

Optimasi Metode Ekstraksi Mikroplastik Polivinil Klorida (PVC) Dengan Wet Peroxide Oxidation (WPO)

Nur Farida Deliani, Indang Dewata*

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Barat, Padang, West Sumatera, Indonesia Telp. 0751 7057420

*indangdewata@fmipa.unp.ac.id

Abstract — The increase in plastic production causes an increase in plastic waste in the environment both on land and in waters. Over time, plastic waste will degrade into microplastics in waters. Microplastics in waters are contaminated with organic impurities which can interfere with the identification of microplastics. The method for extracting plastic particles from organic impurities is using wet peroxide oxidation. However, these methods have not been systematically tested and standardized. This research aims to determine the optimum conditions for the extraction method with the addition of wet peroxide oxidation for the identification of PVC microplastics. In this research, a 30% hydrogen peroxide solution was used as an oxidizer and a Fe^{2+} catalyst as the main ingredient to produce OH radicals which function to oxidize organic impurities and the samples used were PVC microplastics made from grinding PVC plumbing pipes. Determination of optimum conditions was carried out at varying oven temperatures of 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, dan 110°C, varying concentrations of 0,025 M; 0,05M; 0,075M; 0,1M dan 0,125M and temperature variations at heating 30°C, 45°C, 60°C, 75°C, dan 90°C. The research results showed that the optimum conditions were an oven temperature of 90°C, a Fe catalyst concentration of 0.075M, and a heating temperature of 75°C in the PVC microplastic extraction process resulting in a PVC microplastic mass of 0.3403 grams. Characterization of PVC microplastics was carried out using Primostar 1, FTIR and XRF microscope instruments. Tests using a microscope showed that the form of PVC microplastic was identified, namely fragment form. In the FTIR test, CH_2 , C-H, C-Cl peaks were obtained which indicated that the polymer was a type of PVC, apart from that there were N-H *bend* dan N-H *stretching* peaks which indicated the material. The organic impurities are in the form of amine, and in XRF testing the additive elements that make up PVC microplastics are obtained, namely Si, P, Ca, V, Cu, Br, Sr.

Keywords — PVC microplastics, PVC plumbing pipes, hydrogen peroxide, Fe^{2+} catalyst, wet peroxide oxidation, and $ZnCl_2$

I. PENDAHULUAN

Produksi plastik sintetik mengalami peningkatan dan kurangnya pengelolaan sampah menyebabkan peningkatan pembuangan ke lingkungan[1]. Berdasarkan data produksi plastik global, produksi plastik meningkat setiap tahunnya, dimana pada tahun 2010 produksi plastik sebesar 265 juta metrik ton dan terus meningkat tahun 2017 sebesar 348 juta metrik ton [2]. Pada umumnya sumber pencemar di perairan sungai adalah limbah penduduk, kegiatan industri, pasar tradisional dan kegiatan pertanian [3]. Sampah plastik yang dibuang ke lingkungan pada akhirnya akan masuk ke wilayah perairan, terutama laut[4]. Plastik di perairan akan terus menumpuk dan mengendap di dasar perairan serta akan terdegradasi menjadi mikroplastik[5].

Plastik sintesis yang paling banyak di pakai dan menjadi polutan di lingkungan pesisir dan laut yaitu polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorida (PVC), polistiren (PS) dan polietilen terephthalat (PET) yang memiliki densitas rendah dan tinggi[6]. Plastik tersebut bersumber dari limbah industri,

aktivitas manusia, instalasi pengolahan limbah, aktivitas pertanian, dll [7]. Salah satu sumber mikroplastik pada sektor pertanian yaitu pipa irigasi yang terbuat dari polivinil klorida (PVC)[8].

Mikroplastik PVC mengandung klorin dapat melepaskan HCl ke dalam air dalam proses dekomposisi, menghasilkan pengasaman lingkungan perairan. Senyawa kimia pada PVC dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan risiko kesehatan seperti dapat menyebabkan kanker, cacat lahir, perubahan genetik, bronkitis kronis, bisul, penyakir kulit, tuli, gagal penglihatan, gangguan pencernaan, dan disfungsi hati [9]. Mikroplastik polivinil klorida yang masuk ke dalam organ pencernaan dan sistem sirkulasi darah manusia dapat menyerap dan mengikat albumin serum, menghancurkan struktur molekul dan fungsi protein, mentransfer ke setiap organ melalui darah, dan selanjutnya menyebabkan kerusakan dalam tubuh [10].

Keterbatasan identifikasi mikroplastik yaitu kurangnya protokol standar untuk pengambilan sampel, ekstraksi, dan

pemurnian, analisis kualitatif dan kuantitatif. Kuantifikasi mikroplastik didasarkan pada ekstraksi partikel-partikel mikroplastik dari material lain baik anorganik (seperti sedimen) atau organik (seperti bahan tumbuhan). Ekstraksi mikroplastik dari pelarutan massa organik menggunakan satu atau lebih bahan kimia yang cukup agresif seperti kalium hidroksida (KOH), hidrogen peroksida (H_2O_2), asam perklorat ($HClO_4$) dan asam nitrat (HNO_3) merupakan salah satu aspek dalam metode analisis [11].

Metode pemurnian untuk menghilangkan bahan organik untuk meningkatkan identifikasi mikroplastik yaitu asam, alkali, pengoksidasian dan enzimatis [11]. Sebagian besar penelitian sebelumnya yang menerapkan pencernaan asam melaporkan masalah dengan banyak polimer (misalnya, polistirena, poliamida, poliuretan, polivinil klorida, nilon) menjadi yang paling agresif dan kurang direkomendasikan [12]. Diantara metode yang diusulkan, pemurnian oksidasi atau disebut dengan WPO menggunakan H_2O_2 30% merupakan metode terbaik untuk menghilangkan bahan organik dibandingkan menggunakan natrium hidroksida (NaOH) dan asam klorida (HCl). Selain itu WPO merupakan metode yang sederhana, cepat dan biaya yang lebih murah [13].

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia 250 mL, gelas ukur 25 mL, 50 mL, batang pengaduk, botol semprot, kaca arloji, termometer, penjepit kayu, spatula, corong pisah, corong kaca, pipet tetes, labu ukur 25 mL, 150 mL, oven, statif dan klem, ayakan mesh No.12 (1,70mm), saringan mesh No. 18 (1mm) dan No. 100 (0,149 mm), mikroskop tereo, XRF, dan Instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel PVC (pipa ledeng), besi (II) sulfat heptahidrat, asam sulfat, hidrogen peroksida (H_2O_2 30%), aquades, kertas whatman dan garam $ZnCl_2$.

B. Prosedur Penelitian

1. Preparasi sampel Polyvinyl Chloride (PVC) dari pipa ledeng PVC.

Pipa ledeng digerus kecil-kecil kemudian diayak menggunakan ayakan mesh No.12 (1,70 mm), selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah yang berisi 10 liter air sampai memenuhi permukaan wadah. Diamkan selama 1 bulan di tempat yang terbuka dan terkena cahaya matahari [14].

2. Penentuan kondisi optimum metode ekstraksi dengan penambahan WPO pada mikroplastik PVC

Sebanyak 250 mL sampel pipa ledeng disaring dengan saringan mesh No. 18 lalu disaring kembali menggunakan

saringan mesh No.100, kemudian residu pada saringan mesh No. 100 di pindahkan ke dalam gelas kimia dan selanjutnya di oven dengan variasi suhu oven yaitu 70°C, 80 °C, 90 °C, 100°C, dan 110°C selama 24 jam. Reagen ditambahkan dengan perbandingan 1:1 [15], larutan Fe dengan variasi konsentrasi 0,025 M; 0,05M; 0,075M; 0,1M dan 0,125M dan H_2O_2 30% masing-masing sebanyak 10 mL, selanjutnya diamkan pada suhu kamar selama 5 menit dan setelah itu dipanaskan menggunakan hotplate hingga terbentuk gelembung gas. Setelah muncul gelembung gas, angkat gelas kimia dan letakkan dalam lemari asam sampai mendidih mereda. Selanjutnya dipanaskan lagi dengan variasi suhu 30°C, 45°C, 60°C, 75°C, dan 90°C selama 30 menit [16].

Pemisahan densitas dilakukan dengan menambahkan larutan $ZnCl_2$ sebanyak 15 gram, dan pemanasan kembali suhu 75°C sampai garam larut. Pindahkan larutan ke dalam corong pemisah dan diamkan selama 24 jam, dimana akan terbentuk dua fasa yaitu padatan yang mengendap dan padatan yang mengapung. Padatan yang mengapung di saring dengan kertas whatmann yang telah diketahui massanya, kemudian pindahkan ke dalam cawan petri dan di diamkan selama 24 jam. Kemudian massa padatan mikroplastik yang di peroleh di hitung dengan rumus :

$$W = W_2 - W_1$$

Dimana W merupakan berat mikroplastik, W_2 merupakan berat mikroplastik dengan kertas saring dan W_1 merupakan berat kertas saring [16].

3. Karakterisasi menggunakan mikroskop, FTIR, dan XRF

Karakterisasi dilakukan menggunakan mikroskop dengan merk primostar 1 dengan perbesaran 40x, instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan instrumen X-Ray Fluorescence XRF. Sampel yang dikarakterisasi yaitu sampel murni, sampel yang direndam dan sampel setelah proses ekstraksi.

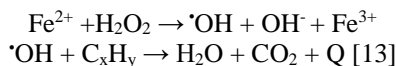
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode ekstraksi dengan penambahan berguna untuk tempat memisahkan mikroplastik dari pengotor sehingga memudahkan proses identifikasi mikroplastik. Pengoptimalan metode ekstraksi mikroplastik dilakukan dengan mencari kondisi optimum pada suhu pengovenan, konsentrasi katalis Fe(II) dan suhu pemanasan. Suhu pengovenan, konsentrasi katalis Fe(II) dan suhu pemanasan mempengaruhi proses ekstraksi mikroplastik dari bahan pengotor [17]

Proses ekstraksi mikroplastik mencakup penyaringan, pengeringan sampel, proses pemurnian (WPO) dan pemisahan densitas [18]. Pada tahap penyaringan, mikroplastik yang telah direndam \pm 1 bulan disaring menggunakan saringan mesh No.18 (1mm) dan No.100 (0,149 mm). Mikroplastik yang diidentifikasi yaitu mikroplastik dengan ukuran 1-0,149 mm. Pengeringan dilakukan dengan pengovenan sampel. Pengovenan berfungsi mengeringkan sampel dan

menghilangkan kadar air pada sampel sehingga tidak mengganggu proses ekstraksi.

Tahap pemurnian (WPO) menggunakan larutan hidrogen peroksida dengan bantuan katalis Fe(II). Dimana terjadi reaksi antara hidrogen peroksida dan katalis Fe(II) menghasilkan OH radikal yang dapat mengoksidasi senyawa organik. Reaksinya sebagai berikut: [17]

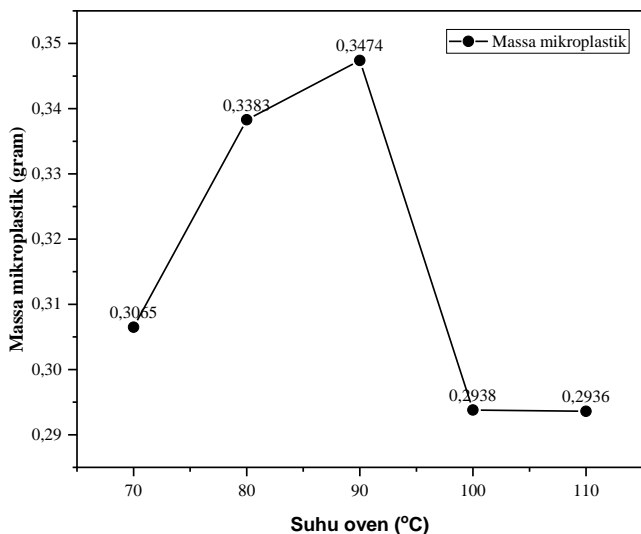


Dimana C_xH_y mewakili substrat organik dan Q produk akhir yang diperoleh dari substrat.

Pemisahan densitas dilakukan dengan penambahan garam ZnCl_2 yang memiliki densitas $1,8 \text{ g/cm}^3$. Menurut penelitian L. Li *et al.*, 2018 ZnCl_2 dengan densitas ($1,8 \text{ g/cm}^3$) dapat mengapungkan mikroplastik PVC. Penggunaan ZnCl_2 bertujuan untuk menaikkan densitas larutan sehingga mikroplastik dengan densitas yang lebih besar densitasnya bisa mengapung.

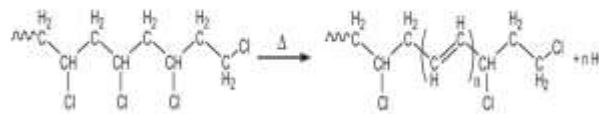
A. Kondisi Optimum Suhu Pengovenan pada Proses Ekstraksi Mikroplastik

Penentuan kondisi optimum pengovenan dilakukan dengan variasi suhu rentang $70\text{-}110^\circ\text{C}$. Adapun pengaruh suhu pengovenan terhadap massa mikroplastik PVC dapat dilihat pada grafik di gambar 1.



Gambar 1. Grafik Pengaruh suhu pengovenan terhadap massa mikroplastik

Berdasarkan grafik pada gambar 1, menunjukkan bahwa meningkatnya suhu pengovenan sampai suhu 90°C dapat meningkatkan massa mikroplastik hasil ekstraksi. Suhu oven kurang dari 95°C merupakan teknik yang baik berdasarkan suhu defleksi panas (HDT)[20]. Massa mikroplastik PVC menurun pada suhu pengovenan 100°C . Hal ini dikarenakan pemanasan pada suhu 100°C atau lebih mikroplastik akan berubah bentuk dan terdekomposisi lebih lanjut seperti pada gambar 2 [21].

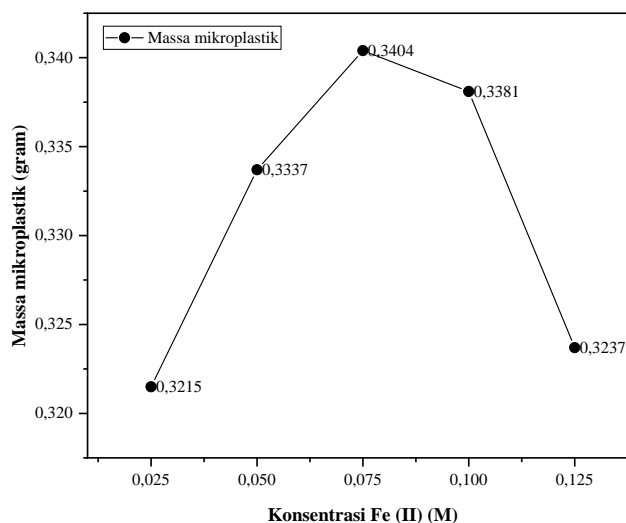


Gambar 1 Reaksi Dekomposisi PVC [22]

PVC yang terkena panas akan mengalami degradasi atau dekomposisi dengan melepaskan hidrogen klorida[7].

B. Kondisi Optimum Konsentrasi Katalis Fe(II) pada Proses Ekstraksi Mikroplastik

Penentuan kondisi optimum konsentrasi katalis Fe(II) dilakukan dengan variasi $0,025\text{M}$, $0,05\text{M}$, $0,075\text{M}$, $0,1\text{M}$, dan $0,125\text{M}$. Adapun pengaruh konsentrasi katalis Fe(II) terhadap massa mikroplastik PVC dapat dilihat pada grafik di gambar 2.



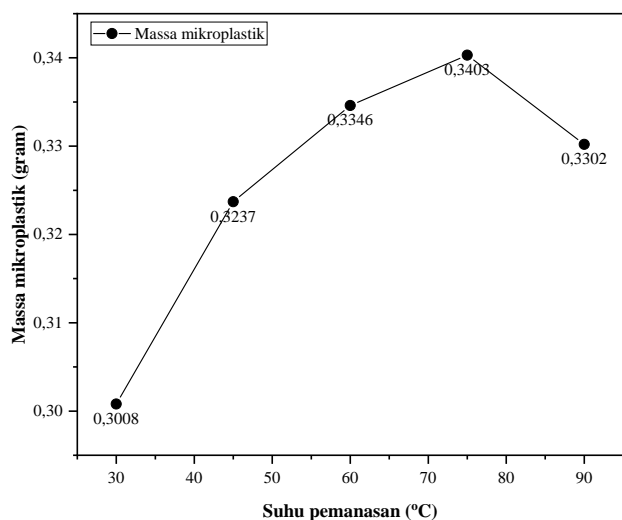
Gambar 2. Grafik Pengaruh Konsentrasi Fe(II) terhadap massa mikroplastik

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa peningkatan konsentrasi Fe(II) sampai di konsentrasi $0,075\text{M}$ dapat meningkatkan massa mikroplastik hasil ekstraksi yaitu $0,3404 \text{ gram}$. Hal ini dikarenakan meningkatkan pembentukan OH radikal yang dapat meningkatkan penghilangan bahan organik [23]. Berdasarkan data diatas, menunjukkan konsentrasi maksimum Fe(II) yaitu $0,075\text{M}$. Dheea al deen (2014) menjelaskan bahwa Fe(II) berfungsi untuk mempercepat pembentukan OH radikal. Namun massa mikroplastik yang diperoleh di konsentrasi Fe(II) $0,1 \text{ M}$ menurun yaitu $0,3381 \text{ gram}$. Hal ini dikarenakan kelebihan zat besi pada konsentrasi yang lebih tinggi dari kondisi optimum dapat menghambat oksidasi polutan organik, karena kelebihan zat besi dapat menimbulkan efek pemulungan radikal [24]

C. Kondisi Optimum Suhu Pemanasan pada Proses Ekstraksi Mikroplastik

Suhu pemanasan mempengaruhi reaksi antara H_2O_2 dan Fe(II), dimana reaksi dapat dipercepat dengan menaikkan suhu yang dapat meningkatkan laju pembentukan OH radikal [17]. Pengaruh suhu pemanasan terhadap massa mikroplastik yang dihasilkan dapat dilihat pada grafik berikut.

Berdasarkan tabel 10. diperoleh grafik pengaruh suhu pemanasan terhadap massa mikroplastik PVC sebagai berikut:

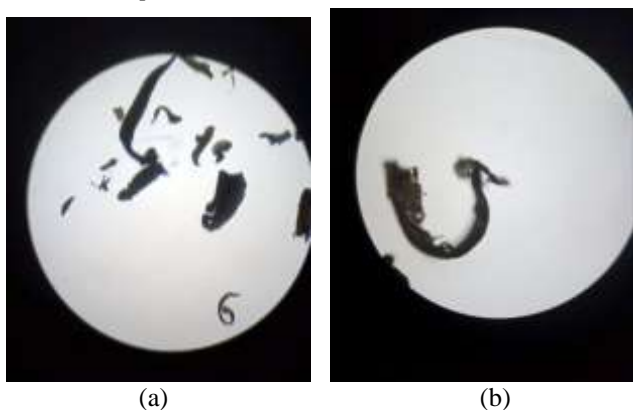


Gambar 3. Grafik pengaruh suhu pemanasan terhadap massa mikroplastik

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, massa mikroplastik tertinggi yang diperoleh pada hasil ekstraksi yaitu pada suhu pemanasan 75 °C. Hasil ini didukung dengan penelitian Rodrigues, 2019 yang menggunakan suhu pemanasan 75°C menghasilkan *recovery* diatas 90% mikroplastik yang diperoleh. Hal ini menunjukkan peningkatan suhu pemanasan dapat meningkatkan efisiensi oksidasi bahan organik. Suhu pemanasan yang rendah dapat memperlambat waktu reaksi yang menyebabkan degradasi bahan pengotor organik sedikit[21]. Namun, massa mikroplastik pada suhu 90°C menurun, hal ini disebabkan campuran ini bisa mendidih hebat jika suhunya melebihi 75 °C [13].

D. Hasil karakterisasi kondisi optimum mikroplastik PVC

1. Karakterisasi bentuk mikroplastik menggunakan mikroskop stereo



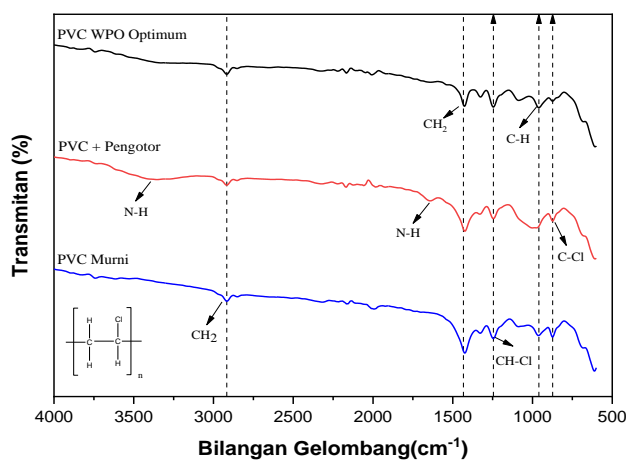
Gambar 4 (a) Bentuk mikroplastik PVC dibawah mikroskop perbesaran 40x, (b) perbesaran 100x

Mikroplastik memiliki ukuran yang sangat kecil yaitu < 5mm, sehingga sulit diidentifikasi langsung oleh mata. Mikroskop merupakan alat yang dapat digunakan

identifikasi bentuk mikroplastik. Bentuk mikroplastik PVC dibawah mikroskop perbesaran 40x dan perbesaran 100x pada gambar 9 yaitu fragmen dan fiber. Bentuk mikroplastik fiber yaitu panjang sedangkan bentuk fragmen yaitu partikel keras yang memiliki bentuk yang tidak beraturan. Mikroplastik bentuk fragmen biasanya berasal dari fragmentasi plastik botol minum, toples, galon, map mika, dan pipa paralon [25].

2. Karakterisasi menggunakan FTIR

Karakterisasi menggunakan FTIR berfungsi untuk melihat gugus fungsi pengotor organik yang hilang setelah proses ekstraksi mikroplastik PVC. Berikut grafik perbandingan spektrum IR sampel murni PVC, sampel PVC dengan pengotor dan sampel setelah proses ekstraksi.



Gambar 5. Grafik IR Sampel murni PVC, sampel PVC+pengotor, dan sampel setelah ekstraksi

Berdasarkan grafik IR diatas dapat diinterpretasikan pada tabel berikut:

TABEL 1
INTERPRETASI GRAFIK FTIR PVC

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) PVC Murni	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) PVC rendam	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) PVC optimum	Gugus fungsi	Vibrasi
-	3353,75	-	N-H	Stretching
2916,39	2917,39	2917,05	CH ₂	Asymmetric stretching
-	1641,34	-	N-H	Bending
1424,36	1423,89	1426,62	CH ₂	Angular deformation
1245,65	1245,21	1245,47	CH-Cl	Out of plane angular deformation
962,58	1001,30	960,28	C-H	Out of plane trans deformation
874,37	873,93	874,47	C-Cl	Stretching

Berdasarkan tabel 1. dapat dilihat bahwa PVC murni menunjukkan serapan pada daerah 2916 cm⁻¹ menyatakan adanya vibrasi asimetri *stretching* CH₂ yang diikuti serapan pada daerah 1424,36 cm⁻¹ yang merupakan serapan vibrasi CH₂ *angular deformation*, serapan pada

daerah $1245,65 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan serapan vibrasi CH-Cl *out of plane angular deformation*, serapan pada daerah $962,58 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan serapan vibrasi C-H *out of plane trans deformation*, dan serapan pada daerah $874,37 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan serapan vibrasi C-Cl *stretching*. Karakteristik spektrum sampel PVC yang digunakan pada penelitian ini memiliki kemiripan dengan spektrum PVC pada data literatur [26], dimana PVC memiliki ciri khas serapan pada bilangan gelombang (2930, 1426, 1255, 960 dan 835 cm^{-1}).

Penambahan daerah serapan pada bilangan gelombang $3353,75 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan serapan vibrasi N-H *stretching* dan daerah serapan pada bilangan gelombang $1641,34 \text{ cm}^{-1}$ yang diduga merupakan serapan vibrasi N-H *bend*. Hal ini menunjukkan pipa PVC setelah perendaman mengandung pengotor organik tambahan yang mengandung gugus N-H *bend* dan N-H *stretching* yang kemungkinan meruakan amina dengan gugus fungsi $-\text{NH}_2$ [27]. Amina terdapat dalam tumbuhan dan hewan [28]. Pada PVC hasil ekstraksi optimum, tidak mengandung gugus N-H *bend* dan N-H *stretching*. Spektrum mikroplastik PVC hasil ekstraksi optimum memiliki serapan mirip dengan spektrum sampel PVC murni dan literatur [26]. Hal ini menunjukkan proses ekstraksi WPO tidak mempengaruhi puncak serapan PVC, sehingga tidak mengubah struktur PVC. Hal ini menunjukkan sampel PVC telah bersih dari pengotor organik.

3. Karakterisasi menggunakan XRF

Karakterisasi menggunakan XRF digunakan untuk karakterisasi logam berat dalam mikroplastik. Logam yang terdeteksi dalam mikroplastik bersumber dari kandungan logam yang melekat dan yang ditambahkan pada pembuatan plastik dan logam yang teradsorpsi ke mikroplastik dari lingkungan sekitar (misalnya air dan sedimen)[29].

TABEL II
PERSENTASE UNSUR PADA SAMPEL MIKROPLASTIK PVC
BERDASARKAN ANALISA XRF

Unsur	Persentase unsur(%)		
	PVC Murni	PVC Pengotor	PVC Optimum
Si	0,71	1,483	0,477
Ca	13,445	19,96	7,59
V	0,002	0,006	0
Mn	0,005	0,035	0
In	0,296	0,372	0
Eu	0,007	0,008	0
Cu	0	0,007	0
Br	0	0,016	0
Sr	0	0,028	0

Berdasarkan tabel 13. logam yang bertindak sebagai bahan penyusun mikropastik PVC yaitu Si, Ca, V, Mn, In, dan Eu. Logam tersebut merupakan bahan aditif tambahan dalam produksi plastik untuk memberikan kualitas plastik seperti warna dan transparansi dan untuk meningkatkan kinerja produk plastik guna meningkatkan ketahanan

terhadap degradasi oleh ozon, suhu, radiasi cahaya, jamur, bakteri, dan kelembaban, serta mekanis, termal, dan hambatan listrik. Bahan-bahan tersebut termasuk bahan pengisi inert atau penguat, bahan pemlastis, antioksidan, penstabil UV, pelumas, pewarna, dan penghambat api [30].

Persentase logam Si, Ca, V, Mn, In, Eu meningkat pada sampel mikroplastik PVC yang direndam serta terdapat logam Cu, Br, dan Sr yang diserap oleh mikroplastik dari lingkungan. Namun persentase logam-logam tersebut menurun dan hilang pada sampel yang telah ekstraksi. Hal ini menunjukkan bahwa proses ekstraksi mikroplastik bersih dari logam-logam pengotor yang diserap oleh mikroplastik.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Suhu pengovenan optimum $90 \text{ }^\circ\text{C}$, konsentrasi katalis Fe (II) optimum $0,075\text{M}$, dan suhu pemanasan optimum suhu $75 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 2) Bentuk fragmen dan fiber merupakan bentuk mikroplastik PVC dan gugus N-H *bend* dan N-H *stretching* teridentifikasi sebagai bahan organik, serta logam pengotor yang teridentifikasi yaitu Si, Ca, V, Mn, In, Eu, Cu, Br, dan Sr.

B. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat memberi saran sebagai berikut:

- 1) Perlu dikaji lebih lanjut untuk karakterisasi menggunakan SEM-EDX.
- 2) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pengaplikasian metode ekstraksi dengan penambahan WPO pada lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada bapak Prof. Dr. Indang Dewata, M.Si selaku pembimbing skripsi serta semua pihak yang telah membantu dalam melakukan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] J. Li, H. Liu, and J. Paul Chen, "Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection," *Water Res.*, vol. 137, pp. 362–374, 2018, doi: 10.1016/j.watres.2017.12.056.
- [2] P. Chalmin, "Field Actions Science Reports The history of plastics: from the Capitol to the Tarpeian Rock," *F. Actions Sci. Reports*, no. 19, pp. 5–11, 2019.
- [3] I. Dewata and Z. Adri, "Water Quality Assessment and Determining the Carrying Capacity of Pollution Load Batang Kuranji River," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 335, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/335/1/012027.
- [4] K. P. T. Sianturi, B. Amin, and M. Galib, "Microplastic Distribution in Sediments in Coastal of Pariaman City, West Sumatera Province," *Asian J. Aquat. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 73–79, 2021, doi: 10.31258/ajoa.4.1.73-79.
- [5] M. . Asia, *Dampak Sampah Plastik Bagi Ekosistem Laut*. Sulawesi Utara: Politeknik Kelautan dan Perikanan Bitung, 2017.

- [6] M. R. Cordova, "Pencemaran Plastik Di Laut," *Oseana*, vol. 42, no. 3, pp. 21–30, 2017, doi: 10.14203/oseana.2017.vol.42no.3.82.
- [7] H. Wu, J. Hou, and X. Wang, "A review of microplastic pollution in aquaculture: Sources, effects, removal strategies and prospects," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 252, no. January, p. 114567, 2023, doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114567.
- [8] J. Brier and lia dwi jayanti, "Microplastics in the marine environment," vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020, [Online]. Available: <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- [9] R. Proshad, T. Kormoker, M. S. Islam, M. A. Haque, M. M. Rahman, and M. M. R. Mithu, "Toxic effects of plastic on human health and environment: A consequences of health risk assessment in Bangladesh," *Int. J. Heal.*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.14419/ijh.v6i1.8655.
- [10] S. Basri K, B. K, E. M. Syaputra, and S. Handayani, "Microplastic Pollution in Waters and its Impact on Health and Environment in Indonesia: A Review," *J. Public Heal. Trop. Coast. Reg.*, vol. 4, no. 2, pp. 63–77, 2021, doi: 10.14710/jphtcr.v4i2.10809.
- [11] I. J. Zakaria, J. Sutopo, N. Tetra, and H. Pardi, *Metoda Analisis Mikroplastik Dalam Sampel Lingkungan*, no. January 2022. Tasikmalaya: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2021. [Online]. Available: www.rcipress.rcipublisher.org
- [12] M. Claessens, L. Van Cauwenberghe, M. B. Vandegehuchte, and C. R. Janssen, "New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 70, no. 1–2, pp. 227–233, 2013, doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.03.009.
- [13] M. O. Rodrigues, A. M. M. Gonçalves, F. J. M. Gonçalves, H. Nogueira, J. C. Marques, and N. Abrantes, "Effectiveness of a methodology of microplastics isolation for environmental monitoring in freshwater systems," *Ecol. Indic.*, vol. 89, no. February, pp. 488–495, 2018, doi: 10.1016/j.ecolind.2018.02.038.
- [14] M. Smith, D. C. Love, C. M. Rochman, and R. A. Neff, "Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health," *Curr. Environ. Heal. reports*, vol. 5, no. 3, pp. 375–386, 2018, doi: 10.1007/s40572-018-0206-z.
- [15] R. R. Hurley, A. L. Lusher, M. Olsen, and L. Nizzetto, "Validation of a Method for Extracting Microplastics from Complex, Organic-Rich, Environmental Matrices," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, no. 13, pp. 7409–7417, 2018, doi: 10.1021/acs.est.8b01517.
- [16] J. Masura, J. Baker, G. Foster, C. Arthur, and C. Herring, "Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments," *NOAA Tech. Memo. NOS-OR&R-48*, no. July, 2015.
- [17] Dheea al deen Atallah Aljuboury, Puganeshwary Palaniandy, Hamidi Bin Abdul Aziz, and Shaik Feroz, "A Review on the Fenton Process for Wastewater Treatment," *J. Innov. Eng.*, no. September 2015, 2014, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/282148450_A_Review_on_the_Fenton_Process_for_Wastewater_Treatment
- [18] M. B. Alfonso, K. Takashima, S. Yamaguchi, M. Tanaka, and A. Isobe, "Microplastics on plankton samples: Multiple digestion techniques assessment based on weight, size, and FTIR spectroscopy analyses," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 173, no. PA, p. 113027, 2021, doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.113027.
- [19] L. Li *et al.*, "A straightforward method for measuring the range of apparent density of microplastics," *Sci. Total Environ.*, vol. 639, pp. 367–373, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.166.
- [20] Q. Qiu, Z. Tan, J. Wang, J. Peng, M. Li, and Z. Zhan, "Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment," *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 176, pp. 102–109, 2016, doi: 10.1016/j.ecss.2016.04.012.
- [21] S. M. Rodrigues, C. M. R. Almeida, and S. Ramos, "Adaptation of a laboratory protocol to quantify microplastics contamination in estuarine waters," *MethodsX*, vol. 6, no. April, pp. 740–749, 2019, doi: 10.1016/j.mex.2019.03.027.
- [22] E. Yousif and A. Hasan, "Photostabilization of poly(vinyl chloride)–Still on the run," *J. Taibah Univ. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 421–448, 2015, doi: 10.1016/j.jtusci.2014.09.007.
- [23] H. Sanjaya, P. Rida, and S. K. W. Ningsih, "Degradasi Methylene blue menggunakan katalis ZnO-PEG dengan Metode Fotosonolisis," vol. 18, no. 2, 2017.
- [24] M. S. M. Al-zazzawi *et al.*, "Validation of Sample Preparation Methods for Microplastic Analysis in Wastewater," *Water*, vol. 12, no. 9, p. 2445, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/w12092445>
- [25] I. Nur Faujiah, D. Ira Ryski Wahyuni, K. Kunci, A. Minum Kemasan, and A. Minum Isi Ulang, "Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik pada Air Minum serta Potensi Dampaknya terhadap Kesehatan Manusia," *Gunung Djati Conf. Ser.*, vol. 7, pp. 89–95, 2022, [Online]. Available: <https://conferences.uinsgd.ac.id/index.php/gdcs/article/view/609>
- [26] L. Coltro, J. B. Pitta, and E. Madaleno, "Performance evaluation of new plasticizers for stretch PVC films," *Polym. Test.*, vol. 32, no. 2, pp. 272–278, 2013, doi: 10.1016/j.polymertesting.2012.11.009.
- [27] H. Parbuntari and D. Yermadesi, *Kimia Organik dan Polimer*. Jakarta, 2019.
- [28] R. Fadhilla, *Senyawa- Senyawa Amina*, vol. 202. Jakarta: Universitas Esa Unggul, 2019.
- [29] G. Kutralam-Muniasamy, F. Pérez-Guevara, I. E. Martínez, and V. C. Shruti, "Overview of microplastics pollution with heavy metals: Analytical methods, occurrence, transfer risks and call for standardization," *J. Hazard. Mater.*, vol. 415, no. January, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125755.
- [30] C. Campanale, C. Massarelli, I. Savino, V. Locaputo, and V. F. Uricchio, "A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 4, 2020, doi: 10.3390/ijerph17041212.