Fabrikasi Nanofiber PVA/Fe₃O₄ dengan Metode Elektrospinning

Nuril Fathurin*dan Diah Hari Kusumawati(a)

Jurusan Fisika, Universitas Negeri Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60231 Email: <u>anurilfth9@gmail.com</u> <u>b diahkusumawati@unesa.ac.id</u>

Diterima (15 Desember 2021), Direvisi (29 Januari 2022)

Abstract. PVA/Fe₃O₄ nanofibers are composite materials contain magnetic materials in nanometer-sized fibers that have biocompatible, non-toxic, and high chemical stability properties. Fe₃O₄ will be composited with Polyvinyl Alcohol (PVA) and formed into nanofibers. The purpose of this study was to analize the effect of variations in volume % concentration of Fe₃O₄ used on PVA/Fe₃O₄ nanofibers. Fe₃O₄ was dissolved in dionized water using ultrasonication. The suspension Fe₃O₄ solution was mixed with 10% PVA solution to form PVA/Fe₃O₄ solution with Fe₃O₄ variations of 5%, 10%, 15%, and 20%. Electrospinning process was carried out on PVA/Fe₃O₄ solution with a voltage of 20 kV, flow rate of 5 ml/hour, distance of jet to collector is 15 cm. The results of SEM characterization can be concluded that the one that has the best morphology in this study is PVA/Fe₃O₄ nanofiber with a concentration of 10% because it generates uniform nanofibers with the smallest diameter at this concentration, the fibers do not attach to one other, and there are no beads.

Keywords: nanofibers, electrospinning, PVA/Fe₃O₄

Abstrak. Nanofiber PVA/Fe₃O₄ merupakan material komposit mengandung material magnetik berbentuk serat berukuran nanometer yang mempunyai sifat biokompatibel, tidak beracun, dan stabilitas kimia yang tinggi. Fe₃O₄ akan dikompositkan dengan PVA dan dibentuk menjadi nanofiber. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi % volume Fe₃O₄ dalam nanofiber PVA/Fe₃O₄ yang dihasilkan. Fe₃O₄ dilarutkan dalam dionize water menggunakan alat ultrasonikasi. Suspensi larutan Fe₃O₄ dicampurkan dengan larutan PVA 10 % sehingga terbentuk larutan PVA/Fe₃O₄ dengan variasi Fe₃O₄ sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%. Dilakukan proses elektrospinning pada larutan PVA/Fe₃O₄ dengan perlakuan tegangan 20 kV, laju alir 5 ml/jam, jarak jarum ke kolektor 15 cm. Hasil dari karakterisasi SEM dapat disimpulkan bahwa yang mempunyai bentuk morfologi paling baik dalam penelitian ini adalah nanofiber PVA/Fe₃O₄ dengan konsentrasi 10% dikarenakan pada konsentrasi tersebut menghasilkan nanofiber homogen dengan diameter yang paling kecil, antar fiber tidak menempel satu dengan yang lain, dan tidak terdapat beads.

Kata kunci: nanofiber, elektrospinning, PVA/Fe₃O₄

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi bidang material yang semakin pesat membuat para ilmuwan mengembangkan penelitian dalam bidang nanomaterial. Nanomaterial merupakan suatu bahan yang ditinjau dari segi morfologi berukuran sangat kecil dalam nanometer.Salah satu skala cabang penelitian nanomaterial yaitu pengembangan material yang berbentuk serat-serat kecil berukuran nanometer atau bisa disebut nanofiber. Nanofiber dibentuk

dengan memanfaatkan partikel berukuran nano yang dimodifikasi menjadi bentuk serat-serat halus.Salah satu nanopartikel yang dapat dimanfaatkan menjadi material nanofiber adalah Fe₃O₄. Hal ini karena Fe₃O₄ memiliki sifat hidrofilik yang bagus, biokompatibel, memiliki sifat- sifat tidak beracun, dan stabilitas kimia yang tinggi. Selain itu, Fe₃O₄ banyak dikaji dan digunakan untuk aplikasi biomedis karena magnetisasi saturasinya yang tinggi serta mudah disintesis [1]. Fe₃O₄ juga memiliki sifat magnetik yang unik, yaitu adanya

fenomena superparamagnetik, yaitu sifat material yang memiliki kemagnetan yang tinggi apabila medan magnet eksternal diberikan, namun ketika medan magnet eksternal dihilangkan magnetisasi rataratanya menjadi nol. Salah satu bahan yang menghasilkan superparamagnetik adalah material ferromagnetik yang berukuran sangat kecil dengan orde nanometer[2]. Sifat-sifat nanopartikel Fe₃O₄ tersebut menjadikannya cocok untuk diaplikasikan sebagai sistem penghantaran obat untuk pengobatan kanker[3].

Telah dikembangkan beberapa metode untuk fabrikasi nanofiber, antara lain elektrospinning, template, pemisahan fase, teknik pemintalan serat multikomponen, self-assembly, dan melt blowing. Namun, elektrospinning merupakan teknik yang cukup sederhana yang saat ini sedang banyak digunakan serta mampu menghasilkan rentang ukuran serat nano paling kecil 0,04-2 mikrometer[4]. Dengan memanfaatkan teknik kelistrikan bertegangan tinggi, elektrospinning cukup efektif untuk menghasilkan nanofiber yang kontinyu dengan ukuran submikrometer[5]. Pada prinsipnya, proses elektrospining memanfaatkan gaya elektrostatik yang muncul pada partikel akibat tegangan tinggi. Metode ini menggunakan polimer yang dilarutkan dan diletakkan pada suntikan (syringe) kemudian dikeluarkan melalui sebuah lubang jarum suntik dengan ujung kecil dan ditarik oleh medan listrik arus searah pada tegangan tinggi. Larutan yang tertarik oleh medan listrik tegangan tinggi tersebut membentuk serat tipis karena pengaruh tegangan permukaan. Serat-serat berukuran nano tersebut bergerak dan terpintal pada kolektor[6]. Hal ini dapat terjadi karena ujung jarum suntikan dihubungkan dengan elektroda positif sehingga larutan bermuatan positif dan kolektor sebagai tempat terkumpulnya fiber dihubungkan pada elektroda negatif[7].

Pada metode elektrospinning sebagai pembuatan nanofiber proses ini menggunakan nanopartikel Fe₃O₄ yang dikombinasikan akan dengan larutan polimer polyvinyl alcohol (PVA) yang bersifat isolator. Larutan PVA akan digunakan sebagai larutan pengikat atau pembawa yang akan membentuk nanofiber berisi nanopartikel superparamagnetik Fe₃O₄. Pada penelitian ini digunakan jenis polimer PVA karena PVA mempunyai karakteristik tidak berbau, bisa membentuk plastik film vang baik, mempunyai kekuatan mekanik serta fleksibilitas yang baik[8]. PVA juga mudah diproses, tidak dan biokompatibel[9]. PVA beracun, merupakan polimer yang larut dalam air yang diproduksi secara industri dengan saponifikasi polivinil ester atau polivinil eter, sebuah semi-kristal polimer hidrofilik dengan stabilitas kimia yang baik[10]. Selain itu polimer PVA secara luas diterapkan dalam aplikasi biomedis dan sistem penghantaran obat[11].

Penelitian sebelumnya [12] membuat nanofiber dengan mencoba menggunakan polimer PVA dan Fe₃O₄ menggunakan metode elektrospinning. Pada penelitian tersebut dilakukan sintesis dua macam nanofiber dengan PVA dan Fe₃O₄, yaitu nanofiber PVA/Fe₃O₄dan PVA/PAA/Fe₃O₄. Namun pembahasan yang dipaparkan lebih luas dan optimal pada PVA/Fe₃O₄ yang diikat silang dengan PAA. Pada penelitian ini penulis akan membahas lebih lanjut tentang PVA/Fe₃O₄ tanpa diikat silang dengan PAA sebagai awal tentang penelitian PVA/Fe₃O₄. Penelitian ini akan mengkaji ketergantungan variasi konsentrasi volume PVA/Fe₃O₄ yang digunakan sebagai larutan uji terhadap nanofiber yang dihasilkan. Sumber tegangan yang 20 kV. PVA yang digunakan akan digunakan juga merupakan jenis polimer yang mudah didapatkan. Penelitian ini difokuskan pada analisis morfologi nanofiber PVA/Fe₃O₄ dengan cara mengkombinasikan polimer PVA yang dilarutkan dalam *dionized water* dengan nanopartikel Fe₃O₄ yang sudah siap pakai. Hasil penelitian ini diharapkan akan menambah informasi dalam upaya pembuatan dan aplikasi nanofiber PVA/Fe₃O₄ yang lebih efektif.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan adalah vang pembuatan nanofiber PVA/Fe₃O₄ dengan konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20% mengacu pada penelitian sebelumnya [12]. Penelitian ini meliputi tiga tahap, yaitu pembuatan larutan PVA/Fe₃O₄, fabrikasi nanofiber PVA/Fe₃O₄, dan karakterisasi nanofiber PVA/Fe₃O₄. Ada beberapa uji karakterisasi yang akan dilakukan, antara lain uji morfologi menggunakan Mikroskop Optik, dan SEM-EDX. Selain itu dilakukan uji XRD, FTIR, dan VSM. Hasil karakterisasi dalam penelitian ini bersifat kuantitatif dan kualitatif.

1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa alat, antara lain gelas kimia *pyrex* 100 ml, gelas ukur *pyrex* 5 ml, pipet tetes, spatula, termometer, aluminium foil, timbangan digital, *magnetic stirrer*, kaca preparat, spet (suntikan) 10 ml, dan *Electrospinning Nachriebe* 601. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: PVA 72000 g/mol (Merck), Fe₃O₄, aquades.

2. Pembuatan Larutan PVA/Fe₃O₄

Fabrikasi nanofiber PVA/Fe₃O₄ dilakukan dengan cara membuat larutan PVA dengan aquades dengan konsentrasi 10 % volume pada suhu 80°C dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Larutan PVA didinginkan sampai suhu kamar. 0,5 gram nanopartikel Fe₃O₄ dilarutkan dalam 50 ml aquades dengan metode ultrasonikasi selama 30 menit pada suhu kamar. Campuran PVA/Fe₃O₄ dimanipulasi

sebanyak empat sampel dengan konsentrasi %volume suspensi larutan Fe₃O₄ yang berbeda dalam larutan PVA, yaitu 5%, 10%, 15%, dan 20% [12]. Larutan PVA/Fe₃O₄ didapatkan dari pencampuran larutan PVA dan larutan Fe₃O₄ pada suhu kamar dengan pengadukan pada *magnetic stirrer*.

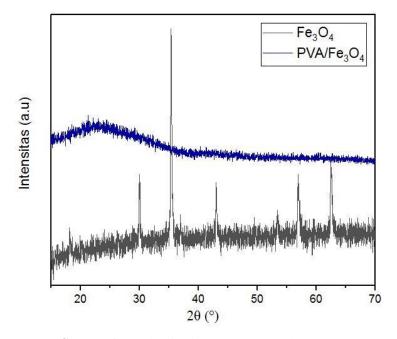
3. Fabrikasi Nanofiber PVA/Fe₃O₄

Pembuatan nanofiber pada penelitian ini menggunakan metode elektrospinning (Electrospinning Nachriebe 601). Untuk menjalankan alat elektrospinning, terlebih dahulu sampel PVA/Fe₃O₄ sebanyak 5 ml per variasi konsentrasi dimasukkan ke dalam syringe (spet). Drum collector atau tabung tempat nanofiber yang terbentuk dengan alumunium foil dipasang kaca preparat pada permukaannya untuk memudahkan pengambilan sampel. Syringe dipasang pada syringe pump, sehingga jarum dapat masuk pada lubang kaca untuk pemasangan probe tegangan tinggi. Dilakukan proses pemintalan menggunakan alat elektrospinning yang diatur dengan laju alir 5 ml/jam, jarak dari ujung jarum syringe ke drum collector diatur 15 cm, serta tegangan masukan diatur sebesar 20 kV. Proses ini berlangsung selama 30 menit. Nanofiber PVA/Fe₃O₄ akan terbentuk pada drum collector.

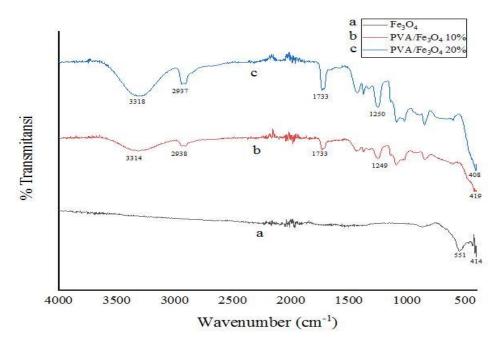
4. Karakterisasi Nanofiber PVA/Fe₃O₄

Nanofiber PVA/Fe₃O₄ yang dihasilkan dengan metode elektrospinning akan dilakukan karakterisasi X-Ray uji Diffraction (XRD) untuk mengetahui konsistensi kemurnian Fe₃O₄ dan mengetahui pembentuk komponen nanofiber PVA/Fe₃O₄. Selain itu, dilakukan Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk mengetahui material tertentu yang ada di dalam sampel dengan mengamati material nanofiber PVA/Fe₃O₄. fasa Kemudian. dilakukan uji karakterisasi morfologi menggunakan Mikroskop Optik (Microscope Metalurgy BX53M Olympus) dan Scanning Electron Microscope (SEM). Karakterisasi menggunkan Mikroskop Optik menghasilkan data berupa gambar serat dengan perbesaran 100x. Dari gambar tersebut dapat diketahui data berupa gambaran permukaan dan besar diameter nanofiber PVA/Fe₃O₄. Data tersebut akan diperkuat dengan karakterisasi SEM yang

menggunakan perbesaran 2500-25000x, sehingga permukaan dan diameter serat terlihat lebih jelas. Selain itu, dilakukan uji karakterisasi Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) untuk menunjukkan kadar material yang terkandung di dalam sampel nanofiber PVA/Fe₃O₄. Tidak hanya itu, nanofiber PVA/Fe₃O₄ akan diuji



Gambar 1. Karakterisasi XRD (a) Fe₃O₄, (b) PVA/Fe₃O₄



Gambar 2. Karakterisasi FTIR (a) Fe₃O₄, (b) PVA/Fe₃O₄ 10%, (c) PVA/Fe₃O₄ 20%

magnetisasi bahan menggunakan uji karakterisasi *Vibrating* Sample Magnetometer (VSM). Hasil uji VSM berupa kurva histeresis yang menunjukkan tingkat kemagnetan nanofiber yang dilihat dari magnet saturasi. Hal ini dilakukan salah satu bahan pembuatan nanofiber PVA/Fe₃O₄ adalah Fe₃O₄ yang mempunyai karakteristik sifat magnet yang baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini nanopartikel Fe₃O₄ yang digunakan diuji karakterisasi XRD untuk mengetahui konsistensi kemurnian Fe₃O₄. Hasil karakterisasi XRD ditunjukkan dalam **Gambar 3(a)**, dimana kurva dalam hasil tersebut menunjukkan karakter yang dimiliki oleh Fe₃O₄.

Terlihat dari peak-peak yang muncul pada kurva uji XRD yaitu pada (111), (220), (311), (400), (422), (511), (440). Begitu pula untuk mengetahui kandungan

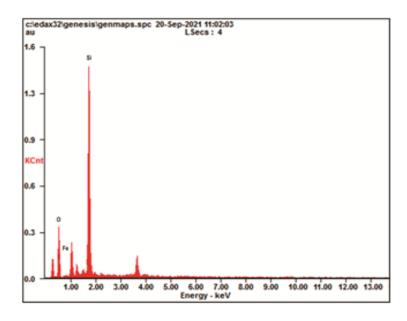
nanofiber material yang ada dalam PVA/Fe₃O₄ terbentuk. maka yang dilakukan uji karakterisasi XRD. Hasil dari karakterisasi ini ditunjukkan pada Gambar 1(b). Kurva tersebut menunjukkan bahwa kandungan material pembentuk nanofiber PVA/Fe₃O₄ tidak dapat diketahui secara spesifik dikarenakan dominasi polimer PVA.

Sehingga kurva yang terbentuk menunjukkan bahan yang bersifat amorf. Keadaan seperti ini juga dialami dalam penelitian [13], dimana hasil uji XRD PVA/Fe₃O₄ nanofiber tidak dapat mendefinisikan material-material pembentuk di dalamnya. Oleh karena itu perlu dilakukan uji karakterisasi FTIR untuk menggetahui kandungan material Fe₃O₄ dalam pembentukan nanofiber PVA/Fe₃O₄.

Karakterisasi gugus fungsi PVA/Fe₃O₄ menggunakan FTIR dilakukan pada panjang gelombang 400-4000 cm⁻¹ (**Gambar 2** dan **Tabel 1**).

Tabel 1. Hasil gugus fungsi yang terbentuk pada kerakterisasi FTIR

Sampel	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Referensi (Jannah et al. 2018)
Fe ₃ O ₄	$Fe^{3+}O^{2-}$	414	408-419
	$Fe^{2+}O^{2-}$	551	454
PVA/ Fe ₃ O ₄ 10%	$Fe^{3+}O^{2-}$	419	408-419
	С-Н	1249	1249-1250
	C=O	1733	1733
	О-Н	2938	2937-2938
	С-Н	3314	3314-3318
PVA/ Fe ₃ O ₄ 20%	$Fe^{3+}O^{2-}$	408	408-419
	С-Н	1250	1249-1250
	C=O	1733	1733
	О-Н	2937	2937-2938
	С-Н	3318	3314-3318



Gambar 3. Spektrum nanofiber PVA/Fe₃O₄ 10% setelah diuji EDX

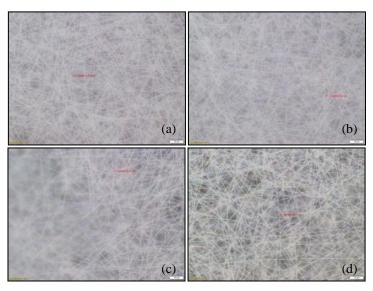
Hasil uji FTIR didapatkan hasil bahwa spektrum polimer PVA lebih dominan dalam pembentukan peak pada nanofiber PVA/Fe₃O₄. Namun hasil menunjukkan bahwa peak milik Fe³⁺O²⁻ terdeteksi pada 408-419 cm⁻¹. Gugus fungsi C-H terdeteksi pada kisaran 1249-1250 cm⁻¹, C=O pada 1733 cm⁻¹, O-H pada 2937-2938 cm⁻¹, serta C=H pada 3314-3318 cm⁻¹ sesuai dengan hasil penelitian sebelumya [13].

Selain itu dilakukan uji karakterisasi EDX untuk mengetahui jumlah kadar material-material pembentuk nanofiber PVA/Fe₃O₄ 10%. Hasil karakterisasi ini dipaparkan pada Gambar 3 dan Tabel 2. Dapat diketahui bahwa material Fe dan O sebagai material pembentuk Fe₃O₄ sudah termuat di dalam nanofiber PVA/Fe₃O₄ vaitu 1,19 % Fe dan 29,77 % O. Persentase Fe dalam nanofiber PVA/Fe₃O₄ sangat sedikit dikarenakan konsentrasi Fe₃O₄ yang dipakai dalam sintesis PVA/Fe₃O₄ merupakan suspensi Fe₃O₄. Sehingga apabila diteliti lebih lanjut memang kadar Fe dalam nanofiber PVA/Fe₃O₄ sangatlah sedikit. Selain itu diketahui bahwa terdapat material Si yang dominan dikarenakan substrat yang dipakai dalam penelitian merupakan kaca preparat yang bahan material pembentuknya adalah Si.

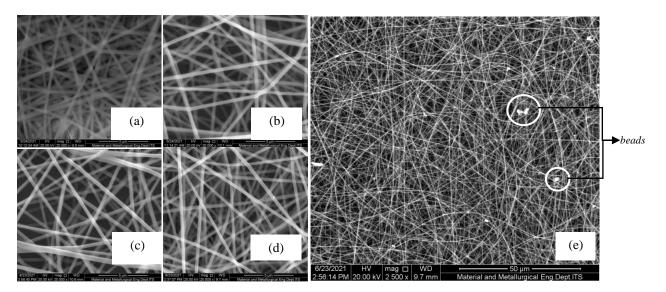
Morfologi nanofiber dapat dipengaruhi variabel utama, yaitu perbedaan tegangan tinggi yang digunakan, konsentrasi larutan polimer, dan jarak spet ke kolektor. Variabel yang diubah pada penelitian ini konsentrasi adalah perbedaan PVA/Fe₃O₄. Nanofiber PVA/Fe₃O₄ divariasi menjadi empat sampel dengan persentase larutan Fe₃O₄ terhadap larutan PVA sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%. Keempat variasi PVA/Fe₃O₄dikarakterisasi konsentrasi menggunakan mikroskop optik ditunjukkan Tabel 3 dan Gambar 5. Hasil percobaan menunjukkan adanya perbedaan ukuran diameter nanofiber PVA/Fe₃O₄.Apabila dilihat dari perbedaan konsentrasi PVA/Fe₃O₄ dari data yang diperoleh, ukuran diameter nanofiber terkecil didapatkan pada konsentrasi PVA/Fe₃O₄ 15%.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Diameter Serat dengan Mikroskon

No.	Konsentrasi PVA/Fe ₃ O ₄ (%v)	Ukuran Diamaeter Serat (µm)
1.	5	0,52-0,70
2.	10	0,52 - 0,59
3.	15	0,42 - 0,63
4.	20	0,50-0,63



Gambar 5. PVA/Fe₃O₄ konsentrasi (a) 5%, (b) 10%, (c) 15%, (d) 20%



Gambar 6. Nanofiber PVA/Fe₃O₄ (a) 5%, (b) 10%, (c) 15%, (d) 20% dengan perbesaran 25000x, serta (e) 20% dengan perbesaran 2500x

Tabel 4. Hasil Pengukuran Diameter Serat dengan SEM

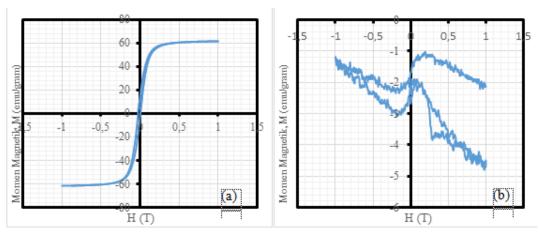
DLIVI		
No	Konsentrasi	Diameter
	Larutan	Nanofiber
	PVA/Fe ₃ O ₄ (%v)	PVA/Fe ₃ O ₄ (nm)
1.	5	277,2 – 343,9
2.	10	282,9 - 349,7
3.	15	306,3 – 364,5
4.	20	262,7 - 306,3

Dilakukan Uji SEM untuk mengetahui lebih jelas tentang bagaimana morfologi nanofiber PVA/Fe₃O₄ terbentuk.Gambaran serat yang didapatkan dari Uji SEM tentunya berbeda dengan didapatkan gambar yang dari Mikroskop Optik. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan perbesaran lensa dan kualitas gambar antara keduanya.Uji SEM dapat menghasilkan gambar dengan perbesaran sampai 25000 kali, sedangkan mikroskop optik hanya dapat mengambil gambar dengan maksimal perbesaran 100 kali.Perbesaran yang cukup tinggi menghasilkan gambaran morfologi serat dengan lebih jelas dan teliti.Sehingga Uji SEM dapat menangkap bentuk dan morfologi serat dengan lebih akurat.

Jika dilihat dari diameter serat nanofiber PVA/Fe₃O₄ yang telah diuji SEM diketahui ukuran diameter serat seperti yang disajikan dalam Tabel 4.Pada konsentrasi 5%, 10%, 15% semakin tinggi konsentrasi diameter nanofiber PVA/Fe₃O₄, dihasilkan semakin besar. Hal ini berarti bahwa pada rentang konsentrasi ini, perbedaan variasi banyaknya Fe₃O₄ mempengaruhi nanofiber yang terbentuk. Kemudian pada variasi 20% menghasilkan diameter yang lebih kecil daripada tiga variasi lainnya. Namun selisih besarnya diameter fiber ini tidak terlalu signifikan karena ukurannya dalam skala nanometer. Jika dilihat dari sudut pandang lain, terlihat **6(a)** bahwa nanofiber pada **Gambar** PVA/Fe₃O₄ 5% mempunyai serat yang terlihatberbeda dengan serat pada konsentrasi yang lain, yaitu saling menempel antara serat satu dengan lainnya. Berbeda dengan PVA/Fe₃O₄ dengan konsentrasi lain yang terlihat lebih kuat dan tidak menempel satu dengan yang lain. Fiber yang menempel satu sama lain akan mempunyai kemungkinan yang sulit untuk

diaplikasikan apabila pemanfaatan yang akan dilakukan mengharuskan mengambil setiap satu seratnya. Karakteristik seperti ini dimiliki oleh nanofiber PVA/Fe₃O₄10%, 15%, dan 20% (Gambar 6(b), (c) dan (d)).Namun apabila diperhatikan lebih detail. dalam morfologi nanofiber PVA/Fe₃O₄20% terdapat beads yang cukup banyak seperti halnya yang terlihat dalam Gambar 6(e).Keadaan nanofiber yang mengandung banyak beads juga akan dapat mengurangi efektivitas nanofiber dalam pengaplikasiannya. Sehingga menurut hasil karakterisasi SEM dapat disimpulkan bahwa konsentrasi terbaik terdapat pada nanofiber PVA/Fe₃O₄dengan konsentrasi 10%.

Hasil dari karakterisasi VSM dapat diamati pada Gambar 7. Terlihat jelas bahwa Gambar 7(a) dan (b) terlihat berbeda. Gambar 7(a) menunjukkan hasil dari karakterisasi VSM serbuk Fe₃O₄. Dalam gambar tersebut kurva histeresis menunjukkan momen magnet saturasi 60 emu/gr, medan koersivitas 0,1 oersted, dan momen magnet remanen 20 emu/gr. Namun pada Gambar 7(b) kurva histeresis yang diidentifikasi terbentuk sulit untuk dikarenakan kurva yang terbentuk tidak beraturan. Hal ini dimungkinkan terjadi sebab dominasi larutan PVA yang tidak mempunyai sifat magnetik sebagai pembentuk nanofiber PVA/Fe₃O₄ sebagai



Gambar 7. Hasil Karakterisasi VSM, (a) Fe₃O₄ dan (b) PVA/Fe₃O₄ 10 %

Sehingga dalam penelitian ini diperlukan adanya pengamatan lebih lanjut untuk mengidentifikasi keadaan seperti apa yang dapat mempertahankan sifat magnetik Fe₃O₄ apabila dijadikan nanofiber PVA/Fe₃O₄.

KESIMPULAN

penelitian berdasarkan Hasil uji karakterisasi SEM menunjukkan bahwa bentuk morfologi yang paling baik adalah nanofiber PVA/Fe₃O₄ dengan konsentrasi 10%. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut menghasilkan nanofiber homogen dengan diameter yang paling kecil yaitu sekitar 282,9 – 349,7 nm, antar fiber tidak menempel satu dengan yang lain, dan tidak terdapat beads. Selain itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait kemagnetan pada nanofiber PVA/Fe₃O₄, karena sifat magnet pada variasi konsentrasi PVA/Fe₃O₄ vang sudah diteliti terdeteksi dengan baik, sedangkan diameter serat menjadi semakin besar dan mengandung beads apabila kadar Fe₃O₄ yang diberikan semakin tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada pihak-pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini kami ucapkan terima kasih. Juga kepada dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan saran, kepada Laboratorium Material dan Laboratorium Fisika Universitas Negeri Surabaya, dan Laboratorium Uji Bahan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, serta Layanan E-Maju PSTMB BATAN sebagai lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] C. Lin, T. Tsai, M. Chung, and S. Lu, "Synthesis and Characterization of Magnetic Nanoparticles Embedded in Polyvinyl Pyrrolidone Nanofiber Film by Electrospinning Method," *J. Appl. Phys.*, vol. 509,

- pp. 1–4, 2009, doi: 10.1063/1.3062949.
- [2] E. A. Setiadi, N. Shabrina, H. Retno, B. Utami, and N. F. Fahmi, "Sintesis Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya," *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 3, no. 1, pp. 55–62, 2013.
- [3] L. K. Sholihah, "Sintesis Dan Karakterisasi Partikel Nano Fe₃O₄ Yang Berasal Dari Pasir Besi Dan Fe₃O₄ Bahan Komersial (Aldrich)," *Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, pp. 2–15, 2010.
- [4] T. Wahyudi and D. Sugiyana, "Pembuatan Serat Nano Menggunakan Metode Electrospinning," *Arena Tekst.*, vol. 26, no. 1, pp. 29–34, 2011, doi: 10.31266/at.v26i1.1439.
- [5] I. Alghoraibi and S. Alomari, Different Methods for Nanofiber Design and Fabrication, no. May. 2019.
- [6] A. Santosa, E. Widianto, and F. Restianto, "Rancang Bangun Sistem Electrospinning Untuk Nanofiber Mensintesis Polivinil Karakterisasinya," Alkohol Dan Infomatek, vol. 19, no. 2, p. 101, 2017. doi: 10.23969/infomatek.v19i2.634.
- [7] M. Muhaimin, W. D. Astuti, H. Sosiati, and K. Triyana, "Fabrikasi Nanofiber Komposit Nanoselulosa/PVA dengan Metode Electrospinning," *Pros. Pertem. Ilm. HFI XXVIII*, no. April, pp. 62–65, 2014.
- [8] Mustawarman, Heriansyah, and E.

Suharyadi, "Kajian Sifat Dielektrik pada Lempeng Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄) yang dienkapsulasi dengan Polyvinyl Alcohol (PVA) (Halaman 34 s.d. 37)," *J. Fis. Indones.*, vol. 19, no. 55, pp. 34–37, 2015, doi: 10.22146/jfi.24370.

- [9] V. Y. Pamela, R. Syarief, E. S. Iriani, and N. E. Suyatma, "Karakteristik Mekanik, Termal dan Morfologi Polivinil Film Alkohol dengan Penambahan Nanopartikel ZnO dan Asam Stearat untuk Kemasan Multilayer," J. Penelit. Pascapanen Pertan., vol. 13, no. 2, p. 63, 2017, doi: 10.21082/jpasca.v13n2.2016.63-73.
- [10] C. M. Hassan and N. A. Peppas, Applications of "Structure and poly(vinyl alcohol) **Hydrogels** Produced by Conventional Crosslinking or by Freezing/Thawing Methods," Adv. Polym. Sci., vol. 153. 37–65, 2000. doi: pp. 10.1007/3-540-46414-x_2.
- [11] Sunaryono, "Studi Struktur Nano Hidrogel Magnetik PVA/Fe₃O₄ dengan Sinkrotron Saxs," *Disertasi Jur. Fis. Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, pp. 60–74, 2016.
- [12] F. Liu, Q. Q. Ni, and Y. Murakami, "Preparation of Magnetic Polyvinyl alcohol Composite Nanofibers with Homogenously Dispersed Nanoparticles and High Water Resistance," *Text. Res. J.*, vol. 83, no. 5, pp. 510–518, 2013, doi: 10.1177/0040517512444334.
- [13] M. A. Jannah, A. Taufiq, N. Hidayat, and E. Nuraini, "Preparation and Structural Characterization of Nanosized PVA/Fe₃O₄ Preparation and Structural Characterization of Nanosized PVA/Fe₃O₄4 Fibers," *Int.*

Conf. Math. Sci. Educ., 2018.