

**ISA-BITCAN: Tempat Sampah Pendegradasi Plastik Pet  
Dengan Agen Bakteri *Ideonella Sakainesis* (Sebuah Review)**

**Saffira Alyda Maharani<sup>1\*</sup>, Erma Zakiy Arifah<sup>1</sup>, Trida Ridho Fariz<sup>1</sup>, Andhina Putri Heriyanti<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universitas Negeri Semarang, Semarang

\*Email korespondensi : [saffiraa15@gmail.com](mailto:saffiraa15@gmail.com)

**ABSTRAK**

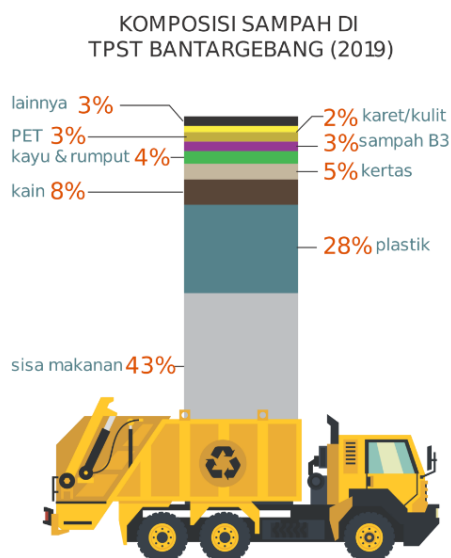
Keberadaan sampah plastik yang menggunung dapat membuat numpuknya populasi sampah di Indonesia. Sampah plastik memang tidak berbahaya secara langsung, namun sifatnya yang sulit terurai di alam, membuat tanah menjadi tidak subur, hingga menimbulkan rekaksi kimia. Ketika terkena panas sinar matahari membuat sampah plastic perlu diolah dan diminimalisir jumlahnya secara massif. Pengolahan sampah plastic yang umumnya dilakukan dengan cara pembakaran dirasa belum efektif karena hasil asap dengan kandungan CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub> yang dapat menyebabkan fenomena hujan asam jika terakumulasi di atmosfer dalam jumlah yang banyak itu pengolahan sampah plastik yang menghasilkan bahan bakar minyak juga tidak efisien karena tidak semua jenis plastic dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dan melalui proses pembakaran dimana dapat menghasilkan gas buangan CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub> dengan akumulasi gas buangan yang lebih besar ketimbang hasil bahan bakar minyak yang diperoleh. Alternatif pengolahan sampah plastik yang ramah lingkungan dan low emission carbon perlu digerakkan demi mendukung program SDGs ke 13 (penanganan perubahan iklim) dan 14 (menjaga ekosistem laut). Salah satu cara yang dapat dilakukan ialah menggunakan bakteri *Ideonella sakaiensis* dengan konsep hidrolisis rantai polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah diurai alam. Penerapan bakteri *Ideonella sakaiensis* dapat diaplikasikan pada sampah berjenis PET (*polyethylene terephthalate*) karena jumlahnya dan tingkat bahaya yang cukup tinggi. Penguraian sampah ini berkonsep pada tempat sampah sebagai inkubator biodegradasi dimana bakteri *Ideonella sakaiensis* mengurai plastik pada medium yang optimal sesuai karakteristik lingkungan hidupnya.

***Kata kunci: Botol plastic PET, degradasi, Ideonella sakaiensis***

## PENDAHULUAN

**"Plastik sekali pakai adalah bom waktu yang menentukan lingkungan. Hindari dimanapun dan kapanpun jika memungkinkan." - Jennifer Nini**

Di Indonesia, penggunaan plastik terus meningkat hingga rata-rata 200 ton per tahun (Cordova,2017). Pada tahun 2019, produksi limbah di Indonesia mencapai jumlah 175.000 ton per hari atau setara dengan 64 juta ton per tahun. Pada kondisi lapangan, limbah plastik mayoritas terdiri dari limbah plastik kemasan makanan dan minuman, terutama botol minum sekali pakai (gambar 1). Jenis plastik yang sangat sering digunakan sebagai bahan utama pembuatan kemasan pembungkus makanan dan minuman sekali pakai ini adalah jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) karena memiliki kerapatan yang tinggi sehingga dapat menghambat oksigen masuk untuk merusak produk. Plastik PET adalah salah satu plastik yang sangat kokoh dan memiliki resistensi yang baik terhadap reaksi kimia. Oleh sebab itu, plastik PET memiliki umur urai yang sangat lama (Djamaan 2022). Data mengatakan bahwa pada kuartal I-2021, total limbah botol plastik sekali pakai yang berhasil dikumpulkan oleh salah satu perusahaan pendaurulangan botol plastik mencapai 11.600 ton Invalid source specified.



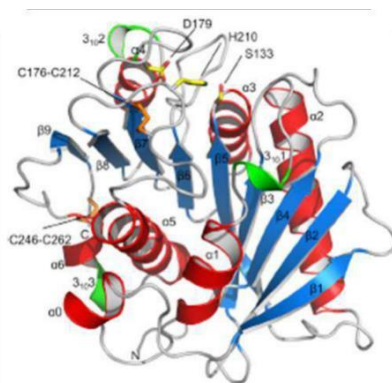
Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta

**Gambar 1.** Penumpukan Sampah Plastik PET di Indonesia  
Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta

Dampak timbunan limbah plastik akan menghambat peresapan air dan sinar matahari sehingga akan mengurangi kesuburan tanah dan menjadi alasan utama adanya banjir. Selain itu, limbah yang terpapar sinar ultraviolet akan mengalami fotodegradasi yang akan memecah plastik menjadi ukuran kecil-kecil yang mengandung bahan beracun seperti BPA (*bisphenol A*) yang bila masuk dalam rantai makanan akan membawa dampak yang berkepanjangan hingga rantai puncak (Lestari, et al., 2020). Banyak orang memilih cara menguraikan sampah plastik dengan membakarnya, sayangnya metode ini akan menghasilkan asap dengan kandungan CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, dan SO<sub>x</sub> yang berbahaya karena dapat menyebabkan kerusakan pernapasan bagi yang menghirupnya dan menyebabkan fenomena hujan asam jika terakumulasi di atmosfer dalam jumlah yang banyak (Prasetyo et al, 2014).

Salah satu cara untuk menguraikan sampah plastik dengan metode ramah lingkungan dan inovatif adalah dengan memanfaatkan agen bakteri sebagai mikroba pengurai plastik

dengan metode biodegradasi. Biodegradasi plastik adalah proses degradasi polimer (memutus rantai polimer) secara alami oleh mikroba (seperti bakteri dan jamur) dengan menjadikannya plastic sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhannya (Sangale et al. 2012; Bhardwaj et al. 2012). Penelitian- penelitian sebelumnya membuktikan bahwa plastik PET dapat didegradasi oleh berbagai jenis mikroorganism, seperti *Escherichia coli*, *Ideonella sakaiensis*, dan *Pseudomonas sp.*, Namun, *Ideonella sakaiensis*, adalah mikroorganism yang telah terbukti memiliki kemampuan degradasi lebih efisien dengan 5-120 kali lebih cepat dari proses degradasi plastik pada umumnya (Permata B, 2019). Selain itu, *Ideonella sakaiensis* juga menghasilkan PET hidrolisa atau PETase, yaitu enzim yang dapat memecah rantai polimer PET pada rentang suhu optimum 20-40°C. Struktur 3D dari PETase dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Struktur 3D PETase dari *I. sakaiensis* (Fecker et al, 2018)

Sumber: <https://docplayer.info/190387742-Mikroorganism-potensial-sebagai-agen-hayati-pendegradasi-limbah-sampah-plastik.html>

Mengetahui potensi bakteri *Ideonella sakaiensis* untuk menjadi agen biodegradasi ramah lingkungan, maka dibutuhkan suatu media yang praktis yang dapat diterapkan di masyarakat, terutama di sektor pengolahan limbah plastik. Kami mencoba melakukan review atau telaah pustaka mengenai inovasi tempat sampah biodegradasi limbah plastik PET dengan agen bakteri *Ideonella sakaiensis* yang bernama ISA-BITCAN (*Ideonella sakaiensis* Biodegradable Trash Can). Artikel kami akan membahas cara pengolahan limbah plastik PET yang efektif dan ramah lingkungan sehingga diharapkan mampu untuk turut berkontribusi menyelesaikan permasalahan penimbunan limbah plastik sulit diurai di Indonesia dan meningkatkan SDGs dalam pelestarian ekosistem laut dan darat.

### **Kemampuan biodegradasi plastik**

Bakteri *Ideonella sakaiensis*, kemampuan biodegradasi plastik, didapatkan bahwa bakteri *Ideonella sakaiensis* mampu mendegradasi 30% dari keseluruhan PET film yang berukuran 2cm x 1,5cm selama 18 jam dan menghasilkan senyawa MHET ( , BHET (*Bis-hydroxyethyl Terephthalate*), dan TPA (*Terephthalate Acid*). Didapatkan luas plastik film adalah 3cm<sup>2</sup> dan luas yang terdegradasi adalah 0,9 cm<sup>2</sup>. Dengan perbandingan yang sama, PET film diasumsikan berukuran 10cm x 7,5cm pada pengolahan plastik di lapangan. Maka luas plastik yang terdegradasi adalah 22,5 cm<sup>2</sup>. Kemampuan degradasi tersebut dinilai sangat efektif untuk mendegradasi plastik film. Kecepatan degradasi ditentukan dari luas permukaan plastik. Semakin besar luas, semakin lama proses degradasi akan berlangsung (Musdary, Amalia, Lubis, & Ningsih, 2021). Maka, dibanding plastik yang berbentuk utuh, plastik yang sudah diolah menjadi potongan-potongan kecil (PET film) akan lebih cepat terdegradasi.

Biodegradasi oleh bakteri adalah cara alternatif pengolahan plastik PET yang ramah lingkungan. Dari skala riset, target yang ingin dicapai adalah produk ISA-BITCAN dapat digunakan dalam sektor industri pengolahan limbah serta dapat diaplikasikan ke skala yang lebih besar. Dengan begitu, produksi ISABITCAN ini akan dapat turut menjaga ekosistem laut dan darat (goals 14 dan 15) dari pencemaran yang disebabkan oleh timbunan limbah plastik yang sulit terurai, terutama jenis PET. Para stakeholder seperti mahasiswa, industry, maupun pemerintah dapat bersinergi untuk memenuhi SDGs pada goals 14 dan 15 (Gambar 3).



**Gambar 3.** Roadmap implementasi ISA-BITCAN dalam skala luas jenis PET yang memenuhi SDGs pada goals 14 dan 15

Mengapa Harus Biodegradable Trash Can, Karena Biodegradable trash can sesuai dengan Goals SDG’s ke 14 dan 15, Dengan Asumsi Biaya yang Murah, Total biaya rancangan untuk memproduksi satu buah produk ISA-BITCAN hanya sebesar Rp3.670.000, Inovatif yaitu Hasil penguraian plastic bebas limbah dan dilakukan secara otomatis menggunakan kontroler di dalamnya. Efisien dengan Bakter *ideonella sakaiensis* mampu mendegradasi 30 dari total sampah PET dengan lama waktu tidak sampai sehari (18 jam ). Dan Tepat, Produksi ISA-BITCAN akan -turut menjaga ekosistem laut dan darat (goals 14 dan 15) dari pencemaran yang disebabkan oleh timbunan limbah plastik yang sulit terurai, terutama jenis PET.

Keunggulan yang dimiliki oleh Biodegradable trash can ini yaitu memiliki efektivitas yang lebih diiringin dengan kapasitas yang ideal yaitu dengan ukuran kapasitas 20 liter dan memiliki efektivitas lebih dari 80%. Gagasan ini pernah di bahas pada jurnal sebelumnya namun dengan jenis mikroorganisme yang berbeda. Sedangkan kekurangannya yaitu kita harus rutin mengganti bakteri setiap 6 bulan sekali dengan bakteri baru agar keefektivan dari bakteri bisa maksimal dalam penguraian botol plastik PET.

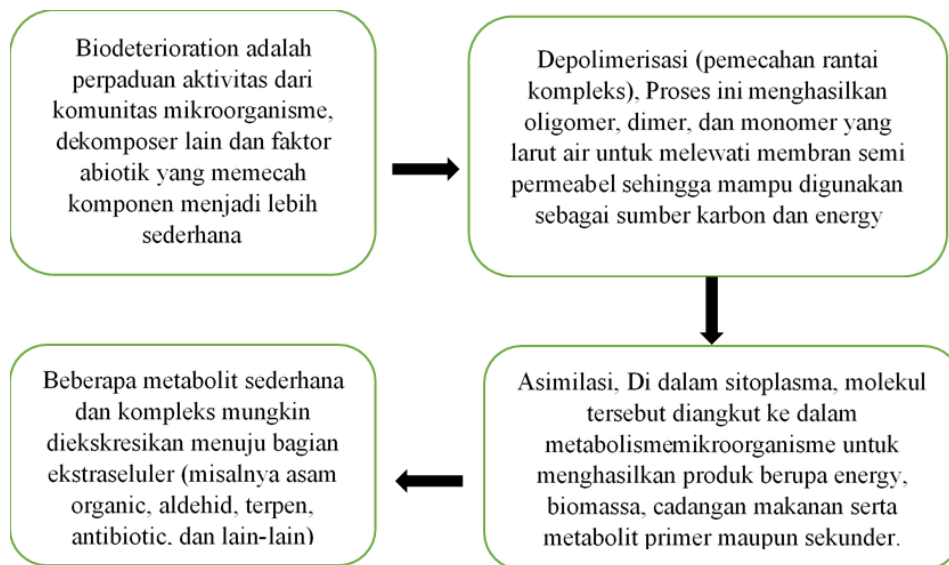
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kepustakaan atau studi literasi. Proses pengumpulan data dilakukan dengan merujuk buku, artikel ilmiah dan artikel yang diterbitkan oleh majalah maupun surat kabar. Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode analisis deskriptif.

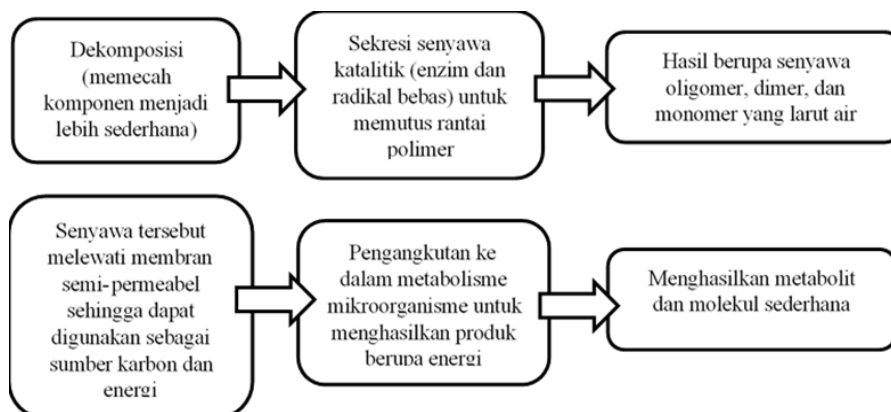
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodegradasi Plastik PET dengan agen bakteri *Ideonella sakaiensis* Proses degradasi terjadi saat suatu senyawa plastik tersebut digunakan sebagai sumber nutrisi oleh mikroorganisme pendegradasi (Gambar 4 dan 5). Mikroorganisme yang banyak berperan pada proses biodegradasi plastik adalah jamur, bakteri dan actinomycetes. Terdapat tiga tipe

penurunan sifat akibat biodegradasi oleh mikroorganismenya, meliputi efek biofisik, efek biokimia, dan aksi enzimatis langsung yang berlangsung secara *irreversible*.



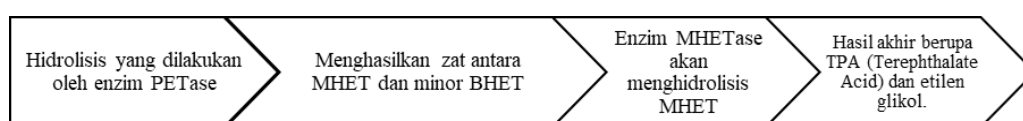
Gambar 4. Diagram Alir Biodegradable



Gambar 5. Diagram alir proses degradasi plastik oleh agen bakteri

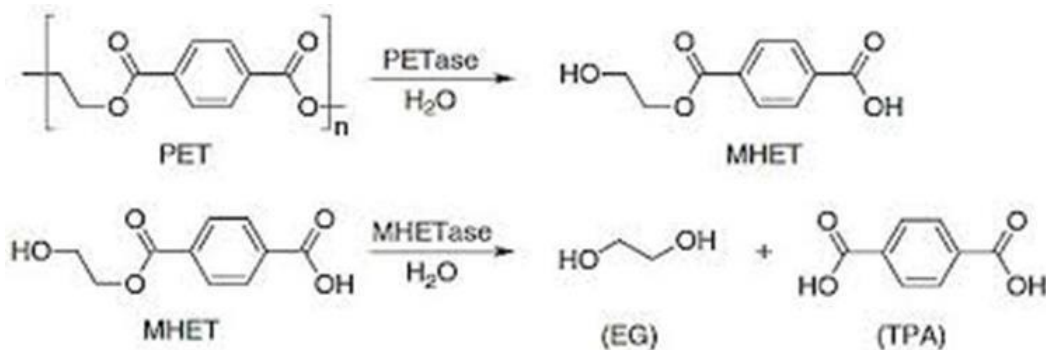
*Ideonella sakaiensis* adalah bakteri gram negatif yang tumbuh secara optimal di suhu 30-37°C dan di pH 7-7,5. Untuk menemukan dan mengisolasi bakteri ini sangatlah mudah karena bakteri ini dapat ditemukan di yang berasal dari habitat asal seperti tanah atau tempat pembuangan akhir (Zusfahair dkk., 2017).

Proses biodegradasi plastik PET oleh bakteri *Ideonella sakaiensis* menghasilkan senyawa organik dan enzim. Contoh enzim yang secara alami dihasilkan oleh bakteri ini adalah enzim PETase yang menghidrolisis PET menjadi MHET (*Monoterephthalic Hydroxyethyl Terephthalate*) dan enzim MHETase yang menghidrolisis MHET menjadi TPA (*Terephthalate Acid*) (Gambar 6). Proses degradasi (*depolymerisasi*) limbah PET secara reaksi berlangsung dua tahap yang dijelaskan melalui proses (Gambar 7):



Gambar 6. Tahapan proses depolimerisasi plastik PET oleh bakteri

*Ideonella sakaiensis*

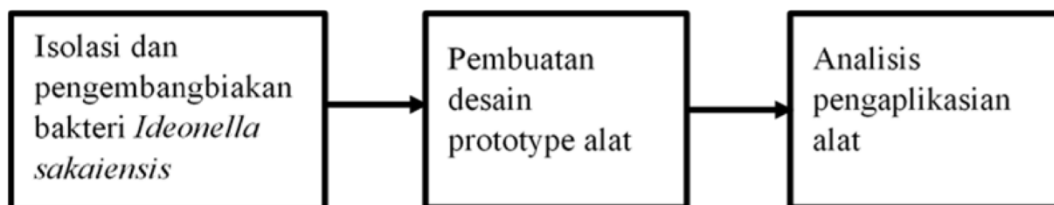


**Gambar 7.** Reaksi depolimerisasi plastik PET oleh bakteri *Ideonella Sakaiensis*

Sumber: <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQDZvHwby3mHGqKk9RbTE6LW3JGv9tH0GIzrQ&usqp=CAU>

**Tahapan Alur Produksi ISA-BITCAN**

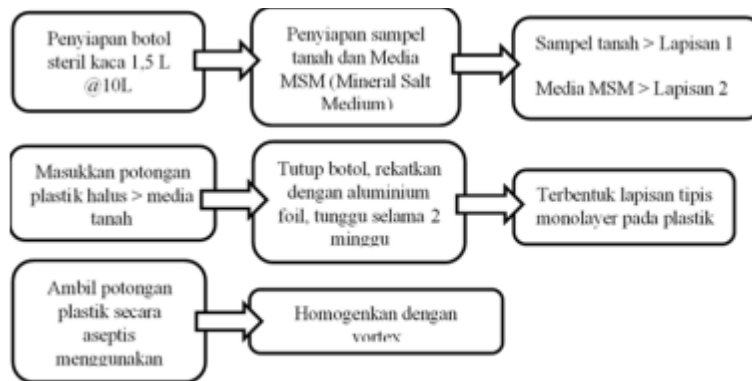
Tahap pertama merupakan tahap awal yang bertujuan untuk mengambil bakteri dari sumbernya, mengisolasi bakteri, dan memperbanyak sebanyak mungkin bakteri yang dihasilkan. Selanjutnya, dilakukan proses desain alat tempat sampah sesuai untuk menampung bakteri dan didalamnya dilakukan proses degradasi bakteri. Hingga tahap akhir dimana alat tersebut memiliki sifat aplikatif untuk masyarakat terutama dalam bidang pengurangan limbah plastik PET secara massif (Gambar 8).



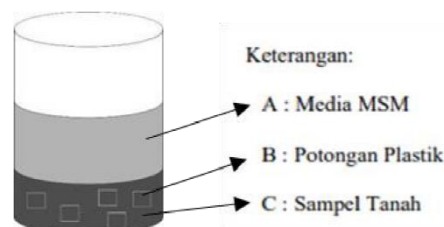
**Gambar 8.** Proses produksi tempat sampah plastik dengan agen bakteri ini terdiri dari tiga proses utama

**Isolasi dan pengembangbiakan bakteri *Ideonella sakaiensis***

Isolasi bakteri pendegradasi plastik dapat dilakukan menggunakan metode Winogradsky Column (Ainiyah dan Shovitri, 2014). Teknik kultur pengayaan digunakan untuk mengisolasi mikroorganisme target dari beberapa jenis organisme yang ada di alam, dan secara umum dirancang menunjukkan peningkatan jumlah pertumbuhan mikroorganisme dengan metode Winogradsky (Tomita et al., 2014) (Gambar 9).



**Gambar 9.** Diagram Alir Proses Isolasi Bakteri *Ideonella sakainesis*



**Gambar 10.** Kolom Winogradsky (Wati, 2020)

Sumber: <https://senorow.tumblr.com/post/38609855945/kolom-winogradsky-mengetahui-sebaran-populasi>

Setelah masa inkubasi, potongan lembaran plastik yang berada dalam botol kaca diambil secara aseptis dengan menggunakan pinset steril. Bakteri yang ada pada sampel akan melekat pada suatu permukaan, kemudian memperbanyak diri dan membentuk satu lapisan tipis (monolayer) yang disebut biofilm. Proses winogradsky column (Gambar 10) akan menghasilkan biofilm dimana biofilm tersebut dapat dipisahkan dengan cara pengambilan plastik yang sudah diinkubasi diambil menggunakan pinset steril kemudian dihomogenkan dengan vortex.

### Pembuatan Suspensi Bakteri

Dalam melakukan percobaan biodegradasi bakteri, perlu disiapkan suspensi bakteri untuk menjaga ketahanan hidup isolat bakteri yang terdiri dari biakan mikroba. Langkah proses pembuatan suspensi bakteri dijelaskan melalui diagram berikut (Gambar 11).

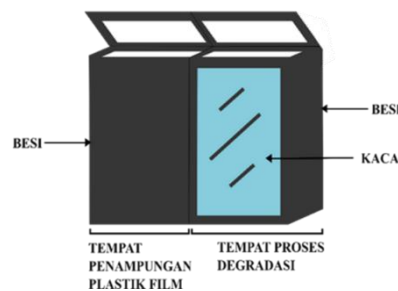


Gambar 11. Langkah proses pembuatan suspensi bakteri

### Prototype ISA-BITCAN

Inovasi kami adalah membuat sebuah tempat sampah yang berfungsi sebagai tempat degradasi limbah plastik jenis PET. Di dalam tempat sampah ini terdapat bilik yang digunakan sebagai tempat degradasi oleh bakteri *Ideonella sakaiensis* (Gambar 12). Maka dari itu, kami menggunakan konsep inkubator sebagai tempat degradasi plastik oleh bakteri *Ideonella sakaiensis*, mengingat pertumbuhan bakteri harus dalam keadaan yang stabil di kondisi suhu 30-37°C dengan pH 7.

Bentuk biodegradable trash can yang kami gunakan adalah bentuk umum tempat sampah berukuran 35cm x 35cm x 57cm, berkapasitas 20 liter di mana memiliki bentuk balok dengan dua bilik dan memiliki tutup di bagian atas tempat sampah.



Gambar 12. Prototipe ISA-BITCAN

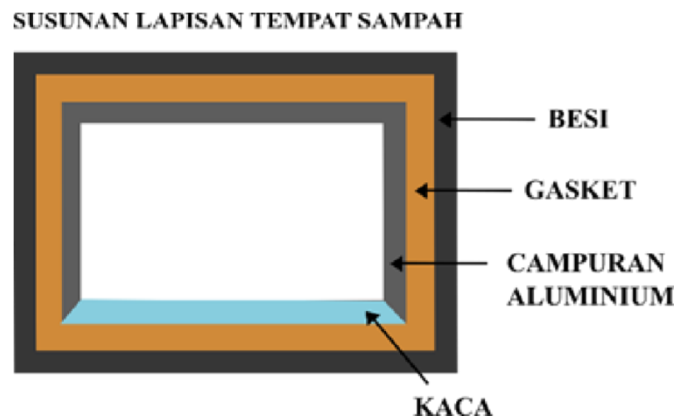
Adapun alasan dari pemilihan bahan-bahan tersebut adalah (Gambar 13):



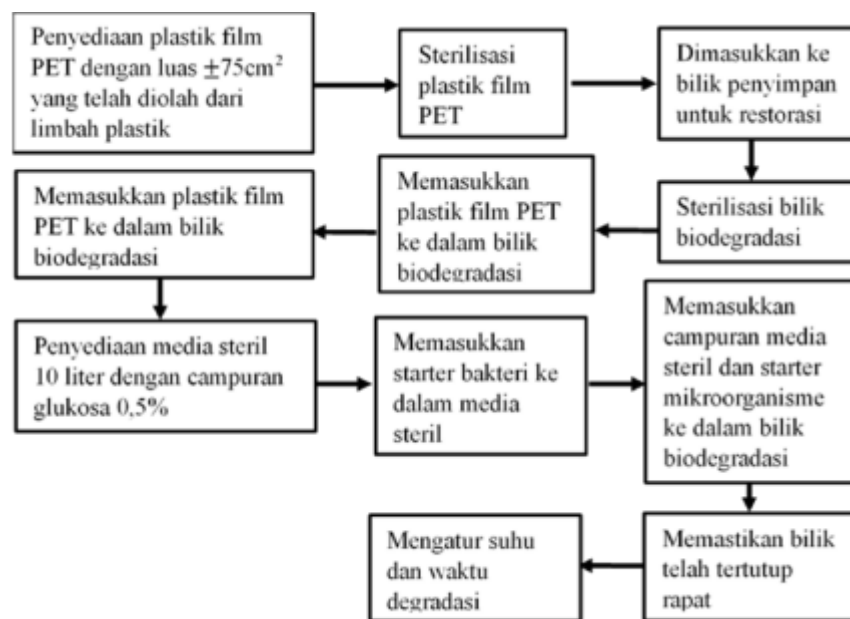


**Gambar 13.** Alasan dari pemilihan bahan-bahan

Dinding bilik ini terdiri dari 3 lapisan, yaitu pada lapisan terdalam terbuat dari seng aluminium, lapisan luar terbuat dari besi, dan disekat oleh gasket asbestos (Gambar 14). Pada lapisan dalam, bagian depan lapisan diganti oleh kaca untuk memudahkan pengamatan proses degradasi dar luar tempat sampah. Berikut adalah diagram alir langkah kerja dan pengoperasian ISA-BITCAN (Gambar 15).



**Gambar 14.** Desain Tempat Sampah



**Gambar 15.** Diagram alir langkah kerja dan pengoperasian Biodegradable Trash Can

## KESIMPULAN

Bakteri *Ideonella sakaiensis* berpotensi menjadi agen degradasi plastik PET yang efisien. Inovasi tempat sampah yang berkonsep inkubator ini adalah alternatif proses penguraian plastik PET yang ramah lingkungan. Tempat sampah biodegradasi ISA-BITCAN ini berukuran 35cm x 35cm x 57cm, berkapasitas 20 liter, terdiri dari dua bilik, tutup di bagian atas, dan memiliki kontroller suhu dan waktu yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Pemilihan bahan pembuatan ISA-BITCAN memiliki keunggulan dalam kekuatan dan bahan yang terbilang murah dan mudah untuk didapatkan.

Pengaplikasian produk ISA-BITCAN menasar sektor pengolahan limbah yang akan membantu Indonesia dalam menjaga ekosistem laut dan daratan dari berbagai dampak buruk yang disebabkan oleh timbunan limbah plastic.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ainiyah, D. and Shovitri, M. (2013) ‘Bakteri Tanah Sampah Pendegradasi Plastik dalam Kolom Winogradsky’, *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 3(2), pp. 63–66.
- Badriyah, Laellattul and Shovitri, M. (2015) ‘Biodegradasi Plastik Putih dalam Kolom Winogradsky’, *jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), pp. 50–54.
- Dwicania, E. (2019) ‘Biodegradasi Limbah Plastik Oleh Mikroorganisme’. doi: 10.31227/osf.io/j842v.
- Erlambang, B. P. D., Oktarianti, R. and Wathon, S. (2019) ‘Mikroorganisme Potensial Sebagai Agen Hayati Pendegradasi Limbah Sampah Plastik’, *Bio Trends*, 10(2), pp. 18–26. Available at: [https://terbitan.biotek.lipi.go.id/index.php/biotrends/article/download/268/2\\_28](https://terbitan.biotek.lipi.go.id/index.php/biotrends/article/download/268/2_28).
- Elpawati, E. (2015) ‘Uji Coba Produksi Mikroorganisme Pengdegradasi (Penghancur) Sampah Plastik’, *Agribusiness Journal*, 9(1), pp. 11–22. doi: 10.15408/aj.v9i1.5064.
- Fachrul, M. F. and Rinanti, A. (2018) ‘Bioremediasi Pencemar Mikroplastik di Ekosistem Perairan Menggunakan Bakteri Indigenous’, *Prosiding Seminar Nasional Kota Berkelanjutan*, (2015), pp. 302–312.

- Gyung Yoon, M., Jeong Jeon, H. and Nam Kim, M. (2012) 'Biodegradation of Polyethylene by a Soil Bacterium and AlkB Cloned Recombinant Cell', *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 03(04). doi: 10.4172/2155-6199.1000145.
- Homenta, H. . (2016) 'Infeksi Biofilm Bakterial', *Jurnal e-Biomedik*, 4(1), pp. 1– 11. doi: 10.35790/ebm.4.1.2016.11736.
- Heligman, B. T. et al. (2019) 'The design and usage of a portable incubator for inexpensive in-field water analysis', *Journal of Humanitarian Engineering*, 6(2). doi: 10.36479/jhe.v6i2.127.
- Karuniastuti, N. (2013) 'Bahaya Plastik terhadap Kesehatan dan Lingkungan', *Swara Patra: Majalah Pusdiklat Migas*, 3(1), pp. 6–14. Available at: <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/43/65>.
- Islami, A. N. (2019) 'Biodegradasi Plastik Oleh Mikroorganismen'. doi: 10.31227/osf.io/rfkpy.
- Ii, B. A. B. and Pustaka, T. (2010) 'Memiliki Kekuatan Lelah ('.
- Lestari, P. W., Septaria, B. C. and Putri, C. E. (2020) 'Edukasi "Minim Plastik" sebagai wujud cinta lingkungan di SDN Pejaten Timur 20 Pagi', *Transformasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 16(1), pp. 43–52. doi: 10.20414/transformasi.v16i1.2034.
- Musdary, F. et al. (2021) 'SYSTEMATIC REVIEW : EFEKTIVITAS Ideonella sakaiensis DAN Chlamydomonas reinhardtii SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI PLASTIK BERBAHAN DASAR PET', 4.
- Octavianda, F. T., Asri, M. T. and Lisdiana, L. (2016) 'Potensi Isolat Bakteri Pendegradasi Jenis Plastik Polietilen Oxo-degradable dari Tanah TPA Benowo Surabaya', *Jurnal Lentera Bio*, 5(1), pp. 32–35.
- Palm, G. J. et al. (2019) 'Structure of the plastic-degrading Ideonella sakaiensis MHETase bound to a substrate', *Nature Communications*, 10(1), pp. 1–10. doi: 10.1038/s41467-019-09326-3.
- Rizqy, A. T. and Shovitri, M. (2017) 'Degradasi Plastik oleh Bacillus PL01 pada Medium Air Kolam dengan Penambahan Monosodium Glutamat', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 6(2), pp. 1–5. doi: 10.12962/j23373520.v6i2.25999.
- Sulistyarini Gultom, E. et al. (2017) 'Seleksi Bakteri Pendegradasi Plastik Dari Tanah', 10(2).
- Sriningsih, A. and Shovitri, M. (2015) 'Potensi Isolat Bakteri Pseudomonas Sebagai Pendegradasi Plastik', *Jurnal Sains Dan Seni*, 4(2), pp. 67–70
- Tokiwa, Y. et al. (2009) 'Biodegradability of plastics', *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9), pp. 3722–3742. doi: 10.3390/ijms10093722.
- Widyastuti, G. (2018) 'Genetic Engineered Ideonella Sakaiensis Bacteria: A Solution of the Legendary Plastic Waste Problem', *SSRN Electronic Journal*, (April). doi: 10.2139/ssrn.3194556.
- Webb, H. K. et al. (2013) 'Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate)', *Polymers*, 5(1), pp. 1– 18. doi: 10.3390/polym5010001.
- Wati, R. I. (2020) 'Uji kemampuan biodegradasi sampah plastik polyethylene (PE) oleh bakteri pendegradasi plastik yang diisolasi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jabon ...'.