

Sintesis dan Karakterisasi Biosorben Kombinasi Kitosan dan Karbon Aktif Ampas Kopi untuk Pengolahan Air Limbah Industri

Synthesis and Characterization of Biosorbent Combination of Chitosan and Coffee Ground Activated Carbon for Industrial Wastewater Treatment

Nisa Nurhidayanti^{1*}, Dhonny Suwazan², Nur Ilman Ilyas³

^{1*,2,3}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pelita Bangsa, Jalan Inspeksi KalimaJang Tegat Danas Arah Delta Mas, Kecamatan Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat Indonesia

^{1*}Program Doktor Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 10, Bandung, Jawa Barat.

*corresponding author: nisa.kimia@pelitabangsa.ac.id

Abstrak. Sintesis dan karakterisasi biosorben dari kombinasi kitosan dan karbon aktif ampas kopi telah dilakukan menggunakan metode eksperimen di laboratorium dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi penggunaan biosorben alternatif yang ekonomis dan mengurangi limbah ampas kopi yang dapat mencemari lingkungan untuk menurunkan konsentrasi logam berat pada air limbah industri. Biosorben kitosan dicoating dengan karbon aktif ampas kopi menggunakan variasi massa karbon aktif sebanyak 0,6 ; 0,8; 1,0; 1,2 dan 1,4 gram. Sintesis biosorben dilakukan dengan melarutkan 1,2 gram kitosan ke dalam 60 mL asam asetat 3% kemudian ditambahkan variasi massa karbon aktif ampas kopi, distirer hingga homogen, kemudian dituangkan ke dalam kaca akrilik, dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Hasil yang terbentuk diimmersikan dengan NaOH 1 N selama 24 jam dan dicuci dengan aquades hingga pH netral kemudian dikeringkan. Proses biosorpsi dilakukan dengan memasukkan kitosan-karbon aktif ampas kopi ke dalam kolom diikuti dengan memasukkan 50 mL air limbah yang tercemar logam berat dilewatkan kolom dengan pompa vakum dan ditampung untuk dianalisis, kemudian air limbah hasil biosorpsi diukur konsentrasinya menggunakan AAS. Hasil karakterisasi karbon aktif ampas kopi berupa kadar volatile, kadar air, kadar abu, dan kadar karbon terikat telah memenuhi SNI No. 06-3730-1995. Karakterisasi FT-IR menunjukkan bahwa biosorben mengandung gugus fungsi C-H (sebagai alkana), N-H (kemungkinan sebagai amina sekunder/ primer dan amida), N=O (nitro), C-O (kemungkinan sebagai alkohol/ eter/ ester/ asam karboksilat/anhidrida), C-N (amina) dan C-Cl (klorida). Karakterisasi SEM EDX menunjukkan biosorben memiliki luas permukaan yang lebih besar dan pori-pori yang bergelombang tidak beraturan dengan ukuran rongga yang lebih besar dan lebih dalam dibandingkan dengan pori-pori karbon aktif ampas kopi yang memiliki morfologi permukaan yang hampir rata.

Kata-kata kunci: ampas kopi, biosorben, biosorpsi, karbon aktif, kitosan

Abstract. Synthesis and characterization of biosorbents from the combination of chitosan and activated carbon of coffee grounds have been carried out using experimental methods in the laboratory with a quantitative descriptive approach. This study aims to contribute to the use of alternative biosorbents that are economical and reduce coffee grounds waste that can pollute the environment to reduce the concentration of heavy metals in industrial wastewater. Chitosan biosorbent was coated with coffee grounds activated carbon using a mass variation of 0.6 ; 0.8; 1.0; 1.2 and 1.4 grams. Synthesis of biosorbent was carried out by dissolving 1.2 grams of chitosan into 60 mL of 3% acetic acid then adding variations in mass of coffee grounds activated carbon, stirred until homogeneous, then poured into acrylic glass, dried in an oven at 60°C for 24 hours. The resulting product was immersed with 1 N NaOH for 24 hours and washed with distilled water until the pH was neutral and then dried. The biosorption process was carried out by inserting chitosan-activated carbon from coffee grounds into the column followed by inserting 50 mL of wastewater contaminated with heavy metals, passed through the column with a vacuum pump and accommodated for analysis, then the concentration of the biosorption wastewater was measured using AAS. The results of the characterization of coffee grounds activated carbon in the form of volatile

content, moisture content, ash content, and bound carbon content have met SNI No. 06-3730-1995. FT-IR characterization shows that the biosorbent contains functional groups CH (as alkanes), NH (possibly as secondary/primary amines and amides), N=O (nitro), CO (possibly as alcohols/ethers/esters/carboxylic acids/anhydrides), CN (amine) and C-Cl (chloride). SEM EDX characterization showed that the biosorbent had a larger surface area and irregularly wavy pores with larger and deeper cavity sizes compared to the pores of coffee grounds activated carbon which had an almost flat surface morphology.

Keywords: coffee grounds, biosorbent, biosorption, activated carbon, chitosan

1. Pendahuluan

Kopi merupakan minuman yang dikonsumsi oleh sejumlah besar populasi di seluruh dunia dan merupakan salah satu minuman paling populer setelah teh [1]. Di Indonesia, kopi dikenal sebagai produk hasil komoditi perkebunan yang mempunyai potensi ekonomi tinggi sehingga memiliki peranan penting memberikan kontribusi devisa negara. Selain itu, kopi juga merupakan sumber penghasilan bagi 1,5 juta jiwa petani kopi di Indonesia [2]. Pada tahun 2007, produksi kopi di Indonesia mengalami kenaikan yang cukup tinggi yaitu mencapai 676.500 ton/tahun dan mengalami peningkatan produksi pada tahun 2013 sebanyak 691.160 ribu ton/ tahun [3]. Minat masyarakat untuk mengkonsumsi kopi yang tinggi di Indonesia menghasilkan banyaknya limbah ampas kopi. Limbah ampas kopi yang dibuang ke lingkungan secara langsung dapat bersifat toksik karena adanya kandungan senyawa tannin, kafein dan polifenol [4].

Limbah ampas kopi mengandung atom karbon sehingga memiliki peluang untuk diproses menjadi karbon aktif yang memiliki potensi sebagai bahan penyerap atau adsorben [5]. Pemanfaatan residu / ampas kopi yang diolah menjadi karbon aktif sebagai biosorben tidak hanya dapat membantu untuk membersihkan air limbah yang terkontaminasi tetapi juga dapat mengurangi limbah ampas kopi di [1]. Pemanfaatan kitosan beberapa tahun terakhir sebagai adsorben logam berat telah banyak dilakukan. Kitosan berperan sebagai bahan koagulan yang dapat menurunkan kadar warna pada dosis 600 mg/L dengan efisiensi 50,5 % pada limbah cair sasirangan [6]. Kitosan mampu mengikat ion logam timbal 5-6 kali lebih besar dari pada kitin [7]. Kitosan dapat mengadsorpsi logam nikel (II) sebanyak 49,9 mg/g pada suhu 60 °C [8], logam zink (II) sebanyak 196,1 mg/g pada pH 5 dan suhu 25 °C [9], logam timbal (II) sebanyak 843,9 mg/g pada pH 4 dan suhu 25 °C [10] dan logam kromium (III) sebanyak 138 mg/g pada pH 3,5 dan suhu 20 °C [11].

Pada kesempatan ini peneliti mencoba untuk melakukan sintesis biosorben dari kombinasi kitosan dan karbon aktif dari ampas kopi untuk mengolah limbah cair industri yang mengandung logam berat. Penggunaan biosorben kitosan dan ampas kopi ini diharapkan dapat mereduksi dampak negatif pencemaran lingkungan akibat penggunaan adsorben kimia dan keberadaan limbah ampas kopi yang dapat mencemari lingkungan.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah kitosan, larutan $ZnCl_2$ p.a (Merck), larutan HCl p.a (Merck), larutan NaOH p.a (Merck) dan ampas kopi yang merupakan limbah kopi dari *coffeeshop*.

2.2. Alat yang digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari gelas kimia, neraca analitik, kertas saring, pipet volume, corong, cawan porselen, indikator universal, oven, spatula, plat akrilik, hot plate, ayakan, tanur, desikator, karet penghisap/bulb, aluminium foil, ball mill, magnetic stirrer, vakum, *Fourier Transform-Infra Red* (FT-IR) Perkin Elmer L1280127 dan *Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) JEOL JSM-6510LA .

2.3. *Prosedur Penelitian*

3.3.1. *Sintesis karbon aktif dari ampas kopi*

Ampas kopi dikeringkan pada suhu 100 °C selama 24 jam dalam oven untuk menghilangkan kadar air. Ampas kopi dimasukkan ke dalam cawan porselin dan dibakar dengan kompor listrik hingga suhu di dalam ± 950 °C selama 15 menit untuk proses karbonasi. Setelahnya di angkat dari kompor listrik dan didinginkan pada suhu ruang. Lalu untuk proses aktivasi, karbon direndam dalam larutan ZnCl₂ 30% selama 24 jam. Kemudian dicuci menggunakan air hangat dengan suhu 80 °C selama 20 menit dan cuci menggunakan HCl 0,1 N, dicuci kembali menggunakan air hangat sampai tidak ada gelembung udara. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan kadar zat mudah menguap, kadar air, kadar abu dan kadar karbon terikat.

3.3.2. *Sintesis Biosorben Kitosan-Karbon Aktif Ampas Kopi*

Sebanyak 1,2 gram kitosan dilarutkan dengan asam asetat 3% sebanyak 60 mL, ditambahkan 0,6 g karbon ampas kopi, distirer hingga homogen. Dituangkan ke kaca akrilik, dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam di dalam oven. Hasil yang terbentuk diimmersedikan dengan NaOH 1 N selama 24 jam. Kemudian dilepaskan dari kaca akrilik, dan dicuci dengan akuades hingga netral dan dikeringkan dalam suhu kamar kemudian disimpan dalam desikator. Dilakukan hal yang sama dengan variasi berat penambahan karbon sebanyak 0,8 g; 1 g; 1,2 g dan 1,4 g.

3.3.3. *Karakterisasi Biosorben*

Karakterisasi karbon aktif dari ampas kopi dilakukan penentuan kadar volatil, kadar air, kadar abu dan kadar karbon terikat. Karakterisasi sifat fisik dan kimia dari adsorben karbon aktif ampas kopi dan kitosan-karbon aktif ampas kopi dilakukan menggunakan instrument FTIR dan SEM EDX [12] di UPT laboratorium terpadu Universitas Diponegoro.

2.3.3.1 *Penentuan Kadar Air*

Memasukkan 2 gram karbon aktif ke dalam botol yang telah ditimbang sebelumnya. Selanjutnya botol dimasukkan ke dalam oven selama 3 jam pada suhu 105°C, kemudian dikeringkan dalam desikator dan ditimbang [13].

$$\text{Kadar Air}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan: W= massa sampel (g); W₁= massa botol dan sampel awal (g); W₂= massa botol dan sampel akhir (g).

2.3.3.2 *Penentuan Kadar Abu*

Memasukkan 2 gram karbon aktif ke dalam botol yang telah ditimbang sebelumnya. Selanjutnya botol dimasukkan ke dalam oven selama 3 jam pada suhu 600°C, kemudian dikeringkan dalam desikator dan ditimbang [13].

$$\text{Kadar Abu}(\%) = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan: W= massa sampel (g); W₁= massa botol dan sampel awal (g); W₂= massa botol dan sampel akhir (g).

2.3.3.3 *Penentuan Kadar Zat Mudah Menguap*

Memasukkan 2 gram karbon aktif ke dalam botol yang telah ditimbang sebelumnya. Selanjutnya botol dimasukkan ke dalam tanur selama 3 jam pada suhu 450°C, kemudian dikeringkan dalam desikator dan ditimbang [13].

$$\text{Kadar zat mudah menguap}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan: W= massa sampel (g); W1= massa botol dan sampel awal (g); W2= massa botol dan sampel akhir (g).

2.3.3.4 Penentuan Kadar Karbon Terikat

Penentuan karbon aktif menggunakan pendekatan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar karbon terikat}(\%) = 100\% - (b + c) \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan: b = Zat mudah menguap (%); c = Kadar abu (%)

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1. Hasil sintesis karbon aktif dari ampas kopi

Tabel 4. Hasil Pengamatan proses sintesis karbon aktif dari ampas kopi

Tahapan	Hasil Pengamatan	Dokumentasi
Proses karbonasi ampas kopi pada suhu 950 °C selama 15 menit	Hasil Pengamatan Bubuk ampas kopi mula-mula berwarna coklat, setelah dibakar menjadi coklat kehitaman.	
Perendaman arang ampas kopi dalam larutan ZnCl ₂ 30% selama 24 jam	Arang kopi mula-mula kering, setelah rendam menjadi arang kopi basah.	
Proses pencucian arang aktif dengan HCl 0,1 N selama 20 menit	Tidak terjadi perubahan hasil pengamatan secara signifikan	
Proses pencucian arang aktif dengan air hangat selama 20 menit	Tidak terjadi perubahan hasil pengamatan secara signifikan	
Karbon aktif ampas kopi dikeringkan menggunakan desikator	Dihasilkan serbuk karbon aktif ampas kopi berwarna hitam.	

3.2. Hasil sintesis Biosorben Kitosan-Karbon Aktif Ampas Kopi

Tabel 2. Hasil Pengamatan proses sintesis Biosorben Kitosan-Karbon Aktif Ampas Kopi

Tahapan	Hasil Pengamatan	Dokumentasi
1,2 g kitosan ditimbang, kemudian dilarutkan dengan asam asetat 3% sebanyak 60 mL, ditambahkan 0,6 g karbon ampas kopi.	Terjadi pencampuran kitosan, karbon aktif dan asam asetat yang belum homogen	
Homogenisasi kitosan-karbon aktif ampas kopi melalui stirer	Terjadi pencampuran kitosan dan ampas kopi secara homogen	
Pengeringan biosorben pada suhu 60°C selama 24 jam di dalam oven.	Proses pengeringan biosorben sedang berlangsung	
Hasil pengeringan diimmersion dengan NaOH 1N selama 24 jam.	Karbon aktif ampas kopi yang telah kering membentuk gumpalan akibat penambahan NaOH	
Penetralan dengan aquades	Karbon aktif yang semula bersifat basa dicuci dengan aquades hingga pH netral	
Pembuatan biosorben kitosan ampas kopi telah selesai	Telah terbentuk biosorben yang siap dikarakterisasi	

3.3. Hasil Karakterisasi Biosorben

i. Hasil karakterisasi karbon aktif ampas kopi

Hasil karakterisasi karbon aktif ampas kopi yang diperoleh disajikan pada tabel 3 sebagai berikut:

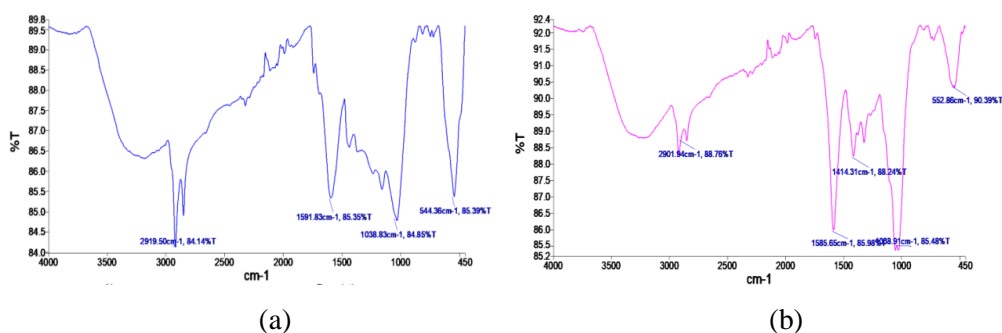
Tabel 3. Hasil Karakterisasi Karbon Aktif Ampas Kopi

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Syarat Mutu Karbon SNI No. 06-3730-1995
1.	Kadar Air	%	7,35	Maksimal 15
2.	Kadar Abu	%	4,09	Maksimal 10
3.	Kadar Zat Mudah Menguap	%	20,83	Maksimal 25
4.	Kadar Karbon Terikat	%	75,08	Minimal 65

Hasil karakterisasi kadar zat mudah menguap, kadar air, kadar abu dan kadar karbon terikat dalam karbon aktif ampas kopi telah memenuhi persyaratan mutu karbon SNI No. 06-3730-1995. Kadar air yang memenuhi SNI menunjukkan ketersediaan pori-pori karbon aktif yang dapat ditempati oleh polutan sehingga kapasitas adsorpsi dapat optimal [14]. Kadar abu yang telah memenuhi SNI menunjukkan adanya oksida logam atau bahan anorganik yang terkandung dalam karbon aktif ampas kopi [15]. Kadar zat mudah menguap menunjukkan produk dekomposisi senyawa penyusun arang aktif karena proses pemanasan dan aktivasi yang merupakan hasil dari interaksi antara karbon dengan uap air [16]. Kadar karbon terikat yang memenuhi SNI menunjukkan besarnya fraksi atom karbon yang terikat di dalam arang selain abu, zat menguap dan fraksi air setelah proses karbonasi dan aktivasi [17].

ii. Hasil karakterisasi kitosan karbon aktif ampas kopi

Hasil karakterisasi biosorben kitosan-karbon aktif ampas kopi menggunakan FT-IR disajikan pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Hasil Karakterisasi FT-IR dari Biosorben a)Karbon aktif ampas kopi dan b) Kitosan-Karbon Aktif Ampas Kopi

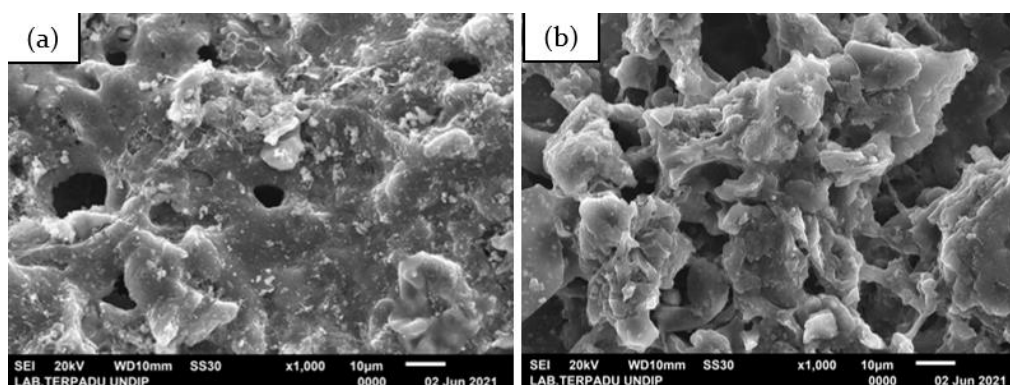
Berdasarkan Gambar 1 diatas menunjukkan bahwa hasil analisis karakterisasi spektrum puncak serapan menggunakan instrumen FT-IR pada karbon aktif ampas kopi terdapat beberapa puncak serapan antara lain menunjukkan adanya gugus fungsi C-H (sebagai alkana), N-H (kemungkinan sebagai amina sekunder/ primer dan amida), C-O (kemungkinan sebagai alkohol/ eter/ ester/ asam karboksilat/anhidrida), C-N (amina) dan C-Cl (klorida). Sedangkan hasil analisis spektrum FT-IR pada kitosan – karbon aktif ampas kopi terdapat beberapa puncak serapan antara lain menunjukkan adanya

gugus fungsi C-H (sebagai alkana), N-H (kemungkinan sebagai amina sekunder/ primer dan amida), N=O (nitro), C-O (kemungkinan sebagai alkohol/ eter/ ester/ asam karboksilat/anhidrida), C-N (amina) dan C-Cl (klorida) [18]. Berdasarkan hasil analisa FT-IR tersebut menunjukkan adanya penambahan gugus fungsi N=O pada bioadsorben kitosan – karbon aktif ampas kopi dibandingkan dengan karbon aktif ampas kopi. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi yang terjadi antara karbon aktif ampas kopi dan kitosan adalah interaksi fisik [13] dan interaksi kimia berupa reaksi oksidasi nitrogen yang menyebabkan terbentuknya gugus nitro (NO₂) pada biosorben kitosan – karbon aktif ampas kopi.

Hasil karakterisasi biosorben kitosan dan karbon aktif ampas teh menggunakan SEM EDX disajikan pada tabel 4 dan gambar 2 sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil karakterisasi unsur kimia biosorben menggunakan SEM EDX

No	Unsur kimia	Karbon aktif ampas kopi	Kitosan-Karbon aktif ampas kopi
1	Karbon	69,26%	74,30%
2	Oksigen	19,53%	18,29%
3	Aluminium	-	0,06%
4	Natrium	-	0,88%
5	Magnesium	0,32%	0,34%
6	Fosfor	0,52%	0,34
7	Klorin	2,46%	0,46
8	Kalium	-	0,42
9	Kalsium	-	0,27
10	Tembaga	0,27%	0,53
11	Timah	-	2,99
12	Indium	2,08	-
13	Silikon	-	0,15
14	Zink	-	0,46
15	Zirkonium	-	0,51



Gambar 2. Hasil karakterisasi biosorben menggunakan SEM-EDS (a) karbon aktif ampas kopi dan (b) kitosan- karbon aktif ampas kopi dengan pembesaran 1000 kali

Berdasarkan Tabel 4 unsur yang dominan dalam biosorben kitosan dan karbon aktif ampas kopi adalah atom C, hal ini dikarenakan kitosan merupakan polimer polisakarida, sedangkan ampas kopi merupakan polimer dalam bentuk rantai selulosa. Pada tabel tersebut didapatkan peningkatan unsur karbon (C) dari karbon aktif ampas kopi sebesar 69,26% menjadi 74,30% setelah dikombinasikan dengan kitosan. Struktur polimer

ampas kopi yang berbahan dasar selulosa menyatakan kemampuan adsorpsi kimia yang relatif kuat pada ion logam dan basa organik. Kombinasi kitosan-karbon aktif ampas kopi menyebabkan peningkatan fungsi dari biosorben. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya % massa atom karbon pada kitosan-karbon aktif ampas kopi. Gambar 2a menunjukkan permukaan karbon aktif ampas kopi dan gambar 2b menunjukkan permukaan biosorben kitosan-karbon aktif ampas kopi. Berdasarkan gambar 2a dan 2b menunjukkan pori-pori biosorben kitosan -karbon aktif ampas kopi yang tidak beraturan dengan rongga yang lebih besar dan lebih dalam, sedangkan pori-pori karbon aktif ampas kopi memiliki permukaan yang hampir rata dengan beberapa rongga berbentuk bulat dengan ukuran pori yang lebih kecil dibandingkan dengan kitosan karbon aktif ampas kopi. Hal ini menunjukkan penambahan karbon aktif ampas kopi pada kitosan dapat memperbesar pori-pori permukaan dan meningkatkan situs aktif biosorben sehingga dapat meningkatkan penyerapan logam kadmium dan timbal pada air limbah industri [13,19].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi karbon aktif ampas kopi menunjukkan bahwa kadar air, kadar abu, kadar volatil dan kadar karbon terikat telah memenuhi SNI No. 06-3730-1995. Karakterisasi FT-IR menunjukkan bahwa biosorben mengandung gugus fungsi C-H (sebagai alkana), N-H (kemungkinan sebagai amina sekunder/ primer dan amida), N=O (nitro), C-O (kemungkinan sebagai alkohol/ eter/ ester/ asam karboksilat/anhidrida), C-N (amina) dan C-Cl (klorida). Karakterisasi SEM EDX menunjukkan biosorben memiliki luas permukaan yang lebih besar dan pori-pori yang bergelombang tidak beraturan dengan ukuran rongga yang lebih besar dan lebih dalam dibandingkan dengan pori-pori karbon aktif ampas kopi yang memiliki morfologi permukaan yang hampir rata. Penambahan karbon aktif ampas kopi pada kitosan dapat memperbesar pori-pori permukaan dan meningkatkan situs aktif biosorben sehingga dapat meningkatkan penyerapan logam berat pada air limbah industri.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada DIPA Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Tahun Anggaran 2021 atas dukungan dana penelitian yang telah diberikan dan Universitas Pelita Bangsa yang telah memfasilitasi pengajuan proposal penelitian dasar dan pembinaan/kapasitas pada kontrak penelitian Nomor 036/KP/7.NA/UPB/VII/2021 sehingga penelitian dapat dilaksanakan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [24] Ahsan, A.M., Islam, T., Imam, M.A., Hyder, A.H.M.G., Jabbari V, Dominguez, N & Juan C. Noveron. Biosorption of bisphenol A and sulfamethoxazole from water using sulfonated coffee waste: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6 (2018) 6602–6611, 2021.
- [25] Rahardjo, P. *Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta*. Penebar Swadaya, Jakarta, 2012.
- [26] Badan Pusat Statistik (BPS). *Produksi Kopi Di Indonesia*. Badan Pusat Statistik, 2015.
- [27] Iqbal, M., Dyah Uly Parwati, Wiwin., Ginting, Chandra. Pengaruh Ampas Kopi Sebagai Pupuk Organik Dan Dosis Dolomit Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit Di Pre – Nursery. *Jurnal Agromast* , Vol.3, No.2, 2018.
- [28] Irmanto, Suyata. Penurunan Kadar Amonia, Nitrit dan Nitrat Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi. *Molekul*. 4 No. 2(2009): 105-114, 2009.
- [29] Arifin, Karlina, A. & Khair, A. Pengaruh Dosis Kitosan terhadap Kadar Warna Limbah Cair Home Industri Sasirangan “ Oriens Handicraft” Landasan Ulin. *J. Health Sci. Preven.* 1(2):58-67, 2017.

- [30] Supriyantini, Endang., Yulianto, Bambang., Ridlo, Adi., Sedjati, Sri., Nainggolan, Amtoni Caesario. Pemanfaatan Chitosan Dari Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Kelautan Tropis*. ISSN 0853-7291. Vol. 21(1):23-28, 2018.
- [31] Liao, B., Sun, W., Guo, N., Ding, S., Su, S., Equilibriums and kinetics studies for adsorption of Ni(II) ion on chitosan and its triethylenetetramine derivative. *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.* 501, 32–41, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.04.043>.
- [32] Seyedmohammadi, J., Motavassel, M., Maddahi, M.H., Nikmanesh, S., Application of nanochitosan and chitosan particles for adsorption of Zn(II) ions pollutant from aqueous solution to protect environment. *Model. Earth Syst. Environ.* 2, 165. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0219-2>, 2016.
- [33] Rodrigues, F.H.A., de, C., Magalhaes, C.E., Medina, A.L., Fajardo, A.R. Hydrogel composites containing nanocellulose as adsorbents for aqueous removal of heavy metals: design, optimization, and application. *Cellulose* 26, 9119–9133, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02736-y>
- [34] Pietrelli, L., Francolini, I., Piozzi, A., Sighicelli, M., Silvestro, I., Vocciantè, M. Chromium(III) removal from wastewater by chitosan flakes. *Applied Science*, 10, 1925, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10061925>.
- [35] Yurdakal, S., Garlisi, C., Levent, O., Bellardita, M., Palmisano, G., Photocatalyst characterization techniques: adsorption isotherms and BET, SEM, FTIR, UV–Vis, photoluminescence, and electrochemical characterizations. In: Marci, G., Palmisano, L. (Eds.), *Heterogeneous Photocatalysis: Relationships With Heterogeneous Catalysis and Perspectives*. Joseph P. Hayton, Palermo, Italy, pp. 87–152, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64015-4.00004-3>.
- [36] Sari, Fitri Purnama. Pembuatan dan Karakterisasi Kitosan-Karbon Aktif dari Ampas Kopi sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Logam Kadmium dan Nikel. Tesis. Universitas Sumatera Utara, 2019.
- [37] Ghafarunnisa, D., Rauf, A., & Rukmana, B. T. S. Pemanfaatan Batubara Menjadi Karbon Aktif dengan Proses Karbonisasi dan Aktivasi Menggunakan Reagen Asam Fosfat (H₃PO₄) dan Ammonium Bikarbonat (NH₄HCO₃). *Prosiding Seminar Nasional XII*. 1(1), 36–41, 2017.
- [38] Solihat, I., Setyowati, A. D., Pamulang, D. U. Penggunaan Limbah Kulit Singkong Pada Filter Air Sederhana Skala Rumah Tangga. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 5(1), 61–70, 2021.
- [39] Wardani, S., & Rosa, E. (2018). Potensi Limbah Tulang Kambing Sebagai Arang Aktif Yang Teraktivasi Asam Sulfat. *Jurnal Serambi Engineering*, 3(2), 308–315, 2018.
- [40] Erawati, E., & Helmy, E. R. (2018). Pembuatan Karbon Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Jati (*Tectona grandis* L.f.) Suhu dan Waktu Karbonasi. *Urecol (University Research Colloquium)*. 105–112, 2018.
- [41] Mohamed, M.A., Jaafar, J., Ismail, A.F., Othman, M.H.D. & Rahman, M.A. Chapter 1 - Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *Membrane Characterization 2017*, Pages 3-29, 2017.
- [42] Sahu, N., Saigh, J. & Koduru, J.R. Removal of arsenic from aqueous solution by novel iron and iron–zirconium modified activated carbon derived from chemical carbonization of *Tectona grandis* sawdust: Isotherm, kinetic, thermodynamic and breakthrough curve modelling. *Environmental Research* 200 (2021) 111431, 2021.