroorganisme potensial sebagai agen hayati pendegradasi limbah sampah plastik. *BioTrends*, 10(02), 21-24. DOI: <http://dx.doi.org/10.31851/indobiosains.v3i2.5848>
- Ermawati, R. (2011). Konversi Limbah Plastik sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Riset Industri*, 5(3), 1-20. DOI: [10.37033/fjc.v5i2.206](https://doi.org/10.37033/fjc.v5i2.206)
- Fauziah, L. (2018, Mei Selasa). Bagaimana Bakteri Bisa Memakan Plastik? Ini Penjelasan Ahli Kimia. *National Geographic Indonesia*, pp. 1-2.
- Fecker, T., Davison, P. G., Engelberger, F., Narui, Y., Sotomayor, M., Parra, L. P., & Ramirez -Sarmiento, C. A. (2018). Active site flexibility as a hallmark for Efficient PET Degradation by *I. sakaiensis* PETase. *Biophysical Journal*, 1302-1312. DOI: [10.1016/j.bpj.2018.02.005](https://doi.org/10.1016/j.bpj.2018.02.005)
- Fitriyano, G. (2019). Tinjauan potensi pemanfaatan botol bekas berbahan Polyethylene Terephthalate (PET) di Indonesia. *Eksergi*, 16(1), 18-24. DOI: <https://doi.org/10.31315/e.v16i1.2747>
- Flashman, E. (2018, April 18). How plastic-eating bacteria actually work- a chemist explains.
- Guzman, A., Gnutek, N., & Janik, H. (2011). Biodegradable polymers for food packaging- factors influencing their degradation and certification types - a comprehensive review. *Chemistry & chemical technology*, 5(1), 117-122. <https://www.semanticscholar.org/paper/Biodegradable-polymers-for-food-packaging-factors-a-Sielicka-Gnutek/0b99be20fccff8630068150deba443dfff23a2f3>.

- Hardiatmi, S. (2011). Pendukung keberhasilan pengelolaan limbah kota. *INNOFARM: Jurnal Inovasi Pertanian*, 10(1),50-66. <https://ejournal.unisri.ac.id/index.php/innofarm/article/view/630>.
- Hartono, R. (2008). *Penggunaan dan pengelolaan limbah*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Hidayani, T. R., Pelita, E., & Nirmala, D. (2015). Karakteristik plastik biodegradabel dari limbah plastik polipropilena dan pati biji durian. *Jurnal KULIT, KARET, DAN PLASTIK*, 31(1), 9-14. DOI:<https://dx.doi.org/10.24817/jkk.v391.2027>.
- Katiyar, V., Kalamlad, & Kalita, N. K. (2020). *Recent trends and advances in the biodegradation of conventional plastic*. New York: Springer Nature.
- Kurniasari, L. (2010). Pemanfaatan mikroorganisme dan limbah pertanian sebagai bahan baku biosorben logam berat. *Momentum*, 6(2), 5-8. DOI: <http://dx.doi.org/10.36499/jim.v6i2.115>
- Liu, B., He, L., Wang, L., Li, T., Li, C., Liu, H., Bao, R. (2018). Protein crystallography and site-direct mutagenesis analysis of the poly(ethylene terephthalate) hydrolase PETase from *Ideonella sakaiensis*. *Chembiochem*, 19(14),1471-1475. DOI:<https://doi.org/10.1002/cbic.201800097>.
- Mawardi, A., & Lubis, H. (2018). *Proses manufaktur plastik dan komposit edisi revisi*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Mokhtar, A., Jufri, M., Budiono, & Rahmandika, A. (2019). Rancang bangun tungku pirolisis untuk membuat bahan bakar cair dari limbah plastik. *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*, 5(1), 1-24. DOI: <https://doi.org/10.22219/sentra.v0i4.2441>.
- Mulasari, A., Husodo, A. H., & Muhadjir, N. (2016). Analisis situasi permasalahan limbah kota Yogyakarta dan kebijakan penanggulangannya. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(2),96-106. DOI: <https://doi.org/10.15294/kemas.v1i12.3989>.
- Mulyaningsih, E. S., Aswidinnoor, H., Sopandie, D., Ouwerkerk, P. B., Nugroho, S., & Loedin, S. (2010). ). Perbandingan tiga metode transformasi *Agrobacterium* untuk pencarian gen-gen terkait toleransi kekeringan menggunakan transposon ac/ds pada padi cv. bautegi. *Jurnal Biologi Indonesia*, 6(3), 367-381. DOI: [10.14203/jbi.v6i3.3144](https://doi.org/10.14203/jbi.v6i3.3144).
- Narsun, Kurniawan , E., & Sari, I. (2015). Pengolahan limbah kangtong plastik jenis kresek menjadi bahan bakar menggunakan proses pirolisis. *Jurnal Energi Elektrik*, 4(1), 1-5. DOI: <https://doi.org/10.29103/jee.v4i1.11>
- Odobasić, B. (2020). *Biochemical characterisation of Ideonella sakaiensis and the influence of culture conditions on plastic degradation*. Denmark: Alborg University.
- Palm, G. J., Reisky, L., Bottcher, D., Muller, H., Michels, E. A., Walczak, M. C., Weber, G. (2019). Structure of the plastic-degrading *Ideonella sakaiensis* MHETase bound to a substrate. *Nature Communication*, 10(1717), 1-9. DOI: [10.1038/s41467-019-09326-3](https://doi.org/10.1038/s41467-019-09326-3).
- Paramita, P., Shovitri, M., & Kuswyasari, N. D. (2012). Biodegradasi limbah organik pasar dengan menggunakan mikroorganisme alami tangki septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), 23-26. DOI: [10.12962/j23373520.v1i1.780](https://doi.org/10.12962/j23373520.v1i1.780).
- Pikoli, M. R., Rahma, F. A., & Sari, F. A. (2020). *Memancing mikroba dari sampah*. Depok: CV. Kinzamedia Rizfa Aksara.
- Pratoko, D. K. (2012). molecular docking senyawa fitokimia piper longum terhadap reseptor siklookigenase-2 sebagai antiinflamasi. *Pratoko: Molecular docking*, 5(1),31-36. DOI: <https://doi.org/10.35799/cp.5.1.2012.651> DOI: <https://doi.org/10.35800/jip.8.2.2020.29877>
- Purwaningrum, P. (2016). Upaya mengurangi timbunan sampah plastik di lingkungan. *Indonesia Journal of Urban and Environmental Thechnology*, 8(2), 141-147. DOI: <http://dx.doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421>



- Rusli, M. A. (2016). Analisis penilaian biaya pengelolaan limbah produksi untuk meningkatkan laba pengusaha. *Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1), 83-104. DOI: <https://doi.org/10.51289/peta.v1i1.287>.
- Sejati, K. (2009). *Pengolahan limbah terpadu dengan sistem node, sub point, dan center point*. Yoyakarta: Kanisius.
- Shi, L., Liu, H., Gao, S., Weng, Y., & Zhu, L. (2021). Enhanced Extracellular Production of IsPETase in *Escherichia coli* via Engineering of the pelB Signal Peptide. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 69(7), 2245–2252. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c06084>
- Singh, singh, G., & Bhatt, K. (2016). Biodegradation of polythenes by bacteria isolated from soil. *Int.J.Res.Dev.Pharm.Life Sci*, 5(2), 2056-2062. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.01.019>
- Surono, U., & Ismanto. (2016). Pengolahan limbah plastik jenis PP, PET, dan PE menjadi bahan bakar minyak dan karakteristiknya. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal Universitas Janabadra*, 35(1), 1-20. [http://ejournal.janabadra.ac.id/index.php/JMST/article/view/UNTORO/pdf\\_4](http://ejournal.janabadra.ac.id/index.php/JMST/article/view/UNTORO/pdf_4).
- Tanasupawat, S., Takahena, T., Yoshida, S., Hiraga, K., & Oda, K. (2016). *Ideonella sakaiensis* sp. nov., isolated from microbial consortium that degrades poly(ethyleneterephthalate). *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 66(8), 2813-2818. DOI: [10.1099/ijsem.0.001058](https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001058)
- Thee, H. L. (2018, February). *Experimen Bakteri Pengurai Plastik*. *Future science and technology*, p. 1.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2009). *Converting waste plastics into a resource, division of technology, industry and economics international environmental technology centre, osaka/ shiga*. *Polymers*, 5(1), 1-18.
- Wahyudi, J., Prayitno, H. T., & Astuti, A. D. (2018). Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif. *Jurnal Litbang*, 14(1), 58-67.
- DOI: <https://doi.org/10.33658/jl.v14i1.109>.