

DEGRADASI POLIETILEN TEREFTALAT DENGAN RADIASI SINAR MATAHARI DAN METANOLISIS

Mutista Hafshah¹ dan Titin Kartin²

¹) Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang

²) Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Jenderal Soedirman

¹) Jl. Walisongo No.3-5, Tambakaji, Kec. Ngaliyan, Kota Semarang, Jawa Tengah 50185

²) Jl. DR. Soeparno No.61, Karang Bawang, Karangwangkal, Kec. Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53122

E-mail: mutista.hafshah@walisongo.ac.id

Received : 1 Maret 2021; revised : 2 Juni 2021; accepted : 9 Juli 2021

ABSTRAK

Degradasi Polietilen Tereftalat Dengan Radiasi Sinar Matahari Dan Metanolisis. Telah dilakukan penelitian mengenai degradasi polietilen tereftalat (PET) menjadi dibenzil tereftalat. Degradasi polietilen tereftalat (PET) pada penelitian ini didahului dengan pemanasan sampel limbah botol PET di bawah sinar matahari kemudian dilanjutkan secara metanolisis dengan katalis seng asetat. Degradasi dengan sinar matahari dilakukan dengan cara menjemur botol plastik di bawah sinar matahari selama 0, 30, dan 60 hari. Botol plastik kemudian dipotong-potong ukuran 2x2 mm. Degradasi kemudian dilanjutkan secara metanolisis menggunakan pelarut benzil alkohol dan seng asetat sebagai katalis. Katalis seng asetat yang digunakan divariasikan sebanyak 0; 0,3; 0,6; dan 0,9 g. Degradasi metanolisis dilakukan secara refluks pada suhu 145-150 °C. Produk hasil degradasi dikarakterisasi titik leleh dan gugus fungsinya dengan spektrum FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan di bawah sinar matahari selama 0, 30 dan 60 hari tidak dapat mendepolimerisasi PET yang dibuktikan dengan data titik leleh dari masing-masing sampel limbah plastik PET yang masih sama dengan rentang titik leleh PET yaitu 250-260 °C. Depolimerisasi PET dengan radiasi sinar matahari yang dilanjutkan dengan metanolisis menghasilkan produk akhir berupa dibenzil tereftalat. Adapun variasi jumlah katalis seng asetat pada tahap metanolisis tidak mempengaruhi produk akhir yang terbentuk.

Kata kunci : Polietilen tereftalat (PET), degradasi, radiasi sinar matahari, seng asetat, metanolisis

ABSTRACT

Polyethylene Terephthalate Degradation By Sun Radiation And Methanol. Research has been carried out on the degradation of polyethylene terephthalate (PET) to dibenzyl terephthalate. Degradation of polyethylene terephthalate (PET) in this study was preceded by heating the PET bottle waste sample in the sun then followed by methanolysis with zinc acetate catalyst. Degradation by sunlight is done by exposing plastic bottles to the sun for 0, 30, and 60 days. The plastic bottle is then cut into 2x2 mm sizes. The degradation was then continued by methanolysis using benzyl alcohol and zinc acetate as a catalyst. The zinc acetate catalyst used was varied as much as 0; 0.3; 0.6; and 0.9 g. Degradation of methanolysis was carried out by reflux at a temperature of 145-150 °C. The products of degradation were characterized by their melting point and functional groups using FTIR spectrum. The results showed that heating under the sun for 0, 30 and 60 days could not depolymerize PET as evidenced by the melting point data of each sample of PET plastic waste which was still the same as the PET melting point range of 250-260 °C. Depolymerization of PET with solar radiation followed by methanolysis produces the final product in the form of dibenzyl terephthalate. The variations in the amount of zinc acetate catalyst at the methanolysis stage did not affect the final product formed

Key words : Polyethylene terephthalate (PET), degradation, solar radiation, zinc acetate, methanolysis.

PENDAHULUAN

Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa total sampah Indonesia tahun 2019 mencapai 68 juta ton dengan jumlah sampah plastik sebesar 9,52 juta ton (Purwaningrum, 2016). Plastik yang

digunakan saat ini merupakan polimer sintesis yang terbuat dari minyak bumi (*non-renewable*) sehingga sulit terdegradasi secara biologis oleh mikroorganisme di lingkungan (Thiounn & Smith, 2020). Penggunaan plastik secara masif

menyebabkan penumpukan sampah plastik yang menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan dan menjadi penyumbang limbah terbesar yang tereftalat (PET). Limbah PET menyumbang 8% berat dari 12% volume limbah padat dunia dan hanya sedikit limbah PET yang didaur ulang (Han, M., 2019). Oleh karena itu, perlu inovasi penanganan limbah PET. PET yang terdapat di permukaan akan terpapar sinar matahari langsung dalam kurun waktu yang cukup lama, untuk itu perlu dikaji terkait pengaruh paparan radiasi sinar matahari langsung terhadap degradasi PET secara metanolisis.

Degradasi PET dapat dilakukan melalui depolimerisasi. Menurut Schyns & Shaver (2021) depolimerisasi PET dapat melalui 4 cara, yaitu: 1) depolimerisasi *in-plant* dari potongan-potongan material yang telah diketahui penggunaan sebelumnya, 2) depolimerisasi mekanik, 3) depolimerisasi kimiawi, dan 4) depolimerisasi dengan teknik *recovery* energi melalui pengabuan. Metode depolimerisasi secara biologi tidak dapat dilakukan terhadap PET karena PET merupakan plastik yang tidak dapat terdegradasi, Pilihan yang digunakan adalah depolimerisasi secara kimiawi.

Depolimerisasi kimiawi dilakukan untuk membentuk kembali bahan aslinya yaitu monomer (Khoonkari et al., 2015). Beberapa proses depolimerisasi secara kimiawi yang dikenal adalah dengan metode solvolisis seperti hidrolisis, alkoholisis, glikolisis, aminolisis dan amonolisis. Metode-metode solvolisis tersebut bergantung pada agen pendepolimerisasi dan kondisi reaksi (Han, M., 2019). Salah satu metode solvolisis untuk depolimerisasi PET yang prosesnya sederhana dan dapat dilakukan secara konvensional adalah metanolisis menggunakan benzil alkohol. Proses solvolisis memerlukan katalis. Katalis yang secara luas dipakai dalam proses solvolisis adalah empat logam asetat yaitu kobalt asetat, timah asetat, seng asetat, dan mangan asetat. Katalis-katalis tersebut dikenal sebagai katalis yang efektif pada reaksi transesterifikasi (Shojaei et al., 2020). Dari empat katalis tersebut, seng asetat merupakan katalis yang dikenal paling efektif (Ovalle-Sánchez et al., 2017). Katalis seng asetat paling efektif karena memiliki aktifitas yang tinggi. Hal ini terjadi karena terbentuknya ikatan yang kuat antara Zn dengan oksigen pada karbonil (Pham & Cho, 2021).

Penelitian yang dilakukan melibatkan limbah PET yang diperoleh dari botol minuman bekas sebagai bahan dasar yang akan didaur ulang. Metode depolimerisasi yang digunakan adalah depolimerisasi secara kimiawi menggunakan pelarut benzil alkohol dengan katalis seng asetat sebagai garam logamnya (Hofmann et al., 2020) yang dimodifikasi dengan perlakuan awal berupa penjemuran botol bekas di bawah sinar matahari langsung dengan durasi

dapat merusak lingkungan dan keseimbangan alam (Nasution, 2015). Salah satu jenis plastik yang banyak digunakan adalah plastik polietilena waktu yang divariasikan sehingga akan diketahui pengaruh perlakuan tersebut terhadap proses degradasi PET. Karakterisasi dari hasil depolimerisasi tersebut diamati melalui perubahan titik leleh dan pengamatan gugus fungsi menggunakan FT-IR.

Riset modifikasi depolimerisasi PET secara metanolisis ini dapat melihat pengaruh dari paparan sinar matahari langsung dalam kurun waktu tertentu terhadap perubahan PET. Selain itu, pengaruh dari penambahan katalis seng asetat yang divariasikan pada proses metanolisis juga dapat diamati. Pengamatan hasil depolimerisasi dapat dilakukan melalui perbandingan titik leleh dan perubahan gugus fungsi yang diamati dengan spektrum IR.

Informasi dari riset ini diharapkan dapat berkontribusi dalam menambah wawasan dan pengetahuan terkait pengembangan metode degradasi dan daur ulang PET yang masih menjadi permasalahan lingkungan hingga saat ini.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di laboratorium kimia Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto, Jawa Tengah.

Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah plastik PET dari botol bekas air mineral, benzil alkohol, seng asetat, metanol, dan aquades.

Alat

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian antara lain alat-alat gelas, *freezer*, seperangkat alat refluks, termometer, kertas saring, timbangan digital (Ohaus), corong Buchner, *hot plate-stirer* (Cimarec), *magnetic stirer*, pipa kapiler, alat pengukur titik leleh (Stuart Scientific), dan FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) (Perkin Elmer).

Metode

Preparasi sampel limbah PET

Limbah PET dari botol air mineral bekas dicuci dan dibersihkan dari pengotor dengan aquades.

Degradasi PET menggunakan radiasi sinar matahari

Limbah PET dijemur di bawah sinar matahari dengan variasi waktu penjemuran selama 0 (kontrol), 30, dan 60 hari, selanjutnya limbah PET yang telah dijemur masing-masing dipotong kecil dengan ukuran sekitar 2x2 mm.

Degradasi PET secara metanolisis (Hofmann et al., 2020)

Sampel limbah PET ditimbang sebanyak 3 gram (g), kemudian dimasukkan ke dalam labu alas bulat 500 mL yang telah berisi 30 mL benzil alkohol dan katalis seng asetat yang divariasikan jumlahnya yaitu 0; 0,3; 0,6; dan 0,9 g untuk masing-masing sampel. Sampel direfluks selama 24 jam pada suhu 145-150 °C. Hasil refluks dicuci dengan akuades 60 mL dan dimurnikan dengan metode rekristalisasi menggunakan metanol sampai diperoleh kristal produk degradasi yang murni.

Karakterisasi produk degradasi

Karakterisasi produk hasil degradasi dilakukan dengan uji titik leleh menggunakan alat pengukur titik leleh (*melting point*) dan melihat profil gugus fungsinya menggunakan FT-IR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Degradasi PET

Degradasi PET menggunakan radiasi sinar matahari dilakukan dengan cara sampel limbah PET yang telah dipreparasi, dijemur di bawah sinar matahari langsung. Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu penjemuran yaitu selama 0 (kontrol), 30, dan 60 hari. Berdasarkan pengamatan terdapat perbedaan warna lebih kusam pada sampel limbah PET yang telah mengalami degradasi menggunakan radiasi sinar matahari. Masing-masing sampel limbah PET yang telah didegradasi menggunakan radiasi sinar matahari selanjutnya dipotong dengan ukuran 2x2 mm.

Degradasi PET secara metanolisis dilakukan dengan metode refluks menggunakan benzil alkohol sebagai pelarut dan seng asetat sebagai katalis. Benzil alkohol dipilih sebagai pelarut karena titik didih benzil alkohol yang tinggi yaitu sebesar 205 °C. Benzil alkohol yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 30 mL, sedangkan katalis seng asetat yang digunakan bervariasi yaitu sebanyak 0; 0,3; 0,6; dan 0,9 g.

Degradasi PET secara metanolisis dilakukan selama 24 jam pada suhu 145-150 °C. Produk reaksi yang dihasilkan berbentuk cair dan berwarna kuning. Limbah plastik PET larut dalam pelarut benzil alkohol dan katalis seng asetat. Pemurnian produk hasil reaksi dilakukan dengan metode kristalisasi. Akuades sebanyak 60 mL ditambahkan ke dalam campuran hasil reaksi untuk mencuci campuran. Metanol sebanyak 30 mL selanjutnya ditambahkan ke dalam campuran hasil reaksi lalu didinginkan dalam lemari pendingin selama 16 jam untuk mendapatkan endapan kristalin. Campuran kemudian disaring dengan menggunakan corong Buchner yang telah dilapisi kertas saring dan

dihisap menggunakan vakum. Produk yang dihasilkan berupa endapan berwarna putih kecoklatan.

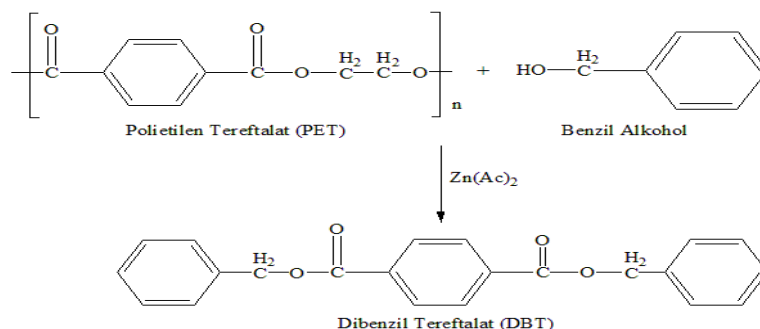
Endapan yang diperoleh selanjutnya dimurnikan dengan metode rekristalisasi. Metanol panas sebanyak 60 mL ditambahkan pada endapan lalu disaring dalam keadaan panas menggunakan corong dan kertas saring untuk menghilangkan pengotor yang tak larut. Endapan sebagian larut dalam metanol panas dan filtrat yang diperoleh menjadi tidak berwarna. Filtrat selanjutnya diuapkan sampai volume filtrat menjadi setengah dari volume semula dan filtrat dibiarkan dingin sampai temperatur kamar. Pendinginan larutan dilanjutkan dalam lemari pendingin untuk mendapatkan endapan kristalin kembali. Setelah didinginkan, pada dasar *beaker glass* terdapat endapan putih. Produk yang dihasilkan selanjutnya disaring menggunakan corong Buchner. Produk hasil degradasi hasil pemurnian berupa serbuk berwarna putih.

Reaksi depolimerisasi plastik PET secara metanolisis terjadi karena serangan nukleofilik yaitu gugus hidroksil yang dimiliki benzil alkohol terhadap gugus karbonil yang dimiliki ester yang terdapat pada polimer PET. Gugus karbonil yang terdapat pada PET pada awalnya teraktivasi terlebih dahulu oleh Zn dari katalis seng asetat yang bersifat sebagai kation. Reaksi intermediet ini ditandai dengan terbentuknya kompleks dengan koordinasi antara gugus karboksilat milik ester dan spesi logam, yaitu Zn. Koordinasi yang terbentuk menurunkan densitas elektron pada atom karbonil dan adanya serangan nukleofilik oleh gugus hidroksil menyebabkan karbon terpolarisasi positif sehingga terjadi pemutusan rantai polimer dan terbentuklah monomer.

Reaksi yang terjadi secara umum dapat dilihat pada Gambar 1. Seng asetat dikatakan sebagai katalis yang efektif jika ion logam dapat dengan mudah membentuk kompleks intermediet dengan molekul yang direaksikan. Oleh karena itu, kekuatan ikatan logam dengan oksigen pada PET merupakan suatu kunci keberhasilan suatu katalis seng asetat. Aktivitas seng asetat yang tinggi terjadi karena terbentuknya ikatan yang kuat antara Zn dari seng asetat dengan oksigen pada karbonil yang terdapat pada PET (Pham & Cho, 2021).

Karakterisasi Produk Degradasi PET

Karakterisasi produk degradasi PET dilakukan melalui uji titik dan analisis FT-IR untuk melihat profil gugus fungsinya. Uji titik leleh dilakukan terhadap botol plastik PET sebelum degradasi, setelah degradasi menggunakan radiasi sinar matahari, dan setelah degradasi menggunakan radiasi sinar matahari yang dilanjutkan dengan metanolisis. Uji titik leleh



Gambar 1. Reaksi depolimerisasi PET

dilakukan dengan cara sampel yang akan diuji dimasukkan ke dalam pipa kapiler kemudian dilakukan uji titik leleh menggunakan alat pengukur titik leleh (*melting point*). Suhu ketika sampel meleleh pertama kali sampai ketika semua sampel meleleh diamati sehingga diperoleh titik leleh dari kristal tersebut.

Berdasarkan Tabel 1. Degradasi limbah PET dengan radiasi sinar matahari menyebabkan titik leleh produk degradasi mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu penjemuran. Penurunan titik leleh dari sampel dapat disebabkan karena terjadinya perubahan kristalinitas dari sampel yang disebabkan oleh radiasi sinar matahari. Kristalinitas didefinisikan sebagai fraksi berat kristalin dalam suatu bahan, semakin teratur susunan atom dalam bahan maka semakin tinggi tingkat kristalinitasnya (Asefa & Dubovoy, 2017). Radiasi sinar matahari yang menyerang rantai polimer menyebabkan berkurangnya keseragaman dari rantai PET sehingga menurunkan kristalinitas. Kristalinitas yang menurun menyebabkan titik leleh sampel menjadi lebih rendah. Kristalinitas mengacu pada tingkat struktural dalam padatan dan rantai polimer dalam plastik (Mei et al., 2020). Meskipun demikian, PET pada botol plastik belum terdegradasi. Hal ini ditandai dengan titik leleh dari sampel limbah PET yang masih tinggi. Titik leleh tersebut masih berada di kisaran titik leleh PET murni yaitu 250-260 °C (Pham & Cho, 2021).

Produk hasil degradasi dengan sinar matahari yang dilanjutkan dengan metanolisis memberikan perubahan titik leleh yang cukup signifikan (Tabel 2), dimana titik leleh produk degradasi lebih rendah dibanding titik leleh limbah PET. Hal ini karena PET telah mengalami perubahan menjadi dibenzil tereftalat yang memiliki titik leleh 94-95 °C (Mou et al., 2017). Adapun titik leleh sampel limbah hasil analisis yang bervariasi pada kisaran 80-100 °C disebabkan karena faktor kemurnian produk dibenzil tereftalat yang terbentuk.

Karakterisasi gugus fungsi hasil degradasi PET dikonfirmasi dengan data spektrum FT-IR. Identifikasi dengan spektroskopi FT-IR dilakukan

terhadap limbah botol plastik sebelum perlakuan, limbah botol plastik setelah diberi paparan sinar matahari, serta limbah botol plastik dengan paparan sinar matahari dan metanolisis (Gambar 2). Data spektrum FT-IR menunjukkan bahwa paparan sinar matahari tidak dapat mendepolimerisasi PET sehingga tidak berpengaruh pada susunan gugus fungsi PET. Hal ini dibuktikan dengan adanya pita serapan yang identik di masing-masing spektrum FT-IR limbah PET baik sebelum pemanasan maupun setelah pemanasan dengan sinar matahari selama 30 dan 60 hari. Adapun pita serapan yang muncul yaitu di sekitar 1715 cm⁻¹ yang merupakan pita identik vibrasi ulur dari gugus C=O yang merupakan puncak dasar suatu ester. Pita karbonil ester tersebut diperkuat dengan adanya 2 pita serapan di sekitar 1200-1000 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur dari gugus C-O. Aromatik pada PET ditandai dengan adanya pita serapan sekitar 1400 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur dari ikatan C=C alkena aromatik (Rahmah et al., 2016).

Panjang gelombang cahaya yang mencapai permukaan bumi berkisar antara 290 nm sampai 3000 nm dengan komposisi 6% sinar ultraviolet, 48% sinar tampak dan 46% sinar infra merah. Adapun panjang gelombang cahaya yang memiliki efek paling berbahaya pada polimer berada dalam rentang spektrum UV 290 - 400 nm, dimana polimer yang terkena radiasi UV dapat mengalami fotolisis yaitu pemutusan ikatan kimia dalam rantai polimernya. Hal ini akan mengarah pada penurunan berat molekul karena berkurangnya elastisitas sehingga mudah pecah, rapuh dan lapisannya mengalami perubahan warna (Al-Azzawi, 2015). Berdasarkan keterangan tersebut, maka dapat disimpulkan degradasi PET dengan sinar matahari langsung yang dilakukan pada penelitian ini masih kurang efektif karena pemanasan masih bergantung pada kondisi cuaca yang tidak menentu sehingga sinar matahari yang mengenai limbah PET kurang optimal. Selain itu, komposisi sinar UV yang paling berpengaruh pada degradasi polimer hanya sekitar 6% dari sinar matahari secara keseluruhan. Hal ini menyebabkan proses

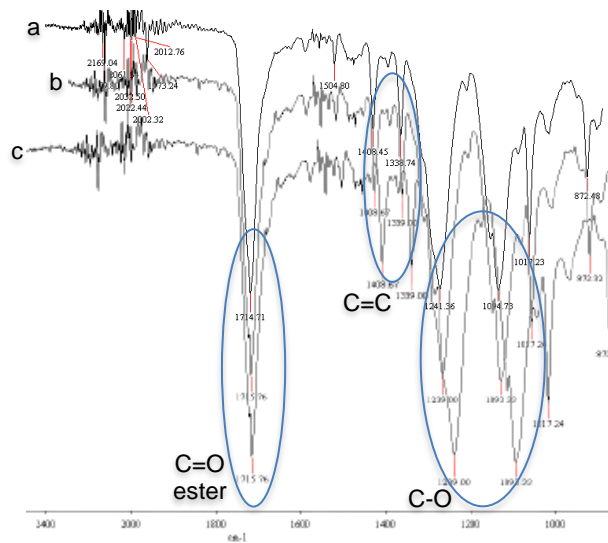
degradasi menjadi kurang optimal, sehingga tidak memberikan pengaruh pada susunan kimia polimer PET.

Tabel 1. Titik leleh sampel limbah PET setelah penjemuran di bawah sinar matahari

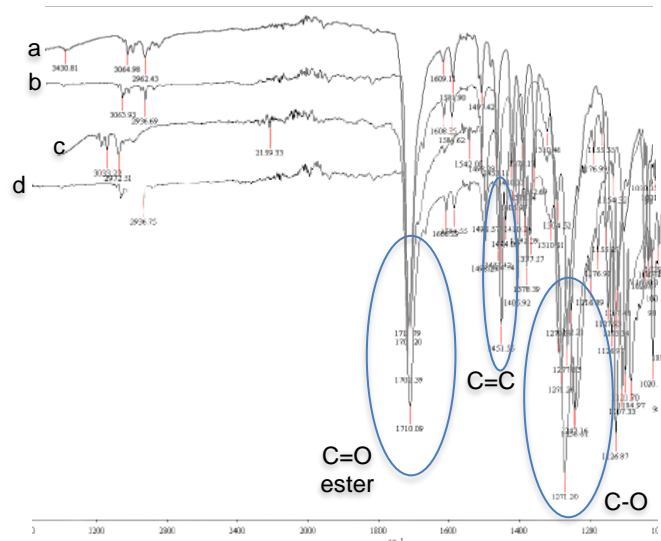
| No | Waktu Penjemuran (hari) | Titik Leleh (°C) |
|----|-------------------------|------------------|
| 1 | 0 | 255-262 |
| 2 | 30 | 244-256 |
| 3 | 60 | 238-250 |

Tabel 2. Titik leleh sampel limbah PET setelah penjemuran di bawah sinar matahari

| Waktu Penjemuran (hari) | Titik Leleh produk degradasi metanolisis pada berbagai variasi jumlah katalis seng asetat (°C) | | | |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 0 g | 0.3 g | 0.6 g | 0.9 g |
| 0 | 98-132 | 89-95 | 86-94 | 81-88 |
| 30 | 87-113 | 81-88 | 79-86 | 79-87 |
| 60 | 101-126 | 81-87 | 81-87 | 80-86 |



Gambar 2. Spektrum FTIR Limbah PET setelah pemanasan dengan sinar matahari pada variasi waktu yang berbeda. (a. 0 hari; b. 30 hari; c. 60 hari)



Gambar 3. Spektrum FTIR sampel limbah PET setelah didegradasi dengan sinar matahari selama 30 hari kemudian dilanjutkan degradasi secara metanolisis menggunakan katalis seng asetat yang jumlahnya divariasikan (a. 0 g; b. 0.3 g; c. 0.6 g; dan d. 0.9 g)

Spektrum FT-IR produk degradasi limbah plastik PET dengan degradasi radiasi matahari yang dilanjutkan dengan metanolisis ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil analisis spektrum FTIR menunjukkan bahwa produk dibenzil tereftalat telah terbentuk. Dibenzil tereftalat memiliki struktur yang mirip dengan PET, yaitu memiliki gugus fungsi identik berupa ester dan ikatan rangkap C=C aromatik yang akan terlihat jelas pada spektrum FTIR. Adapun puncak-puncak khas yang menunjukkan gugus-gugus fungsi tertentu yaitu pita di daerah serapan 1715 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur dari gugus C=O ester, 2 pita di daerah serapan sekitar 1200-1000 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur dari gugus C-O yang menguatkan puncak karbonil untuk gugus fungsi ester, dan pita serapan untuk ikatan C=C aromatik pada serapan sekitar 1400 cm^{-1} yang digunakan pada degradasi metanolisis tidak mempengaruhi jenis produk akhir yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Azzawi, F. (2015). Degradation Studies on Recycled Polyethylene Terephthalate. *London Metropolitan University*, 2–3.
- Asefa, T., & Dubovoy, V. (2017). Ordered Mesoporous/Nanoporous Inorganic Materials via Self-Assembly. In *Comprehensive Supramolecular Chemistry II* (Second Edition, Vol. 9). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.12649-6>
- Han, M. (2019). Depolymerization of PET Bottle via Methanolysis and Hydrolysis. In *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811361-5.00005-5>
- Hofmann, M., Sundermeier, J., Alberti, C., & Enthaler, S. (2020). Zinc(II) acetate Catalyzed Depolymerization of Poly(ethylene terephthalate). *ChemistrySelect*, 5(32), 10010–10014. <https://doi.org/10.1002/slct.202002260>
- Khoonkari, M., Haghghi, A. H., Sefidbakht, Y., Shekoohi, K., & Ghaderian, A. (2015). Chemical Recycling of PET Wastes with Different Catalysts. *International Journal of Polymer Science*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/124524>
- Mei, W., Chen, G., Bao, J., Song, M., Li, Y., & Luo, C. (2020). Interactions between microplastics and organic compounds in aquatic environments: A mini review. *Science of the Total Environment*, 736, 139472. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139472>
- (Rahmah et al., 2016). Variasi jumlah katalis seng asetat yang ditambahkan tidak mempengaruhi produk akhir dari degradasi metanolisis. Hal ini disebabkan karena peran katalis hanya sebatas mempercepat reaksi melalui penurunan energi aktivasi tanpa merubah produk akhir.

KESIMPULAN

Pemanasan dengan sinar matahari selama 0,30 dan 60 hari tidak dapat mendepolimerisasi PET yang dibuktikan dengan data titik leleh dari masing-masing sampel limbah plastik PET yang masih sama dengan titik leleh PET. Depolimerisasi PET dengan radiasi sinar matahari yang dilanjutkan dengan metanolisis menghasilkan produk akhir berupa n dibenzil tereftalat. Variasi jumlah katalis seng asetat

Mou, F., Sun, Y., Jin, W., Zhang, Y., Wang, B., Liu, Z., Guo, L., Huang, J., & Liu, C. (2017). Reusable ionic liquid-catalyzed oxidative esterification of carboxylic acids with benzylic hydrocarbons via benzylic Csp³-H bond activation under metal-free conditions. *RSC Advances*, 7(37), 23041–23045. <https://doi.org/10.1039/c7ra02788e>

Nasution, R. S. (2015). Berbagai Cara Penanggulangan Limbah Plastik. *Journal of Islamic Science and Technology*, 1(1), 97–104. <http://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/elkawnie/article/view/522>

Ovalle-Sánchez, A., Elizondo-Martínez, P., Péerez-Rodríguez, N., Hernández-Fernández, E., & Sánchez-Anguiano, M. G. (2017). Degradation of poly(ethyleneterephthalate) waste to obtain oligomers using a zinc complex as catalyst. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 62(4), 3741–3745. <https://doi.org/10.4067/s0717-97072017000403741>

Pham, D. D., & Cho, J. (2021). Low-energy catalytic methanolysis of poly(ethyleneterephthalate). *Green Chemistry*, 23(1), 511–525. <https://doi.org/10.1039/d0gc03536j>

Purwaningrum, P. (2016). Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 8(2), 141. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421>

Rahmah, M., Muizz Fahimi, M., Afiqah Juhari, F., Mawardi Rahmat, A., Aishah, S., & Isa, M.

- (2016). FT-IR Characterisation and Strength Performance of Degradable Additive Incorporated Polyethylene Terephthalate (Pet) Bottle Upon Exposure To Different Environment. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 4(June), 2321–9009.
- Schyns, Z. O. G., & Shaver, M. P. (2021). Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review. *Macromolecular Rapid Communications*, 42(3), 1–27. <https://doi.org/10.1002/marc.202000415>
- Shojaei, B., Abtahi, M., & Najafi, M. (2020). Chemical recycling of PET: A stepping-stone toward sustainability. *Polymers for Advanced Technologies*, 31(12), 2912–2938. <https://doi.org/10.1002/pat.5023>
- Thiounn, T., & Smith, R. C. (2020). Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. *Journal of Polymer Science*, 58(10), 1347–1364. <https://doi.org/10.1002/pol.20190261>