

Nanofiber PVA/ZnO Sebagai Material Antimikroba Pada Wound Dressings

Putri Uzalia^(1,a) dan Diah Hari Kusumawati^{(1,b)*}

⁽¹⁾Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia, 60231

Email: ^(a)diahkusumawati@unesa.ac.id, ^{(b)*}diahkusumawati@unesa.ac.id

Diterima (20 April 2022), Direvisi (12 Oktober 2022)

Abstract. Nanofibers are ideal for forming multifunctional medical products, one of which is wound dressings. Nanofibers wound dressings made from polyvinyl alcohol (PVA) and zinc oxide (ZnO) using the electrospinning method with varying voltages of 15 kV, 16 kV, 18 kV, and 20 kV, to determine the effect of stress on morphology, absorption, and antibacterial activity. The resulting nanofibers have a smooth surface and an almost uniform fiber diameter. SEM analysis showed that the diameter of PVA 10% with a magnification of 50000X was 252 nm and PVA/ZnO 20 kv with a magnification of 30000X was obtained at 231 nm, the EDX spectrum contained elements of C, O, and Zn respectively 37.40%, 62.14%, and 0.46%. The results of the FTIR analysis showed that the functional groups seen in the PVA/ZnO samples were O-H, CH₂, C-H, C-O, and Zn-O. UV-Vis transmission showed that PVA had a high UV transmission of 12% but all PVA/ZnO nanofibers showed a UV transmission of almost 0%. The antimicrobial activity showed that the number of bacterial colonies in PVA/ZnO samples was less than the control. The average nanofibers diameter increases when ZnO nanoparticles are added, but when tension is increased, the average diameter of the nanofibers decreases. The morphology of the nanofibers is very uniform and there are no ZnO nanoparticle crystals, so PVA/ZnO nanofibers can be chosen as an ideal biomaterial for wound dressings.

Keywords: Nanofibers, PVA, ZnO, and electrospinning.

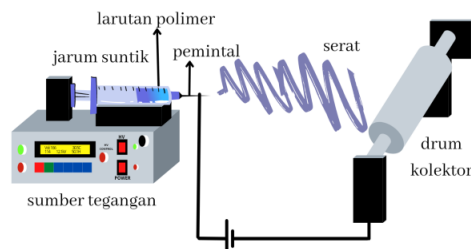
Abstrak. Nanofiber sangat ideal untuk membentuk produk medis multifungsi, salah satunya wound dressings. Nanofiber wound dressings berbahan dasar polyvinyl alcohol (PVA) dan zinc oxide (ZnO) menggunakan metode elektrospinning dengan variasi tegangan 15 kV, 16 kV, 18 kV, dan 20 kV, untuk mengetahui pengaruh tegangan terhadap morfologi, daya serap dan aktivitas antibakteri. Nanofiber yang dihasilkan memiliki permukaan halus dan diameter serat yang hampir seragam. Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) memperlihatkan diameter PVA 10% dengan perbesaran 50000X diperoleh 252 nm dan PVA/ZnO 20 kv dengan perbesaran 30000X diperoleh 231 nm, dari spektrum *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) terdapat unsur C, O, dan Zn masing-masing 37.40%, 62.14%, dan 0.46%. Hasil analisa FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi yang terlihat pada sampel PVA/ZnO yaitu O-H, CH₂, C-H, C-O, dan Zn-O. Transmisi Ultra Violet-Visible (UV-Vis) menunjukkan bahwa PVA memiliki transmisi UV yang tinggi sebesar 12% tetapi semua nanofiber PVA/ZnO menunjukkan transmisi UV hampir 0%. Aktivitas antimikroba menunjukkan jumlah koloni bakteri yang dimiliki pada sampel PVA/ZnO lebih sedikit daripada kontrol. Rata-rata diameter nanofiber meningkat ketika nanopartikel ZnO ditambahkan, namun saat tegangan dinaikkan maka diameter rata-rata nanofiber semakin kecil. Morfologi nanofiber sangat seragam dan tidak ada kristal nanopartikel ZnO, jadi nanofiber PVA/ZnO dapat dipilih sebagai biomaterial yang ideal untuk wound dressings.

Kata kunci: nanofiber, PVA, ZnO, dan elektrospinning.

PENDAHULUAN

Infeksi tentang perawatan kesehatan adalah salah satu masalah terbesar di dunia [1]. Penyebab infeksi disebabkan dari mikroorganisme seperti bakteri yang memiliki sifat patogen (kuman penyakit) sebagai faktor kritis yang bertanggung jawab atas ancaman utama bagi kesehatan seperti makanan, minuman, alat kesehatan dan bahan tekstil. Bahan tekstil medis rentan teradap pertumbuhan mikroba [2]. Teknologi nano yang semakin melesat merupakan salah satu cara mengatasi permasalahan teknologi yang besar. Material paling terkecil didesain sedemikian rupa dalam sepermiliar meter (10^{-9} m) dan dapat diketahui seluruh aspek dan sifat material yang diinginkan [3]. Nanofiber sangat ideal untuk membentuk produk medis multifungsi, salah satunya adalah untuk *wound dressings*. *Wound dressings* merupakan sejenis bahan yang menutupi luka dan mengupayakan lingkungan yang baik bagi luka dalam penyembuhan. Untuk mendapatkan *wound dressings* yang baik tentunya memiliki syarat-syarat yang harus diperhatikan seperti, mudah dipasang, porous terhadap air, dapat menjaga kelembaban pada luka, bersifat steril, dan memiliki sifat antibakteri yang baik [4]. *Wound dressings* disiapkan dari biopolimer, polimer sintetik dan biomaterial [5]. Nanofiber dapat diproduksi dengan menggunakan metode elektrospinning, elektrospinning merupakan proses pemintalan larutan polimer melalui jarum suntik dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik [6]. Komponen utama termasuk sumber tegangan, jarum suntik, pemintal (biasanya jarum suntik dengan ujung tumpul), dan drum kolektor. Sumber tegangan dapat berupa arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC)[7]. Pada prinsipnya pembuatan nanofiber dengan elektrospinning adalah proses mendorong larutan polimer yang diberi tegangan tinggi

menggunakan jarum suntik hingga membentuk butir larutan pada ujung pemintal [8].



Gambar 1. Metode elektrospinning

Butir larutan polimer yang telah terinduksi muatan listrik tersebut dibawah pengaruh besar tegangan yang semakin meningkat akan bergerak ke arah elektroda dengan muatan negatif dan disertai proses penguapan pelarut polimer [9], sehingga yang tertinggal pada plat pengumpul drum kolektor hanya serat polimernya saja [8].

Dalam penelitian ini, larutan polimer yang digunakan yaitu *polyvinyl alcohol* (PVA). Secara komersial, PVA dapat dengan mudah dicampur dengan banyak bahan alami dan menunjukkan sifat yang cocok untuk berbagai aplikasi. Keuntungannya adalah ketahanan kimia yang sangat baik, biokompatibilitas, tidak beracun, dan stabilitas termal. [10]. Dengan tambahan nanopartikel ZnO untuk menstabilkan lebih lanjut larutan polimer PVA [11]. Partikel ZnO yang berukuran nano memiliki aktivitas antimikroba yang lebih kuat jika dibandingkan dengan partikel yang lebih besar karena rasio permukaan-volume yang besar, yang memungkinkan interaksi yang lebih baik dengan bakteri [10]. Aplikasi nanopartikel ZnO sebagai agen antibakteri tergantung pada proses kontrol sifat-sifat seperti ukuran partikel, distribusi ukuran, bentuk, luas permukaan, dan dispersi [12]. Penelitian ini difokuskan pada penggunaan elektrospinning dengan variasi tegangan yang digunakan 15 kV, 16 kV, 18 kV, dan 20 kV. Untuk mengetahui

pengaruh tegangan terhadap morfologi, daya serap dan aktivitas antibakteri.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Polyvinyl Alcohol* (PVA), *Zinc Oxide* (ZnO), dan *Aquades*.

Pembuatan larutan PVA

Larutan PVA dibuat dengan konsentrasi 10%, sebanyak 2 gram PVA dilarutkan dengan 20 mL *aquades* dalam gelas kimia. Proses ini menggunakan *hot plate stirrer* pada suhu 100°C selama 2 jam [10].

Pembuatan larutan PVA/ZnO

Larutan PVA 10% ditambahkan nanopartikel ZnO sebanyak 0,16 gram, proses ini menggunakan *hot plate stirrer* pada suhu 80°C selama 2 jam.

Proses elektrospinning

Alat pencetak membran nanofiber menggunakan metode elektrospinning (*Electrospinning Nachriebe 601*) seperti pada gambar 1. Tahap awal memasukkan larutan ke dalam jarum suntik 10 mL. Kolektor drum dilapisi dengan aluminium foil yang dipasang dengan jarak 15 cm secara horizontal terhadap pemintal, dengan variasi tegangan sebesar 15 kV, 16 kV, 18 kV, dan 20 kV.

Karakterisasi

Karakterisasi membran nanofiber PVA/ZnO meliputi pengukuran diameter menggunakan mikroskop optik, morfologi

membran nanofiber menggunakan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan untuk memahami ukuran nanofiber menggunakan perangkat lunak analisis gambar (Image-J), komposisi kimia dari lapisan nanofiber diselidiki menggunakan Uji *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dengan rentang bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} , Uji *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis) dan antimikroba.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diameter membran nanofiber

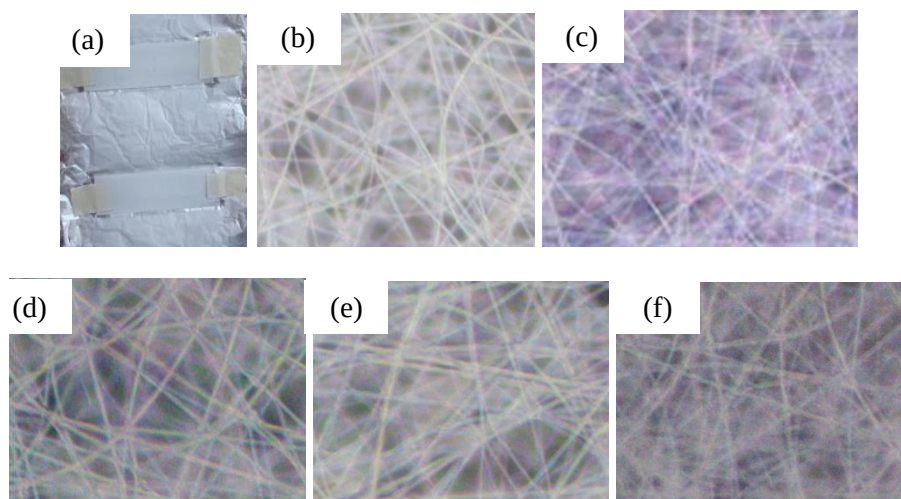
Pada penelitian ini yang dihasilkan berupa nanofiber. Seperti pada **Gambar 2(a)** nanofiber yang memiliki permukaan yang halus dan terkumpul pada kolektor yang telah dilapisi aluminium foil [13]. Diameter nanofiber dapat diketahui menggunakan mikroskop optik. Seperti **Gambar 2(a)** yang menunjukkan hasil serat *electrospun* dari PVA/ZnO, bahwa elektrospinning dapat menghasilkan permukaan halus dan diameter serat yang hampir seragam. Diameter rata-rata dan morfologi serat *electrospun* bergantung pada parameter larutan (viskositas, konduktivitas, dll) [10].

Tabel 1. Hasil rata-rata diameter

Gambar	Bahan	Tegangan	Diameter
2(b)	PVA 10%	15 kV	0,52 μm
2(c)	PVA/ZnO	15 kV	0,58 μm
2(d)	PVA/ZnO	16 kV	0,50 μm
2(e)	PVA/ZnO	18 kV	0,47 μm
2(f)	PVA/ZnO	20 kV	0,43 μm

Pada **tabel 1** untuk diameter nanofiber PVA/ZnO diambil yang paling kecil karena untuk *wound dressings* diperlukan diameter yang kecil, karena sebagai *wound dressings* ukuran nanofiber yang digunakan sekitar 100 nm s/d 300 nm

dengan jumlah *beads* minimal. Diameter rata-rata serat *electrospun* meningkat ketika ditambahi nanopartikel ZnO, namun saat tegangan dinaikan maka diameter rata-rata serat *electrospun* semakin kecil [2,10].

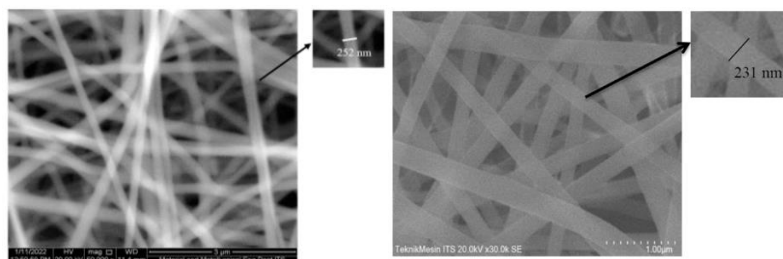


Gambar 2. hasil Mikroskop Optik dari (a) nanofiber PVA/ZnO, (b) PVA 10%, (c) PVA/ZnO 15 kV, (d) PVA/ZnO 16 kV, (e) PVA/ZnO 18 kV dan (f) PVA/ZnO 20 kV

Morfologi membran nanofiber

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi nanofiber. Seperti pada **Gambar 3** yang menunjukkan morfologi SEM dari permukaan PVA/ZnO dengan perbesaran tinggi. Pada **Gambar 3(a)** PVA 10% dengan perbesaran 50000X dan pada **Gambar 3(b)** PVA/ZnO 20 kV dengan perbesaran 30000X. Pada **Gambar 3(b)** dapat diamati bahwa tidak ada kristal nanopartikel ZnO yang terdeteksi oleh SEM pada permukaan serat yang menunjukkan bahwa nanopartikel

ZnO tercampur sempurna ke dalam serat PVA 10% [14]. Diameter rata-rata nanofiber ditentukan oleh perangkat lunak ImageJ. Ukuran diameter rata-rata nanofiber PVA 10% diperoleh 252 nm dan PVA/ZnO 20 kV diperoleh 231 nm. Perbedaan ukuran fiber dikarenakan adanya bahan lain yang dicampurkan ke PVA, sehingga menimbulkan perbedaan viskositas, dimana viskositas larutan merupakan salah satu hal yang mempengaruhi perbedaan ukuran diameter fiber. Dengan ukuran diameter PVA/ZnO 20 kV dan ukuran yang diperlukan, maka PVA/ZnO 20 kV dapat digunakan sebagai bahan *wound dressing*.



Gambar 3. Hasil SEM dari (a) PVA 10% dan (b) PVA/ZnO 20 kV

Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)

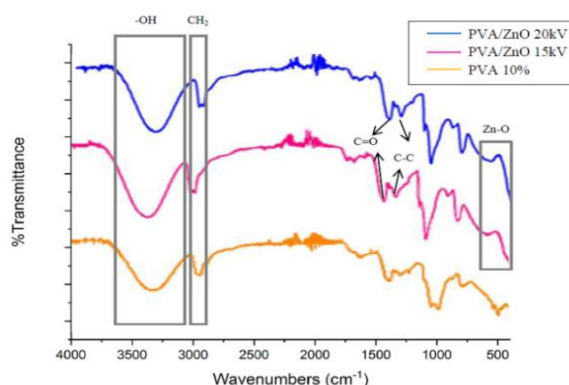
Untuk menyelidiki gugus fungsi antara PVA dan nanopartikel ZnO, dilakukan analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dengan rentang bilangan gelombang 450-4000 cm^{-1} . Pada **Gambar 4** menunjukkan spektrofotometer FTIR nanofiber PVA dan nanofiber paduan PVA/ZnO. Spektrum FTIR dari nanofiber PVA menunjukkan puncak serapan 3285 cm^{-1} karena getaran peregangan (*stretching*) gugus fungsi O-H. selain itu, puncak serapan muncul pada 2915 cm^{-1} , 1636 cm^{-1} , 1260 cm^{-1} , 1088 cm^{-1} dan 846 cm^{-1} masing-masing yang mengindikasikan asimetris CH_2 *stretching*, regangan C=O *stretching*, C-H *bending*, C-O *stretching*, dan C-C. Spektrum FTIR nanofiber PVA/ZnO 15 kV dan PVA/ZnO 20 kV, beberapa puncak serapan bergeser ke bilangan gelombang yang lebih tinggi dan lebih rendah dengan penambahan nanopartikel ZnO. Misalnya, pada puncak serapan 3285 cm^{-1} menjadi 3277 cm^{-1} dan 3293 cm^{-1} , pada puncak 2915 cm^{-1} menjadi 2941 cm^{-1} dan 2940 cm^{-1} , pada 1636 cm^{-1} menjadi 1653 cm^{-1} dan 1663 cm^{-1} , pada puncak 1260 cm^{-1} menjadi 1142 cm^{-1} , pada puncak 1088 cm^{-1} menjadi 1089 cm^{-1} , dan pada puncak 846 cm^{-1} menjadi 838 cm^{-1} . Masing-masing pergeseran ini disebabkan pembentukan interaksi antara nanopartikel

ZnO dan gugus fungsi pada rantai PVA. Puncak serapan muncul 422 cm^{-1} , 408 cm^{-1} , dan 406 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan keberadaan nanopartikel ZnO.

Pada **Gambar 4** bilangan gelombang yang dihasilkan dari pengujian FTIR PVA/ZnO dipadukan dengan data gugus fungsi literatur yang ada pada **Tabel 2**.

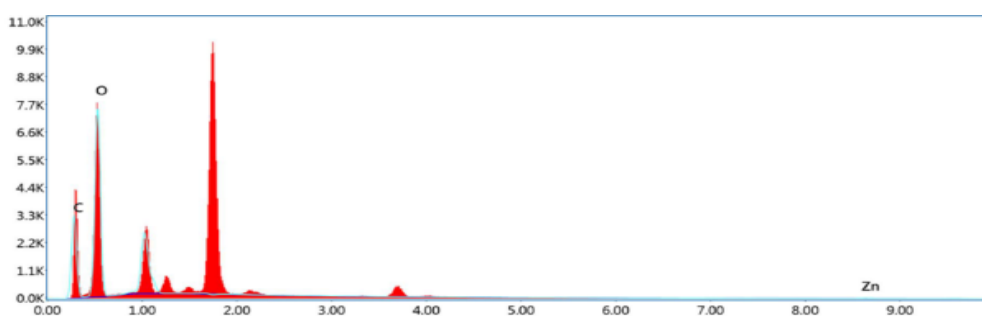
Tabel 2. Data gugus fungsi

Gugus fungsi	Peak	Referensi
O-H stretching	3405 cm^{-1}	[14]
O-H stretching	3304 cm^{-1}	[15]
-CH ₂ - stretching	2930 cm^{-1}	[15]
C – H bending	1265 cm^{-1}	[14]
C = O vibration	1708 cm^{-1}	[15]
C = O stretching vibration	1600 cm^{-1}	[16]
C – O stretching vibration	1095 cm^{-1}	[14]
C – C	850 cm^{-1}	[2]
Zn – O stretching vibration	400-600 cm^{-1}	[14]
Zn – O band	470-600 cm^{-1}	[15]
Zn – O	450 cm^{-1}	[16]



Gambar 4. hasil spektrofotometer FTIR

Karakterisasi Energy Dispersive X-Ray (EDX)



Gambar 5. karakteristik EDX PVA/ZnO 20 kV

Tabel 3. Spektrum EDX

Element	Weight %	Atomic %
C K	30.49	37.40
O K	67.49	62.14
Zn K	2.02	0.46

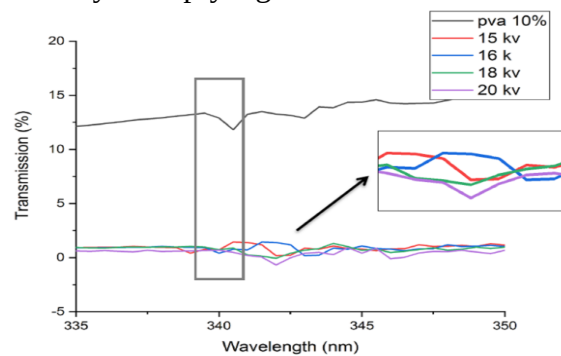
Pengujian SEM-EDX pada **Gambar 5** menunjukkan komposisi unsur kimia pada permukaan nanofiber PVA/ZnO 20 kV, dilakukan pengujian karakterisasi EDX. Pada **Tabel 3** spektrum EDX terdapat unsur C, O, dan Zn masing-masing 37.40%, 62.14%, dan 0.46%.

Uji Ultra Violet-Visible (UV-Vis)

Nanopartikel ZnO sangat menyerap di wilayah UV, sehingga nanofiber PVA/ZnO menunjukkan sifat pelindung UV [17]. Pada **Gambar 6** menunjukkan spektrum hitam bahwa PVA memiliki transmisi UV yang tinggi sebesar 12% tetapi semua nanofiber PVA/ZnO menunjukkan transmisi UV hampir 0%, sedangkan transmisi di wilayah yang terlihat tidak menunjukkan penurunan

yang signifikan. Penyerapan oleh nanopartikel ZnO jelas bertanggung jawab atas transmisi yang berbeda di daerah UV dan sinar tampak. Panjang gelombang PVA 10% sebesar 340 nm, mengalami pergeseran pada PVA/ZnO 20 kV sebesar 343 nm. PVA/ZnO 20 kV memiliki daya serap yang

paling baik dari sampel yang digunakan. Lambert dan Beer mengembangkan hubungan intensitas penyerapan dengan konsentrasi dan ketebalan spesies yang menyerap, yang memprediksi hubungan linear [18].



Gambar 6. Hasil UV-Vis PVA/ZnO

Uji Antimikroba

Metode yang digunakan yaitu *International Standart ISO 22196* (modified). Uji ini dilakukan untuk mengukur aktivitas antibakteri. Bakteri *Escherichia coli* ($OD_{600\text{ nm}} 0.01$) dimasukkan ke media kultur NB (1/500). Inkubasi dilakukan selama 10 jam pada suhu 35°C dan setiap 2 jam dilakukan uji antimikroba yaitu 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam dan 10 jam [19]. Penghitungan jumlah selnya menggunakan metode TPC dengan seri pengenceran sepuluh kali lipat 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} dan 10^{-6} . Pada 3 tingkat pengenceran terakhir dalam tabung reaksi diambil 1 mL untuk dilakukan *plating* menggunakan media Nutrient Agar (NA). Pengenceran 3 tingkat terakhir diambil karena untuk memperkirakan keakuratan tes 3x lipat yang meningkatkan akurasi keseluruhan. Inkubasi dilakukan selama 24 jam pada suhu 35°C [20]. Jumlah koloni dihitung menggunakan *colony counter* sesuai dengan *Standart Plate Count* (SPC).

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada **Tabel 4** sebagai kontrol untuk pembandingan data pada jumlah koloni pada

sampel, pada waktu inkubasi awal jam ke-0 jumlah koloni $2.5 \cdot 10^8$ dan waktu inkubasi terakhir jam ke-10 jumlah koloni bakteri $3.2 \cdot 10^5$. Koloni bakteri yang diamati pada **Tabel 5** hasil uji antimikroba nanofiber PVA/ZnO lebih kecil daripada yang diamati pada **Tabel 4** sebagai kontrol, dengan waktu inkubasi awal jam ke-0 jumlah koloni bakteri sama dengan uji antimikroba pada kontrol dan waktu inkubasi terakhir jam ke-10 jumlah koloni bakteri $9.0 \cdot 10^4$.

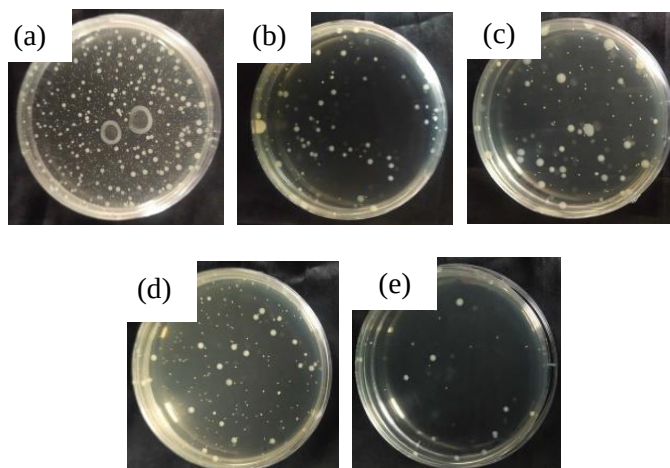
Tabel 4. Hasil uji antimikroba pada kontrol (tanpa nanofiber) terhadap bakteri uji *E.coli*

Jam ke-	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	SPC
0	1721	531	251	$2.5 \cdot 10^8$
4	115	31	14	$1.2 \cdot 10^6$
6	128	27	2	$1.3 \cdot 10^6$
8	209	58	10	$2.1 \cdot 10^6$
10	32	1	5	$3.2 \cdot 10^5$

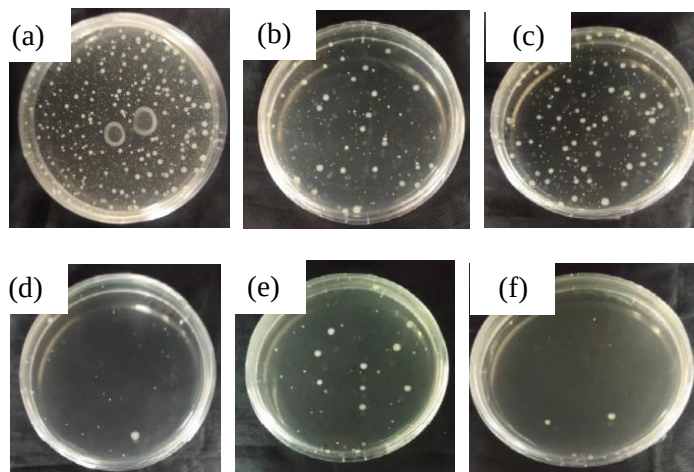
Tabel 5. Hasil uji antimikroba pada nanofiber PVA/ZnO 20 kV

Jam ke-	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	SPC
0	1721	531	251	$2.5 \cdot 10^8$
2	206	31	3	$2.6 \cdot 10^6$

4	387	51	7	$4.5 \cdot 10^6$
6	30	6	1	$3.0 \cdot 10^5$
8	64	12	2	$6.4 \cdot 10^5$
10	9	0	0	$9.0 \cdot 10^4$



Gambar 7. Hasil uji antimikroba pada kontrol (tanpa nanofiber) terhadap bakteri uji *E.coli* pada pengenceran 10^{-4} (a) 0 jam, (b) 4 jam, (c) 6 jam, (d) 8 jam dan (e) 10 jam



Gambar 8. Hasil uji antimikroba pada sampel nanofiber PVA/ZnO terhadap bakteri uji *E.coli* pada pengenceran 10^{-4} (a) 0 jam, (b) 2 jam, (c) 4 jam, (d) 6 jam, (e) 8 jam dan (f) 10 jam

Dalam metode ini konsentrasi mikroba terstandarisasi dan bakteri diberi makan selama periode inkubasi. Berdasarkan **Gambar 7** hasil uji antimikroba pada kontrol tanpa nanofiber terhadap bakteri uji *E.coli* menunjukkan

jumlah koloni bakteri pada jam ke-0 sebanyak 1721 pada **Gambar 7(a)**, pada **Gambar 7(b)** jam ke-4 jumlah koloni bakteri menurun menjadi 115, pada **Gambar 7(c)** jam ke-6 jumlah koloni

bakteri sebanyak 128, pada **Gambar 7(d)** jam ke-8 jumlah koloni bakteri sebanyak 209, pada **Gambar 7(e)** jam ke-10 jumlah koloni bakteri sebanyak 32. Semakin lama waktu inkubasi yang digunakan jumlah koloni bakteri semakin sedikit dikarenakan bakteri mati. Pada **Gambar 8** hasil uji antimikroba pada nanofiber PVA/ZnO terhadap bakteri uji *E.coli* menunjukkan jumlah koloni bakteri yang diamati lebih sedikit daripada jumlah koloni pada kontrol dan semakin lama waktu inkubasi yang digunakan jumlah koloni semakin sedikit. Pada **Gambar 8(a)** jumlah koloni bakteri pada jam ke-0 sama dengan pada **Gambar 7(a)** sebanyak 1721, pada **Gambar 8(b)** jam ke-2 jumlah koloni bakteri sebanyak 206, namun pada waktu inkubasi 4 jam dan 8 jam yang ditunjukkan pada **Gambar 8(c)** dan **Gambar 8(e)** jumlah koloni meningkat dikarenakan pertumbuhan bakteri juga dapat dipengaruhi oleh nutrisi konsentrasi, fase pertumbuhan, waktu inkubasi, dan konsentrasi awal yang dapat mempengaruhi hasil uji antimikroba sesuai dengan *International Standart ISO 22196* (modified) [21]. Pada **Gambar 8 (d)** dan **Gambar 8(f)** jumlah koloni bakteri menurun menjadi 30 dan 9. Apabila menggunakan bakteri lain seperti *S.aureus* tidak menutup kemungkinan masih bisa berfungsi, kemungkinan ada sedikit perbedaan aktivitas dari bakteri itu sendiri. Karena perbedaan struktur dinding sel bakteri *S.aureus* yang berlapis tunggal dan bakteri *E.coli* berlapis tiga. Dari hasil uji antimikroba PVA/ZnO dapat digunakan sebagai antimikroba pada permukaan bahan biomedis, karena nanopartikel ZnO memiliki aktivitas antimikroba yang efektif melawan bakteri *E.coli* [2].

KESIMPULAN

Nanofiber PVA ZnO berhasil dibuat dengan proses elektrospinning dengan tegangan yang berbeda: 15 kV, 16 kV, 18 kV

dan 20 kV. Berdasarkan Mikroskop Optik diameter rata-rata nanofiber PVA/ZnO meningkat ketika nanopartikel ZnO ditambahkan, namun saat tegangan dinaikan maka diameter rata-rata nanofiber semakin kecil. Morfologi nanofiber sangat seragam dan tidak ada kristal nanopartikel ZnO dengan diameter rata-rata nanofiber PVA 10% diperoleh 252 nm dan PVA/ZnO 20 kV diperoleh 231 nm. Interaksi kimiawi yang baik antara partikel PVA dan ZnO. Transmisi UV dari nanofiber PVA/ZnO menurun seiring dengan peningkatan tegangan. Hasil uji antimikroba PVA/ZnO jumlah koloni bakteri yang diamati lebih sedikit daripada jumlah koloni pada kontrol. Jadi nanofiber PVA/ZnO dapat dipilih sebagai biomaterial yang ideal untuk *wound dressings*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. R. Ekawati, S. N. Husnul Y., and D. Herawati, "Identifikasi Kuman Pada Pus Dari Luka Infeksi Kulit," *J. SainHealth*, vol. 2, no. 1, p. 31, 2018, doi: 10.51804/jsh.v2i1.174.31-35.
- [2] M. Q. Khan *et al.*, "Preparation and characterizations of multifunctional PVA/ZnO nanofiber composite membranes for surgical gown application," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 1328–1334, 2019, doi: 10.1016/j.jmrt.2018.08.013.
- [3] N. G. Putraa and S. Yuliar, "Pergerakan Riset Dalam Pengembangan Teknologi Nano Di Indonesia Universitas Indonesia Dan Nano Center Indonesia Movement Research on the Development of Nanotechnology in Indonesia Case Study in Bandung Technology Institute ,," *Pergerakan Ris. Dalam Pengemb. Teknol. Nano di Indones.*, vol. 13, pp. 239–248, 2019.
- [4] R. Rasouli, A. Barhoum, M. Bechelany, and A. Dufresne,

- “Nanofiber for Biomedical and Healthcare Applications,” *Macromol. Biosci.*, vol. 19, no. 2, pp. 1–27, 2019, doi: 10.1002/mabi.201800256.
- [5] B. A. Aderibigbe and B. Buyana, “Alginate in Wound Dressings,” 2018, doi: 10.3390/pharmaceutics10020042.
- [6] K. C. Khulbe and T. Matsuura, “Art to use electrospun nanofiber/nanofiber based membrane in waste water treatment, chiral separation and desalination,” *J. Membr. Sci. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 100–125, 2019, doi: 10.22079/JMSR.2018.87918.1197.
- [7] J. Xue, T. Wu, Y. Dai, and Y. Xia, “Elektrospinning and electrospun nanofiber: Methods, materials, and applications,” *Chem. Rev.*, vol. 119, no. 8, pp. 5298–5415, 2019, doi: 10.1021/acs.chemrev.8b00593.
- [8] Y. Liao, C. H. Loh, M. Tian, R. Wang, and A. G. Fane, “Progress in electrospun polymeric nanofibrous membranes for water treatment: Fabrication, modification and applications,” *Prog. Polym. Sci.*, vol. 77, pp. 69–94, 2018, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2017.10.003.
- [9] M. Zhang *et al.*, “Hydrothermal synthesized UV-resistance and transparent coating composited superoleophilic electrospun membrane for high efficiency oily wastewater treatment,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 383, p. 121152, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121152.
- [10] T. Jamnongkan, S. Kaewpirom, and A. Wattanakornsiri, “Effect of ZnO Concentration on the Diameter of Electrospun Fibers from Poly (Vinyl Alcohol) Composited with ZnO Nanoparticles,” vol. 759, pp. 81–85, 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.759.81.
- [11] K. S. Siddiqi, A. ur Rahman, Tajuddin, and A. Husen, “Properties of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Activity Against Microbes,” *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 13, 2018, doi: 10.1186/s11671-018-2532-3.
- [12] E. A. S. Dimapilis, C. S. Hsu, R. M. O. Mendoza, and M. C. Lu, “Zinc oxide nanoparticles for water disinfection,” *Sustain. Environ. Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 47–56, 2018, doi: 10.1016/j.serj.2017.10.001.
- [13] D. Sugiyana and B. B. Tekstil, “Pembuatan Nanofiber Menggunakan Metode,” *Arena Tekst.*, vol. 26, no. 1, pp. 29–34, 2011.
- [14] B. Darbasizadeh *et al.*, “Jo ur,” *Int. J. Biol. Macromol.*, 2019, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.060.
- [15] M. Matheswaran, “Elektrospinning of Fe-doped ZnO nanoparticles incorporated polyvinyl alcohol nanofiber for its Antibacterial treatment and cytotoxic studies,” *Eur. Polym. J.*, 2019, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2019.05.038.
- [16] R. Ahmed *et al.*, “PT CR,” *Int. J. Biol. Macromol.*, p. #pagerange#, 2018, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.08.057.
- [17] T. Hussain, Z. Khatri, C. Zhu, and I. Soo, “Preparation and characterizations of multifunctional PVA / ZnO nanofiber composite,” *Integr. Med. Res.*, no. x x, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1016/j.jmrt.2018.08.013.
- [18] M. Picollo, M. Aceto, and T. Vitorino, “UV-Vis spectroscopy,” *Phys. Sci. Rev.*, vol. 4, no. 4, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1515/psr-2018-0008.
- [19] N. Susanti, J. B. Simbolon, S. Sembiring, and P. Manurung, “Pengaruh Perlakuan Termal Terhadap Karakteristik Aspal Komposit Berbasis Silika Sekam Padi,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 8,

- no. 1, pp. 119–126, 2020, doi: 10.23960/jtaf.v8i1.2452.
- [20] A. P. Gavilan *et al.*, “Antibacterial activity testing methods for hydrophobic patterned surfaces,” *Sci. Rep.*, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-85995-9.
- [21] S. Fonseca, M. P. Cayer, K. M. Tanvir Ahmmed, N. Khadem-Mohtaram, S. J. Charette, and D. Brouard, “Characterization of the Antibacterial Activity of an SiO₂ Nanoparticulate Coating to Prevent Bacterial Contamination in Blood Products,” *Antibiotics*, vol. 11, no. 1, 2022, doi: 10.3390/antibiotics11010107.

