



Pengaruh variasi jarak jarum ke kolektor pada perangkat electrospinning terhadap karakteristik material berpori nanofiber IIPs Pb (II)

DIAN MEGAWANTO¹, IHSAN ALFIKRO³, MENIK ARIANI², JORENA², OCTAVIANUS CAKRA SATYA²,
ERRY KORIYANTI², DAN IDHA ROYANI^{2,3*}

¹Program Studi Magister Fisika, FMIPA Universitas Sriwijaya; ²Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Sriwijaya; ³Laboratorium Sains Material, FMIPA, Universitas Sriwijaya

<p>Kata kunci: electrospinning; nanofiber; morfologi</p>	<p>ABSTRAK: Metode pemintalan elektrik atau electrospinning menjadi salah satu metode terdepan dalam pengembangan material nano berbasis struktur serat (nanofiber), yang memanfaatkan medan listrik statis bertegangan tinggi untuk menarik larutan kental menuju kutub negatif. Melalui kombinasi antar material, serat nano dapat menjadi selektif dalam menyerap cemaran, sehingga membuka peluang pengembangan sensor deteksi, salah satu bentuk kombinasi tersebut adalah material ion imprinted polymers (IIPs). Studi ini menghadirkan optimasi sederhana meliputi variasi jarak jarum-kolektor, pada jarak (7, 10, 15 cm) pengangkatan templat logam melalui proses ekstraksi dilakukan menggunakan HCl 3 M. Pengaruh variasi jarak jarum-kolektor pada serat nano berbasis PVA dianalisis melalui observasi morfologi menggunakan SEM dan analisis gugus fungsi menggunakan karakterisasi FTIR. Pada sampel IIPs Pb(II) didominasi gugus ikatan C-O yang menunjukkan adanya ikatan senyawa EDGMA atau BPO. Cukup berbeda dengan dengan serat nano campuran PVA dan Gelatin yang didominasi oleh gugus OH. Sampel NF-7 memiliki diameter rata-rata 392,3 nm, NF-10 memiliki diameter rata-rata yang lebih kecil, yaitu 315,9 nm, Sampel NF-15 cm memiliki diameter rata-rata yang paling kecil, yaitu 253,8 nm. Penyebaran Distribusi pori pada skala nanometer lebih banyak terbentuk pada NF-IIPs-Pb(II) dengan jarak 7 cm, dengan diameter rata-rata sebesar 392,3 nm yang lebih besar dibandingkan NF-IIPs-Pb(II) pada jarak 10 cm dan 15 cm. Sementara itu, kapasitas adsorpsi tertinggi ditemukan pada nanofiber dengan jarak 10 cm, yaitu sebesar 17,85 mg/g</p>
<p>Keywords: Electrospinning; Nanofiber; Morphology</p>	<p>ABSTRACT: The electric spinning or Electrospinning is one of the main methods to develop nanomaterials based on fibrous structures (nanofibers) that use a static high voltage field to attract a viscous solution to a cathode. The combination of materials allows nanofibers to selectively absorb pollutants, thus opening up opportunities for the development of detection sensors. One form of this combination is ion-imprinted polymeric materials (IIPs). In this study, we present a simple optimization of changing the needle-collector distance. At distances of (7, 10, and 15 cm), the metal template is removed by an extraction process with 3 M HCl. The effect of changing the needle-collector distance on PVA-based nanofibers is analyzed by morphological observation using SEM and functional group analysis using FTIR characterization. In the Pb(II)-IIP samples, C-O bond groups predominate, indicating the presence of EDGMA or BPO compound bonds. It is quite different from the PVA and gelatin mixed nanofibers, where OH groups predominate. The average diameter of the NF-7 sample is 392.3 nm, the average diameter of the NF-10 is smaller, i.e. 315.9 nm, the average diameter of the NF sample at -15 cm is the smallest, i.e. 253.8 nm. The distribution of pores on the nanometer scale is even larger. At a distance of 7 cm, in NF-IIPs-Pb(II), the average diameter is 392.3 nm, which is larger than that of NF-IIPs-Pb(II) at distances of 10 cm and 15 cm. At the same time, the highest adsorption capacity, i.e. 17.85 mg/g, was found for nanofibers with a distance of 10 cm.</p>

1 PENDAHULUAN

Metode pemintalan elektrik atau *electrospinning* menjadi salah satu metode terdepan dalam pengembangan material nano berbasis struktur serat (*nanofiber*), yang memanfaatkan medan listrik statis

bertegangan tinggi untuk menarik larutan kental menuju kutub negatif. Dengan pengaturan lingkungan sintesis, proses ini memungkinkan terbentuknya struktur serat (*nanofiber*) yang diikuti dengan menguapnya pelarut dari bahan [1]. Terkesan rumit, namun perangkat *electrospinning* cukup

* Corresponding Author: idharoyani@unsri.ac.id

sederhana, yang terdiri dari catu daya tegangan tinggi, sistem injeksi larutan, dan kolektor konduktif, yang dapat mensintesis serat nano (*nanofiber*) dari berbagai jenis polimer dan komposit baik alami maupun sintesis, dengan mudah dan biaya terjangkau [2].

Struktur serat nano sangat menarik perhatian karena sifatnya yang memiliki permukaan yang spesifik dan porositas permukaan, disertai dengan ukuran pori serat yang kecil dengan distribusi seragam. Karakteristik ini sangat cocok dimanfaatkan dalam banyak bidang, terutama pengolahan air limbah, yang telah menjadi permasalahan lingkungan [3]. Logam terlarut menjadi salah satu cemaran berbahaya yang cukup sulit diatasi, yang dapat terakumulasi secara biologis dalam tubuh. Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang dapat masuk mencemari lingkungan sekitar kita melalui udara, tanah maupun air dan memberikan efek racun bagi tubuh, walaupun dalam jumlah yang relatif rendah dapat membahayakan kesehatan manusia [4,5].

Melalui kombinasi antar material, serat nano dapat menjadi selektif dalam menyerap cemaran, sehingga membuka peluang pengembangan sensor deteksi, salah satu bentuk kombinasi tersebut adalah material *ion imprinted polymers* (IIPs). IIPs merupakan material polimer dengan permukaan yang telah tercetak bentuk tertentu yang menyesuaikan dengan target penyerapan di alam, sehingga kombinasi IIPs ke dalam struktur serat nano membawa potensi tersendiri dalam membantu menyelesaikan pencemaran lingkungan [6].

Studi ini menghadirkan optimasi sederhana pada parameter metode *electrospinning* selama sintesis serat nano dengan polimer PVA, guna menghasilkan serat nano terkontrol dengan diameter seragam. Optimasi meliputi variasi jarak jarum-kolektor pada jarak 7 cm, 10 cm, dan 15 cm [7]. Pengaruh variasi jarak jarum-kolektor pada serat nano berbasis PVA dianalisis melalui observasi morfologi menggunakan citra SEM dan analisis gugus fungsi kimiawi menggunakan karakterisasi FTIR.

2 METODOLOGI

Material

Timbal(II) nitrat [$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$] sebagai templat logam, asam metakrilat [$\text{MAA}/\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$] sebagai monomer fungsional, benzoil peroksida [$\text{BPO}/\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_4$] sebagai inisiator, etilen glikol dimetakrilat [$\text{EGDMA}/\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_4$] sebagai pengikat silang, metanol [CH_3OH] sebagai pelarut, dan asam hidroklorida 37% [HCl] sebagai pelarut porogenik dibeli dari

Sigma-Aldrich Chemical Reagent Co. Polivinil alkohol [PVA] dengan berat molekul ± 60.000 Da sebagai polimer utama disuplai oleh Merck & Co., Inc dan Gelatin (kulit babi, tipe A) sebagai agen pengental disuplai oleh Merck Millipore.

Sintesis IIPs-Pb(II)

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 0,33 g dilarutkan ke dalam 40 mL metanol, lalu berturut-turut 0,4 mL MAA, 7,93 mL EGDMA, dan 0,25 g BPO ditambahkan ke dalam larutan dan diaduk hingga homogen. Larutan diinginkan selama 1 jam pada suhu -5°C , lalu dilanjutkan dengan proses polimerisasi pada suhu bertingkat, 75°C selama 3 jam, 80°C selama 2 jam, dan 85°C selama 1 jam [8]. Selanjutnya polimer digerus hingga halus, lalu dicuci menggunakan air deionisasi dan etanol beberapa kali. Pengangkatan templat logam melalui proses ekstraksi dilakukan perendaman berulang sebanyak 7 kali dalam HCl 3 M pada suhu 60°C selama 12 jam. Terakhir serbuk dibilas hingga pH netral dan dikeringkan. Polimer yang sama disintesis namun tanpa penambahan templat logam, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, sebagai polimer kontrol.

IIPs-Pb(II)/PVA-NF

Gelatin (5% w/v) dihomogenkan ke dalam larutan campuran asam asetat: aquades (1:10) pada suhu ruang. Kemudian, serbuk PVA (10% w/v) ditambahkan ke dalam larutan dengan diaduk pada suhu 85°C hingga terlarut. Selama pengadukan, serbuk IIPs-Pb(II) sebanyak 0,2 g ditambahkan ke dalam larutan hingga terdispersi merata. Selanjutnya, larutan dimasukkan ke dalam jarum suntik untuk proses selanjutnya.

Proses *electrospinning* dilakukan dengan memvariasikan jarak jarum-kolektor yaitu 7 cm, 10 cm, dan 15 cm pada suhu ruang, dengan tegangan 15kV, kelembapan udara 50%, laju injektor 0,3 mL/jam, dan jarum ukuran 18G. Sampel NF-7 yang dibuat dengan jarak jarum-kolektor 7 cm, sampel NF-10 yang dibuat dengan jarak jarum-kolektor sebesar 10 cm, dan sampel NF-15 yang dibuat dengan jarak jarum-kolektor sebesar 15 cm. Serat nano terkumpul pada kolektor dikeringkan di dalam desikator untuk menguapkan sisa-sisa larutan dan dikarakterisasi untuk analisis lebih lanjut.

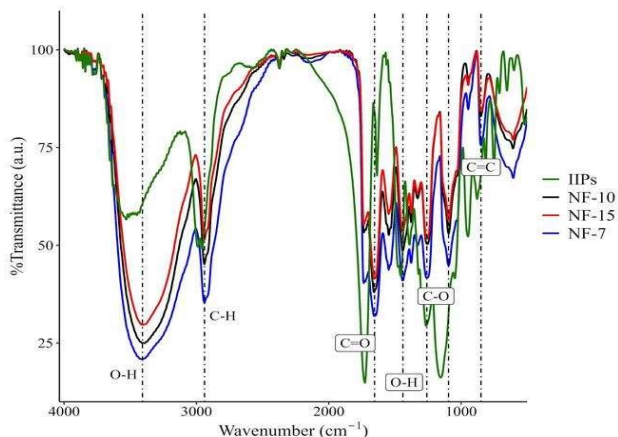
Karakterisasi Material

Pengamatan terhadap gugus fungsi pada tiap bahan dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (IR Prestige-21 SHIMADZU), *Scanning Electron Microscope* (Axia ChemiSEM) digunakan untuk mengamati morfologi bahan, dengan analisis diame-

ter serat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ImageJ, Atomic Absorption Spectroscopy (Thermo Scientific - SOLAAR S Series AA spectrometer) digunakan untuk mengamati logam terserap.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi FTIR



Gambar 1. Analisis FTIR

Gambar 1 merupakan hasil analisis FTIR menggunakan Rstudio. Serapan gugus O-H ditunjukkan pada bilangan gelombang 3408.22 cm⁻¹. Puncak pada 2939 cm⁻¹ mengacu pada serapan asimetris dan simetris gugus -CH₂. Serapan gugus O-H mencapai angka yang teramat tinggi pada sampel, serapan tinggi ini kemungkinan merupakan kombinasi antara PVA dan Gelatin, yang juga kaya akan gugus -OH [9]. Puncak pada 2939 cm⁻¹ mengacu pada serapan asimetris gugus -CH₂. Hal ini diikuti juga dengan serapan pada gugus fungsi C=O yang terbentuk pada bilangan gelombang 1700-1600 cm⁻¹ hal ini mengindikasikan adanya senyawa karboksilat yang mengandung EGDMA dan BPO. Gugus fungsi 1500-1095 cm⁻¹ menunjukkan gugus fungsi C-O yang terbentuk yang mengindikasikan adanya senyawa karboksilat dalam polimer namun gugus ini merupakan gugus eter yang menunjukkan adanya ikatan yang terjadi antara atom karbon dari senyawa karboksilat, dalam hal ini kemungkinan terikat dengan senyawa EGDMA atau BPO [10]. Bilangan gelombang 947-605 cm⁻¹ mengindikasikan gugus C=C [11]. Analisis FTIR untuk melihat gugus fungsi yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 1,

Tabel 1. Data Gugus Fungsi dari Analisis FTIR

Gugus fungsi	NF Pb(II) K (cm ⁻¹)			IIPs Pb(II) K(cm ⁻¹)
	NF-7	NF-10	NF-15	IIPs Pb
O=H	3408.22	3406.29	3406.29	3259.73

C=H	2939.52	2939.52	2941.44	2956.87
C=O	1654.92	1656.85	1654.92	1728.22
O-H	1440.83	1442.75	1440.83	1454.33
C-O	1259.52	1255.66	1259.52	1155.36
C=C	850.61	852.54	850.61	750.31

Berdasarkan Tabel 1, sampel NF-7 memiliki nilai OH yang lebih tinggi dibandingkan gugus OH dari sampel NF-10 dan sampel NF-15. Hal itu menandakan bahwasannya semakin besar jarak jarum ke kolektor semakin besar pula penguapan pelarut pada proses electrospinning. Bilangan gelombang pada 3500-300 cm⁻¹ menunjukkan gugus -OH sangat mendominasi pada serat nano atau Nanofiber. Serapan pada bilangan gelombang ~2900 cm⁻¹ menunjukkan gugus asimetris gugus C-H. Sedangkan pada sampel IIPs Pb(II) pada bilangan gelombang 1700 cm⁻¹ sangat mendominasi hal ini menunjukkan gugus ikatan C=O yang meregang dari gugus ester eter yang menunjukkan adanya ikatan yang terjadi antara atom karbon dari senyawa karboksilat, dalam hal ini kemungkinan terikat dengan senyawa EDGMA atau BPO [12]. Cukup berbeda dengan dengan serat nano campuran PVA dan Gelatin yang didominasi oleh gugus O=H.

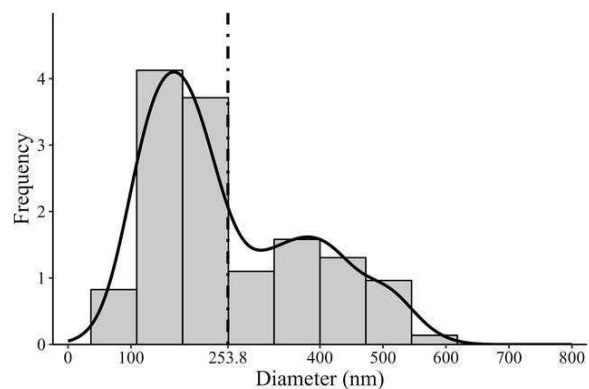
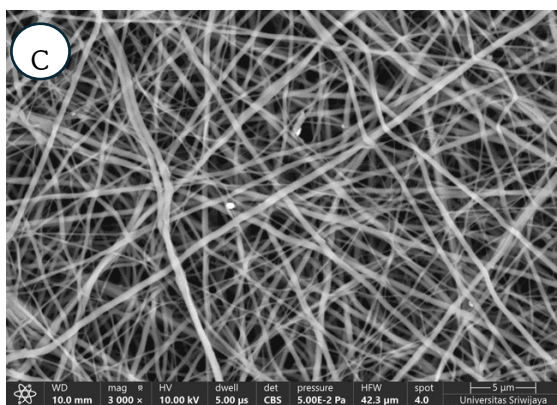
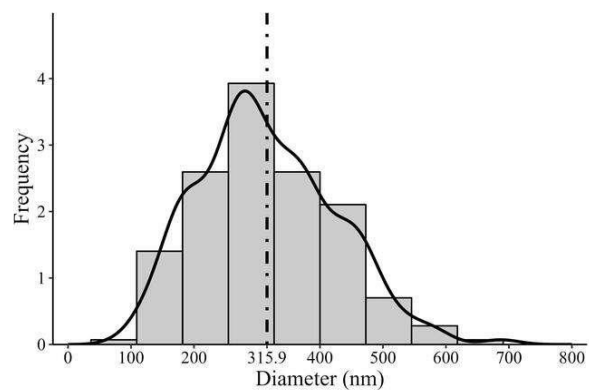
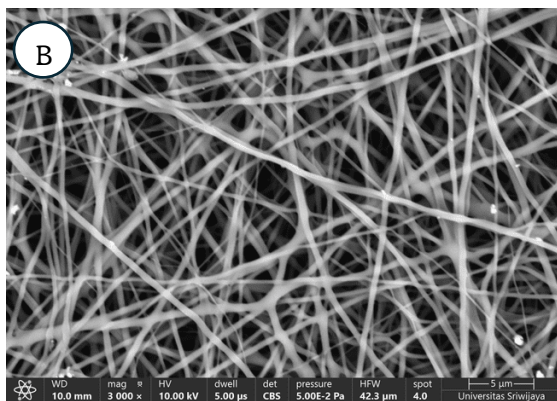
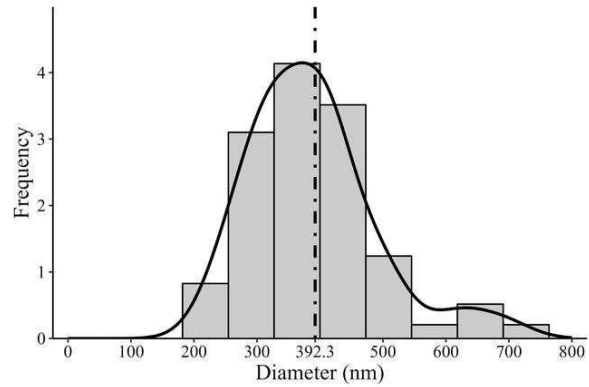
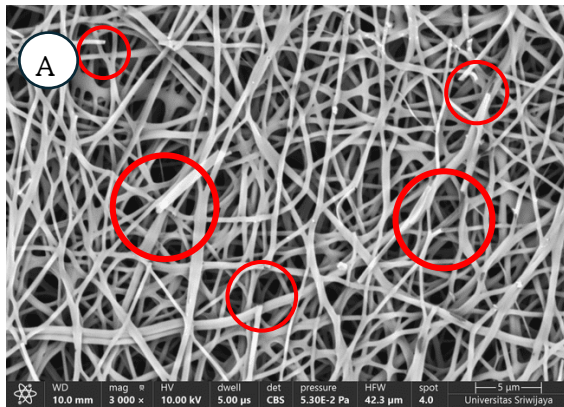
Karakterisasi SEM

Gambar 2 merupakan hasil analisis SEM yang menunjukkan sampel (A) NF-7 memiliki diameter rata-rata 392,3 nm, yang memiliki ukuran serat yang hampir sama, berkisar antara 200 hingga 600 nm. Puncak distribusi yang tajam menunjukkan bahwa sebagian besar serat berada di sekitar diameter rata-rata, Ini menunjukkan bahwa proses produksi untuk sampel NF-7 menghasilkan serat yang lebih seragam dalam hal ukuran [11]. Sampel (B) NF-10 memiliki diameter rata-rata yang lebih kecil, yaitu 315,9 nm dengan serat-serat yang bervariasi dari 100 hingga 700 nm dan pada sampel (C) NF-15 memiliki diameter rata-rata yang paling kecil, yaitu 253,8 nm, dan distribusi diameternya yang paling lebar dibandingkan yang sampel 7 cm dan 10 cm. Sebagian besar serat dalam sampel ini memiliki diameter antara 100 hingga 400 nm, Hasil tersebut menunjukkan bahwa jarak ujung jarum ke kolektor dapat mempengaruhi morfologi serat [12,13].

Morfologi serat dipengaruhi oleh jarak jarum karena akan mempengaruhi waktu yang dibutuhkan oleh polimer untuk sampai ke drum kolektor pada saat proses electrospinning. Yuan,dkk. menunjukkan bahwa jarak yang jauh mendukung pembentukan serat yang lebih tipis [14,15]. Jika jaraknya pendek, jet mungkin tidak sepenuhnya memanjang dan mungkin tidak mengeras menjadi serat pada saat mencapai kolektor. Jarak yang lebih pendek dapat

menghasilkan diameter serat yang lebih besar dan serat yang lebih besar cenderung meredam pembentukan manik karena kekuatan tegangan permukaan. Jika jaraknya jauh maka serat akan meregang dan memanjang sama besarnya mungkin sebelum mengeras dan terkumpul sebagai serat padat di

permukaan kolektor [16]. Dengan demikian nanofiber yang disintesis dengan jarak jarum yang lebih dekat akan menghasilkan serat nanofiber yang berdiameter lebih besar dibanding dengan jarak yang lebih jauh [17].



Gambar 2. Hasil SEM sampel A) NF-7cm B) NF-10 cm C) NF-15 cm. Untuk menganalisis diameter partikel, digunakan perangkat lunak ImageJ®. Analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Rstudio

Kapasitas Adsorpsi

Analisis uji kinerja polimer dilakukan untuk menentukan seberapa besar nilai adsorpsi polimer yang

telah disintesis peneliti dalam larutan uji NF-IIPs-Pb(II) yang telah disiapkan peneliti. Adapun besar nilai konsentrasi larutan uji yang telah disiapkan

sebanyak 10 ppm dalam 10 mL. Dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$q_e = \frac{(c_e - c_i) * V}{m}$$

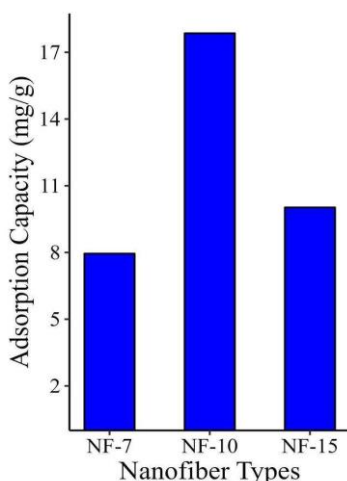
dengan: q_e = Kapasitas adsorpsi adsorben ($mg\ g^{-1}$); c_i = Konsentrasi awal ion logam ($mg\ L^{-1}$); c_e = Konsentrasi kesetimbangan ion logam ($mg\ L^{-1}$); V = Volume larutan ion logam (L); dan m = Berat CNFs (g)

Larutan uji diujikan pada masing-masing material ditimbang dan diukur massanya dan didiamkan selama 60 menit. Hasil dari uji AAS dapat dilihat pada Tabel 2, sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai kapasitas adsorpsi ion logam Pb(II)

Nama sampel	m	Ce	Q mg/g
NF 7 cm	0,009	2,855	7,948
NF 10 cm	0,003	4,644	17,853
NF 15 cm	0,005	4,988	10,024

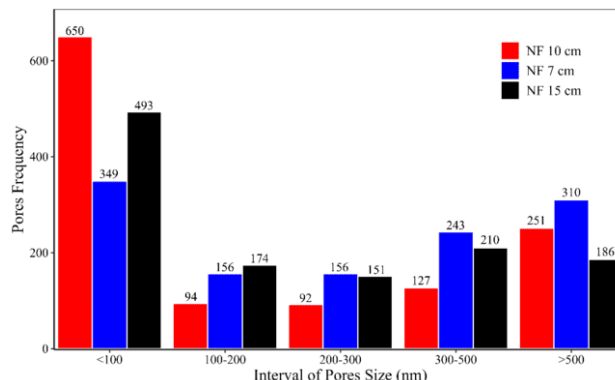
Berdasarkan Tabel 2 didapat kapasistas adsorpsi nanofiber dari NF-7 sebesar 7,94 mg/g sedangkan pada NF-10 memiliki kapasistas adsorpsi nanofiber yang lebih besar yakni 17,85 mg/g dan untuk NF-15 memiliki kapasistas adsorpsi nanofiber sebesar 10,02 mg/g.



Gambar 3. Diagram Kapasitas Adsorpsi menggunakan perangkat lunak Rstudio

Hasil diagram pada Gambar 3, didapat bahwa hasil karakterisasi SEM menunjukkan, NF-7 memiliki nilai kapasitas adsorpsi sebesar 7,94 mg/g. Pada NF-10 dari hasil SEM menunjukkan kapasistas adsorpsi nanofiber yang lebih besar yakni 17,85 mg/g, dan NF-15 memiliki nilai kapasistas adsorpsi nanofiber yakni 10,024 mg/g. Luas permukaan dan ukuran pori serta distribusi pori pada permukaan material adsorben memiliki kemampuan untuk mempengaruhi

besar dari kapasitas adsorpsi material terhadap analit [18] Transformasi material partikel ke serat nano yang dilakukan oleh peneliti bertujuan untuk meningkatkan ukuran pori dalam skala nano dan distribusi pori yang merata pada permukaan material.



Gambar 4. Diagram Porositas Sampel NF-7, NF-10 dan NF-15 menggunakan perangkat lunak Rstudio

Berdasarkan diagram pada Gambar 4, hasil karakterisasi SEM yang telah dilakukan menunjukkan bahwa NF-10 memiliki ukuran pori yang lebih kecil dan distribusi yang lebih merata pada permukaan material. Sehingga memberikan lebih banyak area kontak pada material untuk melakukan interaksi terhadap analit dan akibat dari distribusi pori yang merata tersebut mampu meningkatkan besar nilai kapasitas adsorpsi terhadap analit ketika dilakukan uji kapasitas adsorpsi. Namun, pada material NF-7 dan NF-15 ukuran pori dan distribusi yang terbentuk tidak merata pada permukaan material. Sehingga pada saat dilakukan analisis terhadap uji kapasitas adsorpsi, NF-7 dan NF-15 memperoleh besar nilai kapasitas adsorpsi yang lebih sedikit dari pada NF-10. Berdasarkan hasil SEM didapat nilai kapasitas adsorpsi larutan dipengaruhi oleh banyaknya rongga atau jarak antar serat nanofiber dalam sampel. Hal ini menyatakan bahwa transformasi material.

4 KESIMPULAN

Penelitian nanofiber diproduksi dengan variasi jarak sebesar 7 cm, 10 cm, dan 15 cm. Karakterisasi dilakukan menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), dan Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Pada sampel serat nano, gugus fungsi didominasi oleh bilangan gelombang di rentang 3500-300 cm^{-1} , yang menunjukkan keberadaan gugus -OH sebagai hasil kombinasi PVA dan gelatin. Sementara itu, pada sampel IIPs Pb(II), bilangan gelombang 1700 cm^{-1} sangat dominan, menunjukkan adanya gugus C=O

yang meregang dari gugus ester eter, mengindikasikan keberadaan senyawa EDGMA atau BPO.

Penyebaran Distribusi pori pada skala nanometer lebih banyak terbentuk pada NF-IIPs-Pb(II) dengan jarak 7 cm, dengan diameter rata-rata sebesar 392,3 nm yang lebih besar dibandingkan NF-IIPs-Pb(II) pada jarak 10 cm dan 15 cm. Sementara itu, kapasitas adsorpsi tertinggi ditemukan pada nanofiber dengan jarak 10 cm, yaitu sebesar 17,85 mg/g, yang lebih tinggi dibandingkan kapasitas adsorpsi pada jarak 7 cm dan 15 cm.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih peneliti sampaikan kepada LP2M Universitas Sriwijaya yang telah mendanai penelitian ini Berdasarkan Surat Keputusan Rektor nomor 0013/UN9/SK.LP2M.PT./20 tanggal 27 Juli 2024 dan perjanjian kontrak No. 0098.114/UN9/SB3.LP2M.PT/2024 tanggal 27 Oktober 2024

REFERENSI

- [1] Matsuura T, Shirazi MMA. *Principles of Matsuura T, Shirazi MMA. Principles of Electrospinning and Nanofiber Membranes*. In: Kargari A, editor. *Electrospun and Nanofibrous Membranes*. 1st ed. 2023; pages 3–25. doi:10.1016/B978-0-12-823032-9.00016-7
- [2] Ardekani R, Borhani S, Rezaei B. Selective molecularly imprinted polymer nanofiber sorbent for the extraction of Bisphenol A in a water sample. *Polym Int*. 2020;69(9):780–93. doi:10.1002/pi.601
- [3] Kargari A, Matsuura T., & Shirazi, M. M. A, (Eds). (2023). *Electrospun and nanofibrous membranes: principles and applications*. Elsevier
- [4] Chheang L, Thongkon N, Sriwiriyarat T, Thanasupsin SP. *Heavy Metal Contamination and Human Health Implications in the Chan Thnal Reservoir, Cambodia*. Sustainability. 2021;13(24):1–20. doi:10.3390/su132413538
- [5] Setyaningrum EW, Dewi ATK, Yuniartik M, Masithah ED. Analisis Kandungan Logam Berat Cu, Pb, Hg dan Sn Terlarut di Pesisir Kabupaten Banyuwangi. In: *Prosiding Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan IV* 2018. 2018;pages 144–53.
- [6] Kartika HD, Jorena J, Monado F, Royani I. Analisis Jumlah Rongga Tercetak pada Ion Imprinted Polymer (IIPs)-Fe(III) Yang disintesis menggunakan Metode Cooling-heating. *JPS*. 2022;24(1):18–23. doi:10.56064/jps.v24i1.68.
- [7] Mariola Ferrández-Rives, Ángela Aurora Beltrán-Osuna, José Antonio Gómez-Tejedor and José Luis Gómez Ribelles. *Electrospun PVA/Bentonite Nanocomposites Mats for Drug Delivery*. MDPI. 2017. 1448(10). 2017
- [8] Royani, I., Rahmayani, J., Maimuna, Koriyanti, E., Jorena, Saleh, K., & Monado, F. *Temperature in the Extraction Process : The Number of Cavities Created in Polymer Based on Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Caffeine*. (2020). 860; 297–302.
- [9] Perez-Puyana, V., Jimenez-Rosado, M., Romero, A., & Guerrero, A. (2018). *Development of PVA/gelatin nanofibrous scaffolds for Tissue Engineering via electrospinning*. *Materials Research Express*, 5(3), 1-8.
- [10] Novianty, Edianta, J., Saleh, K., Bama, A. A., Koriyanti, E., Ariani, M., & Royani, I. Synthesis of Fe (III) -IIPs (Ion Imprinted Polymers): Comparing Different Concentrations of HCl and HNO 3 Solutions in the Fe (III) Polymer Extraction Process for Obtaining the Largest Cavities in Fe (III) -IIPs. 8(3). 2023
- [11] Dallas P, Niarchos D, Vrbanic D, et al. Interfacial polymerization of pyrrole and in situ synthesis of polypyrrole/silver nanocomposites. *Polymer*. 2007;48(7):2007–2013.
- [12] A. Theron, E. Zussmann, A.L. Yarin, Experimental investigation of the governing parameters in the electrospinning of polymer solutions, *Polymer* 45(6).(2003); 2017–2030.
- [13] Širc, J., Hobzová, R., Kostina, N., Munzarová, M., Jukličková, M., Lhotka, M., Kubinová, Š., Zajícová, A., & Michálek, J. (2012). *Morphological characterization of nanofibers: Methods and application in practice*. *Journal of Nanomaterials*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/327369>.
- [14] X. Yuan, Y. Zhang, C. Dong, J. Sheng, Morphology of ultrafine polysulfone fibers prepared by electrospinning, *Polym. Int*. 53(11).(2004);1704–1710.
- [15] Febyana, A. W., & Putri, N. P. Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Morfologi Dan Konduktivitas Listrik Nanofiber Pani/Pva. 2022;18(2), 227–237.
- [16] Zhang, H. Effects of electrospinning parameters on morphology and diameter of electrospun PLGA/MWNTs fibers and cytocompatibility in vitro. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*. 2011. 26(6): p. 590-606.
- [17] Harshal Gade a, Shantanu Nikam b, George G. Chase, Darrell H. Reneker. Effect of electrospinning conditions on β -phase and surface charge potential of PVDF fibers. *Polymer* 228
- [18] Modise R, Darko G and Torto N. *Incorporation of Ni(II)-dimethylglyoxime ion-imprinted polymer into electrospun polysulphone nanofibre for the determination of Ni (II) ions from aqueous samples*, ISSN 1816-7950 Vol. 37 No. 4. 2011