



KARYA ILMIAH

SMA KOLESE DE BRITTO



Mengkaji Depolimerisasi PET Dalam Mengatasi Permasalahan PET

Ahsanazavdi Alaika Ahmad ^{a,1*}, Jefferson Dwijanto ^{b,2}, Stanislaus Salvestra Aringga ^{c,3}, Ignatius Agus Yulianto

^a SMA Kolese De Britto, Yogyakarta, Indonesia

¹17921@student.debritto.sch.id, 18000@student.debritto.sch.id, 18010@student.debritto.sch.id

*korespondensi penulis, 18000@student.debritto.sch.id

Informasi artikel

Kata kunci:

Depolimerisasi

Polyethylene terephthalate/PET

Mendaur Ulang

A B S T R A K

Polyethylene terephthalate merupakan salah satu jenis plastik yang kerap kali digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia sehari-hari. Berdasarkan laporan dari *United Nation Environment Programme* (UNEP), dinyatakan bahwa terdapat sejumlah 380 juta ton sampah plastik yang diproduksi setiap tahunnya, dan dengan jumlah sebesar 8 juta ton plastik yang terbuang ke laut, menyebabkan adanya potensi kerusakan ekosistem laut. Penelitian ini menggunakan metode depolimerisasi plastik PET, dimana para peneliti akan mengkaji lebih dalam untuk mengenal seberapa jauh penggunaan metode depolimerisasi dapat dikatakan sebagai solusi yang berkelanjutan dalam permasalahan plastik PET. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan dari metode depolimerisasi plastik PET, memberikan fokus penelitian terhadap bagaimana kita dapat menerapkan metode tersebut secara efisien atas perannya dalam mendaur ulang plastik yang terbuat dari *Polyethylene terephthalate*.

Keywords:

Depolymerization

Polyethylene terephthalate/PET

Recycle

A B S T R A C T

Polyethylene terephthalate is one of several kinds of plastic frequently used to fulfill our daily needs. According to the reports from the *United Nation Environment Programme* (UNEP), it is stated that an amount of 380 million tons of plastic waste is produced every year, with a number as large as 8 million tons of plastic waste being thrown into the ocean, causing the possibility of damaging the ocean's ecosystem. This research uses the method of the depolymerization of PET, where researchers will conduct further research to understand how far can the depolymerization method be defined as a sustainable solution towards the concerning problems regarding plastics made out of PET. This study also aims to evaluate the use of the depolymerization of PET, focusing mainly on how we may be able to use it in the most efficient manner as a part of its role to recycle plastics made out of *Polyethylene terephthalate*.

© 2024 (Ahsanazavdi Alaika Ahmad, dkk.). All Right Reserved

Pendahuluan

Plastik sudah menjadi bahan yang dipakai untuk untuk banyak barang-barang di kehidupan sehari-hari. Padahal, plastik diketahui memiliki dampak buruk. Pertama, plastik memiliki dampak buruk bagi lingkungan seperti di lingkungan perairan di mana hewan dapat makan plastik dan mati sebagai akibat. Kedua, produksi plastik sangatlah mahal, dan menghasilkan air limbah

yang sangat banyak. Ketiga, struktur molekuler PET Plastik yang diproduksi serta digunakan yang paling banyak adalah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) yang juga memiliki dampak buruk bagi lingkungan seperti menghasilkan Antimoni Trioksida (sebuah karsinogen) ketika sentuh dengan air, serta menghasilkan air limbah banyak; padahal plastik PET merupakan hampir seluruh botol plastik.

Walaupun terdapat beberapa cara untuk mendaur ulang produk plastik, pada *status quo* tidak digunakan secara skala besar maupun umum. Terlepas dari itu, proses mendaur ulang produk plastik masih merupakan *mechanical recycling*, dimana setelah mendaur ulang plastik tersebut mengalami degradasi. Serta, perilaku masyarakat sekarang lebih memilih untuk menggunakan plastik *single-use* karena kemudahan untuk sekali pakai dan langsung buang.

Oleh karena itu, sangat urgen untuk mencari solusi efektif untuk setidaknya mengurangi produksi plastik, terutama plastik PET untuk setidaknya mengurangi limbah air yang dihasilkan oleh produksi PET.

Rumusan Masalah:

- Sejauh mana metode depolimerisasi PET dapat dianggap sebagai solusi berkelanjutan dalam mengatasi masalah sampah plastik?
- Apakah proses depolimerisasi PET dapat menghasilkan hasil daur ulang plastik secara efisien?

Tujuan penelitian:

- Mengetahui sejauh mana metode depolimerisasi PET dapat dianggap sebagai solusi yang berkelanjutan dalam mengatasi masalah botol plastik melalui produk yang dihasilkan dan dibutuhkan dalam metode.
- Menganalisa proses depolimerisasi PET dapat diterapkan untuk mendaur ulang plastik PET secara efisien.

Manfaat penelitian:

Bagi tim peneliti

- Semakin mengetahui metode dan pelaksanaan degradasi PET,
- Semakin mengetahui sifat kimia dan fisika PET dan hubungan PET dengan lingkungan.

Bagi pembaca

- Membantu pihak pemerintah daerah untuk membuat inisiatif untuk mengurai plastik PET
- Dapat memberikan wawasan tentang cara mengurai mikroplastik PET dengan biaya yang efektif bagi orang awam.

Kajian Literatur

Plastik merupakan suatu bahan yang terbuat dari polimer dan bisa dipanggil sebagai material polymeric yang berarti terdiri atas Polimer. Polimer sendiri adalah molekul besar yang terdiri dari rantai monomer, yaitu molekul kecil yang dapat berikatan untuk membentuk struktur yang lebih kompleks.

Salah satu jenis plastik yang ada merupakan PET atau Polyethylene terephthalate merupakan jenis polimer plastik berupa termoplastik. Polimer PET Terbentuk dari dua monomer yaitu etilen glycol (EG) dan asam tereftalat (TPA) dengan rumus umum $(C_{10}H_8O_4)_n$.

Dalam upaya untuk menguraikan PET dan mendaur ulangnya, dibutuhkan proses depolimerisasi. Depolimerisasi merupakan segala proses yang memecah kembali suatu polimer kembali ke monomer-monomer pembentuknya.

Metode

Metode penelitian yang digunakan peneliti dalam penelitian ini merupakan metode penelitian gabungan antara Kuantitatif dan kualitatif. Metode penelitian dilaksanakan dengan mempraktekkan eksperimen depolimerisasi pada PET. Eksperimen ini dilaksanakan melalui prosedur berikut :

- 1.) Kumpulkan plastik PET
- 2.) Potong plastik PET menjadi berkeping-keping
- 3.) Kepingan plastik PET dicuci
- 4.) Kepingan plastik PET dimasukan ke panci logam
- 5.) NaOH dengan rasio massa $\frac{3}{4}$ dari massa kepingan plastik dimasukan ke dalam panci logam
- 6.) 300 ml atau lebih ethylene glycol ditambahkan ke dalam panci logam
- 7.) Panci logam dipanaskan dengan suhu stabil 180 derajat celcius selama 30-60 menit
- 8.) Setelah memenuhi periode waktu yang ditentukan, diamkan selama beberapa waktu agar suhu pada panci menurun dan sepadan dengan suhu ruangan.
- 9.) Tambahkan air dengan volume 200 mL ke dalam larutan, lalu tambahkan sejumlah 50 mL - 100 mL H_2SO_4 ke dalam larutan.
- 10.) Tuangkanlah larutan yang ada di dalam panci logam ke saringan yang telah dilapisi oleh gombal

- 11.) Remaslah lap gombal hingga tidak ada cairan yang tersisa dan hanya menyisakan hasil padat

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa metode yaitu :

- Pengukuran suhu
- Pengukuran massa
- Pengukuran pH
- Observasi
- Studi literatur

pengolahan data tersebut dilakukan untuk 3 rangka. pertama, mengidentifikasi kehadiran PET melalui pengukuran pH dan observasi. kedua, mengetahui PET yang terbentuk dari penguraian plastik melalui perubahan massa. ketiga, menganalisis reaksi yang terjadi selama proses eksperimen dengan mendeskripsikan hasil observasi.

Bagian metode berisi uraian bagaimana penelitian dilaksanakan. Metode dikemukakan dengan jelas, cukup, tetapi ringkas. Dapat memuat langkah-langkah atau prosedur yang dilakukan dalam pengumpulan data maupun teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian. Metode dapat juga berupa cara untuk menyelesaikan permasalahan dalam artikel.

Hasil dan pembahasan

Selama eksperimen, terdapat uap yang keluar terus menerus. Hal tersebut menunjukkan penguapan solvenya. Ini tidak berpengaruh pada hasil. Setelah beberapa menit, larutannya menjadi putih dan mulai bergelembung. Selain itu, potongan plastik mulai mengecil, bahkan terdapat yang hilang. Hal tersebut menunjukkan adanya reaksi antara plastik PET, dan karena yang diobservasikan peneliti adalah bahwa awan-awan bubuk putih mulai terbentuk, peneliti menyimpulkan bahwa PET mulai terpecah menjadi sodium terephthalate dan EG. Ini didukung oleh penelitian sebelumnya, di mana ketika dipanaskan, PET mulai menghilang dan membentuk dua lapisan: lapisan bubuk putih yang di bawah dan lapisan transparan yang di atas. Seiring berjalannya waktu, dari menit ke-5 sampai menit ke-30, proses ini terjadi terus menerus di mana bubuk putih terbentuk dan potongan plastik semakin menghilang. Mulai menit ke-15, terdapat beberapa letusan-letusan kecil. Hal ini tidak terjadi dalam penelitian

terdahulu. Para peneliti curiga bahwa hal ini terjadi karena eksperimennya ditahan pada suhu 180, yang sangat dekat pada suhu penguapan EG. Uap EG mudah terbakar, dan terdapat kemungkinan ketika uap EG keluar terkena spark yang dari kompor, yang mengakibatkan terdapatnya letusan kecil-kecil. Namun tidak terjadi kehilangan massa karena letusan tersebut kena penutup kaca panci, lalu kembali lagi ke larutan. Jika dilihat, yang meletus adalah beberapa porsi dari larutan, yang berarti yang meletus adalah bagian transparan sama bagian bubuk. Setelah pemanasan selesai, dapat terlihat terdapat awan-awan bubuk putih yang mengapung di atas. Hal ini konsisten dengan penelitian terdahulu, dimana terdapat lapisan bubuk putih dan lapisan cairan. Penelitian terdahulu menyatakan bahwa bubuk tersebut merupakan sodium terephthalate. Untuk menguji apakah bubuk yang didapatkan peneliti merupakan sodium terephthalate, peneliti pertama menggunakan kertas litmus. Kertas lakmusnya menjadi biru, yang menunjukkan bubuknya basa. Hal ini serupa dengan sifat sodium terephthalate. Lalu, sodium terephthalate, seharusnya dapat terlarut dalam air, maka peneliti menguji apakah bubuknya dapat terlarut. Hasilnya adalah bubuknya dapat terlarut. Dua faktor ini menunjukkan kemungkinan besar bahwa bubuknya merupakan sodium terephthalate. Setelah didinginkan, warnanya tidak berubah.

Dari indikator yang sudah dijelaskan sebelumnya, seperti pH dan solubilitas bubuk yang didapatkan, serta perubahan-perubahan (seperti warna) yang dialami, hasil yang peneliti dapatkan dari eksperimen sangat mirip dan hampir sama dengan penelitian terdahulu. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil yang ditemukan para peneliti adalah bahwa plastik PET dapat diuraikan menjadi sodium terephthalate dan setelah ditambah H₂SO₄ bereaksi menjadi TPA. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun tidak menggunakan alat-alat canggih yang mampu mengendalikan semua variabel yang tidak diinginkan (seperti fume hood yang mampu menyerap uap EG yang mudah terbakar) plastik mampu depolimerisasi secara efektif, karena setelah reaksi semua plastik sudah teruraikan.

Proses

Proses depolimerisasi PET menjadi TPA dan EG melalui hidrolisis ester dimulai dengan

pemutusan NaOH dalam etilen glikol (EG), yang memungkinkan ion OH terbentuk sebagai nukleofil. OH menyerang ikatan ester antara TPA dan EG, membentuk molekul antara tetrahedral. Reaksi ini menyebabkan pemutusan ikatan ester dan pembentukan TPA dan EG. Proses ini juga melibatkan deprotonasi, di mana proton dipindahkan ke kelompok EG, menghasilkan etilen glikol. Setelah pemutusan ikatan ester, Na dari NaOH mengikat COO negatif untuk membentuk disodium terephthalate, yang kemudian diubah menjadi TPA melalui asidifikasi menggunakan H₂SO₄. TPA yang terbentuk berupa padatan lembek yang tidak larut dalam air.

A. Penghitungan Mol

Terephthalic Acid : C₈H₆O₄

Polyethylene Terephthalate : C₁₀H₈O₄

Ethylene Glycol : C₂H₆O₂

Disodium Terephthalate : C₈H₄Na₂O₄

Asam Sulfat : H₂SO₄

Natrium Hidroksida : NaOH

Polyethylene Terephthalate + Natrium

Hidroksida

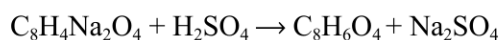


C₂H₆O₂

$$C_{10}H_8O_4 = 12/192 \text{ gram} = 0,0625 \text{ mol}$$

$$C_8H_4Na_2O_4 = 13,125 \text{ gram}$$

Disodium Terephthalate + Asam Sulfat



$$C_8H_4Na_2O_4 = 13,125/210 = 0,0625 \text{ mol}$$

$$C_8H_6O_4 = 166 \times 0,0625 = 10,375 \text{ gram}$$

Kandungan TPA(Terephthalic Acid)

$$10,3/12 \times 100\% = 85,833\%$$

Kontaminan = 14,166 %

Produk

Dari proses depolimerisasi pada PET ini, didapatkan produk TPA yaitu bahan dasar dalam pembuatan plastik. Bahan dasar TPA menjadi bahan yang lebih baik dalam pembuatan produk baru daripada membentuk kembali plastik seperti yang biasanya digunakan perusahaan. Hal ini disebabkan oleh:

a.) Kemurnian

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa proses depolimerisasi PET pada botol plastik berhasil menguraikan plastik sepenuhnya (kehilangan massa 100%) dan menghasilkan TPA dengan kadar tinggi (85,833%). Proses ini efektif karena dapat mempertahankan kemurnian plastik, menghindari perubahan struktur kimia yang dapat menimbulkan kontaminasi. Depolimerisasi menguraikan plastik kembali ke bahan dasarnya yang murni, memastikan produk akhir memiliki sifat fisik yang seragam dan dapat diprediksi, seperti kekuatan dan fleksibilitas. Sebaliknya, proses daur ulang fisik seringkali mengandung kontaminan dari plastik lain atau bahan tambahan, yang dapat mempengaruhi kualitas produk akhir.

b.) Fleksibilitas dalam desain

Menggunakan TPA sebagai bahan utama memungkinkan produsen untuk lebih mudah mengubah karakteristik dan desain produk, mirip dengan pembuatan plastik baru, namun dengan bahan yang berasal dari penguraian PET. TPA murni memberikan kualitas estetika yang lebih tinggi, seperti warna, kejernihan, dan tekstur yang baik. Plastik dari TPA dapat dibentuk dengan tepi tajam, permukaan halus, dan pewarnaan seragam, sementara pembentukan ulang plastik bekas terbatas pada sifat plastik tersebut.

c.) Limbah produk

Limbah dari proses depolimerisasi PET, seperti TPA dan EG, tidak menjadi masalah besar bagi lingkungan karena dapat digunakan kembali. Uap yang dihasilkan dapat dikendalikan dengan sistem tertutup, sementara limbah kimia seperti Na₂SO₄ dianggap sebagai kontaminan.

Meskipun ada kontaminan, jumlahnya relatif sedikit dan dapat diminimalkan dibandingkan dengan metode lain.

d.) Ketersediaan

Proses depolimerisasi PET mudah dilaksanakan karena bahan-bahannya terjangkau dan tersedia di toko lokal. Hasil produk EG dapat digunakan kembali sebagai pelarut, sehingga tidak perlu dibeli lagi. Proses ini dapat dilakukan di ruang terbuka, tanpa membutuhkan lingkungan lab tertutup. Skalabilitasnya juga memungkinkan untuk dilakukan dalam skala besar, karena bahan dan alat yang digunakan mudah didapat. Meskipun memiliki banyak keuntungan, proses depolimerisasi ini belum sepenuhnya ramah lingkungan.

keterbatasan metode

- Menghasilkan limbah yang toxic bagi manusia.

Metode hidrolisis seperti yang di dalam penelitian ini membutuhkan ethylene glycol, yang merupakan bahan yang jika dikonsumsi atau dipapar sama manusia dapat membahayakan kesehatan. Selain itu, TPA juga dapat mengiritasi mata dan kulit jika sentuh dengan TPA. Menggunakan zat-zat kimia yang tidak umum sebagai reaktan atau bahaya

- Menggunakan zat-zat kimia yang tidak umum sebagai reaktan atau bahaya bagi lingkungan

Ethylene glycol, yang dibutuhkan dalam proses ini, sulit ditemukan dan tidak umum digunakan. Selain itu, basa kuat (NaOH) dan asam kuat (H₂SO₄) yang digunakan harus dibuang dengan benar untuk mencegah pencemaran lingkungan. Penggunaan katalis seperti metal acetate dan deep eutectic solvents juga sulit didapat dan mahal. Oleh karena itu, dalam skala besar, perlu dipikirkan cara pengelolaan dan pembuangan bahan-bahan tersebut agar tidak mencemari lingkungan.




- Potensi untuk kontaminan yang mengganggu proses dan hasil depolimerisasi

Metode penelitian ini menggunakan bahan non-lab grade dan eksperimen dilakukan di luar kondisi laboratorium, sehingga ada potensi kontaminan dari bahan, alat, atau lingkungan. Selain itu, botol plastik PET sering mengandung pewarna dan bahan tambahan yang dapat memengaruhi kemurnian hasil akhir.

- Hanya dapat menguraikan PET

Proses yang dilakukan dalam penelitian ini hanya efektif untuk PET, karena struktur kimia dan zat pembentuknya mendukung perpecahan polimer tersebut. Plastik jenis lain memerlukan metode berbeda yang sesuai dengan struktur kimia mereka.

Tabel 1. Tabel Pengamatan Proses

Waktu	Data	
	Pengamatan	Suhu
sebelum pemanasan		0°C
Menit pertama		60°C
Menit ke-5		175°C

Menit ke-10 180°C



Menit ke-15 180°C



Menit ke-30 180°C



Setelah pemanasan 100°C

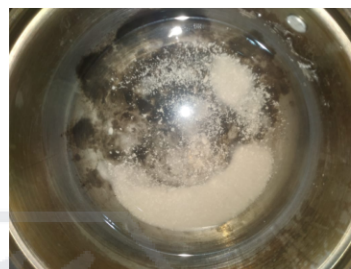


^a Pengamatan proses depolimerisasi pada PET dalam rentang waktu 30 menit menghasilkan penguraian plastik menjadi bubuk sodium terephthalate

Gambar 1. Produk akhir sodium terephthalate



Gambar 2. Proses pelarutan sodium terephthalate di air



Gambar 3. Sodium terephthalate larut sepenuhnya di air



Tabel 1. Tabel Pengidentifikasian Produk

Suhu awal	Suhu akhir	Asam/Basa
29°C	30°C	Asam

Simpulan

Metode depolimerisasi pada PET ini dapat membantu mengurangi pembuatan produk-produk plastik berbasis PET namun metode ini masih juga terbatas pada sampah botol plastik yang biasanya terbuat dari plastik PET. selain itu, proses ini juga tidak menghilangkan plastik namun mendaur ulangnya maka dari itu bahan-bahan kimia yang toxic masih dipakai di dalam proses ini. Proses depolimerisasi ini, juga terbukti efektif dengan hilangnya 100% massa plastik dan terbentuknya larutan TPA yang memiliki kemurnian 85,833%. Namun dilihat dari hasil ini, proses depolimerisasi ini masih bisa dikembangkan lagi karena adanya kandungan kontaminan pada hasil daur ulang PET.

Ucapan terima kasih

Pelaksanaan dan pembentukan karya ilmiah ini tentu tidak dapat dilakukan tanpa adanya bantuan. Oleh karena itu, ucapan terima kasih kami haturkan kepada:

1. **Ignasius Agus Yulianto, S.Pd., M.Pd.,** selaku guru pendamping penulisan karya

ilmiah yang telah memberikan kami arahan dan bimbingan dalam pengerjaan Karya Ilmiah ini.

2. **Nova Tri Utomo, S.Pd, Damas Puji, S.Fk, Parmamita Suryaningrum, M.Pd.**, atas kesempatan yang diberikan kepada kami untuk dapat berpartisipasi dalam pembuatan Karya Ilmiah ini.
3. **R. Arifin Nugroho S.Si.,M.Pd.**, selaku guru penguji kami yang telah meluangkan waktu serta tenaganya untuk memberikan penilaian dan pengujian atas Karya Ilmiah yang telah kami lakukan.
4. **Orang tua**, karena telah memberikan dukungan berupa doa dan dana yang kami gunakan untuk keperluan penelitian kami.

Referensi Jurnal

- Aguado, A., Becerra, L., & Martínez, L. (2023). Glycolysis optimisation of different complex PET waste with recovery and reuse of ethylene glycol. *Chemical Papers*, 77(6), 3293-3303.
- Arikunto. (2006). *Prosedur Penelitian: Suatu Pengantar Praktik*. Rineka Cipta.
- Basu, P. (2018). *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory*. Academic Press.
- Enache, A., Grecu, I., & Samoila, P. (2024). Polyethylene Terephthalate (PET) Recycled by Catalytic Glycolysis: A Bridge toward Circular Economy Principles. *Materials*, 17(12), 2991. <https://doi.org/10.3390/ma17122991>
- Issac, M. N., & Kandasubramanian, B. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19544–19562. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2>
- Maqsood, T., Dai, J., Zhang, Y., Guang, M., & Li, B. (2021). Pyrolysis of plastic species: A review of resources and products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 159, 105295.
- Margono. (2004). *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Rineka Cipta.
- Qureshi, M. S., Oasmaa, A., Pihkola, H., Deviatkin, I., Tenhunen, A., Mannila, J., Minkkinen, H., Pohjakallio, M., & Laine-Ylijoki, J. (2020). Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 152, 104804. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104804>
- Sugiyono. (2005). *Memahami Penelitian Kualitatif*. Alfabeta.
- Xin, J., Zhang, Q., Huang, J., Huang, R., Jaffery, Q. Z., Yan, D., ... & Lu, X. (2021). Progress in the catalytic glycolysis of polyethylene terephthalate. *Journal of Environmental Management*, 296, 113267.
- Zhang, Y., Sun, Y., Wang, Z., & Zhang, J. (n.d.). Degradation of terephthalic acid by a newly isolated strain of *Arthrobacter sp.*0574. https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0038-23532013000400020#:~:text=Terephthalic%20acid%20is%20an%20important,methods%20are%20complex%20and%20expensive