

SINTESIS NANOFIBER KITOSAN/PVA SEBAGAI WOUND DRESSING DENGAN METODE ELEKTROSPINNING

Khल्ली Vatul Nur Istiqomah, Diah Hari Kusumawati

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Email: diahkusumawati@unesa.ac.id

Abstrak

Nanofiber kitosan/PVA dapat digunakan sebagai *wound dressing* karena memiliki sifat bioaktif dan biokompatibel. Pembuatan *nanofiber* dilakukan dengan menggunakan metode *elektrospinning*. Penelitian ini menggunakan larutan kitosan dengan konsentrasi 3% dan larutan PVA dengan konsentrasi 10%. Pencampuran larutan kitosan dengan larutan PVA menggunakan perbandingan volume:volume yaitu 1:4, 2:4 dan 3:4. Selanjutnya dilakukan proses *elektrospinning* dengan parameter meliputi tegangan 20 kV, jarak jarum ke kolektor 15 cm, serta laju alir 5 ml/jam. *Nanofiber* yang dihasilkan dari proses *elektrospinning* kemudian dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang berfungsi untuk melihat gugus fungsi yang terdapat pada sampel, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) yang berfungsi untuk melihat morfologi dan material penyusun, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) berfungsi untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material. *Nanofiber* yang dihasilkan menunjukkan *nanofiber* mengandung gugus kitosan dan PVA yang dibuktikan adanya kemiripan spektrum antara *nanofiber* kitosan/PVA dengan senyawa kitosan dan PVA. *Nanofiber* kitosan/PVA 1:4 dapat digunakan sebagai *wound dressing* karena membentuk *nanofiber* lebih baik dibanding lainnya, dimana *fibers* yang dihasilkan homogen dengan ukuran fiber yang hampir sama yaitu 177,1 nm, rapat, dan permukaannya halus tanpa adanya *beads* yang dibuktikan dengan karakterisasi SEM.

Kata Kunci: kitosan, elektrospinning, *nanofiber*, *wound dressing*

Abstract

The manufacture of nanofibers was carried out using the electrospinning method. This study used a chitosan solution with a concentration of 3% and a PVA solution with a concentration of 10%. Mixing the chitosan solution with the PVA solution used a volume: volume ratio of 1:4, 2:4 and 3:4. Furthermore, the electrospinning process was carried out with parameters including a voltage of 20 kV, a needle to the collector of 15 cm, and a flow rate of 5 ml/hour. The nanofibers produced from the electrospinning process were then characterized using Fourier Transform Infrared (FTIR) which serves to see the functional groups contained in the sample, Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) which functions to see the morphology and constituent materials, and X-Ray Diffraction (XRD) serves to identify the crystalline phase in the material. The spectrum of similarities between nanofiber chitosan/PVA with chitosan and PVA compounds proves that the produced nanofiber contains the chitosan and PVA group. Chitosan/PVA 1:4 nanofibers can be used as wound dressings because they form nanofibers better than others, where the resulting fibers are homogeneous with almost the same fiber size, namely 177.1 nm, tight, and smooth surface without any beads as evidenced by SEM characterization.

Keywords: chitosan, electrospinning, nanofiber, wound dressing

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering merasakan rasa sakit dan ketidaknyamanan saat terluka. Luka disebabkan oleh kontak dari sumber panas (seperti bahan kimia, air panas, api radiasi dan listrik), trauma benda tajam atau tumpul, ledakan atau gigitan hewan (Kurniawaty dkk., 2019). Penyembuhan luka dapat dilakukan dengan menutup luka menggunakan pembalut luka untuk menghindari terjadinya infeksi (Jayakumar dkk., 2011). Bahan pembalut luka yang ideal adalah bahan yang biokompatibel, mampu menahan debu dan mikroorganisme, dan non perekat sehingga dapat dilepas dengan mudah tanpa menimbulkan trauma (Patil dkk., 2020). Oleh sebab itu, dengan adanya kebutuhan untuk

merangsang penyembuhan dan mengembalikan fungsi normal bagian tubuh maka diperlukan biomaterial perancah sel, salah satunya kitosan (Syahputra dkk., 2018).

Berdasarkan sifat fisik dan kimianya, kitosan merupakan biomaterial yang dapat digunakan pada berbagai bidang, termasuk bahan adsorpsi, keperluan medis, bahan katalis dan lainnya (Yan dkk., 2020). Beberapa penelitian menyatakan bahwa kitosan efektif dalam penyembuhan luka karena mempunyai sifat spesifik yaitu adanya sifat bioaktif, biokompatibel, anti bakteri, anti jamur, dan dapat terbiodegradasi (Putri dkk., 2012). Kitosan tidak larut dalam air, pelarut-pelarut organik, alkali atau asam-asam mineral pada pH diatas 6,5. Kitosan larut dalam asam seperti asam asetat, asam laktat, asam

malat, asam format, dan asam suksinat (Ahmed dkk., 2018). Penggunaan kitosan sebagai bahan pembantu dalam menutup luka dapat dipadukan dengan *polyvinyl alcohol* (PVA) (Nuryantini dkk., 2013).

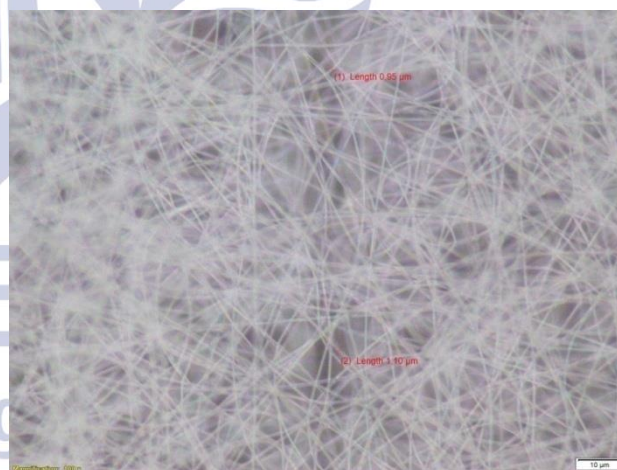
PVA merupakan salah satu polimer larut dalam air yang memiliki sifat biokompatibel, biodegradabel, tidak beracun serta memiliki aplikasi biomedis yang luas dalam rekayasa jaringan dan pembalut luka (Adeli dkk., 2018). Senyawa PVA dapat digunakan untuk fabrikasi *nanofiber* karena memiliki sifat mekanik yang baik (Mombini dkk., 2019). Pengabungan kitosan dan PVA untuk membentuk *nanofiber* dilakukan dengan metode *elektrospinning*, yakni metode pembuatan serat nano yang efektif dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik dalam menghasilkan pancaran (*jet*) larutan atau lelehan polimer bermuatan listrik (Gabriel dkk., 2019). Secara umum proses *electrospinning* terbagi menjadi tiga tahap yang diperkenalkan sebagai *jet modeling*. Tahap pertama adalah proses iniasi, yaitu terbentuknya tetesan larutan pada ujung jarum hingga larutan mulai terpancar menuju kolektor, akan mengakibatkan penurunan diameter fiber. Tahap kedua adalah proses penipisan (*thining*) diameter fiber. Semakin jauh jarak ujung tip dengan kolektor, akan mengakibatkan penurunan ukuran diameter fiber. Sementara itu, tahap ketiga adalah proses penguapan pelarut dan pembekuan fiber (*jet solidification*) (Hulupi dkk., 2018).

Pembuatan *nanofiber* kitosan/PVA sebagai *wound dressing* didukung oleh beberapa penelitian yaitu Ahmed dkk (2018) menggunakan larutan kitosan dengan konsentrasi 3% dan larutan PVA dengan konsentrasi 8% menyatakan *nanofiber* kitosan/PVA mengandung antibakteri yang cocok digunakan dalam penyembuhan luka, serta Adeli dkk (2018) menggunakan larutan kitosan dengan konsentrasi 2% dan larutan PVA dengan konsentrasi 9% menyatakan antibiotik dari *nanofiber* kitosan/PVA sangat bagus untuk infeksi luka. Kedua penelitian tersebut membuktikan bahwa *nanofiber* kitosan/PVA dapat digunakan sebagai *wound dressing*. Selain dua penelitian tersebut, Wang dkk. (2017) juga melakukan penelitian menghasilkan *nanofiber* yang memiliki fungsi kedua penelitian yang telah disebutkan sebelumnya sehingga dinilai lebih unggul serta *nanofiber* yang dihasilkan memiliki tekstur yang mirip dengan tissue sehingga lebih cocok digunakan sebagai *wound dressing* yang memiliki sifat biokompatibel dan biodegradable.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, penulis bermaksud melakukan fabrikasi *nanofiber* menggunakan material kitosan/PVA dengan metode elektrospinning yang mengacu pada penelitian sebelumnya (Wang dkk. 2017) dengan konsentrasi larutan kitosan 3% dan konsentrasi larutan PVA 10% serta dengan parameter *elektrospinning* meliputi tegangan 20 kV, jarak jarum ke kolektor 15 cm, serta laju alir 5 ml/jam dan mengkarakterisasi *nanofiber* menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

MATERIAL DAN METODE

Penelitian ini dilakukan untuk membuat *nanofiber* yang berbahan dasar kitosan dan PVA. Pembuatan *nanofiber* ini mengacu pada penelitian sebelumnya (Wang dkk.2017). Terdapat perbedaan dalam penelitian ini yaitu campuran larutan kitosan dan PVA serta konsentrasi PVA yang berbeda. Perbedaan campuran kitosan dan PVA ini dipengaruhi oleh viskositas larutan kitosan yang meningkat seiring bertambahnya volume larutan kitosan yang ditambahkan. Pada perbandingan volume larutan kitosan dan larutan PVA, dimana volume larutan sama atau lebih besar dibandingkan larutan PVA maka saat dilakukan *elektrospinning* tidak dapat terbentuk *nanofiber*. Perbedaan kedua dengan penelitian sebelumnya (Wang dkk. 2017) yaitu konsentrasi larutan PVA, pada penelitian sebelumnya menggunakan konsentrasi 8% sedangkan pada penelitian ini menggunakan konsentrasi PVA 10%. Hal ini dikarenakan telah dilakukan penelitian sebelumnya untuk mengetahui konsentrasi PVA dan parameter *elektrospinning* untuk menghasilkan *nanofiber* yang homogen tanpa *beads* dan rapi. Pada penelitian pembuatan *nanofiber* PVA menggunakan PVA dengan konsentrasi 8%, 10% dan 12% serta dengan parameter *elektrospinning* meliputi jarak spet ke kolektor 7 cm, 10cm, dan 15 cm, dengan tegangan yang diberikan 17 kV dan 20 kV menghasilkan *nanofiber* yang homogen dan tanpa *beads* pada larutan PVA dengan konsentrasi 10%, jarak jarum ke kolektor 15 cm serta tegangan 20 kV yang ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. *Nanofiber* PVA 10%

A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium foil, neraca digital, *magnetic stirrer*, botol sampel, kaca preparat, *syringe*, dan alat Nachriebe 601 *Electrospinning*. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah PVA 72000 g/mol, kitosan, aquades dan asam asetat 2%.

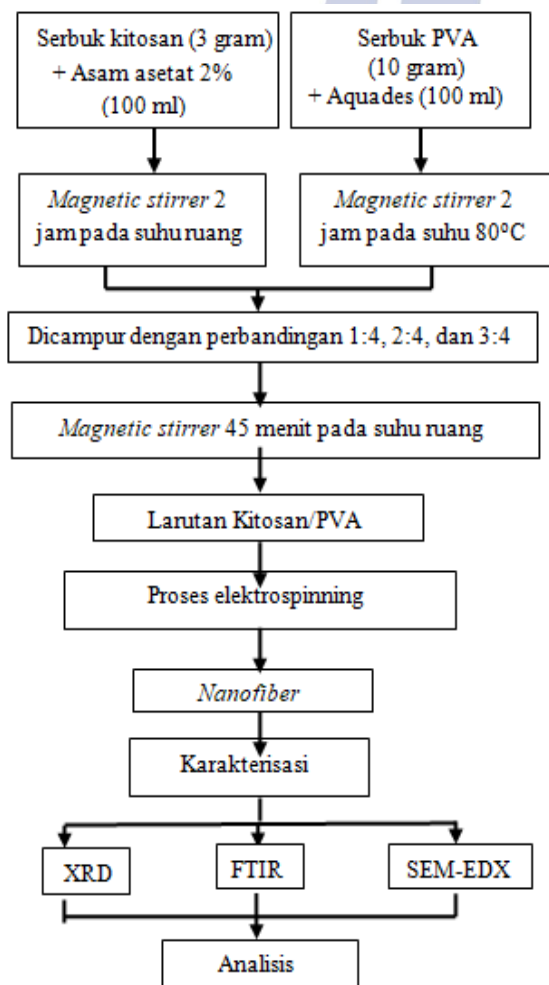
Karaktererisasi sampel menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-*

Ray (SEM-EDX) dari Material and Metallurgical Eng. Dept. ITS.

B. Preparasi Nanofiber Kitosan/PVA

Proses pembuatan *nanofiber* diawali dengan pembuatan larutan kitosan/PVA dan dilanjutkan dengan pembuatan *nanofiber* menggunakan metode *elektrospinning* yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Proses *elektrospinning* dimulai dengan pelapisan drum kolektor dengan aluminium foil dan kaca preparat. Kemudian memasukkan larutan kitosan/PVA sebanyak 5 ml kedalam *syringe* dengan ukuran jarum 21 G. Selanjutnya menyalakan dan mengatur parameter *elektrospinning* yang meliputi tegangan 20 kV, jarak jarum ke kolektor 15 cm, serta laju alir 5 ml/jam. Hasil fiber yang didapatkan dari proses *elektrospinning* selanjutnya dilakukan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).



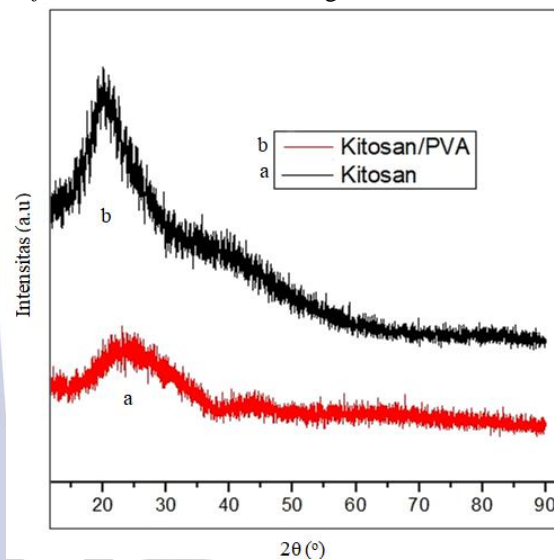
Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sintesis terdiri dari tiga sampel dengan perbandingan volume larutan kitosan dan larutan PVA yang berbeda di campur menggunakan *magnetic stirrer* yaitu 1:4, 2:4, dan 3:4 (Wang dkk. 2017) kemudian dilakukan proses *elektrospinning*. Masing-masing sampel dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

A. Analisis Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis XRD digunakan untuk mengetahui suatu material amorf atau kristalin (Yuvaraja dkk., 2017). Gambar 3 menunjukkan hasil XRD (a) kitosan (b) *nanofiber* kitosan/PVA 1:4 sebagai berikut.



Gambar 3. Karakterisasi XRD (a) kitosan dan (b) *nanofiber* kitosan/PVA 1:4

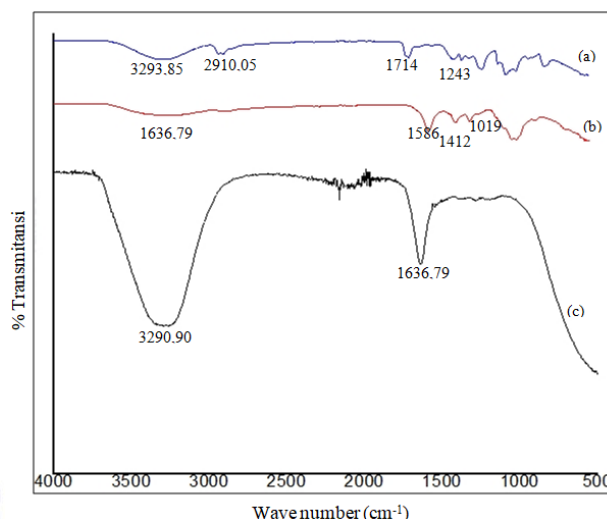
Spektrum kitosan menunjukkan puncak pada 20° yang mengidentifikasi adanya //OH dan NH₂, sedangkan untuk *nanofiber* kitosan/PVA berada pada puncak 23,5° hal ini karena adanya pergeseran puncak yang menunjukkan interaksi antara kitosan dan PVA (Habiba dkk. 2019). Hasil XRD ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Habiba dkk. (2017) yang menghasilkan hal serupa.

B. Analisis Hasil Uji Fourier Transform Infrared (FTIR)

Karakterisasi menggunakan FTIR ini untuk mengetahui gugus fungsi yang menyusun senyawa kitosan, PVA, serta *nanofiber* Kitosan/PVA sehingga dapat diketahui apakah *nanofiber* yang dihasilkan mengandung kedua senyawa penyusun atau tidak. Pengelompokan gugus fungsi dari puncak spektrum didasarkan pada Tabel 1.

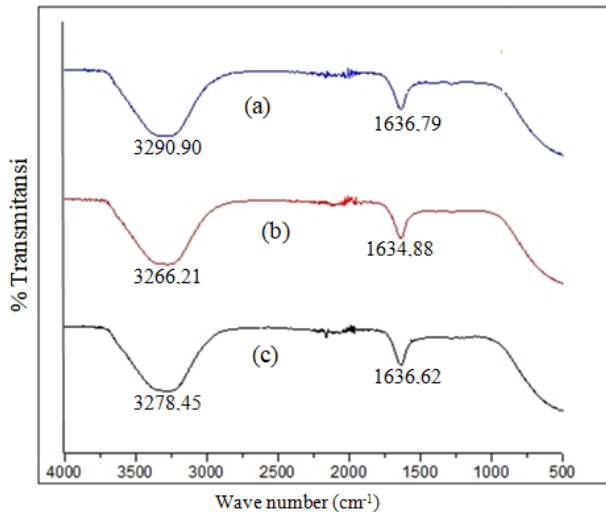
Tabel 1. Pengelompokan gugus fungsi Kitosan, PVA, dan nanofiber Kitosan/PVA

Sampel	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Referensi
Kitosan	N-H	3300	3300 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)
	N-H	1586	1534 cm ⁻¹ -1640 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)
	C-H ₃	1412	1400 cm ⁻¹ (Ahmed dkk., 2018)
	C-O	1019	1066 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)
PVA	O-H	3293,85	3200 cm ⁻¹ -3500 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)
	C-H	2910,05	2936 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)
	C=O	1714,91	1720 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)
	C-H	1243,04	1265 cm ⁻¹ (Darbasizadeh dkk., 2019)
Kitosan/PVA 1:4	Vibrasi -OH dengan -NH	3290,9	3100 cm ⁻¹ -3500 cm ⁻¹ (Yuvaraja dkk., 2017)
	C=O	1636,79	1640 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)
Kitosan/PVA 2:4	Vibrasi -OH dengan -NH	3266,21	3100 cm ⁻¹ -3500 cm ⁻¹ (Yuvaraja dkk., 2017)
	C=O	1634,88	1640 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)
Kitosan/PVA 3:4	Vibrasi -OH dengan -NH	3278,45	3100 cm ⁻¹ -3500 cm ⁻¹ (Yuvaraja dkk., 2017)
	C=O	1636,62	1640 cm ⁻¹ (Adeli dkk., 2018)



Gambar 4. Spektrum FTIR (a) Kitosan, (b) PVA, dan (c) Nanoiber Kitosan/PVA 1:4

Berdasarkan Gambar 4. dapat dilihat puncak-puncak spektrum pada kitosan, PVA, dan nanofiber kitosan/PVA. Spektrum pada kitosan menunjukkan puncak 3300 cm⁻¹ yang merupakan getaran simetri amina N-H, 1586 cm⁻¹ menunjukkan kelompok amida, 1412 cm⁻¹ menunjukkan perenggangan simetri dari CH₃ dan 1019 cm⁻¹ menunjukkan ikatan C-O. Spektrum pada PVA menunjukkan puncak 3293 cm⁻¹ mempresentasikan ikatan O-H, 2910 cm⁻¹ menunjukkan perenggangan C-H, 1714 cm⁻¹ menunjukkan ikatan C=O dan 1243 cm⁻¹ menunjukkan pembengkokan C-H. Spekrum yang ditunjukkan oleh nanofiber kitosan/PVA 3290,90 cm⁻¹ dan 1636,79 cm⁻¹. Pada spektrum 3100 cm⁻¹ – 3500 cm⁻¹ mempresentasikan adanya tumpang tindih dengan vibrasi rentangan gugus -OH dengan -NH amina dan amida (Yuvaraja dkk., 2017) dimana getaran -NH/-OH berasal dari senyawa kitosan dan vibrasi gugus -OH berasal dari senyawa PVA (Mahmoodi dkk., 2019). Sedangkan untuk spektrum kedua yaitu 1636,79 cm⁻¹ merupakan grup amida (Adeli dkk., 2018) yang menunjukkan interaksi vibrasi tekukan gugus -OH dan -NH pada senyawa kitosan/PVA (Yuvaraja dkk., 2017). Sehingga dapat dipastikan bahwa nanofiber kitosan/PVA mengandung gugus fungsi kitosan dan PVA.

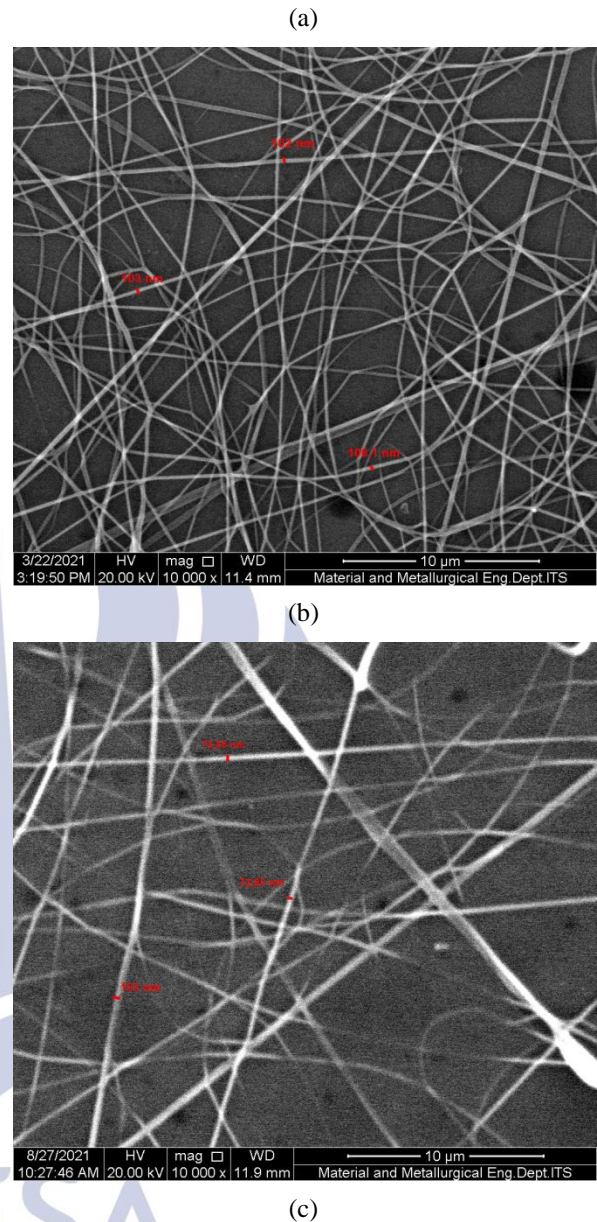
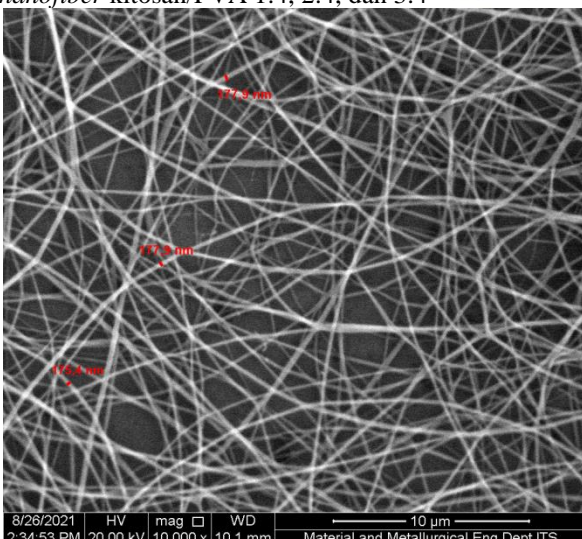


Gambar 5. Spektrum FTIR (a) 1:4, (b) 2:4, dan (c) 3:4

Gambar 5. menunjukkan bahwa *nanofiber* dengan perbandingan larutan yang berbeda memiliki spektrum yang hampir sama. *Nanofiber* 1:4 memiliki spektrum pada 3290,90 cm^{-1} dan 1636,79 cm^{-1} . *Nanofiber* 2:4 memiliki spektrum 3266,21 cm^{-1} dan 1634,88 cm^{-1} . Serta *nanofiber* 3:4 memiliki spektrum 3278,45 cm^{-1} dan 1636,62 cm^{-1} . Telah dijelaskan sebelumnya bahwa kedua puncak telah mempresentasikan adanya gugus kitosan dan PVA sebagai senyawa penyusun *nanofiber*. Tidak ada perbedaan spektrum yang signifikan antara *nanofiber* 1:4, 2:4, dan 3:4 sehingga bisa dikatakan bahwa perbedaan penambahan volume kitosan tidak mempengaruhi spektrum FTIR yang terbentuk. Dari gambar 4 dan 5 dapat diketahui bahwa spektrum *nanofiber* kitosan/PVA memiliki kemiripan terhadap senyawa kitosan dan PVA sehingga dapat dipastikan bahwa *nanofiber* yang dihasilkan mengandung gugus kitosan dan PVA.

C. Analisis Hasil Analisis Hasil Uji Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Karakterisasi SEM-EDX digunakan untuk mengetahui morfologi, ukuran, dan material penyusun *nanofiber* kitosan/PVA 1:4, 2:4, dan 3:4



Gambar 6. Morfologi *nanofiber* kitosan/PVA pada uji SEM (a) 1:4, (b) 2:4, dan (c) 3:4

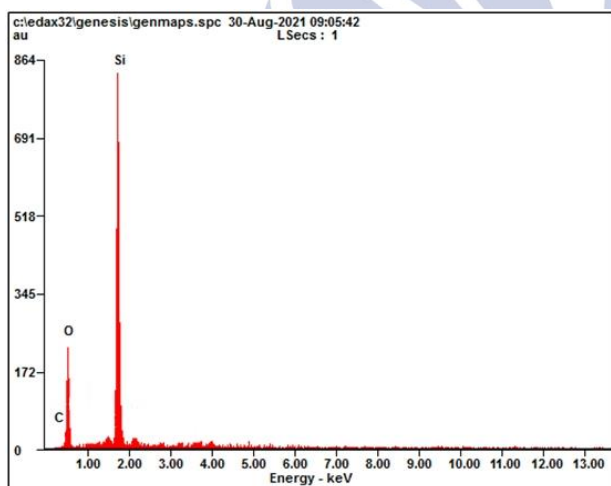
Tabel 2. Diameter fiber kitosan/PVA

Diameter fiber ke-	1:4	2:4	3:4
1	175,4	102	72,85
2	177,9	103	72,85
3	177,9	106,1	103
Rata-rata	177,1	103,7	82,9

Tabel 2. memperlihatkan ukuran diameter *fiber* pada *nanofiber* kitosan/PVA 1:4, 2:4, dan 3:4. Pada *nanofiber* 1:4 ukuran diameter *fiber* 175,4 nm, 177,9 nm, dan 177,9 nm dengan rata-rata diameter 177,1 nm. *Nanofiber* 2:4 memiliki ukuran diameter *fiber* 102 nm, 103 nm, dan 106,1 nm dengan rata-rata diameter 103,7 nm.

Sedangkan *nanofiber* 3:4 ukuran diameter *fiber* 72,85 nm, 72,85 nm, dan 103 nm dengan rata-rata diameter 82,9 nm. Hal tersebut memperlihatkan diameter *nanofiber* menurun seiring meningkatnya volume larutan kitosan pada larutan kitosan/PVA. Pertambahan volume larutan kitosan pada larutan kitosan/PVA menyebabkan viskositas larutan semakin tinggi yang berdampak pada diameter *nanofiber* yang dihasilkan (Adeli dkk., 2018).

Morfologi *nanofiber* ditunjukkan pada Gambar 6. yang mana pada *nanofiber* 1:4 memperlihatkan permukaan yang halus tanpa ada *beads* dan homogen ukuran serat-seratnya hampir sama. *Nanofiber* 2:4 pada permukaannya terdapat sedikit *beads* dan *fibers* yang terbentuk lebih renggang tidak serapat pada *nanofiber* 1:4. *Nanofiber* 3:4 terdapat lebih banyak *beads* dibandingkan *nanofiber* 2:4 dan di antara *nanofiber* 1:4, 2:4, dan 3:4, *nanofiber* 3:4 membentuk *fibers* yang lebih renggang. *Beads* terbentuk pada *nanofiber* dengan perbandingan larutan kitosan yang lebih tinggi karena semakin tinggi volume larutan kitosan, semakin tinggi pula konsentrasi larutan kitosan/PVA yang berbanding lurus dengan meningkatnya viskositas. Viskositas yang tinggi berpotensi menghasilkan *beads* lebih banyak pada *nanofiber* yang terbentuk (Naemi dkk., 2020).



Gambar 7. Spektrum *nanofiber* pada uji SEM-EDX dengan kitosan/PVA 1:4

Tabel 3. Presentase elemen *nanofiber* kitosan/PVA 1:4

Element	Wt%	At%
CK	04,81	08,76
OK	31,35	42,86
SiK	40,71	31,71
Matrix	Correction	ZAF

Pada Gambar 7 dan Tabel 3. menunjukkan material penyusun kitosan/PVA berhasil teridentifikasi yaitu C

sebesar 4,81% dan O sebesar 31,35%. Terdapat unsur Si yang tinggi yaitu sebesar 40,71% karena penempatan *nanofiber* menggunakan kaca preparat, sehingga unsur Si merupakan material penyusun kaca preparat. Namun persentase nitrogen tidak terdeteksi pada uji SEM-EDX ini dikarenakan konsentrasi kitosan lebih kecil dibanding dengan konsentrasi PVA, meskipun begitu persentase O yang merupakan milik kitosan yang tinggi telah menjelaskan adanya interaksi antara kitosan dengan PVA. Mengenai komposisi material penyusun *nanofiber*, sebelumnya telah dijelaskan pada analisis hasil uji FTIR.

PENUTUP

A. Simpulan

Nanofiber kitosan/PVA dapat dibuat menggunakan metode elektrospinning. Hal ini dibuktikan hasil karakterisasi FTIR yang menemukan adanya gugus kitosan dan PVA pada *nanofiber* serta kemiripan spektrum *nanofiber* kitosan/PVA dengan spectrum masing-masing senyawa. Penambahan volume larutan kitosan berbeda menghasilkan diameter *fiber* yang berbeda pula. Semakin besar penambahan volume larutan kitosan, semakin kecil diameter *fiber* serta semakin renggang jarak antara *fiber* dan pada 3:4 terbentuk *beads*. *Nanofiber* kitosan/PVA 1:4 dapat digunakan sebagai *wound dressing* karena membentuk *nanofiber* lebih baik dibanding lainnya, dimana *fibers* yang dihasilkan homogen dengan ukuran fiber yang hampir sama yaitu 177,1 nm dan permukaannya halus tanpa adanya *beads* yang dibuktikan dengan karakterisasi SEM.

B. Saran

Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan pengujian lebih kompleks *nanofiber* kitosan/PVA sebagai *wound dressing*. Diharapkan untuk selanjutnya *nanofiber* kitosan/PVA dapat digunakan untuk aplikasi yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini yang meliputi dosen pembimbing skripsi, dosen penguji skripsi, laboratorium materia jurusan fisika Universitas Negeri Surabaya, laboratorium fisika di gedung IDB Universitas Negeri Surabaya, laboratorium material dan metalurgi Institut Teknologi Sepuluh November, dan pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeli H., M. T. Khorasani, and M. Parvazinia. 2018. Wound dressing based on electrospun PVA/chitosan/starch nanofibrous mats: Fabrication, antibacterial and cytocompatibility evaluation and in vitro healing assay. *International Journal of Biological Macromolecules* 122:238-154, doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.10.115

- Ahmed, R., M. Tariq, I. Ali, R. Asghar, and N. Khanam. 2018. Novel electrospun chitosan/polyvinyl alcohol/ zinc oxide nanofibrous mats with antibacterial and antioxidant properties for diabetic wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules* 120:285-393, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.057>
- Darbasizadeh, B., Y. Fatahi, B. Fayzi-barnaji, M. Arabi, H. Motasadizadeh, H. Farhadnejad, F. Moraffah, and N. Rabiee. 2019. Crosslinked-polyvinyl alcohol-carboxymethyl cellulose/ZnO nanocomposite fibrous mats containing erythromycin (PVA-CMC/ZnO-EM): Fabrication, characterization and in-vitro release and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules* 141:1137-1146, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.060>
- Gabriel A. A., E. L. Septiani, D. N. Indahsari, and E. D. Ariyanti. 2019. Studi Potensi Sifat Anti-Bakteri pada Nanofiber Binahong dengan Menggunakan Metode Electrospinning. *Saintek ITM* 32(2):44-49
- Habiba, U., J. J. L. Lee, T. C. Joo, B. C. Ang, and A. M. Afifi. 2019. Degradation of methyl orange and congo red by using chitosan/polyvinyl alcohol/TiO₂ electrospun nanofibrous membrane. *International Journal of Biological Macromolecules* 131:821-827, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.132>
- Hulupi Mentik dan Haryadi. 2018. Sintesis and Karakterisasi Serat Nano Polivinil Alkohol yang Diikat Silang dengan Glutaraldehid untuk Aplikasi Pembalut Luka. *Chimica et Natura Acta* 6(3):101-105, <http://jurnal.unpad.ac.id/jcena>
- Jayakumar, R., M. Prabaharan, P. T. S. Kumar, S. V. Nair, and H. Tamura. 2011. Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing application. *Biotechnology Advances*. Doi:10.1016/j.biotechadv.2011.01.005
- Kurniawaty E. and N. R. Putranta. 2019. Potensi Biopolimer dalam Pengobatan Luka. *Medula* 9(3):459-464
- Mahmoodi N. M., M. Oveisi, A. Taghizadeh, and M. Taghizadeh. 2019. Synthesis of pearl necklace-like ZIF-8@chitosan/PVA nanofiber with synergistic effect for recycling aqueous dye removal. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115364>
- Mombini S., J. Mohammadnejad, B. Bakhshandeh, A. Narmani, J. Nourmohammadi, S. Vahdat, and A. Zirak. 2019. Chitosan-PVA-CNT nanofibers as electrically conductive scaffolds for cardiovascular tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules* 140:278-287, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.046>
- Naemi, A., M. Payandeh, A. R. Ghara, dan F. E. Ghadi. 2020. In Vivo evaluation of the wound healing properties of bio-nanofiber chitosan/ polyvinyl alcohol incorporating honey and Nepeta dchuparensis. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116315>
- Nuryantini, A. Y., M. M. Munir, T. Suciati, and Khairurrijal. 2013. *Seminar Nasional Material 2013*. 70-73
- Patil P. P., M. R. Reagan, and R. A. Bohara. 2020. Silk fibron and silk-based biomaterial derivatives for ideal wound dressings. *International Journal of Biological Macromolecules*, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.041>
- Putri, F. R., and S. Tasminatun. 2012. Efektivitas Salep Kitosan Terhadap Penyembuhan Luka Bakar Kimia pada Rattus norvegicus. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan* 12(1):24-30
- Syahputra W., Satriananda, and Munawar. 2018. Sintesa dan Karakterisasi Hibrid kitosan-Limbah Kulit Pisang dengan Berpenguat Lignin sebagai Pembalut Luka Antibakterial. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. 189-194
- Wang M., A. K. Roy, and T. J. Webster. 2017. Development of Chitosan/Poly(Vinyl Alcohol) Electrospun Nanofibers for Infection Related Wound Healing. *Frontiers in Physiology* 7(683):1-3, doi: 10.3389/fphys.2016.00683
- Yan J., J. Xu, S. Ai, K. Zhang, F. Yang, and Y. Huang. 2020. Degradation of Chitosan with Self-Resonating Cavitation. *Arabian Journal of Chemistry*, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.04.015>
- Yuvaraja, G., J. L. Pathak, Z. weijiang, Z. Yaping, and X. Jiao. 2017. Antibacterial and wound healing properties of chitosan/poly (vinyl alcohol)/zinc oxide beads (CS/PVA/ZnO). *International Journal of Biological Macromolecules*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.020>