

## Tinjauan Singkat Potensi Pemanfaatan Botol Bekas Berbahan Polyethylene Terephthalate (PET) di Indonesia

### A Short Review on Potential of Utilization Used Bottle Made from Polyethylene Terephthalate (PET) in Indonesia

Gema Fitriyano 1<sup>a\*</sup> dan Dicka Ar Rahim<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 10510, Jakarta, Indonesia

<sup>b</sup>Institut Teknologi Bandung, Department of Bio Energy, Jl. ITB Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45363

---

#### Artikel histori :

Diterima 3 Maret 2019  
Diterima dalam revisi 20 April 2019  
Diterima 15 Mei 2019  
Online 30 Juni 2019

**ABSTRAK:** Penggunaan botol berbahan Polyethylene Terephthalate (PET) semakin meningkat dikarenakan berkembangnya produk minuman siap saji. Kemasan jenis ini sangat digemari oleh industri minuman karena mudah dibentuk, kuat, transparan, higienis dan ekonomis. Peningkatan dari penggunaan botol PET berdampak terhadap jumlah limbahnya yang turut meningkat sehingga dapat menjadi masalah lingkungan jika tidak ditangani dengan baik. Limbah tersebut masih belum dimanfaatkan di Indonesia, pemanfaatannya baru sampai tahap menghasilkan cacahan PET yang selanjutnya diekspor ke Negara yang memiliki industri daur ulang botol minuman. Studi ini bertujuan untuk meninjau penanganan limbah botol bekas, metode pengolahan, kekurangan serta kelebihan dari produk dimana ulasan ini didasarkan pada data industri dan artikel ilmiah. Konsumsi minuman dalam kemasan botol PET yang cenderung meningkat setiap tahunnya merupakan potensi yang sangat menjanjikan untuk dikembangkannya penelitian maupun dibangunnya industri yang terkait dengan pengolahan limbah botol bekas berbahan PET di Indonesia.

**Kata Kunci:** botol bekas; PET; *polyethylene terephthalate*; pemanfaatan limbah

**ABSTRACT:** The use of bottles made from Polyethylene Terephthalate (PET) has been increasing along with the development of ready-to-drink products. This type of packaging is very popular with the beverage industry because it is easily formed, strong, transparent, hygienic and economical. The increase in the use of PET bottles has an impact on the amount of waste that also increases so that it can become an environmental problem if it is not handled properly. The waste is still untapped in Indonesia, its utilization has only reached the stage of producing PET chopped which are then exported to countries that have beverage bottle recycling industries. This study aims to review the handling of used bottle waste, processing methods, shortcomings and advantages of products where this review is based on industry data and scientific articles. The consumption of beverages in PET bottle packaging which is increasing every year is a very promising potential for the development of research and the construction of industries related to processing used PET bottles in Indonesia

**Keywords:** used bottle; PET; polyethylene terephthalate; waste utilization

---

#### 1. Pendahuluan

Limbah botol plastik berbahan PET (Polyethylene Terephthalate) merupakan permasalahan global yang sampai saat ini masih dilakukan penyempurnaan dalam pengolahan dan pengelolaannya. Beberapa Negara sudah melakukan penelitian baik dari segi pengelolaan hingga pemanfaatannya.

Negara – Negara Uni Eropa melakukan pengelolaan limbah plastik bekas pakai dalam tiga cara diantaranya proses daur ulang sebanyak 30%, konversi plastik menjadi energi 40% dan sisanya dipendam (landfill) sekitar 30%.

Dimana 7% dari keseluruhan limbah plastik bekas pakai merupakan botol berbahan PET atau setara dengan 3,7 juta Ton pada 2018. (Karl-H. Foerster, 2018)

Di Jepang pengolahan limbah botol plastik proses daur ulang memiliki porsi terbesar yaitu 85%. Metode pemanfaatan selain pembentukan kembali menjadi botol minuman, ada beberapa metode lain yang digunakan yaitu monomerisasi, gasifikasi, pencairan (Liquefaction) dan konversi menjadi energi. (Plastic Waste Management Institute, 2009)

Negara Jepang menerapkan pengelolaan plastik zero landfill dengan mereduksi bobot botol minuman dan lebih memilih melakukan proses insinerasi. Tentunya insinerasi

---

\*Corresponding Author:  
Email: gema.fitriyano@ftumj.ac.id

sudah ramah lingkungan karena gas buang tidak langsung dilepas akan tetapi diproses terlebih dahulu.

Amerika melakukan daur ulang botol PET sekitar 0,8 juta Ton pada 2016. Jumlah tersebut merupakan 30% dari keseluruhan produksi plastik daur ulang di Amerika. Resin PET baru yang diolah menjadi botol minuman pada tahun yang sama berjumlah 2,7 juta Ton. Data ini memperlihatkan bahwa Negara Amerika dalam satu tahun menghasilkan sekitar 3,5 juta Ton limbah botol minuman berbahan PET.

Proses daur ulang mengalami penurunan sebesar 1,7%, hal ini disebabkan karena rendahnya pertumbuhan ekonomi saat itu sehingga terjadi sedikit peningkatan pada penggunaan resin PET baru. Limbah botol PET dikelola menggunakan tempat sampah yang berbeda dengan sampah domestik lainnya sehingga pengumpulannya terdapat dengan baik.

Pada tahun 2016 terkumpul sebanyak 1,3 juta Ton, dimana 20% dari jumlah tersebut atau sekitar 0,26 juta Ton diekspor ke China dan Hongkong untuk di daur ulang menjadi botol kembali. Sisa dari limbah botol PET yang terkumpul diolah menjadi perkakas dengan fungsi lain seperti lembaran film, peralatan berkebun, ember dan suku cadang otomotif. (American Chemistry Council, 2017)

Indonesia merupakan Negara dengan konsumsi botol berbahan PET tertinggi ke-4 di Dunia. Setidaknya ada 20 perusahaan besar yang menjadi anggota Asosiasi Industri Minuman Ringan dan masih ada puluhan perusahaan minuman lainnya yang merupakan pengguna botol berbahan PET.

Berdasarkan data analisis tahun 2017-2023, diungkapkan bahwa potensi pertumbuhan permintaan PE di Indonesia meningkat sebesar 4,4%. Jumlah limbah botol bekas pakai berbahan PET sebagai salah satu produk PE juga akan ikut meningkat setiap tahunnya. (PT. Chandra Asri Petrochemical, 2017)

Ada banyak Negara yang menjadi pengguna botol minuman berbahan PET dimana saat ini masih berusaha melakukan penelitian dan pengembangan terkait pengelolaan dan pengolahan limbah botol bekas. Hal ini juga menjadi perhatian serius di Indonesia, dimana belum ada sistem yang mendukung terkait penelitian dan pengembangan dalam hal pengelolaan serta pengolahan limbah botol bekas.

Dikarenakan oleh karakteristiknya yang sulit terurai secara alami maka langkah - langkah mitigasi terhadap keberadaan limbah ini harus dimulai. Selain permasalahan di atas, sebenarnya limbah botol berbahan PET memiliki potensi ekonomi karena jumlah produk limbahnya yang sangat banyak.

Ada banyak metode dalam pemanfaatan limbah botol PET bekas yang telah diteliti diberbagai lembaga dalam maupun luar negeri. Studi ini bertujuan untuk menganalisis dan memilih metode paling potensial yang sesuai dengan kondisi penelitian dan industri di Indonesia.

Adapun metode penulisan karya ilmiah ini dilakukan berdasarkan kegiatan membuat ulasan data hasil penelitian yang terkait dan terbaru agar didapatkan sudut pandang

yang baru terhadap potensi dari limbah botol bekas berbahan PET yang tersedia saat ini.

## 2. Karakteristik

Botol berbahan PET lebih sering digunakan untuk wadah air mineral, minuman ringan, teh, saus dan minuman buah. Sebagai wadah, material ini tahan terhadap suhu panas antara 60 – 85 oC. selain itu juga memiliki ketahanan terhadap larutan asam, alkali dan alkohol.

Kelebihan PET sebagai botol minuman dibandingkan material lain adalah transparan, kuat, tahan terhadap minyak dan gas sehingga dapat terhindar dari perubahan aroma dan kontaminan lainnya. Hal tersebut berfungsi untuk menjaga minuman agar tetap awet selama masa penyimpanan. Botol PET didesain tahan terhadap kondisi lingkungan oleh karena itu material ini memiliki laju degradasi dan biodegradasi yang sangat lambat.

Cara lain dari proses degradasi PET adalah dengan metode pemanasan, akan tetapi cara ini memiliki dampak bahaya dimana proses menghasilkan gas beracun seperti karbon monoksida dan dioksin. Selain itu plastik yang dibakar juga akan melepaskan logam berat seperti kadmium dan timbal. (Sharon & Sharon, 2012)

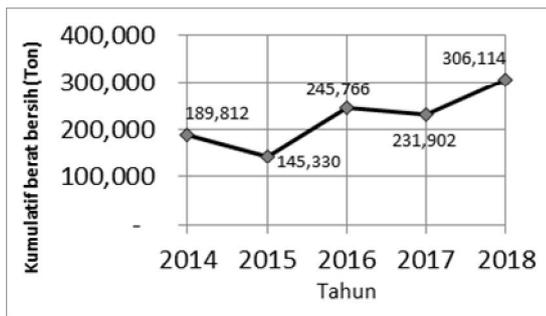
Pada aplikasinya botol PET bekas harus melewati penanganan awal secara fisik yaitu melalui proses pencucian, pencacahan dan penyortiran ukuran sampai menghasilkan cacahan PET yang memenuhi syarat untuk diolah pada proses daur ulang. Spesifikasi cacahan botol PET bekas yang dapat diproses daur ulang ditampilkan pada tabel di bawah ini. (Jankauskaitė, 2008).

**Tabel 1** Spesifikasi cacahan PET untuk daur ulang (Firas, 2005; Oromiehie, 2004)

Parameter	Nilai (Satuan)
Koefisien Viskositas [ $\eta$ ]	$> 0.7 \text{ dl} \cdot \text{g}^{-1}$
Suhu Lebur	$> 240 \text{ }^\circ\text{C}$
Kandungan air	$< 0.02 \%$ berat
Ukuran cacahan	$0.4 \text{ mm} < D < 8 \text{ mm}$
Kandungan pewarna	$< 10 \text{ ppm}$
Kandungan Logam	$< 3 \text{ ppm}$
Kandungan PVC	$< 50 \text{ ppm}$
Kandungan Poliolefin	$< 10 \text{ ppm}$

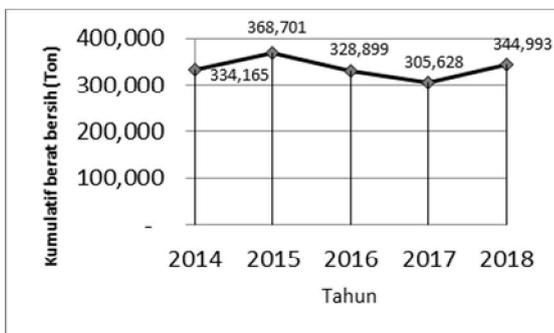
## 3. Data Statistik

Data impor bahan PET dalam segala bentuk sediaan yang masuk ke Indonesia dari 2014 hingga 2018 berdasarkan katalog BPS memperlihatkan kecenderungan peningkatan sebagaimana ditampilkan pada grafik berikut:



**Gambar 1** Grafik data impor PET dalam segala bentuk sediaan dari tahun 2014 hingga 2018 (Suhariyanto, 2019b)

Data ekspor bahan PET dalam segala bentuk sediaan dari Indonesia mulai 2014 hingga 2018 berdasarkan katalog BPS memperlihatkan jumlah fluktuatif diantara 300 ribu sampai 370 ribu ton sebagaimana ditampilkan pada grafik berikut :



**Gambar 2** Grafik data ekspor PET dalam segala bentuk sediaan dari tahun 2014 hingga 2018 (Suhariyanto, 2019a)

Berdasarkan penelusuran data dari Asosiasi daur ulang plastik Indonesia (ADUPI) terdapat 151 perusahaan yang menjadi anggota. Sebarannya mencakup pulau Jawa 134 perusahaan, pulau Kalimantan 7 perusahaan, Pulau Sumatra 5 perusahaan dan masing – masing 1 perusahaan di Papua, Maluku, Nusa Tenggara Timur dan Bali.

Perusahaan yang tergabung sebagai anggota ADUPI merupakan bagian dari mata rantai utama proses daur ulang plastik. Perusahaan tersebut bergerak baik sebagai pengepul, penggiling, penjual, pemroses atau bank sampah.

Pasar plastik daur ulang yang sebelumnya lebih besar di ekspor dari Indonesia ke China sekarang mulai beralih sebagian kecil ke Eropa.

Negara-Negara Uni Eropa mensyaratkan produsen plastik yang beroperasi mencampur bahan baku dengan produk daur ulang. Namun diharuskan jenis plastik daur ulang yang memiliki kualitas premium. Hanya sebagian kecil dari total anggota ADUPI yang sanggup menjadi eksportir dimana jumlahnya tidak mencapai 10 perusahaan.

Berdasarkan data Forum Lintas Asosiasi Industri Makanan dan Minuman (FLAIMM) produksi PET dalam negeri mencapai 449 ribu ton. Angka tersebut harusnya mampu mencukupi kebutuhan PET dalam negeri pada tahun 2018 sebesar 200 ribu ton. (Nurmayanti, 2018)

#### 4. Potensi Produk dari Botol Bekas

Berdasarkan karakteristiknya, material PET dapat dimungkinkan untuk menghasilkan banyak produk dengan fungsi yang spesifik. Produk yang berpotensi untuk dihasilkan dari bahan tersebut diantaranya botol daur ulang, beton, paving block, panel isolator, perkakas daur, peralatan dapur, monomer dan energi.

Sampai saat ini proses daur ulang PET menjadi botol kembali merupakan metode yang paling ekonomis. Hal ini dikarenakan harga resin PET baru yang cenderung stabil, sehingga produsen botol memilih lebih banyak komposisi cacahan botol PET bekas yang harganya lebih murah. (Al-Sabagh, 2016)

#### 5. Penelitian Terkini

Saat ini sudah banyak penelitian yang fokus dengan topik pemanfaatan limbah botol bekas berbahan PET. Penelitian terkait baik dari dalam maupun luar negeri dengan metode proses dan hasil analisis terbaru akan dibahas pada ulasan ini melalui studi literatur.

##### 5.1. Beton

Penelitian tentang pemanfaatan botol bekas menjadi beton sudah banyak dilakukan dengan tujuan mengurangi jumlah limbah. Pada tahun 2010 telah dilakukan penelitian terkait beton ringan menggunakan agregat ringan berbahan cacahan botol PET.

Produk beton ringan memiliki kandungan pecahan PET dari botol bekas sebesar 36% berat. Hasil analisis berat jenis & penyerapan air dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa produk masuk ke dalam kriteria standar beton ringan. (Pratikto, 2010)

Pada penelitian lain terkait produksi beton telah dilakukan variasi komposisi PET antara 0,5 sampai 6% dari berat total. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kekuatan beton optimum terdapat pada penambahan 2% PET. Kesimpulan dari penelitian itu menunjukkan bahwa penambahan PET akan menurunkan performa beton karena kurang baiknya ikatan antara PET & matriks semen. (Chowdhury, 2013)

Pada tahun 2017 telah dilakukan penelitian tentang studi kekuatan beton yang diperkuat serat PET. Dari variasi komposisi PET pada beton 0,5%, 1% dan 1,5% didapatkan hasil paling optimum dengan penambahan 1% PET. Dimana telah dilakukan uji kekuatan asam dan klorida pada sampel beton dan memperlihatkan hanya terjadi sedikit penetrasi terhadap beton. (Krishnamoorthy, 2017).

### 5.2. Panel Isolator

Penelitian tentang panel isolator mulai dilakukan belakangan ini untuk memberikan diversifikasi produk yang dimanfaatkan dari bahan baku limbah botol PET bekas.

Panel peredam panas dan suara yang diteliti di Brazil menggunakan cacahan PET sebagai kandungan produknya sebanyak 35%. Panel dalam penelitian tersebut dikombinasikan dengan bahan poliuretan (PU). PU digunakan sebagai bahan konstruksi agar dalam ruangan tidak mudah terjadi peningkatan suhu dan juga mengurangi kebisingan suara, selain itu juga mengurangi beban dan meminimalisir penggunaan energi.

Komposit komersil yang memenuhi standar Brazil adalah panel dengan komposisi 35% PET dan 45% alumina trihidrat (ATH). Nilai uji tekuk, ketahanan panas dan uji kedap suara digunakan sebagai acuan dalam penelitian tersebut.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa komposisi PET 35% dan Poliuretan 45% menghasilkan komposit yang memenuhi persyaratan standar uji kekuatan panel. Performa panel PU dengan tambahan PET masih kurang baik pada uji ketahanan api, masih dibutuhkan tambahan ATH agar produk memenuhi standar. (Marques, 2017)

Pada penelitian lain di Indonesia dilakukan pembentukan panel back splash yang berfungsi sebagai isolator yang terpasang di dinding dapur.

Tujuan dari penelitian tersebut agar dapat memberikan pilihan alternatif untuk mensubstitusi keramik dinding yang harganya lebih mahal. Selain itu panel back splash lebih mendekati konsep ramah lingkungan karena kandungannya 100% botol plastik PET bekas.

Hasil penelitian menampilkan data uji kekuatan yang masih belum memenuhi standard dimana hasil analisis produk dengan parameter uji *bending strength* sebesar 8,53 N/mm<sup>2</sup>.

*Panel back splash* yang didapatkan dari penelitian tersebut masih memiliki kekurangan yaitu terdapat lubang dan retak yang menyebabkan kekuatan uji *bending strength* dari produk lebih rendah jika dibandingkan dengan keramik dinding yang memiliki nilai >16 N/mm<sup>2</sup>.

Hasil analisis FTIR sampel dengan suhu 280oC dan waktu proses 50 menit menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan gugus fungsi dengan kata lain tidak terjadi dekomposisi terhadap struktur PET. (Fitriyano, 2018)

### 5.3. Depolimerisasi

Penelitian terkait depolimerisasi yang dilakukan pada 2008 bertujuan untuk menghasilkan dinatrium terephthalat yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan baku produksi asam tereftalat. Reaksi depolimerisasi PET ditampilkan pada Gambar 3.

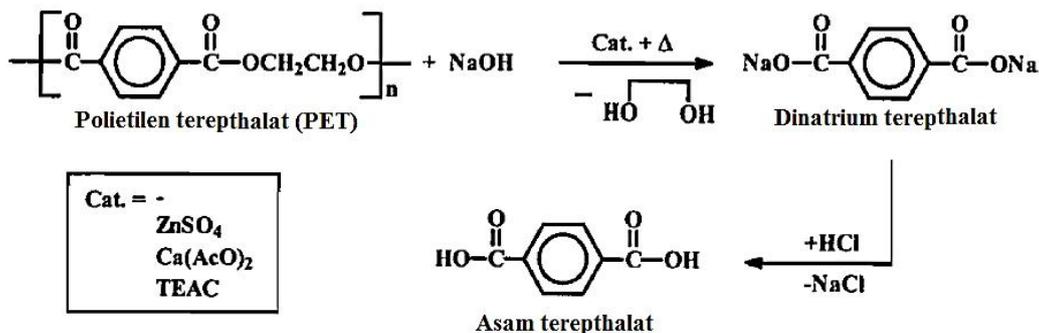
Metode yang digunakan diantaranya persiapan bahan melalui pencacahan botol PET sampai berukuran 0,4 cm<sup>2</sup>. Selanjutnya bahan dicuci dengan air distilasi dan metanol kemudian dikeringkan secara vakum pada suhu 40 oC selama 24 jam. 2 gram cacahan PET yang sudah dipreparasi direkasikan dengan 100 ml etanol dengan beberapa jenis variasi katalis digunakan pada beberapa percobaan. Dari reaksi transesterifikasi menunjukkan bahwa hasil optimum didapatkan yield 45,67% dengan waktu reaksi selama 120 jam serta katalis yang digunakan adalah kombinasi dari NaOH dan Tetraethylammonium Chloride (TEAC). (Abdelaal, 2008)

Pada penelitian lain di tahun 2014 dengan tujuan yang sama yaitu menghasilkan asam tereftalat dengan kondisi operasi yang berbeda. Pada penelitian tersebut reaksi dilakukan dengan bahan baku cacahan PET dan NaOH, didapatkan konversi 99% pada proses depolimerisasi dengan suhu 170 oC dan waktu 90 menit. (Abbas, 2014)

Penelitian tentang depolimerisasi dengan produk berbeda yaitu bis(hidroksietil) terftalat (BHET) telah dilakukan pada tahun 2012 dengan konversi optimum sebesar 55,95 %.

Reaksi depolimerisasi dengan bahan baku cacahan PET dan etilen glikol dilakukan pada suhu 197 oC selama 8 jam sambil dialirkan gas nitrogen.

Katalis kalium karbonat digunakan dengan rasio mol PET : katalis 28 : 1 sebagai kondisi optimumnya. (Mahmudah S. & Atmaja, 2012).

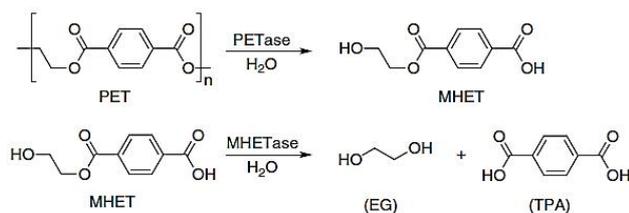


Gambar 3 Reaksi depolimerisasi PET menggunakan beberapa jenis katalis (Abdelaal, 2008)

Selain kedua proses di atas, proses depolimerisasi PET juga dapat dilakukan melalui metode hidrolisis dan aminolisis. Hidrolisis PET menggunakan bantuan air akan menghasilkan asam tereftalat dan etilen glikol. Sedangkan aminolisis PET menggunakan senyawa amina akan menghasilkan tereftalamida. (Jankauskaitė, 2016). Penelitian terbaru pada tahun 2019 menemukan dua jenis enzim bakteri yang mampu mendegradasi PET, proses degradasi tersebut berjalan secara spesifik dan dapat dijadikan pilihan solusi dari keberadaan limbah botol bekas berbahan PET.

Bakteri pertama dikenal dengan nama *Ideonella sakaiensis* PETase mampu merubah PET menjadi mono-(2-hydroxyethyl) terephthalate (MHET), bakteri kedua dikenal dengan MHETase bertugas menghidrolisis MHET menjadi bahan baku PET yaitu asam tereftalat (TPA) dan etilen glikol (EG).

Pada penelitian tersebut, fokus yang dilakukan masih pada pencarian kondisi operasi untuk membuktikan perubahan PET menjadi TPA dan EG, belum melakukan pencarian kondisi operasi optimum. Reaksi degradasi PET dengan kedua enzim tersebut ditampilkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Reaksi depolimerisasi PET menggunakan *Ideonella sakaiensis* PETase dan MHETase (Palm, 2019)

#### 5.4 Energi

Penelitian terkait konversi PET menjadi energi dilakukan melalui proses pirolisis pada suhu 200 oC sampai terdegradasi sempurna. Hasil proses didapatkan gas dan air yang bercampur minyak.

Pada penelitian yang dilakukan di tahun 2016 didapatkan informasi 1 kg dengan bahan baku botol plastik bekas (PET) dapat menghasilkan minyak dengan jumlah rata-rata 250 ml.

Minyak hasil proses pirolisis diuji menggunakan analisis standard bahan bakar diantaranya titik nyala dan emisi.

Dari hasil pengamatan pada penelitian tersebut, produk minyak yang dihasilkan memiliki spesifikasi mendekati solar dimana titik nyala pada 46,5 oC (titik nyala solar 40 – 100 oC).

Selanjutnya, dari uji emisi pada sepeda motor hasilnya menunjukkan bahwa kandungan CO, HC, CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang dimiliki masih aman digunakan karena masih berada dibawah ambang batas gas buang kendaraan bermotor. (Nurdianto, 2016)

Pada penelitian lain terkait konversi PET menjadi energi telah dilakukan pada tahun 2011, produk yang

difokuskan sama yaitu bahan bakar cair melalui proses pirolisis.

Penelitian tersebut dilakukan dengan bantuan katalis kalsium hidroksida pada rentang suhu antara 400 oC sampai 540 oC, didapatkan rendemen bahan bakar cair sebesar 14,5% dari total massa sampel cacahan PET.

Karakteristik bahan bakar cair dari hasil penelitian itu memiliki densitas 0,9 g/ml dengan warna bening kekuningan. (Sarker, 2011)

Pada penelitian lain dilakukan pengukuran kandungan energi pada beberapa jenis plastik diantaranya HDPE, PP, PET, PS, PVC. Hasil dari penelitian tersebut menampilkan jumlah kalori PET dari botol bekas merupakan yang tertinggi kandungan energinya dibandingkan jenis limbah plastik bekas lainnya. Nilainya sebesar 60 – 64 MJ/kg, nilai tersebut lebih rendah sekitar 25% dibandingkan energi yang terdapat pada biji plastik PET baru. (Mohamed, 2014)

Pada dasarnya nilai kalor yang dihasilkan plastik PET botol bekas lebih tinggi dibandingkan bahan bakar cair dimana bensin memiliki nilai kalor 44-46 MJ/kg dan solar sebesar 42-46 MJ/kg. (World Nuclear Association, 2018)

Nilai kalor botol bekas berbahan PET yang tinggi dapat memberi harapan akan tersedianya sumber bahan bakar alternatif sebagai panas pendorong turbin listrik, akan tetapi kendala dari pembakaran plastik PET memberikan dampak lingkungan dan jumlah limbahnya yang tidak menentu membuat penggunaan PET sebagai bahan bakar perlu dikaji lebih lanjut

## 6. Pembahasan dan Diskusi

Kesimpulan Berdasarkan perbandingan data impor dan ekspor di Indonesia dapat dilihat bahwa jumlah ekspor PET selalu lebih tinggi dari pada nilai impornya.

Impor PET dilakukan untuk menutupi kebutuhan domestik, selain itu impor PET dalam bentuk botol juga terjadi karena minuman siap saji sudah dikemas sebelumnya di Negara asal.

Nilai ekspor yang tinggi aktualnya didominasi oleh pellet PET dari botol bekas, hal ini disebabkan oleh belum banyaknya industri daur ulang botol bekas atau pemanfaatan cacahan PET.

Penelitian dan pengembangan produk turunan dari botol bekas berbahan PET telah mengalami perkembangan diantaranya beton, bahan kimia khusus, energi dan panel isolator. Namun masih terdapat hambatan dan kendala pada kondisi operasi dan formulasi sehingga masih belum dicapai produk yang optimum.

Pembahasan terkait kelebihan dan kelemahan dari masing-masing produk ditelaah lebih lanjut. Dimulai dari botol PET bekas yang dimanfaatkan sebagai agregat beton masih memiliki kekurangan dimana jumlah komposisi PET yang digunakan pada produk sangat sedikit yaitu antara 1 - 6 % berat total.

**Tabel 2.** Perbandingan metode pengolahan produk turunan PET

No	Produk turunan PET	Rentang kondisi operasi	Komposisi PET sebagai bahan baku	Kelebihan	Kelemahan
1	Beton	Waktu 24 jam	1 – 36%	Cocok untuk kriteria standar beton ringan	Kekuatan produk menurun & tahanan air meningkat
2	Panel Isolator	Suhu 260°C; waktu 50 menit	35 – 100%	Tidak terdegradasi, tidak melepas gas dioksin & logam berat	Belum ditemukan komposisi yang tepat agar didapatkan kekuatan panel yang sesuai standar
3	Turunan monomer	Suhu 170 °C; waktu 90 menit	100%	Nilai jual produk lebih tinggi	Rendemen 55,95%, terdegradasi, ada produk samping
4	Energi	Suhu 200 - 540°C; waktu 45 menit	100%	Nilai energi yang dihasilkan lebih tinggi dari bahan bakar minyak	Rendemen 14,5%, melepas gas dioksin & logam berat

Selain itu agregat PET pada beton dapat menurunkan performa karena kurang baiknya ikatan antara matriks semen dengan cacahan PET. Keberadaan PET mempengaruhi karakteristik dari beton diantaranya menurunkan densitas, meningkatkan ketahanan air dan meningkatkan kekakuan beton. (Sojobi, 2016)

Sisi positif dari pemanfaatan botol bekas PET untuk beton adalah produk masih memiliki karakteristik mendekati beton ringan, produk ini dapat dikategorikan sebagai beton struktural.

Pengembangan produk depolimerisasi masih belum mencapai kondisi optimum, hal ini dikarenakan yield untuk produk turunan dari metode ini masih rendah yaitu di bawah 60%.

Dengan bahan metode produksi yang tidak sederhana dan sulitnya menyediakan bahan baku membuat metode depolimerisasi PET kurang menarik untuk diaplikasikan pada skala industri dalam jangka pendek.

Sama seperti industri bahan kimia khusus, metode depolimerisasi harus mempunyai basis penelitian, pengembangan produk dan modal yang kuat untuk menyokong keberlangsungan aplikasi industrinya.

Konversi botol bekas berbahan PET menjadi energi dapat dipisahkan menjadi dua jenis produk. Produk pertama dalam bentuk bahan bakar minyak menggunakan metode pirolisis, dimana kelemahan dari metode produksinya terdapat pada rendahnya rendemen yang didapatkan.

Produk kedua adalah listrik, dimana botol PET bekas dibakar pada tungku untuk menghasilkan panas yang dipakai untuk menggerakkan generator. Kelemahan dari metode ini yaitu kecilnya nilai kalori yang dihasilkan dari pembakaran botol PET bekas, selain itu pelepasan polutan berbahaya seperti dioksin, logam berat, uap dan debu polimer menjadi masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan serius.

Panel isolator merupakan produk turunan dari botol PET bekas yang paling potensial untuk dikembangkan dalam jangka pendek. Kelebihan dari metode ini yaitu jumlah komposisi PET yang digunakan pada produk antara 35 - 100 % berat total, tidak menghasilkan produk samping dan polutan.

Kelemahan dari panel isolator adalah produk panel harus dikembangkan lagi agar panel yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan pasar terkait estetika desain serta memenuhi standar spesifikasi kekuatan bahan

## 7. Kesimpulan

Perkembangan penelitian tentang pemanfaatan botol bekas berbahan PET masih dapat terus berlanjut, hal ini dikarenakan masih banyaknya potensi penyempurnaan dari masing-masing produk turunan jika ingin diaplikasikan pada skala industri.

Berdasarkan beberapa pilihan produk turunan plastik PET dari botol bekas, yang sangat memungkinkan untuk dikembangkan dalam jangka pendek adalah panel isolator. Dibandingkan produk lainnya panel isolator memiliki metode produksi yang lebih sederhana.

Dibutuhkan riset lebih lanjut dan kajian lebih mendalam pada metode produksi dari masing-masing produk turunan PET. Penelitian yang saat ini sudah dicapai masih belum dapat diimplementasikan di industri karena beberapa kondisi diantaranya waktu proses yang lama, jumlah produk yang rendah, belum dicapainya kondisi optimum serta permasalahan polusi yang belum disiapkan penyelesaiannya secara simultan.

## Daftar Pustaka

- Abbas, A. S., 2014, Alkaline Depolymerization of Polyethylene Terephthalate Plastic Waste, *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 21(2), 1–8.
- Abdelaal, M. Y., Sobahi, T. R., & Makki, M. S. I., 2008, Chemical Degradation of Poly(Ethylene Terephthalate), *International Journal of Polymeric Materials*, 57, 73–80.
- Al-Sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Eshaq, G., Rabie, A. M., & ElMetwally, A. E., 2016, Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25, 53–64.
- American Chemistry Council, 2017, United States National Postconsumer Plastic Bottle Recycling Report.
- Chowdhury, S., Maniar, A. T., & Suganya, O., 2013, Polyethylene Terephthalate (PET) Waste as Building Solution, *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences*, 1(2), 308–312.
- Firas, A., & Dumitru, P., 2005, Recycling of PET, *European Polymer Journal*, 41(7), 1453 – 1698.
- Fitriyano, G., Susanty, Huseini, M. R., & Al'azzah, N. L., 2018, Pengaruh Waktu Cetak Terhadap Karakteristik Panel Back Splash dari Pemanfaatan Botol PET Bekas. In SEMRESTEK 2018 (pp. 433–439). Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Pancasila.
- Jankauskaitė, V., 2016, Recycled Polyethylene Terephthalate Waste for Different Application Solutions. *Environmental Research, Engineering and Management*, 5–7.
- Jankauskaitė, V., Macijauskas, G., & Iygaitis, R., 2008, Polyethylene Terephthalate Waste Recycling and Application Possibilities: a Review. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 14(2), 119–127.
- Karl-H. Foerster., 2018, *PlasticsEurope Annual Review 2017-2018*.
- Krishnamoorthy, M., Tensing, D., Sivaraja, M., & Krishnaraja, A. R., 2017, Durability Studies On Polyethylene Terephthalate (Pet) Fibre Reinforced Concrete, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(10), 634–640.
- Mahmudah S., R., & Atmaja, L., 2012, Pengaruh Konsentrasi Katalis Kalium Karbonat pada Proses Depolimerisasi Limbah Botol Plastik Polietilen Tereftalat (PET), *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 1(1), C4–C9.
- Marques, D. V., Barcelos, R. L., & Magnago, R. F., 2017, Reuse of post-consumer polyethylene terephthalate in the construction industry. In 6th International Workshop | Advances in Cleaner Production – Academic Work (p. 7). Sao Paolo.
- Mohamed, R. M. S. R., Wurochekke, A. A., Misbah, G. S., & Kassim, A. H. bin M., 2014, Energy Recovery from Polyethylene Terephthalate(PET) Recycling Process, *GSTF International Journal of Engineering Technology*, 2(4), 39–44.
- Nurdianto, P., Nugraheni, I. K., & Ivana, R. T., 2016, Pengujian Bahan Bakar Biofuel Hasil Pirolisis Botol Plastik Pada Sepeda Motor, *Jurnal Elemen*, 3(1), 1–6.
- Nurmayanti, 2018, Pengusaha Ungkap Sebab Masih Impor Bahan Baku Kemasan Plastik. diakses July 5, 2019, dari <https://www.liputan6.com/bisnis/read/3469698/pengusaha-ungkap-sebab-masih-impor-bahan-baku-kemasan-plastik>
- Oromiehie, A., & Mamizadeh, A., 2004, Recycling PET Beverage Bottles and Improving Properties, *Polymer International*, 53, 728 – 732.
- Palm, G. J., Reisky, L., Böttcher, D., Müller, H., Michels, E. A. P., Walczak, M. C., ... Weber, G., 2019, Structure of the plastic-degrading Ideonella sakaiensis MHETase bound to a substrate, *Nature Communications*, 10(1717), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-019-09326-3>
- Plastic Waste Management Institute, 2009, *An Introduction to Plastic Recycling*.
- Pratikto, 2010, Beton Ringan Ber-agregat Limbah Botol Plastik jenis PET (Poly Ethylene Terephthalate), *Poli Teknologi*, 9(1), 22–29.
- PT. Chandra Asri Petrochemical, 2017, Analyst Meeting. CILEGON.
- Sarker, M., Kabir, A., Rashid, M. M., Molla, M., & Mohammad, A. S. M. D., 2011, Waste Polyethylene Terephthalate (PETE-1) Conversion into Liquid Fuel, *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 1, 5.
- Sharon, C., & Sharon, M., 2012, Studies on Biodegradation of Polyethylene terephthalate: A synthetic polymer, *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 2(2), 248–257.
- Sojobi, A. O., Nwobodo, S. E., & Aladegboye, O. J., 2016, Recycling of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle wastes in bituminous asphaltic concrete, *Cogent Engineering*, 3, 28.
- Suhariyanto, 2019(a), Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri Ekspor 2018. Jakarta.
- Suhariyanto, 2019(b), Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri Impor 2018. Jakarta.
- World Nuclear Association, 2018, Heat Values of Various Fuels. In General sources NIST Chemistry WebBook (p. 1), London: World Nuclear Association.