

## KARAKTERISTIK ANTIMIKROBA NANOFIBER PVA/GELATIN SEBAGAI PENUTUP LUKA

<sup>1)</sup>Musyarofah Dwi Nur Laily, <sup>2)</sup>Diah Hari Kusumawati

<sup>1)</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: musyarofah.18046@mhs.unesa.ac.id

<sup>2)</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: diahkusumawati@unesa.ac.id

### Abstrak

Mikroorganisme yang terpapar ke permukaan menyebabkan perlu adanya pengembangan berupa agen antimikroba berbasis nanofiber. Nanofiber banyak diaplikasikan pada produk biomedis salah satunya sebagai penutup luka. Nanofiber yang dihasilkan dari larutan *polyvinyl alcohol* (PVA) dan gelatin dengan proses elektrospinning. Serat tersebut dilakukan variasi tegangan sebesar 17 kV, 20 kV, dan 23 kV. Dikarakterisasi dengan mikroskop optik, SEM, EDX, FTIR, UV-Vis, dan aktivitas antimikroba. Ukuran diameter nanofiber yang diukur dengan mikroskop optik menurun seiring bertambahnya tegangan. Spektroskopi UV-Vis menunjukkan nanofiber berbahan PVA/Gelatin menghasilkan nanofiber yang memiliki absorbansi tinggi seiring penambahan daya radiasi UV yang diberikan. Spektrum FTIR dengan rentang gelombang 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi yang terlihat yaitu, O-H *stretching*, C-H *stretching*, C-O *stretching*, C=O *stretching* dan C-H *bending*. Morfologi dan distribusi PVA/Gelatin ditunjukkan oleh SEM dengan diameter berkisar 140 – 160 nm, dengan unsur yang terdapat pada spektrum EDX yaitu C, O, dan N masing-masing 29,96%, 8,76%, dan 61,28%. Aktivitas antimikroba efektif hingga 47,5% dan efisien sampai dengan 2 jam. Sehingga nanofiber PVA/Gelatin dapat dijadikan acuan biomaterial sebagai penutup luka.

**Kata Kunci:** Nanofiber, PVA, Gelatin, antimikroba

### Abstract

Microorganisms exposed to the surface cause the need for the development of nanofiber-based antimicrobial agents. Nanofiber is widely applied to biomedical products, one of which is as a wound dressing. Nanofiber produced from a solution of polyvinyl alcohol (PVA) and gelatin with an electrospinning process. The fiber is subjected to voltage variations of 17 kV, 20 kV, and 23 kV. Characterized by optical microscopy, SEM, EDX, FTIR, UV-Vis, and antimicrobial activity. The size of the nanofiber diameter as measured by optical microscopy decreased with increasing stress. UV-Vis spectroscopy showed that nanofibers made from PVA/Gelatin produced nanofibers with high absorbance as the UV radiation power was added. The FTIR spectrum with a wave range of 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  shows visible functional groups, namely, O-H stretching, C-H stretching, C-O stretching, C=O stretching and C-H bending. The morphology and distribution of PVA/Gelatin was shown by SEM with diameters ranging from 140 – 160 nm, with elements contained in the EDX spectrum namely C, O, and N respectively 29.96%, 8.76%, and 61.28%. Effective antimicrobial activity up to 47.5% and efficient up to 2 hours. So that PVA/Gelatin nanofibers can be used as a reference for biomaterials as wound dressings.

**Keywords:** Nanofiber, PVA, Gelatin, antimicrobial

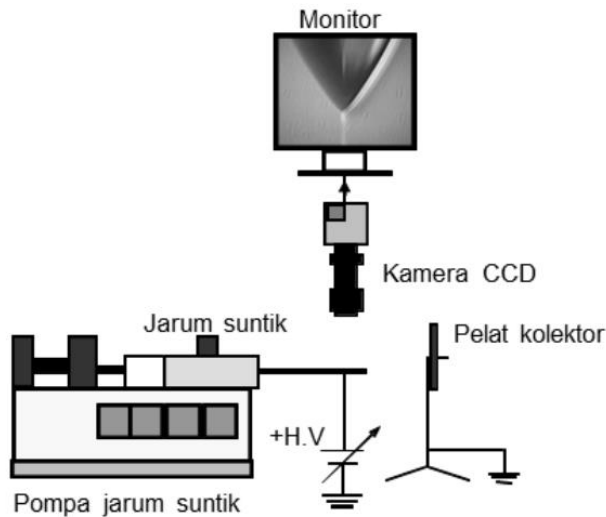
### PENDAHULUAN

Setiap tahun, jutaan orang menderita luka atau infeksi terkait luka dan diprediksi bahwa pasar produk penutup luka global akan melebihi \$15 miliar pada tahun 2022 (Nussbaum et al., 2018). Terdapat dua jenis penutup luka, yaitu penutup luka tradisional dan modern. Namun, masih banyak yang belum memenuhi syarat sebagai penutup luka dalam komposisi dan membutuhkan sistem tambahan untuk memantau perkembangan infeksi luka (Milne et al., 2016). Infeksi luka salah satunya disebabkan karena adanya mikroorganisme yang terpapar ke

permukaan. Sehingga agen antimikroba sangat menarik perhatian untuk saat ini, karena efisiensi antimikroba yang kuat terhadap mikroorganisme (Liang et al., 2014). Oleh karena itu perlu adanya penutup luka berbasis nanofiber dengan memasukkan antimikroba yang dilengkapi dengan struktur gradien hidrofobik ke hidrofilik dan efek pemompaan diri dengan memanfaatkan teknik elektrospinning (Qi et al., 2021).

Elektrospinning merupakan metode terbaru yang lebih sederhana untuk membuat material seperti nanofiber. yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti parameter

larutan polimer dan kondisi proses termasuk jarak jarum kolektor salah satunya (Widiyandari & Purwanto, 2015). Bagian utama elektrospinning tersusun atas sumber tegangan DC, spinneret (tabung *syring*), jarum dan plat kolektor. Mekanismenya yaitu dengan memanfaatkan gaya elektrostatis dari partikel bermuatan akibat adanya tegangan tinggi antara ujung jarum tabung *syring* dengan kolektor fiber (Pereira et al., 2011).



**Gambar 1.** Skema sistem peralatan elektrospinning (Widiyandari & Purwanto, 2015).

Larutan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu PVA (*Polyvinyl Alcohol*). PVA merupakan polimer sintesis transparan yang tidak beracun dengan biokompatibilitas tinggi dan kemampuan terurai secara hayati. Selain itu juga larut dalam air, sangat polar, dan membentuk banyak interaksi positif melalui gugus hidroksil (Barkoula et al., 2017). Polimer ini tidak beracun dan apabila terkena kulit, tidak menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam aplikasi penutup luka dan mudah dicampur dengan berbagai bahan (Baghaie et al., 2017). Gelatin yang biokompatibel, non-sitotoksik, dan *biodegradable* ketika digunakan untuk aplikasi klinis (Tomitaka et al., 2014). Selain itu, gelatin dapat meningkatkan adhesi yang berkontribusi pada penyembuhan luka yang lebih cepat (Sengor et al., 2020). PVA yakni polimer pendukung untuk meningkatkan kekuatan mekanik nanofiber bila dicampur dengan gelatin. Selain itu, keduanya dapat menjaga kondisi lembab di bagian luka karena sifat hidrofiliknya (Huang et al., 2016). Sehingga, PVA/Gelatin layak untuk dikembangkan sebagai pengiriman antimikroba potensial dan digunakan sebagai bahan penutup untuk mempercepat penyembuhan luka (Ahlawat et al., 2019).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan menggunakan bahan PVA/Gelatin/Madu Pinus, didapatkan hasil bahwa keberadaan madu menghambat interaksi antara PVA dan gelatin (Parin et al., 2021). Penelitian lain menggunakan bahan PVA/Gelatin/ZO

terbukti bahwa penelitian ini menghambat terbentuknya nanofiber, sehingga hasil yang didapat berupa butiran (Kavoosi et al., 2017). Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan bahan PVA/Gelatin dengan proses elektrospinning untuk diaplikasikan sebagai penutup luka.

## METODE

### A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan diantaranya preparasi sampel dan karakterisasi sampel. Preparasi sampel meliputi pembuatan larutan PVA, larutan gelatin, larutan PVA/Gelatin, dan pembuatan membran nanofiber dengan elektrospinning

#### a. Pembuatan larutan PVA

Larutan PVA 12% dibuat dengan melarutkan 1,2 gram PVA dalam 10 ml aquades dalam gelas kimia. Kemudian diaduk dengan magnetic stirrer 600 rpm pada temperatur 80°C selama 2 jam.

#### b. Pembuatan larutan Gelatin

Larutan Gelatin dibuat dengan konsentrasi 12%, sebanyak 1,2 gram Gelatin dilarutkan dalam 1 ml aquades dan 9 ml asam asetat. Kemudian diaduk dengan magnetic stirrer 600 rpm pada temperatur 80°C selama 30 menit.

#### c. Pembuatan larutan PVA/Gelatin

Larutan PVA 12% ditambahkan ke dalam larutan Gelatin 12% yang diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer 600 rpm pada temperatur 80°C selama 20 menit.

#### d. Pembuatan membran nanofiber dengan elektrospinning

Membran nanofiber terbentuk dengan proses elektrospinning seperti **Gambar 1**. Pertama memasukkan larutan ke dalam *syring* 10mL. Lalu kolektor drum dilapisi dengan aluminium foil yang dipasang dengan jarak 15 cm secara horizontal dengan variasi tegangan sebesar 17 kV, 20 kV, dan 23 kV selama 30 menit.

### B. Teknik Pengumpulan Data

Nanofiber PVA/Gelatin dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui diameter membran nanofiber. Spektroskopi UV-Vis untuk mengetahui kemampuan absorbansi pada nanofiber PVA/Gelatin, Data UV-Vis diolah dengan menggunakan software *OriginPro 9*. Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* untuk mengetahui komposisi kimia dari nanofiber dengan rentang panjang gelombang 400-4000 nm, data dari FTIR diolah dengan menggunakan software *OriginPro9*. *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray (SEM/EDX)* untuk mengetahui ukuran diameter nanofiber PVA/Gelatin, data SEM/EDX diolah dengan software *ImageJ* dan dilanjut dengan *OriginPro9*. Terakhir yaitu aktivitas antimikroba dengan menggunakan metode International Standart ISO22196, bakteri yang digunakan yaitu *S.aureus (Staphylococcus aureus)*.

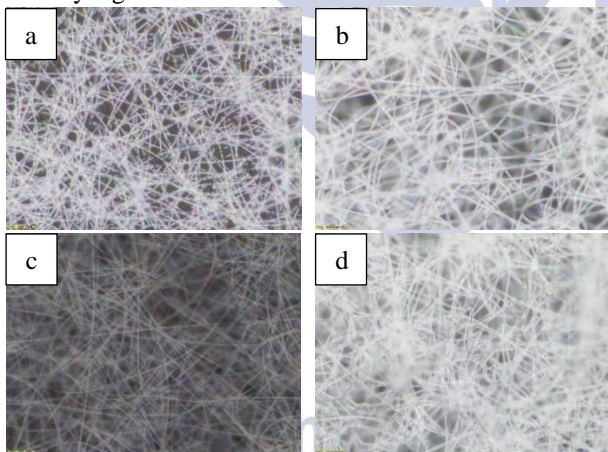
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pada sampel PVA/Gelatin dengan menggunakan proses elektrospinning pada konsentrasi 8:2

didapatkan hasil dari pengukuran mikroskop optik, spektroskopi UV-Vis, spektrofotometer FTIR, SEM/EDX dan aktivitas antimikroba.

*Diameter membran nanofiber*

Hasil Mikroskop Optik nanofiber dengan perbesaran 50 kali dari PVA/Gelatin ditunjukkan oleh **Gambar 2**. Nanofiber diperoleh setelah dilakukan proses elektrospinning dimana proses tersebut memiliki keunggulan yaitu memiliki porositas yang tinggi, luas permukaan yang tinggi untuk rasio volume, dan konektivitas interpori yang baik (Hirsch et al., 2019). Pada **Gambar 2(a)** diameter nanofiber PVA 12 % berkisar 0,74  $\mu\text{m}$ , **Gambar 2(b)** rata-rata diameter berkisar 0,73  $\mu\text{m}$  pada tegangan 17 kV, **Gambar 2(c)** berkisar 0,59  $\mu\text{m}$  pada tegangan 20 kV, dan **Gambar 2(d)** sebesar 0,52  $\mu\text{m}$  pada tegangan 23 kV. Sehingga diketahui bahwa seiring meningkatnya tegangan pada proses elektrospinning, maka akan menyebabkan ukuran diameter yang semakin mengecil. Diameter terbukti menurun seiring dengan peningkatan tegangan pada elektrospinning disebabkan karena pembentukan serat lebih cepat sehingga laju massa polimer yang keluar pada ujung spinneret meningkat (Tarun & Gobi, 2012). **Gambar 2(a)** hingga **2(d)** menunjukkan morfologi yang rapat dan tidak ada beads yang muncul. Sehingga sesuai dengan pengaplikasian pada penutup luka yang membutuhkan hasil nanofiber rapat dan tidak ada beads yang muncul.

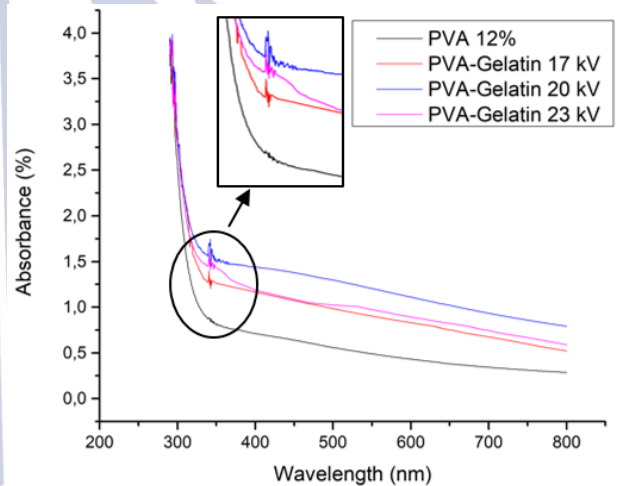


**Gambar 2.** Foto Mikroskop Optik nanofiber dari (a) PVA 12%, (b) PVA/Gelatin 17 kV, (c) PVA/Gelatin 20 kV, (d) PVA/Gelatin 23 kV.

*Spektroskopi UV-Vis*

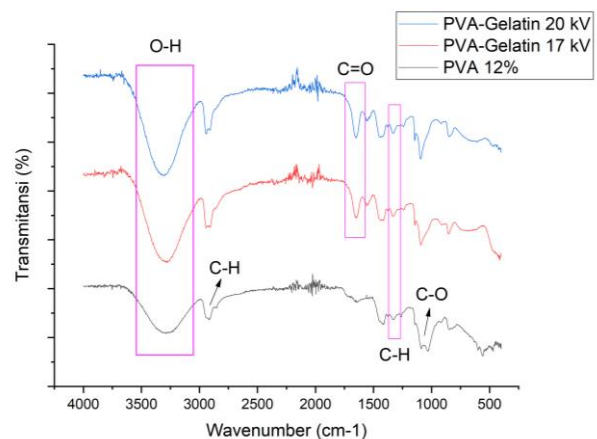
Spektroskopi UV-Vis menunjukkan nanofiber berbahan PVA/Gelatin menghasilkan nanofiber yang memiliki absorbansi tinggi seiring penambahan daya radiasi UV yang diberikan. Ketika Gelatin dicampur ke dalam PVA, pita mengembang dan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang. Hal ini mungkin disebabkan karena gelatin mengalami perubahan sifat dielektrik dari lingkungan sekitarnya. **Gambar 3**

merupakan hasil UV-Vis PVA/Gelatin. Sampel PVA murni menunjukkan penyerapan hampir nol dalam kisaran panjang gelombang 300-800 nm. Spektrum hitam menunjukkan bahwa PVA memiliki transmisi UV yang rendah akan tetapi semua nanofiber PVA/Gelatin lainnya mulai dari 17 kV hingga 23 kV menunjukkan transmisi UV yang lebih tinggi dari PVA. Pengamatan ini menunjukkan bahwa sampel PVA/Gelatin mempunyai kemampuan menyerap dengan baik yang ditunjukkan oleh hasil absorbansi sampel PVA/Gelatin diatas sampel PVA. Nanokomposit PVA/Gelatin menampilkan pita penyerapan permukaan yang luas. Sehingga dari hasil UV-Vis terbukti bahwa PVA/Gelatin 17 kV dan 20 kV memiliki daya serap yang baik dibandingkan PVA/Gelatin 23 kV, itulah yang optimum untuk karakterisasi uji FTIR.



**Gambar 3.** Hasil UV-Vis PVA/Gelatin.

*Spektrofotometer FTIR*



**Gambar 4.** Hasil FTIR PVA/Gelatin.

Pada **Gambar 4** menampilkan spektrum FTIR dari PVA/Gelatin dengan rentang gelombang 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ . Pada gugus fungsi O-H *stretching* menunjukkan bahwa ketiga sampel memiliki gugus fungsi yang sama. Selanjutnya, pada C=O *stretching* hanya dimiliki oleh

kedua sampel gelatin baik 17 kV maupun 20 kV, dimana hal tersebut menunjukkan bahwa kedua sampel mengandung unsur gelatin. Pada spektrum PVA 12%, pita lebar berada pada kisaran 3000 – 3500  $\text{cm}^{-1}$ , puncak serapan 3285,84  $\text{cm}^{-1}$  dikaitkan dengan gugus fungsi O-H *stretching*, lalu pada 2915,23  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi C-H *stretching*, 1324,75  $\text{cm}^{-1}$  gugus fungsi C-H *bending*, dan puncak kuat pada 1031,34 dianggap sebagai vibrasi C-O *stretching* dari gugus karboksil residu selama reaksi hidrolisis bahan PVA.

Bilangan gelombang yang dihasilkan pada **Gambar 4** dihasilkan dari pengujian FTIR PVA/Gelatin yang dipadukan dengan data gugus fungsi literatur yang terdapat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Referensi gugus fungsi

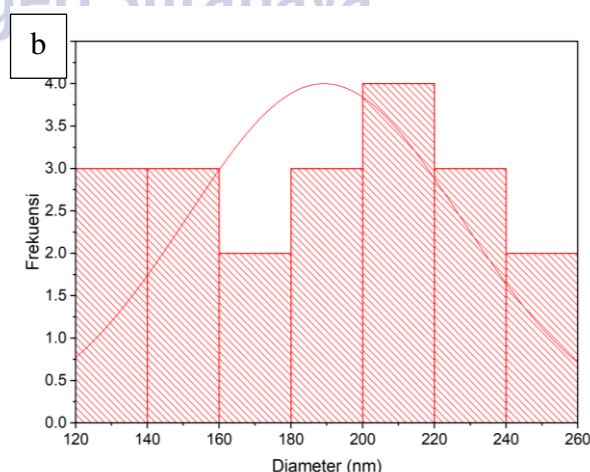
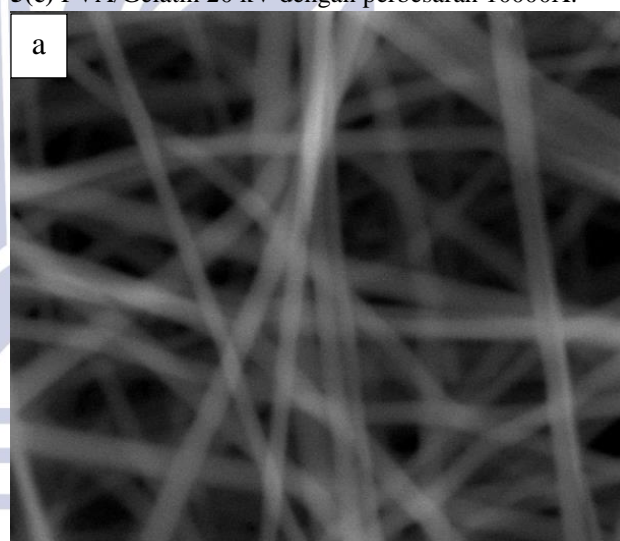
| Gugus Fungsi               | Peak ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Ref                                    |
|----------------------------|---------------------------|--|
| O-H <i>Stretch</i>         | 3437                      | (Foroutan Koudehi & Zibaseresht, 2020) |
| N-H <i>Stretch</i>         | 3400                      | (Razzaq et al., 2021)                  |
| N-H <i>Stretch</i>         | 3100-3500                 | (Yang et al., 2010)                    |
| C-H <i>Stretch</i>         | 2945                      | (Yang et al., 2010)                    |
| O-H <i>Stretch</i>         | 2945                      | (Foroutan Koudehi & Zibaseresht, 2020) |
| O-H <i>Stretch</i>         | 2914                      | (Yang et al., 2010)                    |
| C=O <i>Stretch</i>         | 1735                      | (Yang et al., 2010)                    |
| C=O <i>Stretch</i>         | 1680 & 1650               | (Razzaq et al., 2021)                  |
| C=O <i>Stretch</i>         | 1680-1620                 | (Yang et al., 2010)                    |
| N-H <i>Bend</i>            | 1550 & 1500               | (Yang et al., 2010)                    |
| N-H <i>Bend</i>            | 1534                      | (Yang et al., 2010)                    |
| C-H <i>Bend &amp; Wagg</i> | 1450-1000                 | (Razzaq et al., 2021)                  |
| C-H <i>Bend</i>            | 1380                      | (Razzaq et al., 2021)                  |
| N-H <i>Bend</i>            | 1240                      | (Razzaq et al., 2021)                  |
| C-O-C <i>Bond</i>          | 1380                      | (Foroutan Koudehi & Zibaseresht, 2020) |

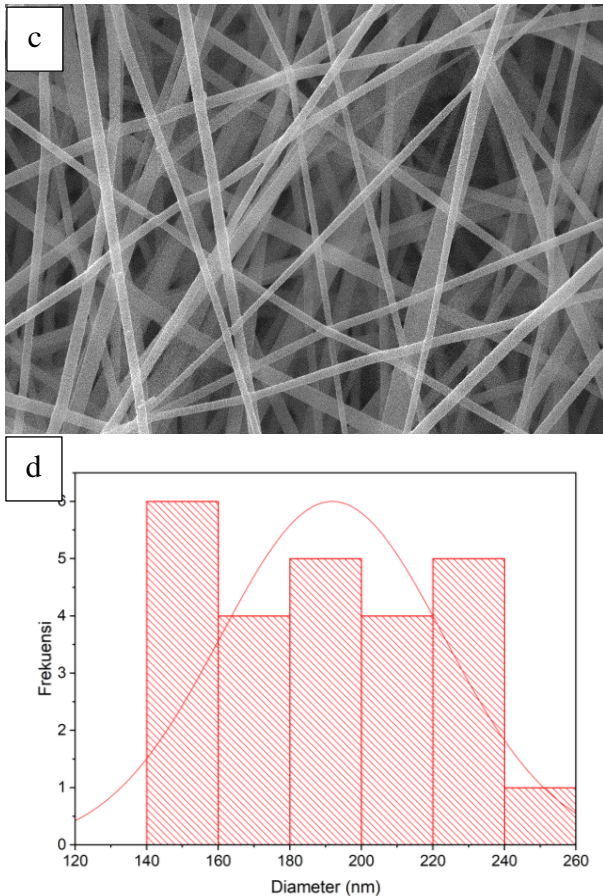
Spektrum PVA/Gelatin sendiri terdapat 2 variasi yaitu spektrum PVA/Gelatin 17 kV dan 20 kV. Beberapa puncak serapan bergeser ke bilangan gelombang baik meningkat maupun menurun. Pada puncak serapan

3279,70  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 3301  $\text{cm}^{-1}$  akibat O-H *stretching*, puncak C=O *stretching* pada 1647,85  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 1651,98  $\text{cm}^{-1}$ , dan C-H *bending* 1332,40  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 1332,06. Adanya pergeseran ini disebabkan karena terbentuknya ikatan hydrogen antarmolekul antara gugus karboksil residu PVA dan gugus amida gelatin yang mengarah pada kompatibilitas yang baik dari kedua bahan tersebut (Yang et al., 2010). Sehingga, jaringan semi-interpenetrasi dicapai setelah pencampuran dari PVA dan gelatin. Adanya gugus fungsi hasil penelitian yang disamakan dengan gugus fungsi literatur, maka sampel PVA/Gelatin 20 kV layak dikarakterisasi lanjut dengan menggunakan uji SEM dan antimikroba.

*Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray (SEM/EDX)*

Morfologi permukaan PVA/Gelatin ditunjukkan dari hasil mikrograf SEM yang ditunjukkan pada **Gambar 5(a)** dan **5(c)**, serat PVA/Gelatin yang tipis dan teratur didapatkan dengan menggunakan konsentrasi PVA/Gelatin dengan proses elektrospinning (Linh & Lee, 2012). **Gambar 5(a)** merupakan PVA 12% dan **Gambar 5(c)** PVA/Gelatin 20 kV dengan perbesaran 10000X.

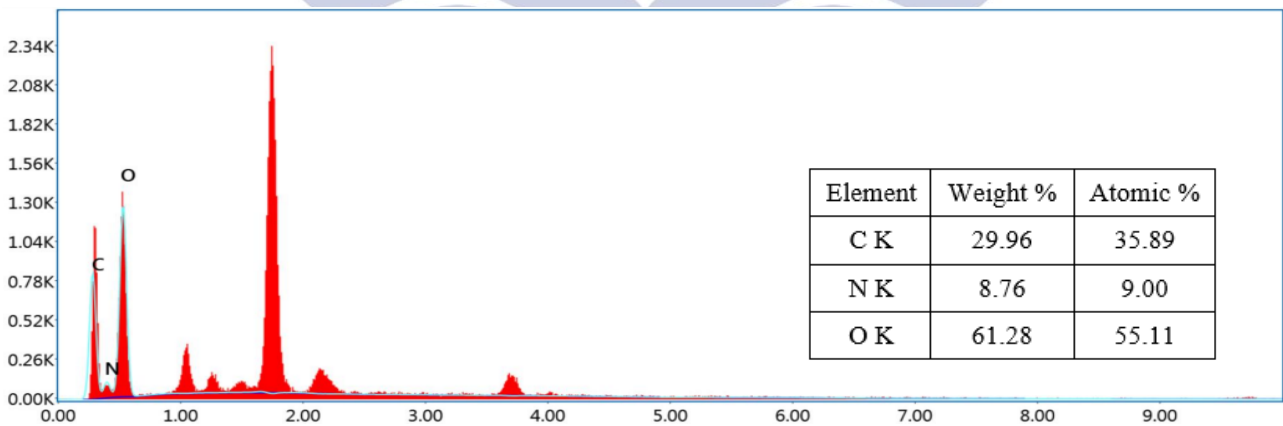




**Gambar 5.** (a) Hasil Morfologi SEM PVA 12%, (b) Kurva distribusi ukuran partikel PVA 12%, (c) Hasil Morfologi SEM PVA/Gelatin 20 kV, (d) Kurva distribusi ukuran partikel PVA/Gelatin 20 kV.

Diameter dari morfologi PVA/Gelatin didapatkan dari perangkat lunak *ImageJ* lalu hasilnya diolah menggunakan *OriginPro 9*, maka didapatkan kurva distribusi ukuran partikel seperti **Gambar 5(b)** dan **5(d)**. Diameter nanofiber PVA 12% berkisar antara 200 - 220 nm dan PVA/Gelatin sebesar 140 - 160 nm. PVA dan Gelatin merupakan biopolimer yang larut dalam air, dan keduanya harus dicampurkan agar tahan air sebelum digunakan sebagai bahan biomedis. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5(c)**, struktur nanofiber yang dihasilkan dari keduanya menunjukkan bahwa padat antara serat satu dengan serat yang lain.

Analisis EDX mengkonfirmasi penggabungan PVA dengan Gelatin, penciptaan kluster terlokalisasi secara acak kemungkinan disebabkan oleh penerapan seluruh proses elektrosinning (Vilamová et al., 2019). **Gambar 6** menunjukkan hasil karakterisasi EDX PVA/Gelatin 20 kV dengan komposisi unsur pada **Gambar 6**. PVA/Gelatin dibentuk dengan 3 unsur yaitu C, N, dan O dengan masing-masing nilai *weight* 35.89%, 9.00%, dan 55.11%. Unsur kimia yang terdeteksi, termasuk C dan O merupakan bagian dari struktur PVA, dan kehadiran unsur N disebabkan oleh kebutuhan untuk memercikkan sampel untuk analisis SEM. Sehingga adanya unsur C, O, dan N menunjukkan bahwa ketiga unsur tersebut bebas pengotor yang menjanjikan aktivitas antimikroba untuk aplikasi penutup luka (Meshram et al., 2017).



**Gambar 6.** Hasil Karakterisasi EDX PVA/Gelatin 20kV

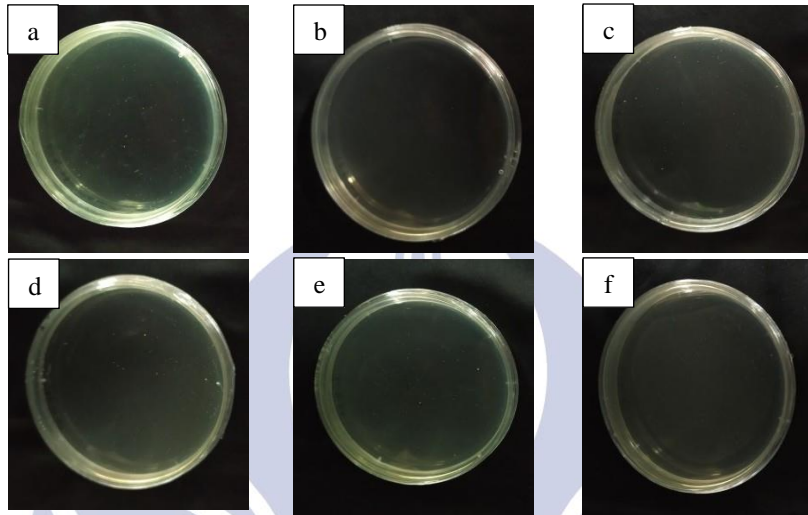
### Antimikroba

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan apakah PVA/Gelatin mempengaruhi penghambatan pertumbuhan bakteri dengan metode International Standart ISO 22196 (*modified*) (Wiegand et al., 2018). Bakteri yang digunakan yaitu *Staphylococcus aureus* (OD<sub>600 nm</sub> 0.03) yang akan

dimasukkan pada media kultur NB (1/500). Suspensi bakteri diambil 100 µl yang diletakkan diatas nanofiber pada gelas objek dalam cawan petri steril. Permukaan plat yang terdapat kultur bakteri ditutup dengan cover glass. Inkubasi dilakukan selama 5 jam pada suhu 35°C dan setiap 1 jam dilakukan uji antimikroba dimana

prosesnya yaitu cawan petri berisi objek glass berlapis nanofiber yang telah ditambahkan kultur bakteri di atasnya diberi 100 µl larutan *Phosphate Buffer Physiological Saline* dan dihomogenkan. Kemudian dihitung jumlah selnya menggunakan metode TPC dengan seri pengenceran. Karena tingkat pengenceran yang tinggi menunjukkan perbaikan dan peningkatan

sifat (Majidnia et al., 2013), maka 3 tingkat pengenceran terakhir dalam tabung reaksi diambil 1 mL untuk dilakukan *plating* menggunakan media *Nutrient Agar* (NA). Inkubasi dilakukan selama 24 jam pada suhu 35°C, lalu jumlah koloni dihitung menggunakan *colony counter* sesuai dengan *Standar Plate Count* (SPC).



**Gambar 7.** Hasil uji antimikroba dengan waktu inkubasi (a) 0 jam, (b) 1 jam, (c) 2 jam, (d) 3 jam, (e) 4 jam, (f) 5 jam.

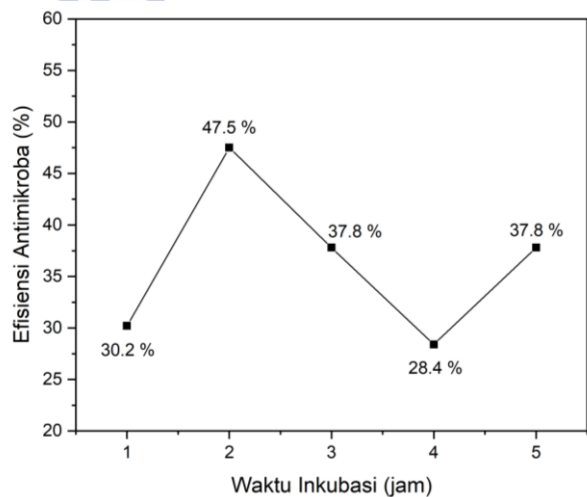
**Tabel 2.** Hasil uji antimikroba PVA-Gelatin terhadap bakteri uji *S.aureus*

| Jam ke- | Jumlah Koloni |
|---------|---------------|
| 1       | 544           |
| 2       | 379           |
| 3       | 450           |
| 4       | 517           |
| 5       | 450           |

**Gambar 7** menunjukkan bahwa hasil uji antimikroba dengan waktu inkubasi mulai jam ke-0 hingga jam ke-5. Selama waktu inkubasi didapatkan jumlah koloni untuk masing-masing jamnya seperti pada **Tabel 2**. Pada jam ke-0 terdapat perlakuan kontrol, dimana perlakuan tersebut dilakukan tanpa nanofiber. Jumlah koloni yang muncul pada jam ke-0 sebesar 723. Pada jam ke-1 hingga jam ke-5 merupakan perlakuan sampel nanofiber PVA/Gelatin. Waktu inkubasi pada jam ke-1, jumlah koloni yang muncul 544, pada jam ke-2 berkurang menjadi 379. Jam ke-3 bertambah menjadi 450, lalu jam ke-4 meningkat menjadi 517. Dan terakhir pada jam ke-5, jumlah koloni sebesar 450.

Hasil jumlah koloni bakteri yang muncul diolah menggunakan OriginPro 9, maka didapatkan kurva efisiensi seperti **Gambar 8**. menunjukkan bahwa sampel PVA/Gelatin efisien pada jam ke-1 dan jam ke-2 saja. Nilai efisiensi pada jam ke-1 sebesar 30,2%. Jam ke-2 sebesar 47,5%. Pada jam ke-3 mengalami penurunan nilai

efisiensi yaitu sebesar 37,8 %, jam ke-4 sebesar 28,4%, dan jam ke-5 sebesar 37,8%. Pada jam ke-1 hingga jam ke-2 mekanisme antimikroba masih berperan aktif, karena dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Spesies yang dihasilkan dapat menembus ke dalam sel dan membatasi metabolisme yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel (Sirelkhatim et al., 2015). Selebih dari jam ke-2, pertumbuhan bakteri kurang efisien dikarenakan jumlah mikroba meningkat akan tetapi tidak lebih dari jam ke-0 yang menjadikan PVA/Gelatin efektif sebagai antimikroba penutup luka. Oleh karena itu, PVA/Gelatin efisien diberi perlakuan hingga maksimal 2 jam.



**Gambar 8.** Efisiensi hasil antimikroba sampel PVA/Gelatin.

## PENUTUP

## KESIMPULAN

Nanofiber PVA/Gelatin telah berhasil dibentuk melalui proses elektrospinning dengan beberapa variasi tegangan yang berbeda, yaitu 17 kV, 20 kV, dan 23 kV. Ukuran diameter nanofiber yang diukur dengan mikroskop optik menurun seiring bertambahnya tegangan. Spektroskopi UV-Vis menunjukkan nanofiber berbahan PVA/Gelatin menghasilkan nanofiber yang memiliki absorbansi tinggi seiring penambahan daya radiasi UV yang diberikan. Spektrum FTIR dengan rentang gelombang 400-4000 cm<sup>-1</sup> menunjukkan gugus fungsi yang terlihat yaitu, O-H *stretching*, C-H *stretching*, C-O *stretching*, C=O *stretching* dan C-H *bending*. Morfologi dan distribusi PVA/Gelatin yang seragam ditunjukkan oleh SEM dengan diameter berkisar 140 – 160 nm, dengan unsur yang terdapat pada spektrum EDX yaitu C, O, dan N. Aktivitas antimikroba yang efisien pada nanofiber PVA/Gelatin terhadap bakteri *S.aureus* dengan waktu inkubasi maksimal selama 2 jam pada efisiensi 47,5% yang menunjukkan potensi permukaan antimikroba. Spektroskopi UV-Vis yang tinggi, spektrum FTIR, morfologi SEM yang seragam, kemunculan unsur SEM/EDX, dan aktivitas antimikroba efisien menyarankan PVA/Gelatin diaplikasikan sebagai penutup luka.

## SARAN

Nanofiber yang telah berhasil dibentuk dari penelitian ini dihasilkan dari karakterisasi beberapa uji, seperti spektroskopi UV-Vis, spektrofotometer FTIR, SEM-EDX, dan uji antimikroba yang diaplikasikan sebagai penutup luka. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya ditambahkan karakterisasi dengan menggunakan uji mekanik, dan uji klinis agar didapatkan hasil yang lebih efisien ketika diaplikasikan sebagai penutup luka.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahlawat, J., Kumar, V., & Gopinath, P. (2019). Carica papaya loaded poly (vinyl alcohol)-gelatin nanofibrous scaffold for potential application in wound dressing. *Materials Science and Engineering C*, 103(November 2017), 109834. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109834>
- Baghaie, S., Khorasani, M. T., Zarrabi, A., & Moshtaghian, J. (2017). Wound healing properties of PVA/starch/chitosan hydrogel membranes with nano Zinc oxide as antibacterial wound dressing material. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 28(18), 2220–2241. <https://doi.org/10.1080/09205063.2017.1390383>
- Barkoula, N. M., Alcock, B., Cabrera, N. O., & Peijs, T. (2017). Flame-Retardancy Properties of Intumescent Ammonium Poly(Phosphate) and Mineral Filler Magnesium Hydroxide in Combination with Graphene. *Polymers and Polymer Composites*, 16(2), 101–113.

- <https://doi.org/10.1002/pc>
- Foroutan Koudehi, M., & Zibaseresht, R. (2020). Synthesis of molecularly imprinted polymer nanoparticles containing gentamicin drug as wound dressing based polyvinyl alcohol/gelatin nanofiber. *Materials Technology*, 35(1), 21–30. <https://doi.org/10.1080/10667857.2019.1649888>
- Hirsch, E., Vass, P., Démuth, B., Pethő, Z., Bitay, E., Andersen, S. K., Vigh, T., Verreck, G., Molnár, K., Nagy, Z. K., & Marosi, G. (2019). Electrospinning scale-up and formulation development of PVA nanofibers aiming oral delivery of biopharmaceuticals. *Express Polymer Letters*, 13(7), 590–603. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2019.50>
- Huang, C. Y., Hu, K. H., & Wei, Z. H. (2016). Comparison of cell behavior on pva/pva-gelatin electrospun nanofibers with random and aligned configuration. *Scientific Reports*, 6(April), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep37960>
- Kavoosi, G., Bordbar, Z., Dadfar, S. M., & Dadfar, S. M. M. (2017). Preparation and characterization of a novel gelatin–poly(vinyl alcohol) hydrogel film loaded with Zataria multiflora essential oil for antibacterial–antioxidant wound-dressing applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(39), 1–9. <https://doi.org/10.1002/app.45351>
- Liang, S., Zhang, G., Min, J., Ding, J., & Jiang, X. (2014). Synthesis and antibacterial testing of silver/poly (ether amide) composite nanofibers with ultralow silver content. *Journal of Nanomaterials*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/684251>
- Linh, N. T. B., & Lee, B. T. (2012). Electrospinning of polyvinyl alcohol/gelatin nanofiber composites and cross-linking for bone tissue engineering application. *Journal of Biomaterials Applications*, 27(3), 255–266. <https://doi.org/10.1177/0885328211401932>
- Majidnia, Z., Idris, A., & Valipour, P. (2013). *Jurnal Teknologi Full paper Evaluation of Antibacterial Properties of Leather Treated with Silver*. 60, 5–8.
- Meshram, J. V., Koli, V. B., Phadatar, M. R., & Pawar, S. H. (2017). Anti-microbial surfaces: An approach for deposition of ZnO nanoparticles on PVA-Gelatin composite film by screen printing technique. *Materials Science and Engineering C*, 73, 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.12.043>
- Milne, S. D., Seoudi, I., Hamad, H. Al, Talal, T. K., Anoop, A. A., Allahverdi, N., Zakaria, Z., Menzies, R., & Connolly, P. (2016). A wearable wound moisture sensor as an indicator for wound dressing change: An observational study of wound moisture and status. *International Wound Journal*, 13(6), 1309–1314. <https://doi.org/10.1111/iwj.12521>
- Nussbaum, S. R., Carter, M. J., Fife, C. E., DaVanzo, J., Haight, R., Nusgart, M., & Cartwright, D. (2018). An Economic Evaluation of the Impact, Cost, and Medicare Policy Implications of Chronic Nonhealing Wounds. *Value in Health*, 21(1), 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.07.007>
- Parin, F. N., Terzioğlu, P., Sicak, Y., Yildirim, K., &

- Öztürk, M. (2021). Pine honey-loaded electrospun poly (vinyl alcohol)/gelatin nanofibers with antioxidant properties. *Journal of the Textile Institute*, 112(4), 628–635. <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1773199>
- Pereira, H., Frias, A. M., Oliveira, J. M., Espregueira-Mendes, J., & Reis, R. L. (2011). Tissue engineering and regenerative medicine strategies in meniscus lesions. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 27(12), 1706–1719. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2011.08.283>
- Qi, L., Ou, K., Hou, Y., Yuan, P., Yu, W., Li, X., Wang, B., He, J., Cui, S., & Chen, X. (2021). Unidirectional water-transport antibacterial trilayered nanofiber-based wound dressings induced by hydrophilic-hydrophobic gradient and self-pumping effects. *Materials and Design*, 201, 109461. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109461>
- Razzaq, A., Khan, Z. U., Saeed, A., Shah, K. A., Khan, N. U., Mena, B., Iqbal, H., & Mena, F. (2021). Development of cephadrine-loaded gelatin/polyvinyl alcohol electrospun nanofibers for effective diabetic wound healing: In-vitro and in-vivo assessments. *Pharmaceutics*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13030349>
- Sengor, M., Ozgun, A., Gunduz, O., & Altintas, S. (2020). Aqueous electrospun core/shell nanofibers of PVA/microbial transglutaminase cross-linked gelatin composite scaffolds. *Materials Letters*, 263, 127233. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127233>
- Sirelkhatim, A., Mahmud, S., Seeni, A., Kaus, N. H. M., Ann, L. C., Bakhori, S. K. M., Hasan, H., & Mohamad, D. (2015). Review on zinc oxide nanoparticles: Antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano-Micro Letters*, 7(3), 219–242. <https://doi.org/10.1007/s40820-015-0040-x>
- Tarun, K., & Gobi, N. (2012). Calcium alginate/PVA blended nano fibre matrix for wound dressing. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 37(2), 127–132.
- Tomitaka, =Asahi, Jo, J., Aoki, I., & Tabata, Y. (2014). Preparation of biodegradable iron oxide nanoparticles with gelatin for magnetic resonance imaging. *Inflammation and Regeneration*, 34(1), 045–055. <https://doi.org/10.2492/inflamregen.34.045>
- Vilamová, Z., Konvičková, Z., Mikeš, P., Holišová, V., Mančík, P., Dobročka, E., Kratošová, G., & Seidlerová, J. (2019). Ag-AgCl Nanoparticles Fixation on Electrospun PVA Fibres: Technological Concept and Progress. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51642-7>
- Widiyandari, H., & Purwanto, A. (2015). ANATASE MENGGUNAKAN METODE ELECTROSPINNING. 15(4), 248–252.
- Wiegand, C., Völpel, A., Ewald, A., Remesch, M., Kuever, J., Bauer, J., Griesheim, S., Hauser, C., Thielmann, J., Tonndorf-Martini, S., Sigusch, B. W., Weisser, J., Wyrwa, R., Elsner, P., Hipler, U. C., Roth, M., Dewald, C., Lüdecke-Beyer, C., & Bossert, J. (2018). Critical physiological factors influencing the outcome of antimicrobial testing according to ISO 22196 / JIS Z 2801. *PLoS ONE*, 13(3), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194339>
- Yang, Z., Peng, H., Wang, W., & Liu, T. (2010). Crystallization behavior of poly( $\epsilon$ -caprolactone)/layered double hydroxide nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 116(5), 2658–2667. <https://doi.org/10.1002/app>