

Karakteristik Antibakteri dari *Wound Dressing* PVA – Sodium Alginat

Antibacterial Characteristics of Wound Dressing PVA – Sodium Alginate

Novtiantian Erlinda Putri Ramadhani, Diah Hari Kusumawati*

Prodi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Jln. Ketintang, Surabaya 60231

ABSTRAK

Sodium Alginat merupakan polimer bahan alam yang berkembang dalam bidang kesehatan dengan sifat biokompatibel, biodegradasi, dan sifat antibakteri yang baik. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis karakteristik *wound dressing* dari PVA-Sodium Alginat dan menganalisis efektivitas antibakteri dari *wound dressing* PVA-Sodium Alginat. Sintesis *nanofiber* dilakukan menggunakan metode *electrospinning* dengan parameter yang digunakan yaitu laju alir 1 ml/jam, jarak jarum antar kolektor sejauh 13 cm, serta tegangan sebesar 15 kV. *Nanofiber* yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM, uji antibakteri, dan uji tarik. Hasil FTIR *nanofiber* PVA-Sodium Alginat diperoleh gugus fungsi C-H yang menunjukkan adanya PVA, serta –COO– asimetris dan simetris dari kandungan Sodium Alginat. Karakterisasi SEM menunjukkan morfologi berbentuk serat dengan ukuran diameter pada rentang 99 – 142 nm, porositas 43% - 47%, dan ukuran pori 0,915 μm – 1,121 μm . Hasil karakterisasi SEM meliputi struktur morfologi, ukuran diameter, porositas dan ukuran pori *nanofiber* PVA-Sodium Alginat yang memenuhi karakteristik sebagai *wound dressing* yaitu pada variasi Sodium Alginat 3%. Hasil uji tarik *nanofiber* PVA-Sodium Alginat didapatkan nilai kuat tarik 3,26 MPa, regangan sebesar 6%, dan modulus elastisitas sebesar 0,54 MPa. *Nanofiber* PVA-Sodium Alginat memiliki aktivitas antibakteri yang sangat baik pada bakteri gram negatif (*Escherichia coli*) dengan efektivitas antibakteri sebesar 97,5%, namun tidak dapat menghambat pertumbuhan untuk bakteri gram positif (*Staphylococcus aureus*).

Kata Kunci: Sodium Alginat; *nanofiber*; *wound dressing*

ABSTRACT

*Sodium Alginate is a natural material polymer that is being developed in the health sector with good biocompatibility, biodegradability and antibacterial properties. The aim of this research is to analyze the characteristics of PVA-Sodium Alginate wound dressings and analyze the antibacterial effectiveness of PVA-Sodium Alginate wound dressings. Nanofiber synthesis was carried out using the electrospinning method with the parameters used, namely a flow rate of 1 ml/hour, a needle distance between collectors of 13 cm, and a voltage of 15 kV. The resulting nanofibers were then characterized using FTIR, SEM, antibacterial tests and tensile tests. The FTIR results of PVA-Sodium Alginate nanofibers showed that the C-H functional group showed the presence of PVA, as well as asymmetric and symmetric -COO- content of Sodium Alginate. SEM characterization shows a fiber-shaped morphology with a diameter in the range of 99 – 142 nm, porosity of 43% - 47%, and pore size of 0.915 μm – 1.121 μm . The SEM characterization results include the morphological structure, diameter, porosity and pore size of the PVA-Sodium Alginate nanofiber which meets the characteristics of a wound dressing, namely the 3% Sodium Alginate variation. Tensile test results for PVA-Sodium Alginate nanofiber showed a tensile strength value of 3.26 MPa, strain of 6%, and elastic modulus of 0.54 MPa. PVA-Sodium Alginate nanofiber has excellent antibacterial activity on gram-negative bacteria (*Escherichia coli*) with antibacterial effectiveness of 97.5%, but cannot inhibit the growth of gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus*).*

Key Words: Sodium Alginate; *nanofiber*; *wound dressing*

PENDAHULUAN

Kulit merupakan organ terbesar di tubuh manusia sekitar 15% dari berat badan yang memiliki peran penting dalam proteksi, termoregulasi, sensoris, dan fungsi imunologi (Liang *et al*, 2022). Apabila struktur kulit rusak, tubuh akan rentan terhadap invasi mikroba dan infeksi luka yang memperlambat penyembuhan luka (Tang *et al*, 2019). Penyembuhan luka adalah proses dinamis

dan interaktif yang melibatkan empat fase antara lain, hemostasis, inflamasi, proliferasi, dan *remodeling* luka (Li & Wu, 2022). Proses penyembuhan luka dilakukan dengan perawatan salah satunya adalah menggunakan penutup luka atau *wound dressing* (Yao *et al*, 2022).

Wound dressing merupakan metode yang efisien guna mempercepat penyembuhan luka. Bahan penutup luka harus bersifat biokompatibel, dan

*Alamat korespondensi:
diahkusumawati@unesa.ac.id

memiliki sifat bioaktif untuk mempercepat penyembuhan luka, seperti sifat antibakteri dan potensi antioksidan (Nosar & Ziora, 2018). Penutup luka yang sering digunakan yaitu penutup luka konvensional, seperti kapas dan kasa (Tottoli *et al*, 2020). Penutup luka konvensional memiliki beberapa keunggulan yaitu, biaya rendah dan kapasitas penyerapan yang tinggi, namun penutup luka konvensional memiliki peran pasif dalam proses penyembuhan, hanya dengan melindungi luka dari kontaminasi (Tang *et al*, 2019). Selain itu penutup luka konvensional dapat menyebabkan pendarahan, dan merusak epitel yang baru terbentuk ketika melepasnya dari permukaan kulit (Aderibigbe & Buyana, 2018). Penelitian terkait penutup luka telah dieksplorasi melalui teknologi nano yaitu *nanofiber* guna memfasilitasi penyembuhan luka (Du *et al*, 2023).

Membran *nanofiber* yang menunjukkan potensi sebagai penutup luka yaitu memiliki struktur pendukung tiga dimensi, ukuran pori kecil, dan rasio permukaan tinggi (Wang *et al*, 2021). *Nanofiber* dapat meniru matriks ekstraseluler yang dapat meningkatkan proliferasi sel epitel dan pembentukan jaringan baru. Diameter *nanometer* dan jaring *nanofibrous* meningkatkan hemostasis jaringan yang terluka, meningkatkan penyerapan cairan, permeasi gas tinggi, serta mencegah adanya infeksi bakteri (Aderibigbe & Buyana, 2018). Membran *nanofiber* dapat dihasilkan melalui metode *electrospinning* yang merupakan metode penghasil serat dengan ukuran dari nanometer hingga mikrometer (Xue *et al*, 2019). Penutup luka *nanofiber* dapat memberikan efek penyembuhan yang lebih baik apabila digabungkan dengan agen antibakteri, seperti kandungan antibiotik pada bahan alam (Liu *et al*, 2018). Polimer alam yang dapat menunjukkan keuntungan sebagai aplikasi perawatan luka, salah satunya adalah Sodium Alginat karena memiliki sifat antibakteri (Tang *et al*, 2019).

Sodium Alginat merupakan bahan polimer alam yang memiliki biokompatibilitas dan biodegradabilitas sangat baik (Tang *et al*, 2019). Sodium Alginat memiliki daya absorbansi tinggi, mampu menjaga kelembaban di sekitar luka selama proses penyembuhan karena sifat hidrofilitasnya yang tinggi, elastis, dan tidak menyebabkan alergi (Tang *et al*, 2019; Ramadhani dkk, 2021). Namun, alginat murni sulit untuk dijadikan *nanofiber* karena konduktivitas listrik yang tinggi dan tegangan

permukaan yang tinggi (Xiao & Lim, 2018). Ketidakmampuan alginat dalam membentuk *nanofiber* sehingga perlu ditambahkan polimer lain seperti Polivinil Alkohol (PVA) guna meningkatkan kemampuan pembentuk serat nano serta kekuatan mekanik alginat (Tang *et al*, 2019).

Polivinil Alkohol (PVA) merupakan polimer biokompatibel, tidak beracun, *biodegradable* dengan sifat mekanik yang baik (Razzaq *et al*, 2021). Selain itu, PVA juga merupakan polimer yang mampu membentuk serat, hidrofilik, dan dapat larut dalam air sehingga PVA dapat digunakan sebagai aplikasi biomedis (Arianto *et al*, 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Tang *et al* (2019) yaitu menambahkan madu pada campuran PVA/alginat dengan variasi konsentrasi (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% (v/v)). Hasil menunjukkan bahwa PVA/Alginat yang ditambahkan dengan madu efektif dalam penyembuhan luka namun terdapat butiran pada serat. Penambahan madu dalam pembentukan *nanofiber* ini secara efisien menghambat pertumbuhan bakteri Gram-positif (*Staphylococcus Aureus*) dan bakteri Gram-negatif (*E. coli*) (Tang *et al*, 2019).

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa PVA-SA dapat membentuk *nanofiber* dengan mengoptimalkan parameter pada *electrospinning*, seperti tegangan, jarak nosel, dan laju aliran (Jadbabaei *et al*, 2021). Penelitian tersebut PVA-SA dibuat dengan rasio yang optimal yaitu pada komposisi PVA 6,5 wt%, SA 1 wt% dan 2,5 wt%. Pemilihan konsentrasi tersebut dilaporkan dapat digunakan sebagai kandidat yang kompatibel untuk *skin tissue* luka karena memiliki produktivitas *nanofiber* yang baik. PVA-SA yang dihasilkan memiliki sifat mekanik (kuat tarik) baik (Jadbabaei *et al*, 2021). Wang *et al* (2021) dalam penelitiannya menggunakan PVA/SA menjelaskan bahwa kandungan Sodium Alginat memiliki pengaruh yang besar terhadap ukuran diameter *nanofiber*. Diameter *nanofiber* minimum mencapai 242,12 nm pada kondisi optimal yaitu konsentrasi PVA 10% dan SA 2% dengan perbandingan keduanya 8:2. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dibuat dengan dua tujuan utama yaitu yang pertama untuk mengetahui karakteristik PVA-SA sebagai penutup luka antibakteri yang mengacu pada penelitian sebelumnya (Wang *et al*, 2021) dengan larutan PVA 10% dan variasi larutan sodium alginat antara lain, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Tujuan kedua untuk

menganalisis sifat aktivitas antibakteri PVA-SA guna mempercepat proses penyembuhan luka. Aktivitas antibakteri dilakukan dengan menggunakan bakteri gram-positif (*Staphylococcus Aureus*) dan bakteri gram-negatif (*Eschericia coli*).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bulan April – Juni 2023. Preparasi hingga sintesis bahan dilakukan di Laboratorium Material dan Karakterisasi Prodi Fisika, Universitas Negeri Surabaya. Pengujian FTIR dan SEM dilakukan di LIHTR Universitas Airlangga Surabaya, pengujian kuat tarik dilakukan di Universitas Brawijaya, dan pengujian antibakteri dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah polivinil alkohol (*Molecular Weight* : 60,000 – 1,25,000), sodium alginat (9005-38-3 CAS), glutaraldehid dan akuades. Alat yang digunakan antara lain *aluminium foil*, neraca digital, *magnetic stirrer*, gelas ukur, kaca preparat, jarum suntik (*syringe*), dan alat Nachriebe 601 *Electrospinning*. Kemudian untuk mengetahui jenis ikatan, struktur morfologi, sifat mekanik serta efektivitas antibakteri dilakukan analisa dengan karakterisasi sampel pengujian *Fourier-Transform Infrared* (FT-IR BRUKER ALPHA II), *Scanning Electron Microscopy* (SEM Thermo Fisher Scientific), uji kuat tarik (*Tensile Strength* IMADA Manual Test Stand), dan uji aktivitas antibakteri. Berikut beberapa tahapan dalam penelitian ini:

a. Pembuatan Larutan PVA

Preparasi sampel diawali dengan pembuatan larutan PVA 10%, 1 gram PVA dilarutkan dengan pelarut *aquadest* 10 mL dalam gelas kimia. Kedua material tersebut kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada suhu 100°C untuk memperoleh larutan PVA

b. Pembuatan Larutan Sodium Alginat

Larutan Sodium Alginat dibuat dengan serbuk SA yang divariasikan yakni 2%, 3%, 4%, dan 5% (0.2; 0.3; 0.4; 0.5) gram ditambahkan ke dalam pelarut *aquadest* 10 mL, selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruang selama 2 jam hingga larut homogen.

c. Pembuatan Larutan PVA-Sodium Alginat

Larutan PVA 10% ditambahkan ke dalam larutan SA (2%, 3%, 4%, 5%), kedua larutan tersebut dicampurkan diaduk di *magnetic stirrer* pada suhu

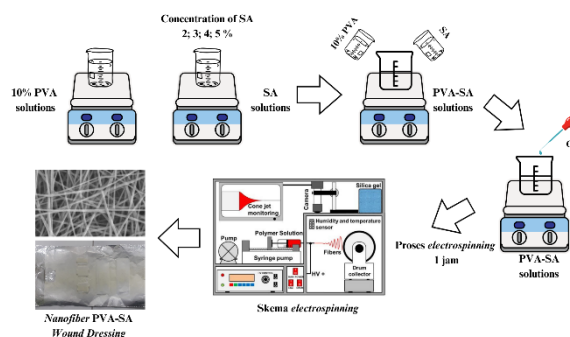
ruang selama 2 jam hingga larut homogen. Kemudian ditambahkan larutan Glutaraldehida (GA) pada larutan PVA-SA.

d. Pembuatan *nanofiber*

Pembuatan *nanofiber* dilakukan dengan menggunakan metode *electrospinning* dimulai dengan melapisi drum kolektor menggunakan aluminium foil dan kaca preparat. Larutan PVA-SA sebanyak 5 mL dimasukkan ke dalam jarum suntik 10 mL. Selanjutnya mengatur jarak antara jarum dengan drum kolektor sejauh 13 cm. Kemudian menyalakan dan mengatur parameter *electrospinning* yang meliputi laju alir sebesar 1 ml/jam, tegangan 15 kV, serta waktu 1 jam .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis *nanofiber* PVA-SA diawali dengan melarutkan serbuk PVA ke dalam *aquades* sebagai bahan pelarut sehingga menghasilkan larutan PVA 10%, kemudian dilakukan pembuatan larutan SA dengan memvariasikan konsentrasi Sodium Alginat yaitu, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Selanjutnya larutan PVA 10% dan larutan SA dihomogenkan dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam, dan setelah homogen ditambahkan larutan Glutaraldehida (GA) guna memperbaiki sifat mekanik dari larutan PVA-SA atau disebut dengan proses *crosslink*. Penambahan GA dilakukan karena polimer PVA dan SA memiliki sifat yang larut dalam air, meskipun setelah melalui proses produksi dan pengeringan serat, tingkat kelarutan dari kedua polimer masih tinggi. Larutan PVA-SA yang telah siap dilanjutkan ke proses *electrospinning* selama satu jam. Hasil *nanofiber* dapat dilihat pada gambar 1.

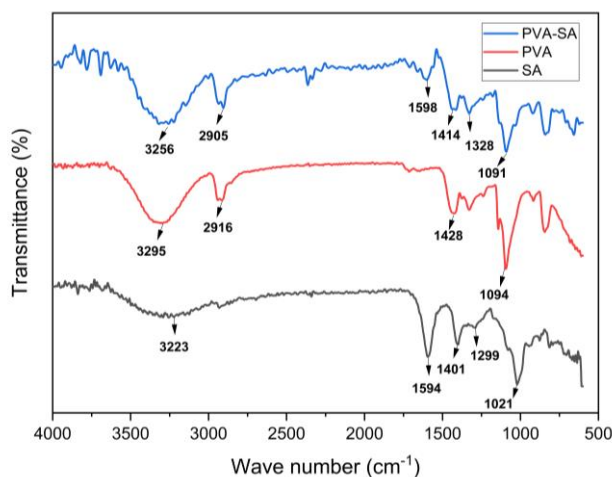


Gambar 1. Proses sintesis *nanofiber* PVA-SA

Analisis Gugus Fungsi

Pengujian FTIR dilakukan guna mengetahui gugus fungsi yang menyusun senyawa Sodium Alginat, PVA, dan *nanofiber* PVA-SA. Hasil

Spektrum FTIR Sodium Alginat murni menunjukkan karakteristik hidrosil (-OH) pada *stretch* yang menunjukkan karakteristik dari hidrosil terdeteksi pada bilangan gelombang 3256



Gambar 2. Hasil Uji FT-IR pada sampel (a) SA, (b) PVA, dan (c) PVA-SA

Tabel 1. Pengelompokan gugus fungsi Sodium Alginat, PVA, PVA-SA

peak	Sampel	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Referensi
3223 cm ⁻¹ . C=O	Sodium Alginat	O-H <i>stretch</i>	3223	3242 cm ⁻¹ (Tahir & Sionkowska, 2023)
		C=O <i>stretch</i>	1401	1406 cm ⁻¹ (Kamaci & Peksel, 2021)
		-COO- asimetris	1594	1592 cm ⁻¹ (Tahir & Sionkowska, 2023)
		-COO- simetris	1299	1306 cm ⁻¹ (Kamaci & Peksel, 2021)
		C-O <i>stretch</i>	1021	1026 cm ⁻¹ (Wang <i>et al</i> , 2021)
	PVA	O-H <i>stretch</i>	3295	3301 cm ⁻¹ (Wang <i>et al</i> , 2021)
		C-H <i>stretch</i>	2916	2912 cm ⁻¹ (Wang <i>et al</i> , 2021)
		CH ₂ <i>bend</i>	1428	1440 cm ⁻¹ (Hendrawan <i>et al</i> , 2019)
	PVA-SA	C-O <i>stretch</i>	1094	1087 cm ⁻¹ (Kamaci & Peksel, 2020)
		O-H <i>stretch</i>	3256	3243 cm ⁻¹ (Tahir & Sionkowska, 2023)
C-H <i>stretch</i>		2905	2923 cm ⁻¹ (Kamaci & Peksel, 2020)	
C=O <i>stretch</i>		1414	1404 cm ⁻¹ (Kamaci & Peksel, 2020)	
C-O <i>stretch</i>		1091	1085 cm ⁻¹ (Kamaci & Peksel, 2020)	
		-COO- asimetris	1594	1572 cm ⁻¹ (Kamaci & Peksel, 2020)
		-COO- simetris	1328	1339 cm ⁻¹ (Kamaci & Peksel, 2020)

stretch, dan C-O *stretch* pada Sodium Alginat terindikasi pada bilangan gelombang 1401 cm⁻¹ dan 1021 cm⁻¹. Selain itu, Sodium Alginat mempunyai 2 puncak spesifik yaitu -COO- asimetris & simetris yang muncul pada daerah serapan 1594 cm⁻¹ dan 1299 cm⁻¹. Karakteristik hidrosil (-OH) muncul pada 3295 cm⁻¹ untuk PVA murni. Puncak karakteristik PVA diamati pada bilangan gelombang 2916 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur C-H dan *peak* 1094 cm⁻¹ menunjukkan gugus fungsi dari C-O *stretch*. Hasil spektrum PVA-SA menunjukkan gugus fungsi O-H

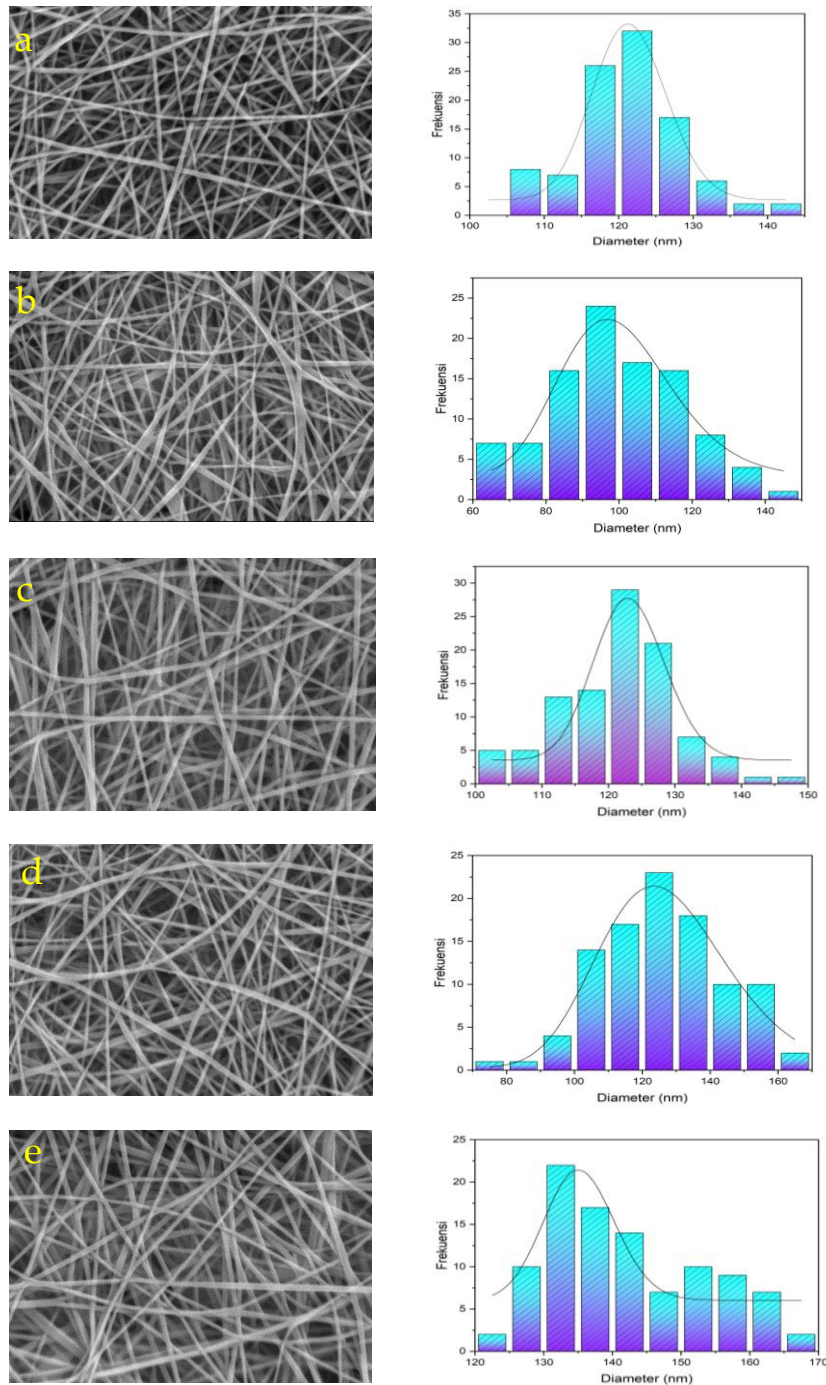
cm⁻¹. C-H *stretch*, C=O, dan C-O *stretch* pada *nanofiber* PVA-SA terdeteksi di bilangan gelombang 2905 cm⁻¹, 1414 cm⁻¹, dan 1091 cm⁻¹. Spektrum *nanofiber* PVA-SA mendeteksi adanya -COO- asimetris dan simetris pada bilangan gelombang 1594 cm⁻¹ dan 1328 cm⁻¹. Spektrum PVA-SA memiliki kemiripan dengan spektrum PVA karena pada proses sintesis kandungan PVA lebih tinggi dari pada Sodium Alginat. Perbedaan pada ketiga sampel dapat dilihat pada tabel 1 dengan bilangan gelombang yang dimiliki masing-masing sampel berbeda. Sodium

Alginat dapat diidentifikasi dengan adanya gugus fungsi C=O, -COO- asimetris dan simetris, dan PVA dapat diidentifikasi pada gugus fungsi C-H. Sampel *nanofiber* PVA-SA diketahui memiliki ketiga gugus fungsi tersebut dan terbukti terdapat kandungan yang dimiliki oleh Sodium Alginat dan PVA.

Analisis Morfologi, Porositas, dan Ukuran Pori

Pengujian SEM dilakukan guna mengetahui struktur morfologi dan ukuran dari *nanofiber* PVA-SA.

Morfologi permukaan *nanofiber* PVA dan PVA-SA ditunjukkan dari hasil mikrograf SEM pada gambar 3a, 3b, 3c, 3d, dan 3e dengan perbesaran 40000X. Hasil yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *software* ImageJ dan Origin Lab. *Software* ImageJ digunakan untuk mengukur diameter serat pada 100 *spot* yang berbeda. Gambar hasil SEM dan histogram distribusi ukuran serat ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil uji SEM *Nanofiber* a) PVA, b) PVA-SA 2%, (c) PVA-SA 3%, (d) PVA-SA 4%, (e) PVA-SA 5%

Diameter *nanofiber* PVA didapatkan rata-rata 122 nm, dan *nanofiber* PVA-SA dengan variasi konsentrasi (2%, 3%, 4%, 5%) didapatkan rata-rata diameter sebesar (99, 122, 127, 142) nm. Diameter *nanofiber* PVA-SA yang dihasilkan dari sintesis menghasilkan ukuran yang memenuhi standar yaitu memiliki diameter pada rentang 100 - 500 nm (Anggraeni dkk, 2022), sehingga sampel PVA-SA dengan variasi konsentrasi 3%, 4%, dan 5% telah memenuhi standar. PVA-SA 2% tidak memenuhi standar dikarenakan ukuran diameter serat yang kurang dari 100 nm.

Gambar 3 menunjukkan struktur morfologi dan hasil distribusi diameter serat dari *nanofiber* PVA murni dan PVA-SA. Berdasarkan struktur morfologi PVA-SA terlihat bahwa serat yang dihasilkan melalui proses *electrospinning* memiliki hasil lebih kontinyu seiring dengan bertambahnya kandungan Sodium Alginat dan tidak terbentuk *beads* (manik-manik). Terbentuknya *beads* dapat dikarenakan kekentalan larutan yang terlalu rendah ataupun tinggi. Penambahan konsentrasi polimer dapat membuat serat yang dihasilkan lebih seragam. Namun, apabila konsentrasi terlalu tinggi akan menghasilkan *beads* yang disebabkan adanya penyumbatan pada ujung jarum (*spinneret*) (Jadbabaei *et al*, 2021). PVA-SA 2% memiliki diameter terkecil dikarenakan sampel PVA-SA memiliki kandung Sodium Alginat yang sedikit sehingga tingkat kekentalan juga semakin rendah. Kekentalan larutan yang rendah menyebabkan larutan mudah menetes dan serat terbentuk tidak homogen seperti yang ditunjukkan pada **gambar 2b** (Dewi dkk, 2021).

Tabel 2. Ukuran Pori *Nanofiber* PVA-Sodium Alginat

<i>Nanofiber</i> PVA-Sodium Alginat	Ukuran Pori (μm)
2%	0,990
3%	0,915
4%	1,066
5%	1,121

Tabel 3. Porositas *Nanofiber* PVA-Sodium Alginat

<i>Nanofiber</i> PVA-Sodium Alginat	Porositas
2%	47%
3%	44%
4%	43%
5%	45%

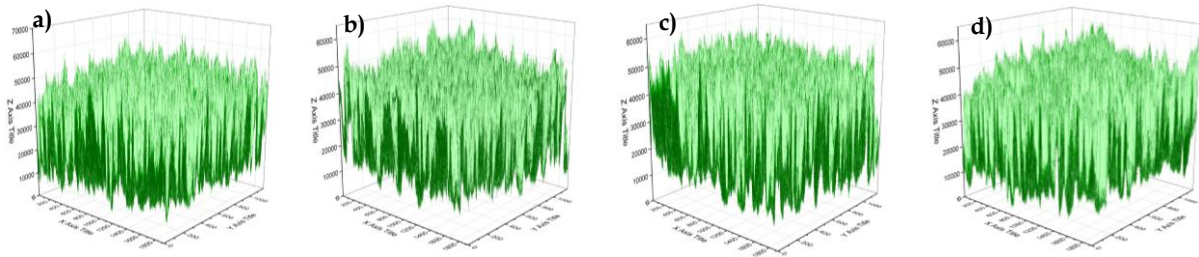
Sampel PVA-SA menunjukkan perbedaan ukuran pori di setiap variasi konsentrasi SA. Pada sampel PVA-SA dengan variasi (2%, 3%, 4%, dan 5%) memiliki ukuran pori sebesar (0.990, 0.915,

1.066, dan 1.121) μm . Ukuran pori digunakan sebagai penghalang bakteri yang merupakan syarat untuk pengaplikasian penutup luka atau *wound dressing*. *Nanofiber* umumnya memiliki ukuran pori berkisar antara 0.05 μm - 2 μm (Sadeghi-Aghbash *et al*, 2022). Ukuran pori *nanofiber* PVA-SA telah memenuhi syarat sebagai *wound dressing* dengan ukuran pori terkecil dimiliki oleh sampel PVA-SA 3%. Ukuran pori yang dihasilkan mampu menjaga agar bakteri tidak keluar masuk dan membuat sirkulasi udara masih dapat berjalan sehingga kelembapan luka masih terjaga (Yao *et al*, 2022).

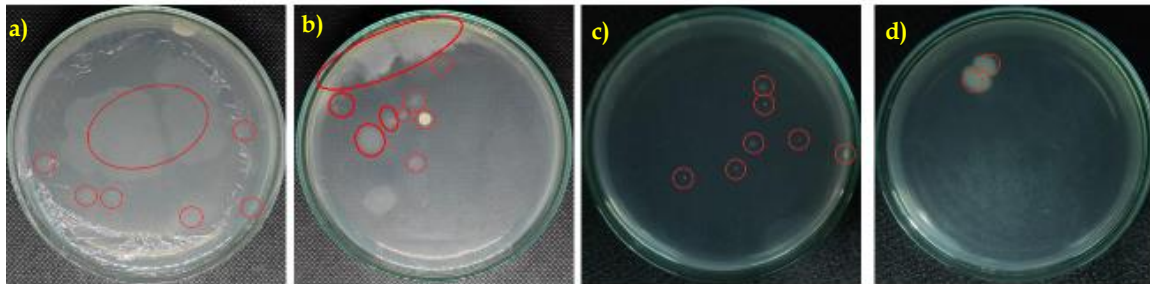
Gambar 4 menunjukkan 3D *Surface nanofiber* PVA-SA dengan variasi konsentrasi SA, pada gambar terlihat warna hijau tua yang menunjukkan porositas dari *nanofiber* PVA-SA, dan warna hijau muda menunjukkan adanya *fiber*. Syarat dari *wound dressing* yaitu kemampuan porositas yang kecil guna menghambat masuknya bakteri dan mempercepat proses penyembuhan luka. Porositas *nanofiber* PVA-SA (2%, 3%, 4%, dan 5%) didapatkan melalui olah data menggunakan Origin Lab dan dihasilkan porositas masing-masing sebesar (47%, 44%, 43%, dan 45%). Hasil karakterisasi SEM yang telah dianalisis, didapatkan *nanofiber* PVA-SA 3% yang optimum digunakan sebagai *wound dressing* dilihat dari struktur morfologi serat dihasilkan lebih homogen, ukuran diameter sebesar 122 nm, ukuran pori 0,915 μm , dan porositas 44%.

Analisis Uji Antibakteri

Pengujian antibakteri dilakukan guna mengukur efektivitas antibakteri pada sampel dengan menggunakan metode *International Standar ISO 22196*. Pengujian antibakteri menggunakan bakteri gram-positif yaitu *Staphylococcus aureus*, dan bakteri gram-negatif yakni *Eschericia coli*. Bakteri *S.aureus* merupakan bakteri patogen yang ditemukan pada permukaan kulit manusia, seperti bisul dan impetigo. *Eschericia coli* merupakan bakteri yang sering terdapat dalam saluran pencernaan, namun dapat menjadi patogen apabila berada di luar saluran pencernaan (Lubis, 2015). Pengujian ini dilakukan dengan penginkubasian bakteri selama 24 jam pada media kultur. Kemudian 20 μl bakteri diinfeksi pada sampel uji *nanofiber* dan aluminium tanpa *nanofiber* sebagai kontrol. Selanjutnya jumlah koloni dihitung menggunakan *colony counter* sesuai dengan *Standard Plate Count*



Gambar 4. 3D Surface nanofiber PVA-SA (a) 2%, (b) 3%, (c) 4%, (d) 5%



Gambar 5. Hasil Uji Antibakteri (a) Kontrol *S. aureus*, (b) *Nanofiber* PVA-SA + *S. aureus* (c) Kontrol *E. coli*, (d) *Nanofiber* PVA-SA + *E. coli*

(SPC). Hasil uji antibakteri *Nanofiber* PVA-Sodium Alginat pada Bakteri *Staphylococcus aureus* dapat dilihat pada gambar 4 dan Bakteri *Eschericia coli* pada gambar 5.

Hasil uji antibakteri *S. aureus* tanpa *nanofiber* pada aluminium didapatkan kelimpahan bakteri sebesar $9,00 \times 10^4$ CFU/ml, dan pada *Nanofiber* PVA-SA 3% diperoleh kelimpahan bakteri sebesar $1,10 \times 10^5$ CFU/ml. Hasil yang didapatkan menunjukkan adanya peningkatan bakteri sehingga *nanofiber* PVA-SA tidak dapat menghambat bakteri. Alginat memiliki kandungan protein, vitamin C, mineral, tanin, iodin, dan fenol (Afriani, 2020). Tidak dapatnya penghambatan pada bakteri *S. aureus* dikarenakan *S. aureus* yang merupakan bakteri gram positif memiliki dinding sel yang terdiri dari lapisan peptidoglikan yang tebal. *S. aureus* dapat dihambat oleh senyawa alkaloid, saponin, tanin, dan flavonoid (Andini dkk, 2020). Perlu adanya bahan tambahan yang memiliki keempat kandungan tersebut guna menghambat pertumbuhan bakteri seperti madu, kunyit, dan daun sirsak.

Hasil uji antibakteri *Nanofiber* PVA-Sodium Alginat pada Bakteri *E. coli* menunjukkan kontrol *E. coli* tanpa *nanofiber* pada aluminium didapatkan kelimpahan bakteri sebesar $8,00 \times 10^4$ CFU/ml, dan pada *Nanofiber* PVA-SA 3% diperoleh kelimpahan bakteri sebesar $2,00 \times 10^3$ CFU/ml. Berdasarkan pengujian antibakteri sampel *Nanofiber* PVA-SA 3%

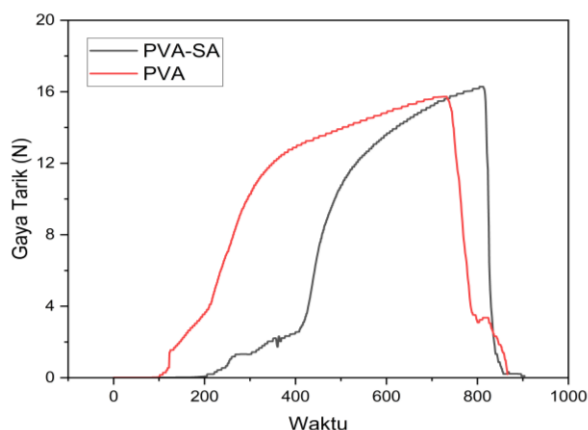
terhadap bakteri *E. coli* menggunakan penghitungan koloni, menunjukkan bahwa total kelimpahan bakteri mengalami penurunan dibandingkan dengan kontrol. *Nanofiber* PVA-SA terbukti dapat menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli* dengan efektivitas sebesar 97,5%. Bakteri *E. coli* mempunyai dinding yang tersusun atas satu lapisan peptidoglikan yang tipis yang dilapisi lagi oleh membran luarnya sehingga mudah hancur dengan adanya senyawa antibakteri (Afriani, 2020).

Analisis Uji Kuat Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas dari *nanofiber* PVA dan PVA-SA 3% yang digunakan sebagai *wound dressing*. *nanofiber* PVA dan PVA-SA 3% memiliki gaya tarik maksimal berturut-turut sebesar 15,73 N dan 16,30 N. Hasil tersebut menunjukkan *nanofiber* PVA-SA 3% memiliki gaya tarik yang lebih besar daripada *nanofiber* PVA. Hal ini dikarenakan PVA-SA mengalami ikatan silang dalam proses pembuatan *nanofiber* dengan menggunakan agen pengikat silang yaitu Glutaraldehid yang berfungsi agar sampel memiliki sifat mekanik yang lebih baik.

Nanofiber PVA memiliki nilai kuat tarik (MPa), regangan (%), dan modulus elastisitas (MPa) berturut-turut; 3,15 MPa, 6%, dan 0,52 MPa. *Nanofiber* PVA-SA memiliki nilai kuat tarik sebesar

3,26 MPa, regangan 6%, dan modulus elastisitas 0,54 MPa.



Gambar 5. Hasil uji Tarik PVA dan PVA-SA

Hasil uji tarik PVA-SA tidak memenuhi standar mekanik material yang digunakan dalam bidang kesehatan dengan standar nilai regangan pada rentang 17 - 207%, dan nilai kuat tarik 1 MPa- 24 MPa (Meilanny *et al*, 2015). Hal ini dikarenakan *nanofiber* PVA-SA tidak dapat dilepas dari aluminium foil sehingga mempengaruhi hasil dan nilai uji tarik.

SIMPULAN

Hasil penelitian sintesis *nanofiber* PVA-SA sebagai *wound dressing* dilakukan karakterisasi FTIR, SEM, antibakteri, dan kuat tarik. Berdasarkan hasil FTIR *nanofiber* PVA-SA gugus fungsi dari PVA terdeteksi dengan adanya ikatan C-H, serta Sodium Alginat ditunjukkan pada ikatan -COO- simetris dan asimetris. Hasil SEM menunjukkan *nanofiber* PVA-SA memiliki ukuran diameter serat rentang 99 - 142 nm, porositas 43% - 47%, dan ukuran pori 0,915 μm - 1,121 μm . PVA-SA 3% memenuhi karakteristik sebagai *wound dressing* dilihat dari struktur morfologi, ukuran diameter, porositas, dan ukuran porinya. Karakteristik mekanik pada *nanofiber* PVA-SA memiliki nilai kuat tarik 3,26 MPa, regangan 6%, dan modulus elastisitas 0,54 MPa, hasil tersebut tidak sesuai dengan standar mekanik untuk material medis. Hasil uji antibakteri pada *nanofiber* PVA-SA menunjukkan efektivitas antibakteri yang baik pada bakteri gram negatif (*Eschericia coli*) yaitu sebesar 97,5%, namun pada bakteri (*Staphylococcus aureus*) *nanofiber* PVA-SA tidak dapat menghambat bakteri yang masuk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Material dan Karakterisasi Universitas Negeri Surabaya, Laboratorium LIHTR dan Farmasi Universitas Airlangga Surabaya, Laboratorium Material Fisika Universitas Brawijaya Malang, dan Laboratorium Mikrobiologi Biologi Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, yang telah membantu dan memberi fasilitas serta kemudahan dalam proses sintesis dan karakterisasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aderibigbe, B.A., & Buyana, B. (2018). Alginate in Wound Dressings. *Pharmaceutics*, 10, 42.
- Afriani, W. (2020). *Uji Perbandingan Aktivitas Antibakteri Serbuk Alginat Rumput Laut Cokelat (Sargassum SP.) dengan Variasi Agen Pengekstrak* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry).
- Andini, A. (2020). *Uji Daya Hambat Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi Linn) Terhadap Pertumbuhan Bakteri Staphylococcus Aureus* (Doctoral dissertation, Stikes Insan Cendekia Medika Jombang).
- Anggraeni, T., Aryani, R., & Soewondo, B. P. (2022, July). Kajian Pustaka Potensi Nanofiber Kolagen sebagai Bahan Aktif dalam Proses Penyembuhan Luka. In *Bandung Conference Series: Pharmacy* (Vol. 2, No. 2, pp. 359-364).
- Arianto, D., Edikreshna, D., Suciati, Tri., & Khairurrijal. (2021). The Initial Study of Polyvinyl Alcohol/honey/Glycerin composite fibers. *Material Today: Proceedings*. 3408-3411.
- Du, P., Chen, X., Chen, Y., Li, J., Lu, Y., Li, X., Hu, K., Chen, J., & Lv, G. (2023). In vivo and in vitro studies of a propolis-enriched silk fibroin-gelatin composite nanofiber wound dressing. *Heliyon*,
- Duru Kamaci, U., & Peksel, A. (2021). Enhanced catalytic activity of immobilized phytase into polyvinyl alcohol-sodium alginate based electrospun nanofibers. *Catalysis Letters*, 151, 821-831.
- Hendrawan, H., Khoerunnisa, F., Sonjaya, Y., & Putri, A. D. (2019, May). Poly (vinyl alcohol)/glutaraldehyde/*Premna oblongifolia* merr extract hydrogel for controlled-release and water absorption application. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 509, p. 012048). IOP Publishing
- Jadbabaei, S., Kolaheedooan, M., Naeimi, F., & Daehaghani, H.E. (2021). Preparation and characterization of sodium alginate-PVA polymeric scaffolds by electrospinning method for skin tissue engineering applications. *Royal Society of Chemistry*. 11, 30674.
- Jia, B., Li, G., Cao, E., Luo, J., Zhao, X., & Huang, H. (2023). Recent progress of antibacterial hydrogels in wound dressings. *Materials Today Bio*, 100582.
- Jiang, Y., Hou, Y., Fang, J., Liu, W., Zhao, Y., Huang, T., Cui, J., Yang, Y., & Zhou, Z. (2019). Preparation

- and characterization of PVA/SA/HA composite hydrogels for wound dressing. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 24(2), 132-141.
- Li, T., Sun, M., & Wu, S. (2022). State-of-the-art review of electrospun gelatin-based nanofiber dressings for wound healing applications. *Nanomaterials*, 12(5), 784.
- Liang, Y., Liang, Y., Zhang, H., & Guo, B. (2022). Antibacterial biomaterials for skin wound dressing. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 353-384.
- Meilanny D.K.P, Pranjono and D. Hikmawati. "Electrospinning Metode to Synthesize Compositebased on Alginate-Polyvinyl Alcohol with Addition of Snail (*Achatina Fulica*)". *Proceeding on the Scientific Meeting and Presentation on Accelerator Technology and Its Applications*, 2015.
- Naseri-Nosar, M., & Ziora, Z. M. (2018). Wound dressings from naturally-occurring polymers: A review on homopolysaccharide-based composites. *Carbohydrate polymers*, 189, 379-398.
- Ramadhani, F., Miratsi, L., Humaeroh, Z., Afriani, F. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Hidrogel PVA/Alginat Mengandung Ekstrak Lada Pembalut Luka Antibakteri. *Newton-Maxwell Journal of Physics*. 2(2), 54-59.
- 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), 349. 45-58.
- Rezaee, S., & Moghbeli, M. R. (2014). Crosslinked electrospun poly (vinyl alcohol) nanofibers coated by antibacterial copper nanoparticles. *Iranian Journal of Chemical Engineering*. 11(3).
- Sadeghi-Aghbash, M., Rahimnejad, M., Adeli, H., & Feizi, F. (2022). Fabrication and development of PVA/Alginate nanofibrous mats containing *Arnebia Euchroma* extract as a burn wound dressing. *Reactive and Functional Polymers*, 181, 105440.
- Tahir, M., & Sionkowska, A. (2023). Effect of Polydopamine and Curcumin on Physicochemical and Mechanical Properties of Polymeric Blends. *Materials*, 16(17), 5758.
- Tang, Y., Lan, X., Liang, C., Zhong, Z., Xie, R., Zhou, Y., Miao, X., Wang, H., & Wang, W. (2019). Honey Loaded Alginate/PVA Nanofibrous Membrane as Potential Bioactive Wound Dressing. *Carbohydrate Polymers* 219, 113-120.
- Tottoli, E. M., Dorati, R., Genta, I., Chiesa, E., Pisani, S., & Conti, B. (2020). Skin wound healing process and new emerging technologies for skin wound care and regeneration. *Pharmaceutics*, 12(8), 735.
- Wang, C., Zuo, Q., wang, L., Long, B., Salleh, K.M., Anuar, N. I. S., & Zakaria, S. (2021). Diameter Optimization Of Polyvinyl Alcohol/Sodium Alginate Fiber Membranes Using Response Surface Methodology. *Material Chemistry and Physics*, 271, 124969. doi:10.1016/j.matchemphys.2021.1.
- Xiao, Q., & Lim, L. T. (2018). Pullulan-alginate fibers produced using free surface electrospinning. *International journal of biological macromolecules*, 112, 809-817.
- Xue, Jiajia., Wu, Tong., Dai, Yunqian., & Xia, Younan. (2019). Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications. *Chemical Reviews*, (),-. doi:10.1021/acs.chemrev.8b00593.
- Yao, H., Wu, M., Lin, L., Wu, Z., Bae, M., Park, S., Wang, S., Zhang, W., Gao, J., Wang, D & Piao, Y. (2022). Design strategies for adhesive hydrogels with natural antibacterial agents as wound dressings: Status and trends. *Materials Today Bio*, 100429.
- Zhang, H., Yang, L., Yang, X.G., Wang, F., Feng, J.T., Hua, K., Li, Q., & Hu, Y. (2019). Demineralized Bone Matrix Carriers and their Clinical Applications: An Overview. *Orthopedic Surgery*. 9999(9999).