

Optimasi Metoda Glikolisi Dengan Katalis Natrium Bikarbonat Untuk Identifikasi Mikroplastik *Polyethylene Terphthalate* (PET) Pada Ikan Tuna (*Thunnus sp*) di Perairan Laut Kota Padang

Defika Derjulita¹, Indang Dewata²

¹²Program Studi Kimia, Universitas Negeri Padang
e-mail: dederjulita@gmail.com @indangdewata@fmipa.unp.ac.id

Abstrak

Polyethylene terephthalate (PET) merupakan jenis plastik yang banyak digunakan dalam industri, terutama sebagai bahan pengemasan. Limbah PET yang tidak terkelola dengan baik berpotensi terdegradasi menjadi mikroplastik yang mencemari lingkungan laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mikroplastik PET pada saluran pencernaan ikan tuna (*Thunnus sp*) di perairan laut Kota Padang serta mendekomposisi PET menggunakan metode glikolisis dengan katalis natrium bikarbonat (NaHCO_3). Proses glikolisis dilakukan dengan variasi suhu ($156\text{--}206^\circ\text{C}$) untuk menentukan kondisi optimum pembentukan monomer BHET (bis(2-hidroksietil) tereftalat). Rendemen BHET tertinggi sebesar 41,11% diperoleh pada suhu 196°C , dengan rasio mol PET: NaHCO_3 sebesar 190:1, massa katalis 0,023 g, dan waktu refluks 1 jam. Karakterisasi produk dilakukan menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi khas BHET, dan XRF untuk menganalisis perubahan komposisi unsur selama proses berlangsung. Hasil pengamatan tidak menunjukkan adanya mikroplastik PET dalam sampel ikan, yang kemungkinan disebabkan oleh lokasi pengambilan sampel bukan merupakan area dengan konsentrasi mikroplastik tinggi.

Kata kunci: Mikroplastik PET, BHET, Glikolisis, FTIR, X-RF

Abstract

Polyethylene terephthalate (PET) is a type of plastic widely used in industry, particularly for packaging applications. Improperly managed PET waste has the potential to degrade into microplastics that pollute the marine environment. This study aims to identify PET microplastics in the digestive tract of tuna (*Thunnus sp*) from the coastal waters of Padang City and to depolymerize PET using the glycolysis method with sodium bicarbonate (NaHCO_3) as a catalyst. The glycolysis process was carried out at varying temperatures ($156\text{--}206^\circ\text{C}$) to determine the optimum conditions for the formation of the monomer BHET (bis(2-hydroxyethyl) terephthalate). The highest BHET yield of 41.11% was obtained at a temperature of 196°C , with a PET: NaHCO_3 molar ratio of 190:1, a catalyst mass of 0.023 g, and a reflux time of 1 hour. Product

characterization was conducted using FTIR to identify functional groups specific to BHET and XRF to analyze changes in elemental composition during the process. No PET microplastics were observed in the fish samples, which may be due to the sampling location not being an area with a high concentration of microplastics.

Keywords: *PET Microplastics, BHET, Glycolysis, FTIR, XRF*

PENDAHULUAN

Peningkatan produksi plastik didorong oleh peningkatan jumlah konsumsi plastik akibat peningkatan aktivitas manusia (Comanita *et al.*, 2016). Diperkirakan hingga tahun 2025 produksi limbah padat akan terus meningkat hingga 6 ton per hari. Meskipun beberapa produk dapat didaur ulang namun hanya 9,4 % dari sampah plastik yang saat ini mampu didaur ulang disebabkan oleh kendala biaya, infrastruktur dan rendahnya permintaan pasar terhadap plastik daur ulang. Limbah plastik yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan dampak yang serius (Lebreton & Andrady, 2019).

Polyethylene terephthalate (PET) merupakan salah satu jenis polimer plastik yang banyak digunakan dalam industri pengemasan. PET merupakan golongan polimer yang memiliki gugus ester pada rantai utama makromolekulnya. PET banyak digunakan untuk produksi botol minuman bersoda, botol jus dan kemasan makanan (Nistic, 2020). Limbah kemasan plastik yang telah mengalami degradasi membentuk fragmen-fragmen yang disebut mikroplastik. Mikroplastik atau fragmen kecil dengan ukuran <5 mm yang berasal dari degradasi sampah plastik masuk ke perairan dan berakhir di lautan. Mikroplastik tersebut dapat tertelan oleh organisme laut karena mengiranya sebagai makanan. Lebih dari 660 spesies termasuk burung laut, ikan, kerang hingga zooplankton telah mengalami dampak buruk mikroplastik yang ada di lautan (Lebreton & Andrady, 2019; Zhang *et al.*, 2019; Adeogun *et al.*, 2020). Mikroplastik yang tertelan oleh organisme laut dapat menyebabkan cedera fatal seperti penyumbatan sistem pencernaan, merusak sistem imun dan sistem reproduksi (Pozo *et al.*, 2019; Adeogun *et al.*, 2020).

Beberapa metode telah digunakan untuk mengidentifikasi polimer plastik dalam berbagai sampel diantaranya metanolisis, hidrolisis, glikolisis aminolisis dan amonolisis. Diantara metode tersebut, glikolisis merupakan metode yang banyak digunakan sebab tidak memerlukan proses lebih lanjut untuk memisahkan glikol dari dalam pelarut. Proses ini relatif cepat dan efisien, terutama ketika menggunakan katalis yang tepat (Imran *et al.*, 2010).

Kota Padang memiliki beberapa aliran sungai yang dimanfaatkan oleh masyarakat untuk berbagai aktivitas yang tak jarang menyebabkan pencemaran. Maraknya kebiasaan masyarakat yang membuang sampah ke aliran sungai termasuk sampah plastik semakin memperburuk keadaan lingkungan sebab semua sampah yang telah dibuang tersebut akan bermuara ke lautan. (Dewata & Adri, 2018; Dewata, 2019; Edial *et al.*, 2019). Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan RI (KKP), data Susenas (2018), Angka Konsumsi Ikan (AKI) Kota Padang sebesar 28,02 kg/kapita,

dengan tingkat konsumsi ikan yang cukup tinggi. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan mendapatkan kondisi optimum dari metoda glikolisis dengan varian suhu dan untuk mengidentifikasi kadar mikroplastik PET pada jenis ikan yang dikonsumsi masyarakat ikan Tuna (*Thunnus sp*) yang ada pada beberapa tempat pasar ikan yaitu tempat lelang ikan Pasar Gaung Teluk Bayur, Pasar Raya, dan Tepi Pantai (Taplau) di Kota Padang yang dianalisa dengan metode glikolisis dan mikroplastik PET karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *X-Ray Fluorescence* (XRF).

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang pada bulan September 2024 hingga Maret 2025. Sampel ikan tuna diambil dari tiga lokasi: Pasar Gaung Teluk Bayur, Pasar Raya Padang, dan Tepi Pantai (Taplau). Saluran pencernaan ikan tuna diekstraksi dan dicerna menggunakan larutan KOH 10% pada suhu 60 °C selama 24 jam untuk memisahkan mikroplastik dari jaringan organik. Filtrat kemudian disaring, dikeringkan, dan dianalisis.

Untuk proses glikolisis, dilakukan dengan mencampurkan potongan plastik PET, etilen glikol, dan katalis natrium bikarbonat (NaHCO_3) dalam labu leher tiga. Variasi suhu yang digunakan adalah 156 °C, 176 °C, 196 °C, dan 206 °C, sengan massa PET 10 g, pelarut etilen glikol 22 mL pada rasio mol etilen gliko : PET 7,6 : 1 dan massa katalis natrium bikarbinat 0,023 g pada rasio mol PET : natrium bikarbonat 190 : 1 (Amalia & Lukman, 2013; Khoonkari et al., 2015). Reaksi dilakukan selama 1 jam, kemudian hasilnya disaring dan dikristalkan untuk mendapatkan BHET. Produk dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan XRF untuk mengetahui komposisi unsu (López-Fonseca et al., 2011; Nistic, 2020), selanjutnya diperlakukan pada sampel pencernaan ikan tuna (*thunnus sp*) pada kondisi optimum yang di kerjakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Glikolisis *Polyethylene Terephtalate* (PET)

Semua reaksi pada penelitian ini menggunakan metoda glikolisis, karena pada penelitian ini menggunakan pelarut etilen glikol. Etilen glikol dipilih sebagai pelarut karena sebagai agen pendepolimerisasi yang digunakan berupa glikol. Reaksi glikolisis akan melibatkan interaksi diol pada ester dalam rantai PET dan monomer yang dihasilakan nanti berupa BHET. Etilen glikol yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 22 mL sesuai dengan mol PET:etilen glikol 1:7,6 perbandingan ini digunakan sesuai hasil maksimum dari fronseca *et al.*, 2010 perbandingan ini digunakan agar dapat mengetahui berapa jumlah dalam mL pelarut etilen glikol digunakan sesuai perhitungan lampiran 1. PET yang digunakan dalam tiap reaksi adalah 10 g yang dimasukkan dalam pelarutan refluks. Setelah itu dimasukkan katalis natrium bikarbonat dengan massanya didapatkan sesuai variasi mol PET : natrium bikarbonat.

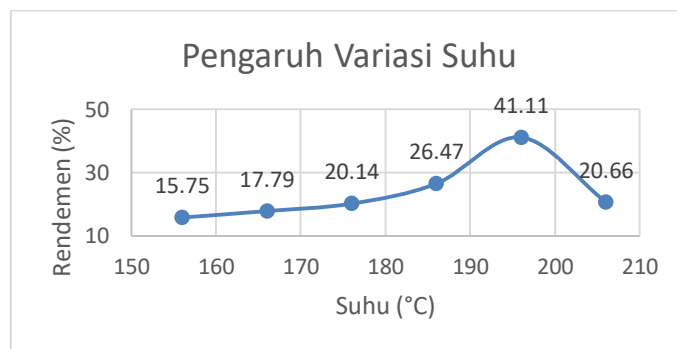
Berdasarkan hasil pengamatan terhadap tiga sampel ikan tuna dari Pasar Gaung Teluk Bayur, Pasar Raya Padang, dan Tepi Pantai (Taplau), tidak ditemukan mikroplastik jenis PET dalam saluran pencernaan ketiga sampel tersebut. Proses digesti menggunakan larutan KOH 10% pada suhu 60 °C selama 24 jam berhasil melarutkan jaringan lunak ikan secara efektif. Hasil filtrasi tidak menunjukkan adanya partikel mikroplastik yang teridentifikasi secara visual. Temuan ini mengindikasikan bahwa ikan tuna dari perairan Kota Padang, yang menjadi lokasi pengambilan sampel, kemungkinan tidak terpapar mikroplastik dalam konsentrasi tinggi. Hal ini sejalan dengan kajian Lebreton et al. (2017), yang menyatakan bahwa distribusi mikroplastik di laut sangat dipengaruhi oleh lokasi, arus laut, dan aktivitas manusia di sekitarnya.

Pada tahap uji glikolisis, proses dilakukan dengan variasi suhu reaksi digunakan, yaitu 156 °C, 176 °C, 196 °C, dan 206 °C. Hasil uji menunjukkan bahwa suhu reaksi berpengaruh besar terhadap rendemen produk BHET(Khoonkari et al., 2015; Imran et al., 2010). Kondisi optimum tercapai pada suhu 196 °C dengan rasio mol 190:1, yang menghasilkan rendemen BHET sebesar 5,440 g dari 10 g PET (41,11 %) pada waktu 1 jam refluks (Amalia & Lukman, 2013).

$$\% \text{ Rendemen} = \frac{\frac{\text{berat BHET}}{\text{Mr BHET}}}{\frac{\text{berat PET}}{\text{Mr PET}}} \times 100\%$$

Tabel 6 Rendemen BHET dari hasil variasi suhu

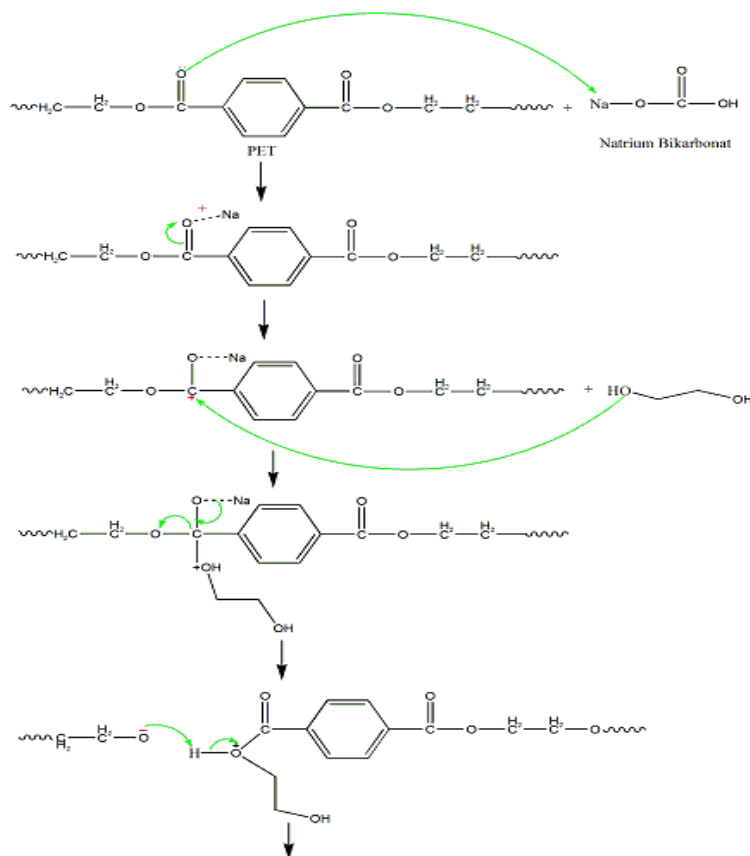
Suhu (°C)	Massa PET (g)	Massa BHET (g)	Rendemen (%)
156	10	2,084	15,75
166	10	2,355	17,79
176	10	2,665	20,14
186	10	3,503	26,47
196	10	5,440	41,11
206	10	2,734	20,66



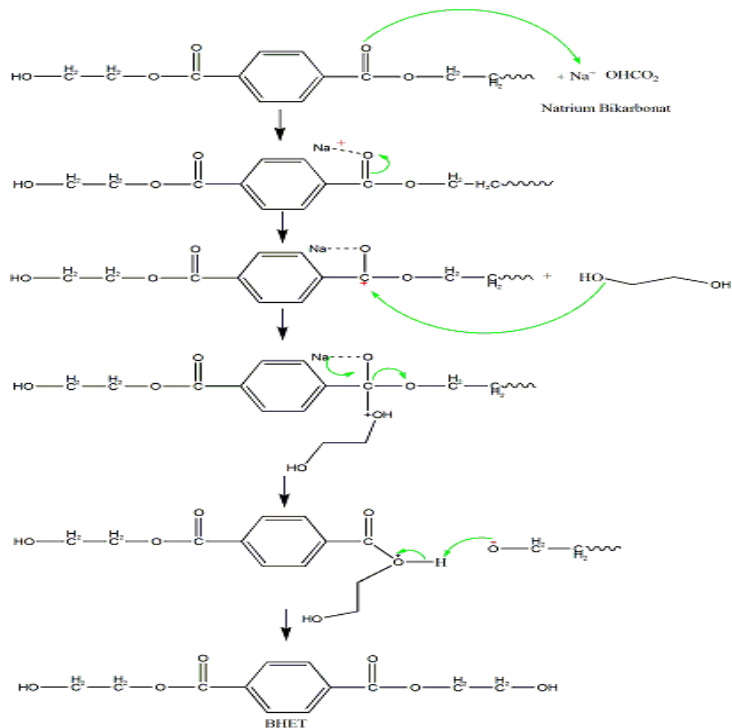
Gambar 8 Grafik rendemen hasil variasi suhu refluks

Proses glikolisis ini melibatkan reaksi substitusi nukleofilik. Substitusi nukleofilik adalah proses dimana gugus hidroksil yang dimiliki etilen glikol menyerang gugus

karbonil milik ester yang terdapat pada struktur *polyethylene terephthalat*. Pada awalnya, gugus karbonil pada PET diaktifkan terlebih dahulu oleh ion natrium yang dimiliki katalis natrium bikarbonat. Ion natrium ini menjadi penyedia orbital kosong dalam proses pengaktifan gugus karbonil, keadaan intermediet ini ditandai dengan adanya kompleks koordinasi antara gugus karboksilat yang dimiliki polimer dengan logam dari katalis itu sendiri. Koordinasi ini akan menurunkan kerapatan elektron yang akan memfasilitasi reaksi substitusi nukleofilik dari gugus hidroksil yang dimiliki oleh etilen glikol terhadap karbokation, sehingga terjadi pemutusan rantai polimer menjadi

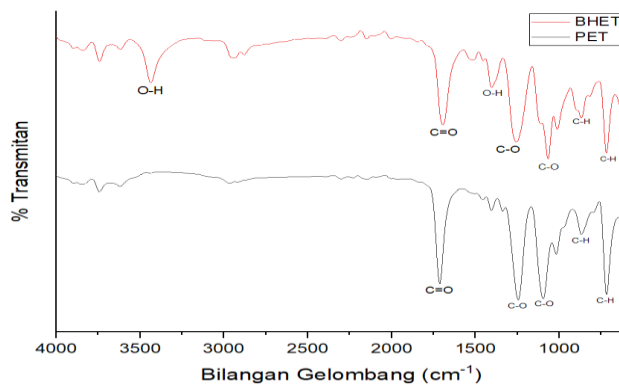


monomer BHET. Gugus fungsi karbonil diaktifkan oleh kation Na^+ , reaksi ini dianggap suatu kompleks yang terbentuk oleh adanya proses koordinasi antara gugus karbonil ester dengan kation tersebut. Proses koordinasi ini menurunkan kerapatan elektron dari atom karbonil dan membuka kemungkinan adanya serangan nukleofilik dari gugus hidroksil terhadap atom kation yang telah terpolarisasi. Sebagai akibatnya terjadi pemutusan rantai polimer yang menghasilkan monomer (López-Fonseca *et al.*, 2011). Mekanisme reaksi ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Mekanisme reaksi depolimerisasi PET (alimuddin et al.,2003)

B. Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR)



Gambar 10 Hasil uji FTIR Plastik PET dan BHET

Spektrum FTIR dari hasil glikolisis menunjukkan adanya puncak khas dari gugus karbonil (C=O), ester (C-O), dan hidroksil (-OH), yang menunjukkan bahwa BHET telah berhasil terbentuk. Hal ini mendukung bahwa reaksi glikolisis berhasil memutus rantai polimer PET menjadi monomer BHET (Yue et al., 2013).

Dari spektra FTIR gambar terlihat jelas puncak serapan beberapa panjang gelombang yang merupakan khas polimer PET. Polimer PET ditunjukkan dengan adanya kelompok ester sebagai gugus utama. Diantaranya terdapat puncak dengan intensitas yang kuat pada bilangan gelombang $1712-1713\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus karbonil C=O pada asam karboksilat. Ikatan C-O pada gugus karboksilat ditunjukkan pada bilangan gelombang $1244-1245\text{ cm}^{-1}$ dan $1092-1096\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas yang kuat. Kemudian ikatan C-H aromatik ditunjukkan pada bilangan gelombang 869 cm^{-1} dan $718-719\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas yang kuat (Ioakeimidis *et al.*, 2016). PET juga mempunyai ciri khas dengan sinyal intensitas sangat lemah yang terlihat pada wilayah spektrum 2966 cm^{-1} yang mempresentasikan ikatan C-H (Crawford & Quinn, 2017).

Hasil depolimerisasi PET (BHET) memiliki beberapa puncak yang khas pada berbagai bilangan gelombang. Terdapat puncak dengan intensitas sedang pada bilangan gelombang $3434,80-3438,98\text{ cm}^{-1}$ untuk gugus -OH pada asam karboksilat. Puncak dengan intensitas yang kuat pada bilangan gelombang $2943,99-2952,28\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya stretching dari ikatan C-H, demikian pula gugus karbonil pada asam karboksilat (C=O) dengan intensitas yang kuat ditunjukkan dengan adanya puncak pada bilangan gelombang $1690,63-1695,37\text{ cm}^{-1}$. Ikatan C-O pada gugus karboksilat ditunjukkan pada bilangan gelombang $1260,57-1269,37\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas yang kuat pula. Pada spektra terlihat bahwa pada masing-masing variasi massa dan variasi waktu refluks memiliki puncak yang hampir sama dan diperkuat dengan hasil yang dilaporkan oleh (Amalia *et al.*, 2013). Dengan demikian dapat dibuktikan bahwa hasil depolimerisasi PET yang berupa BHET telah terbentuk.

C. Analisis X-Ray Fluorescence (XRF)

Tabel 9 Hasil uji XRF plastik PET dan BHET

unsur	PET	BHET
	Konentrasi (%)	Konsentrasi (%)
Si	13,918	-
P	29,232	40,162
Cl	18,812	0,539
K	2,66	-
Ca	23,219	34,408
Ti	0,257	-
Fe	1,019	7,764
Zn	0,085	7,193
Ag	1,131	1,179
In	1,113	-
Ba	0,037	-
Re	0,007	-

Hasil analisis XRF terhadap sampel PET awal dan hasil glikolisis (BHET) menunjukkan perubahan pada kandungan unsur logam seperti Cl, Si, Zn, dan Fe.

Kandungan Cl menurun, sementara unsur Zn meningkat, yang menunjukkan kemungkinan adanya interaksi atau kontaminasi dari wadah reaksi atau perubahan struktur kimia selama proses glikolisis (López-Fonseca et al., 2011; Nistic, 2020). Selama proses produksi ditambahkan untuk meningkatkan sifat plastik, zat aditif yang ditambahkan ke dalam produksi plastik tidak terikat secara kimia pada polimer plastik. Meskipun zat aditif ini memperbaiki sifat-sifat produk plastik, tapi banyak diantaranya bersifat racun dan potensinya tinggi dalam pencemaran (Campanale et al., 2020).

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa rendemen optimum BHET sebesar 41,11% diperoleh pada suhu 196 °C dengan massa katalis natrium bikarbonat sebesar 0,023 g, rasio mol PET:NaHCO₃ sebesar 190:1, dan volume etilen glikol sebanyak 22 mL (rasio mol EG:PET sebesar 7,6:1), dalam waktu refluks 1 jam. Metode glikolisis ini berpotensi menjadi alternatif pengolahan limbah plastik yang lebih ramah lingkungan dan aplikatif. Hasil analisis terhadap saluran pencernaan ikan tuna dari perairan Kota Padang tidak menunjukkan keberadaan mikroplastik PET. Temuan ini mengindikasikan bahwa ikan tuna dari wilayah tersebut kemungkinan tidak terpapar mikroplastik dalam konsentrasi tinggi. Hal ini sejalan dengan kajian Lebreton et al. (2017), yang menyatakan bahwa distribusi mikroplastik di laut sangat dipengaruhi oleh lokasi geografis, arus laut, dan intensitas aktivitas manusia di sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeogun, A. O., Ibor, O. R., Khan, E. A., Chukwuka, A. V., Omogbemi, E. D., & Arukwe, A. 2020. Detection and occurrence of microplastics in the stomach of commercial fish species from a municipal water supply lake in southwestern Nigeria. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 31035–31045
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09031-5>.
- Alimuddin, M., & Atmaja, L. 2013. Pengaruh Variasi Konsentrasi Katalis Natrium Bikarbonat pada Proses Daur Ulang Polietilen Tereftalat dengan Menggunakan Metode Glikolisis. 1, 1–6.
- Amalia, R., & Lukman. (2013). Kajian Metode Glikolisis pada PET. *Jurnal Kimia dan Lingkungan*, 5(2).
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>.
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). *Microplastic Pollutants*. Elsevier.
- Dewata, I. 2019. Water quality assessment of rivers in padang using water pollution index and NSF-WQI Method. *Int. J. GEOMATE* 17, 192–200
<https://doi.org/10.21660/2019.64.16793>.
- Dewata, I., & Adri, Y. (2018). Studi Pencemaran Sungai Kota Padang. *Jurnal Lingkungan*, 12(1).
- Edial, H., Muchtar, B., & Dewata, I. 2019. Evaluation of land use to critican Batang

- Kuranji watershed in Padang City Evaluation of land use to critican Batang Kuranji watershed in Padang City.Pages 1–8 in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Imran, M., et al. (2010). Chemical recycling of PET. *Polymer Degradation and Stability*, 95(9).
- Khoonkari, M., et al. (2015). PET glycolysis with metal catalysts. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(6).
- Lebreton, L. C., et al. (2017). *River plastic emissions to the world's oceans*. Nature Communications, 8, 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lebreton, L., & Andrady, A. 2019. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Commun.* 5, 1–11 <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7>.
- López-Fonseca, R., et al. (2011). Recycling of polyethylene terephthalate. *Chemical Engineering Journal*, 173(1).
- Comanita, E.-D., Hlihor, R. M., Ghinea, C., & Gavrilescu, M. 2016. Occurrence of plastic waste in the environment: ecological and health risks. *Environ. Eng. Manag. J.* 15, 675–685 <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.073>.
- Nistic, S. (2020). Chemical aspects of PET degradation. *Materials Science Review*, 34(4).
- Pozo, K., Gomez, V., Torres, M., Vera, L., Nuñez, D., Oyarzún, P., Mendoza, G., Clarke, B., Fossi, M. C., Baini, M., Přibyllová, P., & Klánová, J. 2019. Presence and characterization of microplastics in fish of commercial importance from the Biobío region in central Chile. *Mar. Pollut. Bull.* 140, 315–319 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.025>.
- Pozo, K., et al. (2019). Effects of Microplastics in Marine Life. *Environmental Research*, 171.
- Rochman, C. M., et al. (2015). Microplastics in seafood. *Scientific Reports*, 5.
- Yue, Q., et al. (2013). Depolymerization of PET. *Journal of Polymer Research*, 20(6).
- Zhang, J., Wang, L., & Kannan, K. 2019. Polyethylene Terephthalate and Polycarbonate Microplastics in Pet Food and Feces from the United States. *Environ. Sci. Technol.* 53, 12035–12042 <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03912>.