

FABRIKASI DAN KARAKTERISASI NANOFIBER PVA/PVP/KITOSAN SEBAGAI BAHAN DASAR WOUND DRESSING

¹⁾Arsha Bayu Rahanti, ²⁾Diah Hari Kusumawati

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: arsha.18059@mhs.unesa.ac.id

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

Abstrak

Elektrospinning adalah metode yang digunakan untuk menghasilkan serat dengan ukuran diameter dari nanometer hingga mikrometer. Nanofiber yang dihasilkan dapat diaplikasikan sebagai rekayasa jaringan, penghantaran obat pada antikanker, kosmetik, dan sebagai *wound dressing*. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fabrikasi nanofiber PVA/PVP/Kitosan dapat dijadikan sebagai bahan dasar *wound dressing*. Fabrikasi nanofiber tersebut dilakukan dengan menggunakan metode elektrospinning. Parameter proses elektrospinning menggunakan laju alir 1 ml/jam, jarak jarum antar kolektor sejauh 15 cm, serta variasi tegangan sebesar 15 kV, 18 kV, dan 21 kV. Hasil yang didapatkan akan dikarakterisasi menggunakan MO, UV-Vis, FT-IR, SEM-EDX, dan antibakteri. Berdasarkan hasil karakterisasi MO menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang disuplai antara drum kolektor dan jarum, maka ukuran diameter nanofiber tersebut semakin kecil. Hasil Uv-Vis menunjukkan bahwa fabrikasi ini mampu menyerap cairan yang berasal dari cairan pada luka dan cairan disekitar luka. Hasil FTIR diperoleh gugus fungsi O-H *stretch* pada puncak serapan PVA, gugus fungsi N-H *bend* pada puncak serapan kitosan dan gugus fungsi C-O *stretch* pada puncak serapan PVP. Karakterisasi SEM menunjukkan bentuk morfologi permukaan yang halus dan ukuran diameter serat pada PVA 10% sekitar 210-225 nm mengalami penurunan pada PVA/PVP/Kitosan 18 kV sekitar 170-195 nm. Hasil EDX menunjukkan bahwa material pembentuk polimer PVA, PVP, dan kitosan terdapat pada fabrikasi nanofiber ini. Hasil antibakteri pada sampel PVA/PVP/Kitosan tegangan 18 kV menggunakan bakteri *S.aereus* dengan konsentrasi 100 µl/ml menghasilkan efisiensi antibakteri tertinggi sebesar 56,8% dalam waktu inkubasi 3 jam.

Kata Kunci: Elektrospinning, Nanofiber, *Wound Dressing*

Abstract

Electrospinning is a method used to produce fibers with diameters from nanometers to micrometers. The resulting nanofibers can be applied as tissue engineering, drug delivery in anticancer, cosmetics, and as wound dressings. This study aims to determine the fabrication of PVA/PVP/Chitosan nanofibers that can be used as a basic material for wound dressings. The nanofiber fabrication was carried out using the electrospinning method. The electrospinning process parameters used a flow rate of 1 ml/hour, a needle distance between collectors of 15 cm, and a voltage variation of 15 kV, 18 kV, and 21 kV. The results obtained will be characterized using MO, UV-Vis, FT-IR, SEM-EDX, and antibacterial. Based on the results of MO characterization, it shows that the higher the voltage supplied between the collector drum and the needle, the smaller the diameter of the nanofiber. Uv-Vis results show that this fabrication is able to absorb fluids from the fluid in the wound and the fluid around the wound. FTIR results obtained O-H stretch functional group at the peak of PVA absorption, N-H bend functional group at the peak of chitosan absorption and C-O stretch functional group at the peak of PVP absorption. SEM characterization showed a smooth surface morphology and fiber diameter at 10% PVA around 210-225 nm decreased at 18 kV PVA/PVP/Chitosan around 170-195 nm. The EDX results show that the polymer-forming materials of PVA, PVP, and chitosan are present in this nanofiber fabrication. Antibacterial results on 18 kV PVA/PVP/Chitosan samples using *S.aereus* bacteria with a concentration of 100 l/ml resulted in the highest antibacterial efficiency of 56,8% within 3 hours of incubation.

Keywords: Electrospinning, Nano Fiber, Wound Dressing

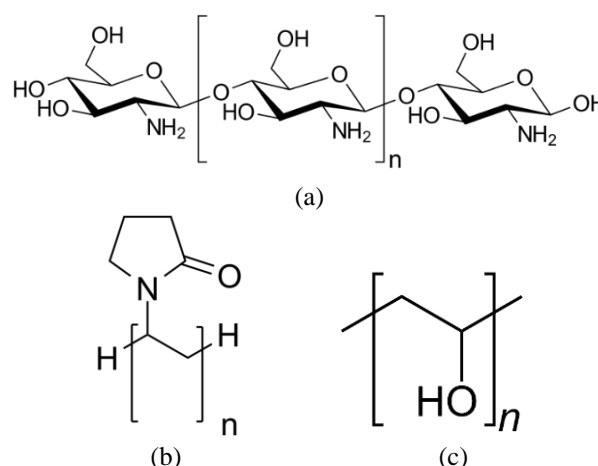
PENDAHULUAN

Perkembangan nanoteknologi saat ini mengalami kemajuan pesat seiring berkembangnya gaya hidup

masyarakat. Beberapa produk nanoteknologi sudah diterapkan secara komersial untuk digunakan sebagai pelapis, pakaian olahraga, otomotif, tabir surya, tekstil,

dan medis. Salah satu produk nanoteknologi yang baru saat ini yaitu nanofiber. Nanofiber adalah salah satu bahan unik yang telah dipelajari dengan kombinasi bahan lain seperti tekstil dan *fiberglass* (Sundarrajan *et al.*, 2014). Salah satu pembuatan nanofiber ini dapat dihasilkan menggunakan metode elektrospinning. Elektrospinning adalah sebuah metode yang menghasilkan serat dengan ukuran diameter mulai dari nanometer hingga mikrometer (Faridi-Majidi *et al.*, 2017) dan memiliki luas permukaan yang tinggi (Asawahame *et al.*, 2015). Nanofiber yang dihasilkan dapat diaplikasikan sebagai rekayasa jaringan (Subramanian *et al.*, 2014), penghantaran obat pada antikanker (Bhusnure *et al.*, 2021), kosmetik (Laosirisathian *et al.*, 2021), dan sebagai *wound dressing* (Alipour *et al.*, 2019)(Gökmeşe *et al.*, 2013)(Rosli & Setu, 2018). Struktur membran nanofiber ini memiliki kemampuan penyerapan cairan luka, laju transmisi uap, dan laju transfer obat atau adiktif yang baik (Asawahame *et al.*, 2015). Bahan polimer yang digunakan harus memiliki sifat stabilitas kimia, mekanik, suhu, biokompatibilitas, konduktivitas listrik, aktivitas listrik yang baik (Rihova *et al.*, 2021).

Polyvinyl alcohol (PVA) merupakan polimer yang dapat larut dalam air dan memiliki ketahanan kimiawi yang sangat baik, biokompatibilitas, sifat fisik, kemampuan terurai secara hayati, dan tidak beracun (Subramanian *et al.*, 2014). Namun, PVA memiliki kecenderungan penurunan viskositas seiring dengan kenaikan suhu (Hashmi *et al.*, 2020). Sehingga PVA dikembangkan dengan penambahan *Polivinyl pirolidone* (PVP), sebagai bantuan untuk meningkatkan kelarutan obat dalam cairan dan semi-cair (Kaur *et al.*, 2014). PVP ini merupakan jenis polimer sintesis amorf dengan afinitas tinggi terhadap air dan daya rekat yang baik (Rahmani *et al.*, 2021), serta mudah larut dalam air, kompatibel secara fisiologis, tidak beracun, bersifat *inert* secara kimia, tahan suhu, stabil pH, biodegradabilitas dan polimer tidak berwarna (Subramanian *et al.*, 2014). Bahan PVP ini bisa diaplikasikan dalam bidang biomedis sebagai bahan *wound dressing* baru yang menyediakan dan memelihara lingkungan lembab agar mencegah pembentukan keropeng dan dehidrasi dasar luka (Aytimur & Uslu, 2014). Namun, PVA dan PVP ini tidak memiliki sifat antibakteri sebagai *wound dressing*. Sehingga dibutuhkan bahan tambahan lain yaitu kitosan. Kitosan ini merupakan polimer kationik dengan sifat biodegradabilitas, toksisitas rendah, dan biokompatibilitas. Penambahan ini dapat menyebabkan penurunan ukuran diameter nanofiber, namun konduktivitas larutannya meningkat (Taghe *et al.*, 2021).



Gambar 1. Struktur Kimia dari bahan polimer (a) Kitosan, (b) *Polivinyl pirolidone* (PVP), dan (c) *Polivinyl alcohol* (PVA) (Mudigoudra *et al.*, 2012)

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa polimer PVA/PVP dapat dijadikan nanofiber menggunakan metode elektrospinning (Z. Zhang *et al.*, 2014), namun belum memiliki sifat antibakteri sebagai bahan dasar *wound dressing* akan tetapi bisa diaplikasikan sebagai jaringan rekayasa genetik dengan pembuatan nanofiber menggunakan manipulasi tegangan pada elektrospinning. Hal tersebut dapat mempengaruhi ukuran diameter serat yang dihasilkan, ketika tegangan yang diberikan meningkat maka diameter serat berkurang dengan distribusi diameter serat menjadi lebih seragam. Peningkatan kekuatan medan listrik menghasilkan peningkatan gaya tolak elektrostatis pada pancaran fluida sehingga mendukung pembentukan serat yang lebih tipis (Subramanian *et al.*, 2014). Pada penelitian berikutnya dibutuhkan bahan tambahan lain pada polimer tersebut agar nanofiber ini dapat dijadikan sebagai bahan dasar *wound dressing*.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa polimer PVA/PVP dengan *Diclofenac* menghasilkan nanofiber yang memiliki ukuran diameter sekitar 225 nm dan berstruktur halus, serta PVA/PVP dengan *Gentamicin* menghasilkan nanofiber yang memiliki ukuran diameter sekitar 265 nm dan berstruktur halus, hal tersebut dikarenakan penambahan bahan tambahan tersebut menyebabkan sedikit peningkatan ukuran diameter nanofiber (Hindi *et al.*, 2021), PVA/PVP dengan *Violacein* menghasilkan nanofiber yang memiliki struktur bentuk halus dan banyak *beads* (manik-manik) hal tersebut dikarenakan *violacein* mengandung etanol yang dapat menyebabkan nanofiber menjadi lebih tebal karena *violacein* memiliki sifat mudah mengembang (Rosli & Setu, 2018), PVA/PVP dengan *Fluorouracil* menghasilkan nanofiber yang memiliki ukuran diameter sekitar 380-480 nm, namun bentuk morfologi ini tidak cocok dijadikan sebagai penghantaran obat yang terkontrol karena

memiliki viskositas yang rendah akibat pemuatan obat yang tinggi. Viskositas polimer yang mengandung obat lebih rendah daripada larutan polimer biasa karena ikatan hidrogen antarmolekul antara obat dan polimer yang meningkatkan kemampuan elektrospinning larutan dan meningkatkan diameter nanofiber yang dihasilkan (Bhusnure *et al.*, 2021).

Berdasarkan penelitian tersebut terdapat beberapa kekurangan pada nanofiber yang dihasilkan karena bahan tambahan yang digunakan kurang cocok. Kekurangan tersebut seperti ukuran diameter yang besar, tidak dapat menghantarkan obat dan memiliki struktur permukaan morfologi yang banyak *beads* (manik-manik). *Wound dressing* yang ideal dapat menyerap dan menghilangkan volume eksudat yang tinggi, menghambat aktivitas mikroorganisme eksogen dan melindungi luka dari lingkungan eksternal. Balutan luka dapat meningkatkan penyembuhan luka yang efisien dengan menjaga luka tetap lembab untuk penyembuhan. Sehingga *wound dressing* yang dibutuhkan harus memiliki porositas tinggi untuk pertukaran udara sekaligus memberikan penghalang yang baik untuk melindungi luka dari infeksi (Mistry *et al.*, 2021).

Penelitian terbaru bahan PVA/PVP/Kitosan telah dilakukan dengan memiliki ukuran diameter nanofiber yang kecil sekitar 80-120 nm dan terdapat gugus fungsi pada PVA, PVP, dan kitosan (Y. Zhang *et al.*, 2014). Penelitian selanjutnya bahan tersebut dapat dijadikan sebagai *wound dressing* (Gökmeşe *et al.*, 2013). Bahan kitosan ini dapat meningkatkan penyembuhan luka, menunjukkan aktivitas antibakteri, penyerapan yang baik, menghasilkan serat yang memiliki struktur berpori dan luas permukaan yang tinggi (Zhao *et al.*, 2016). Serta kitosan dalam bentuk nanofiber telah berhasil diterapkan sebagai sistem penghantaran obat terhadap bakteri gram positif seperti *S.aureus* (Kalalinia *et al.*, 2021).

Penelitian mengenai antibakteri telah dilakukan bahan PVA/PVP/HCS (kitosan terhidrolisis NaOH) dengan menggunakan bakteri *E.coli* (Bandatang *et al.*, 2021). Namun pada penelitian lain yang menggunakan jenis bakteri sebagai perbandingan menunjukkan bahwa antara *E.coli* dan *S.aureus* ini yang memiliki daya hambat lebih besar saat digunakan yaitu bakteri *S.aureus* (Elabbasy *et al.*, 2021). Bakteri gram positif *S.aureus* merupakan bakteri yang umum ditemukan pada luka goresan dan luka terbuka. Penelitian lain telah membuktikan bahwa dengan uji antibakteri menggunakan *S.aureus* menunjukkan terdapat aktivitas penyembuhan luka yang cepat dan tidak mengiritasi kulit (Sugumar *et al.*, 2014). Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fabrikasi nanofiber PVA/PVP/Kitosan dapat dijadikan sebagai bahan dasar *wound dressing*.

METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian eksperimen langsung yang dilakukan di Laboratorium Material Fisika UNESA dan melalui tiga tahapan yaitu pembuatan larutan, pembuatan nanofiber menggunakan metode elektrospinning dan karakterisasi sampel dengan pengujian Mikroskop Optik (MO), Spektrofotometri UV-Vis, *Fourier-Transform infrared* (FT-IR), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX), dan antibakteri.

a. Pembuatan larutan

PVA 10% dengan pelarut aquades diaduk menggunakan pengadukan magnetik stirer 800 rpm selama 2 jam hingga larutan homogen dengan suhu 100°C. PVP 10% dengan pelarut aquades diaduk menggunakan pengadukan magnetik stirer 500 rpm selama 30 menit hingga larutan homogen dengan suhu 100°C. Kitosan 2% dengan pelarut asam asetat 2% diaduk menggunakan pengadukan magnetik stirer 800 rpm selama 2 jam hingga larutan homogen dengan suhu 80°C. Ketiga larutan yang sudah homogen tersebut dicampurkan dengan perbandingan PVA, PVP dan kitosan sebesar 3:1:1 lalu diaduk menggunakan pengadukan magnetik stirer selama 2 jam hingga larutan homogen dengan suhu 100°C.

b. Pembuatan nanofiber menggunakan metode elektrospinning

Pada proses elektrospinning menyiapkan jarum suntik 10 ml dilengkapi dengan jarum logam tumpul, jarak 15 cm dari kolektor drum yang dibungkus aluminium foil dan dalam pengaturan tegangan yang disuplai antara drum dan jarum dimanipulasi yaitu tegangan 15 kV, 18 kV, dan 21 kV sesuai dengan penelitian sebelumnya. Serta laju alir yang digunakan tetap pada 1 ml/jam selama proses fabrikasi nanofiber berlangsung (Bhusnure *et al.*, 2021).

B. Teknik Pengumpulan Data

Hasil nanofiber yang diperoleh dilakukan karakterisasi menggunakan Mikroskop Optik (MO) untuk mengetahui fabrikasi nanofiber yang dihasilkan membentuk serat yang sempurna. Uji Uv-Vis untuk mengetahui kemampuan absorbansi atau penyerapan yang terdapat pada nanofiber. Uji *Fourier-Transform infrared spectroscopy* (FT-IR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada nanofiber. Uji *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui ukuran diameter yang terdapat pada nanofiber. Serta hasil EDX untuk mengetahui komponen unsur yang terdapat pada nanofiber.

Uji antibakteri untuk mengetahui aktivitas antibakteri pada sampel nanofiber. Jenis bakteri yang digunakan yaitu *Staphylococcus aureus* dan metode uji

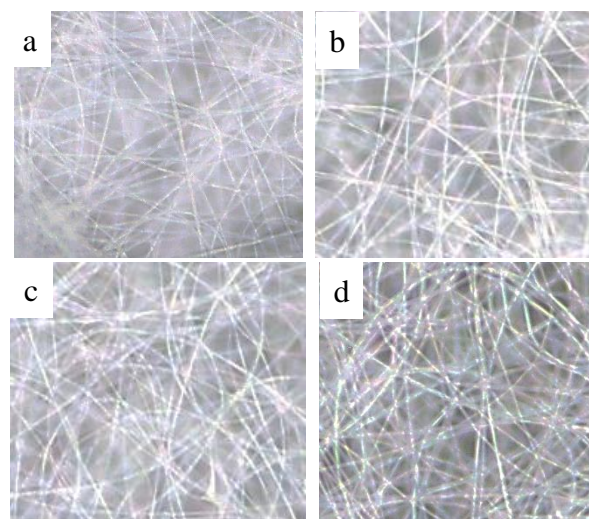
yang digunakan yaitu *International Standart ISO22196*. Metode pengujiannya menggunakan jenis bakteri ($OD_{600\text{ nm}} 0.03$) dimasukkan ke media kultur NB (1/500) diambil 100 μl dan diletakkan diatas nanofiber pada gelas objek dalam cawan petri steril. Permukaan plat yang terdapat kultur bakteri ditutup dengan *cover glass*. Inkubasi dilakukan selama 5 jam pada suhu 35°C dan setiap 1 jam dilakukan pengamatan serta ditambahkan kultur bakteri diatasnya 100 μl larutan *Phosphate Buffer Physiological Saline* dan dihomogenkan. Selanjutnya dihitung jumlah selnya menggunakan metode TPC dengan seri pengenceran. Pengenceran dilakukan dengan cara mengambil 1 ml sampel dalam larutan *Phosphate Buffer Physiological Saline* dan dimasukkan ke 9 ml larutan dalam tabung sampai seri pengenceran tertentu. Pada 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. Jumlah koloni dihitung menggunakan *colony counter* sesuai dengan *Standart Plate Count (SPC)*.

C. Teknik Pengolahan Data

Hasil nanofiber yang telah dikarakterisasi diolah agar dapat membaca hasil uji dengan jelas. Hasil MO diperoleh gambar dan ukuran diameter serat. Hasil *Uv-Vis* diperoleh data excel hubungan panjang gelombang dengan absorbansi lalu diolah menggunakan *origin 2018*. Hasil FTIR diperoleh data excel hubungan *wavenumber* dengan transmitansi lalu diolah menggunakan *origin 2018*. Hasil SEM-EDX diperoleh gambar nanofiber dalam berbagai perbesaran lalu diolah menggunakan *image-j* dan *origin 2018*, serta data EDX yang diperoleh dalam bentuk spektrum. Hasil uji antibakteri yang diperoleh data tabel jumlah koloni yang mati dan gambar pengujian saat waktu inkubasi per jam. Hasil dari jumlah koloni yang mati dapat diperoleh efisiensi antibakterinya dan diolah bentuk grafik menggunakan *origin 2018*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan nanofiber dari proses elektrospinning dengan parameter larutan PVA/PVP/Kitosan menggunakan perbandingan 3:1:1 (v/v/v). Pembentukan nanofiber dari proses ini sangat ditentukan oleh parameter proses termasuk tegangan yang diberikan, laju aliran, dan jarak antara ujung pemintal dengan drum kolektor (Xue *et al.*, 2019). Hasil nanofiber yang didapatkan akan dikarakterisasi menggunakan MO, UV-Vis, FT-IR, SEM-EDX, dan antibakteri dengan jenis bakteri gram positif *S.aureus*.



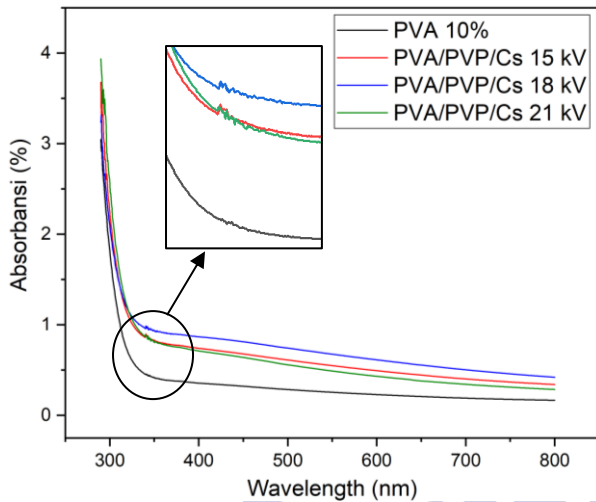
Gambar 2. Hasil Mikroskop Optik dengan perbesaran 100x pada sampel (a) PVA 10%, (b) PVA/PVP/Cs tegangan 15 kV, (c) PVA/PVP/Cs tegangan 18 kV, dan (d) PVA/PVP/Cs tegangan 21 kV

Hasil Uji Mikroskop Optik (MO)

Pengukuran morfologi dan diameter nanofiber dapat diukur menggunakan MO dengan perbesaran 100x. Bentuk morfologi yang terbentuk dapat dilihat pada **Gambar 2**, menunjukkan bahwa hasil nanofiber yang terbentuk dari fabrikasi ini membentuk nanofiber yang sempurna. Pada **Gambar 2(a)** menunjukkan bahwa diameter nanofiber pada PVA 10% memiliki ukuran sekitar 0.54 μm . Dan **Gambar 2(b)** menunjukkan bahwa diameter nanofiber pada PVA/PVP/Cs dengan tegangan 15 kV memiliki ukuran sekitar 0.49 μm . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan material PVP dan kitosan pada PVA 10% dapat menghasilkan ukuran diameter nanofiber yang lebih kecil. Selain itu ada faktor lain yang dapat menghasilkan ukuran nanofiber yang lebih kecil yaitu penggunaan tegangan pada proses elektrospinning. Pada penelitian ini menggunakan 3 manipulasi tegangan yang digunakan dalam proses pembuatan nanofiber dengan metode elektrospinning. Tegangan yang digunakan yaitu 15 kV, 18 kV dan 21 kV. Hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 2(b)**, **Gambar 2(c)**, dan **Gambar 2(d)** yang masing-masing menghasilkan ukuran diameter nanofiber yang terbentuk yaitu sekitar 0.49 μm , 0.43 μm , dan 0.37 μm . Semakin besar tegangan yang digunakan dalam proses elektrospinning, maka semakin kecil ukuran diameter nanofiber yang dihasilkan. Hal ini disebabkan tegangan yang diberikan selama proses elektrospinning menentukan besarnya gaya tolak-menolak elektrostatik di antara muatan-muatan tersebut, kekuatan interaksi pancaran dan medan listrik eksternal (Xue *et al.*, 2019). Sehingga penggunaan tegangan tinggi menyebabkan larutan yang ditembakkan lebih cepat dan menghasilkan nanofiber dengan ukuran diameternya kecil.

Spektrofotometri UV-Vis

Pengujian sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis ini dilakukan untuk mengetahui absorbansi pada nanofiber PVA/PVP/Kitosan. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada **Gambar 3**, menunjukkan hasil kurva absorbansi ketiga sampel dan PVA 10%. Kurva merah, biru dan hijau ini menunjukkan sampel PVA/PVP/Kitosan dengan tegangan masing-masing 15 kV, 18 kV dan 21 kV. Serta kurva hitam menunjukkan sampel PVA 10% yang memiliki kemampuan absorbansi dibawah sampel PVA/PVP/Kitosan.



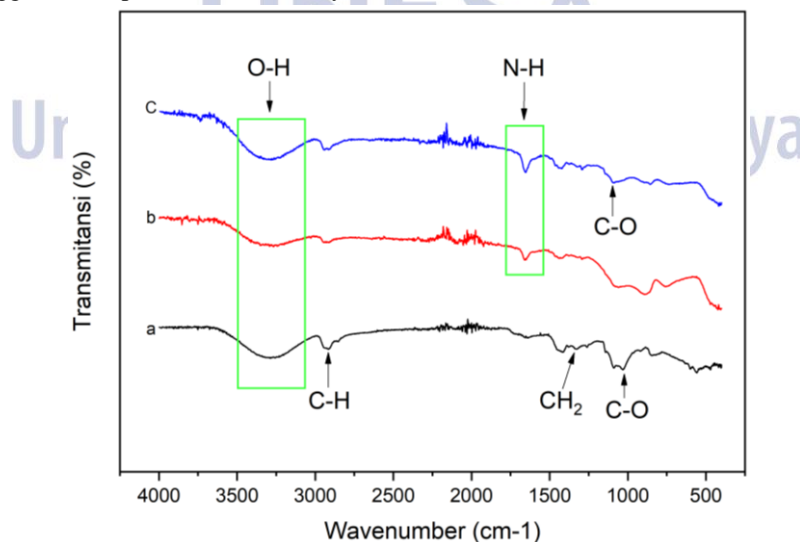
Gambar 3. Hasil Uji UV-Vis

Berdasarkan hasil kurva tersebut menunjukkan bahwa kurva biru dan merah terdapat puncak *noise* yang menggambarkan adanya absorbansi yang terjadi. Serta pada kurva hijau terdapat pula puncak *noise* yang kurvanya hampir sama dengan kurva merah. Sedangkan pada kurva hitam tidak terdapat puncak *noise* yang menggambarkan bahwa sampel PVA 10% tidak dapat menyerap seperti kurva merah, biru dan hijau. Nilai absorbansi paling tinggi adalah pada kurva merah yaitu

pada sampel PVA/PVP/Kitosan dengan tegangan 18 kV. Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel tersebut saat diaplikasikan sebagai *wound dressing* mampu menyerap cairan yang berasal dari cairan pada luka dan cairan disekitar luka.

Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

Berdasarkan hasil UV-Vis tersebut sampel yang absorbansinya terbaik yaitu sampel PVA/PVP/Cs dengan tegangan 18 kV dan absorbansinya kurang baik yaitu sampel PVA/PVP/Cs dengan tegangan 15 kV. Oleh karena itu, pengujian FTIR ini menggunakan kedua sampel tersebut dan sampel PVA 10% untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada sampel tersebut. Karakterisasi gugus fungsi PVA 10%, PVA/PVP/Cs 15 kV dan 18 kV dengan menggunakan FTIR dilakukan pada panjang gelombang antara 400-4000 cm^{-1} ditunjukkan pada **Gambar 4**. Hasil gugus fungsi yang diperoleh pada PVA 10% yaitu O-H *stretch* yang terdeteksi kisaran 3285 cm^{-1} , C-H *stretch* pada 2915 cm^{-1} , C-H *bend* pada 1324 cm^{-1} , dan C-O *stretch* pada 1031 cm^{-1} sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilampirkan pada **Tabel 1**. Pada PVA/PVP/Cs 15 kV memperoleh gugus fungsi O-H *stretch* pada 3266 cm^{-1} dan N-H *bend* pada 1659 cm^{-1} . Sedangkan pada PVA/PVP/Cs 18 kV memperoleh gugus fungsi O-H *stretch* pada 3280 cm^{-1} , N-H *Bend* pada 1654 cm^{-1} , dan C-O *stretch* pada 1092 cm^{-1} . Berdasarkan hasil gugus fungsi pada kedua fabrikasi tersebut menunjukkan bahwa puncak serapan PVA yaitu gugus fungsi O-H *stretch* yang terdeteksi. Serta gugus fungsi N-H *bend* menunjukkan puncak serapan kitosan dan gugus fungsi C-O *stretch* menunjukkan puncak serapan PVP (Gökmeşe *et al.*, 2013). Hasil karakterisasi tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya dan hasil yang terbaik yaitu sampel PVA/PVP/Cs pada tegangan 18 kV.



Gambar 4. Hasil Uji FT-IR pada sampel (a) PVA 10%, (b) PVA/PVP/Cs tegangan 15 kV, dan (c) PVA/PVP/Cs tegangan 18 kV.

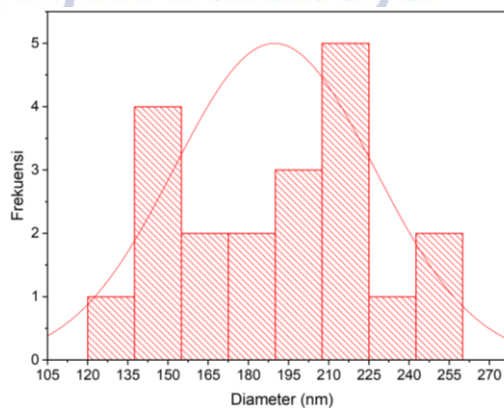
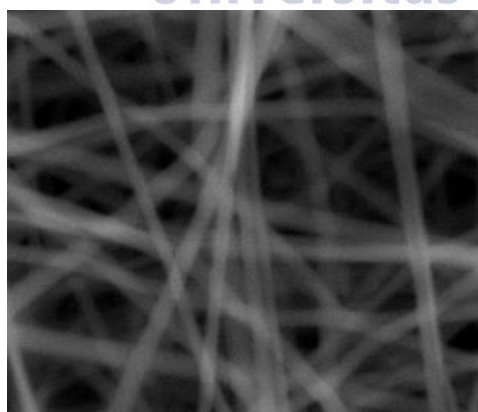
Tabel 1. Hasil Gugus Fungsi dari Karakterisasi FTIR

Material	Wave-number (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Referensi
PVA	3264 2942 1089	O-H <i>stretch</i> C-H <i>stretch</i> C-O <i>stretch</i>	(Z. Zhang <i>et al.</i> , 2014)
	3431 2910 2911, 2948 1432, 1330 1091	O-H <i>stretch</i> CH ₂ <i>stretch</i> C-H <i>stretch</i> -CH ₂ <i>bend</i> C-O <i>stretch</i>	(Subramanian <i>et al.</i> , 2014)
PVP	3449 2919 1638	-OH <i>bend</i> C-H <i>stretch</i> C=O <i>stretch</i>	(Bhusnure <i>et al.</i> , 2021)
PVA/PVP	3400 2900 1650 1590 1365 1250 1050	O-H <i>stretch</i> -C-H <i>stretch</i> -C=O <i>acetate</i> -C=O <i>amide</i> -C-O-C -C-O -C-N	(Hindi <i>et al.</i> , 2021)
PVA/PVP/Cs	3412 1617 1385 1096 619	O-H <i>stretch</i> C=O <i>bend</i> , N-H <i>bend</i> C-H <i>bend</i> C-O <i>stretch</i> O-H <i>bend</i>	(Y. Zhang <i>et al.</i> , 2014)
	1657 1096	C=O <i>bend</i> C-O <i>stretch</i>	(Gökmeşe <i>et al.</i> , 2013)

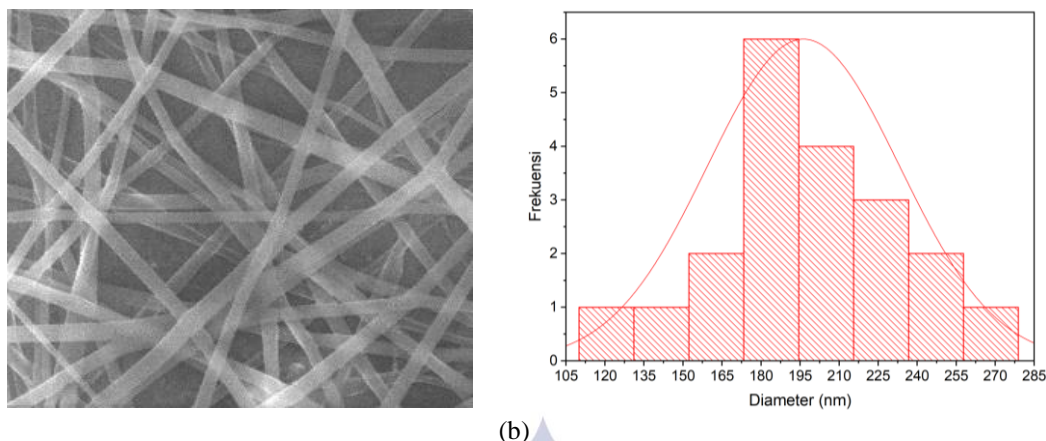
Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

Berdasarkan hasil uji FTIR diperoleh hasil yang terbaik yaitu sampel PVA/PVP/Cs pada tegangan 18 kV. Pengujian SEM ini untuk mengetahui bentuk morfologi dari sampel terbaik tersebut dan bentuk morfologi dari sampel PVA 10%. Bentuk morfologinya dapat dilihat pada **Gambar 5(a)** menunjukkan bahwa sampel PVA 10% terlihat bahwa nanofiber yang terbentuk memiliki

permukaan halus dan ukuran diameternya sekitar 210-225 nm dan **Gambar 5(b)** menunjukkan bahwa sampel PVA/PVP/Cs 18 kV terlihat bahwa nanofiber yang terbentuk memiliki permukaan halus dan ukuran diameter sekitar 170-195 nm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan PVP dan kitosan pada polimer PVA dalam pembuatan nanofiber ini dapat menyebabkan penurunan ukuran diameter.



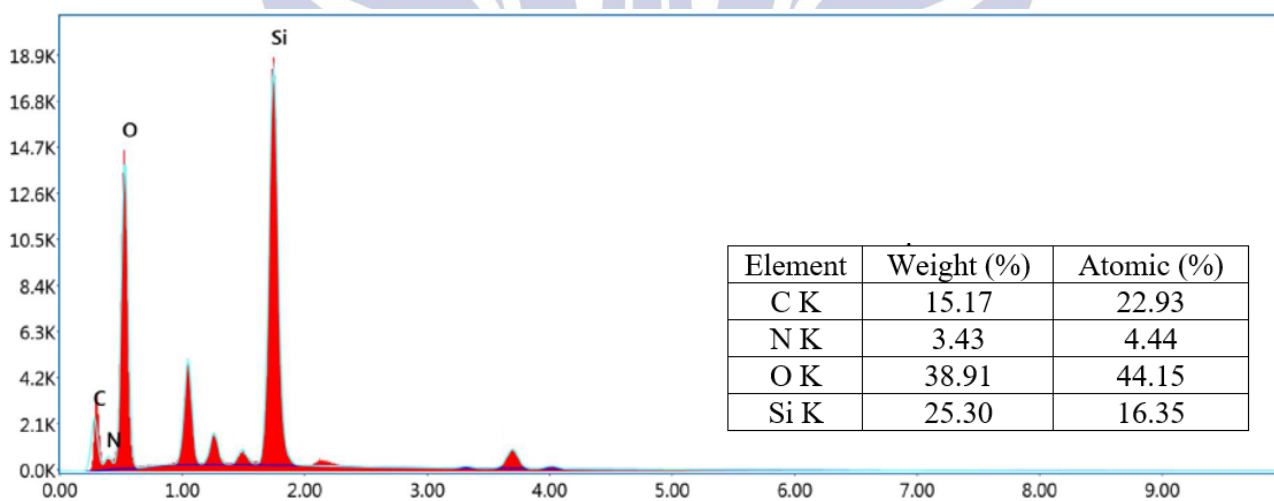
(a)



Gambar 5. Hasil Uji SEM dan kurva distribusi pada (a) PVA 10% dengan perbesaran 50kx dan (b) PVA/PVP/Cs pada tegangan 18 kV dengan perbesaran 10kx

Pada sampel PVA/PVP/Cs 18 kV setelah diketahui bentuk morfologi dan ukuran diameter seratnya selanjutnya dikarakterisasi EDX. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui jumlah kadar material-material pembentuk nanofiber tersebut. Hasil karakterisasi ini ditunjukkan pada **Gambar 7**. Menunjukkan bahwa

material C dan O sebagai material pembentuk PVA yang terdapat pada nanofiber tersebut. Serta material C, N, O sebagai material pembentuk PVP dan kitosan. Kadar material-material pembentuk tersebut masing-masing sebesar 15.17% wt C, 3.43% wt N, dan 38.91% wt O.



Gambar 7. Hasil spektrum EDX PVA/PVP/Kitosan

Kurva spektrum diatas menunjukkan bahwa material O memiliki kadar lebih tinggi dibandingkan C dan N karena ketiga polimer yang digunakan pada fabrikasi ini terdapat material O dalam penyusunnya sehingga material tersebut terdeteksi lebih tinggi dibandingkan yang lain. Sedangkan material N memiliki kadar lebih rendah dibandingkan C dan O karena polimer tambahan PVP dan kitosan yang dicampurkan pada fabrikasi ini hanya sedikit sehingga material tersebut terdeteksi lebih rendah dibandingkan yang lain. Selain itu terdapat material Si yang dominan dikarenakan substrat yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan kaca preparat yang bahan material pembentuknya yaitu Si. Dan

karena sampel yang terbentuk tipis sehingga material kaca lebih dominan terdeteksi. Selanjutnya, untuk menentukan sampel nanofiber ini dapat digunakan sebagai *wound dressing* perlu dilakukan uji antibakteri untuk menyelidiki aktivitas antibakteri dengan metode pengujian menggunakan metode penghitungan koloni (Bandatang *et al.*, 2021).

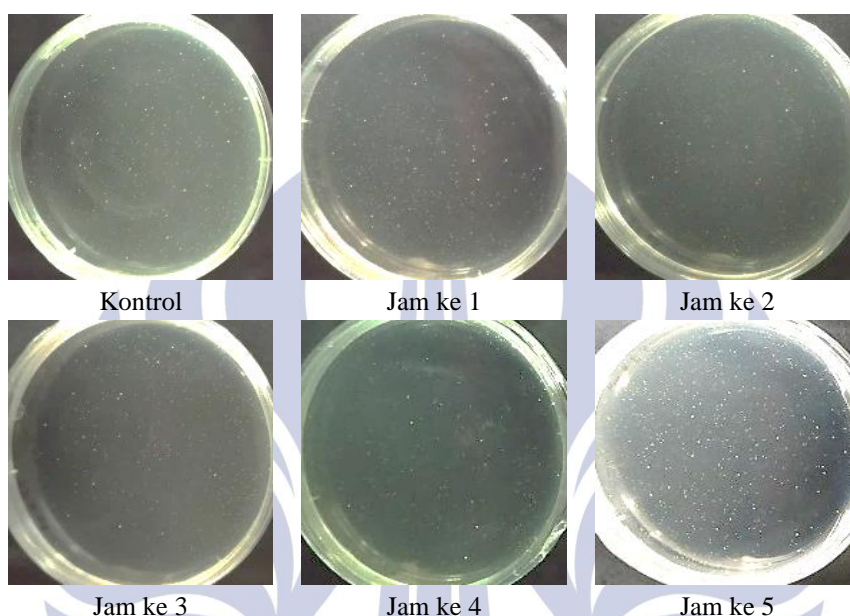
Hasil Antibakteri

Nanofiber PVA/PVP/Cs tegangan 18 kV dilakukan uji antibakteri untuk mengukur aktivitas antibakteri pada sampel. Pada penelitian sebelumnya dengan bahan PVP/Cs/GO sebagai sifat antibakteri menggunakan

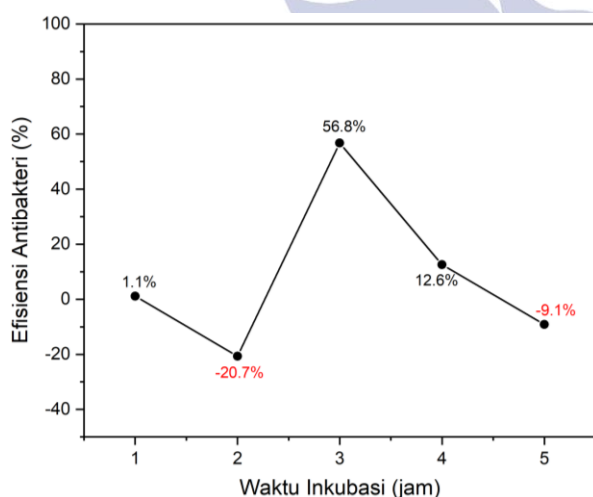
beberapa bakteri sebagai perbandingan menunjukkan bahwa antara bakteri *E.coli*, *P.aeruginosa*, *S.aureus*, *B.subtilis*, dan *C.Albicans* yang memiliki daya hambat besar yaitu bakteri *S.aureus* (Al Mogbel *et al.*, 2021). Oleh karena itu pada penelitian ini bakteri yang digunakan bakteri gram positif yaitu bakteri *S.aureus* dengan metode penguji *International Standart ISO 22196*. Hasil pengamatan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 8**. Hasil jumlah koloninya ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Uji Antibakteri Pada Sampel PVA/PVP/Cs Terhadap Bakteri Uji *S. aureus*

Waktu Inkubasi Jam ke-	Jumlah Koloni
1	715
2	873
3	312
4	632
5	789



Gambar 8. Hasil Uji Antibakteri dengan menggunakan Bakteri *S. aureus*



Gambar 9. Efisiensi Antibakteri Pada Sampel PVA/PVP/Cs

Sampel kontrol (tanpa nanofiber) menumbuhkan koloni sebesar 723. Sehingga diperoleh hasil jumlah koloni pada **Tabel 3**. Koloni bakteri pada pelat nanofiber pada waktu inkubasi jam ke 1, 3, dan 4 masing-masing sebesar 715, 312, dan 632 mengalami penurunan dari jumlah koloni awal yang diberikan hal ini menunjukkan bahwa pada sampel koloni bakteri tersebut mati.

Sedangkan pada waktu inkubasi jam ke 2 dan 5 masing-masing sebesar 873 dan 789 mengalami kenaikan dari jumlah koloni awal yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada sampel koloni bakteri tersebut ada yang tumbuh atau terdapat koloni bakteri lain dari sampel nanofiber yang tumbuh, sehingga jumlah koloni bakteri yang dihitung pada sampel semakin bertambah dari kondisi awal kontrol.

Pada **Gambar 9**, menunjukkan hasil kurva efisiensi antibakteri pada waktu inkubasi 1 jam sebesar 1,1% kurang efektif, kemudian pada waktu inkubasi 2 jam keefektifannya semakin menurun yang disebabkan karena adanya bakteri lain yang tumbuh pada sampel sehingga jumlah koloni bakterinya semakin bertambah. Bakteri lain tersebut bisa berasal dari polimer bahan PVA atau PVP atau kitosan yang hidup saat dilakukan waktu inkubasi selama 2 jam. Selanjutnya pada waktu inkubasi 3 jam keefektifannya meningkat drastis menjadi 56,8% yang menunjukkan bahwa pada waktu tersebut molekul kitosan pada sampel meningkat dan aktif membunuh bakteri *S.aureus*. Aktivitas antibakteri kitosan didasarkan pada interaksi yang merusak dari polikation (gugus amino terprotonasi) dengan permukaan bakteri yang bermuatan

negatif, sehingga mengakibatkan hilangnya permeabilitas membran, kebocoran sel, dan akhirnya kematian sel (Abdelgawad *et al.*, 2014). Apabila molekul kitosan yang digunakan konsentrasinya tinggi dapat menyebabkan efisiensi antibakterinya rendah, hal tersebut disebabkan oleh kejenuhan molekul kitosan pada permukaan membran sehingga menyebabkan kontak kitosan dengan bakteri kurang efektif (Wu *et al.*, 2022).

Pada waktu inkubasi ke 4 dan 5 jam efisiensi antibakterinya menurun menjadi 12,6% dan -9,1% yang menunjukkan bahwa pada tingkat tersebut sampel yang digunakan sudah tidak efektif. Hal tersebut dikarenakan molekul kitosan pada fabrikasi nanofiber ini sudah tidak aktif membunuh bakteri *S.aureus* seperti pada waktu inkubasi jam ke 3 yang aktif membunuh bakteri. Ketidakefektifan ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, seperti karakteristik matriks nanofiber, metode dan kondisi pembuatan nanofiber serta bakteri uji yang digunakan (Liu *et al.*, 2018). Karakteristik matriks nanofiber seperti kemampuan daya serap yang dimiliki matriks nanofiber dalam menyerap cairan pada luka. Metode pembuatan nanofiber juga mempengaruhi saat pencampuran beberapa bahan yang dilakukan pengadukan stirrer hingga homogen. Serta bakteri uji yang digunakan juga memiliki pengaruh karena setiap jenis bakteri memiliki keefektifan sendiri-sendiri terbukti pada peneliti-peneliti sebelumnya yang menggunakan berbagai jenis bakteri hingga mendapatkan hasil yang terbaik. Penggunaan sampel nanofiber pada penelitian ini sebagai *wound dressing* efektif digunakan hanya selama 3 jam saja. Jika digunakan lebih dari 3 jam maka akan terjadi peningkatan aktivitas antibakteri dari bakteri lain yang berasal dari luar atau dalam sampel sehingga menyebabkan penyembuhan luka menjadi terhambat.

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil penelitian fabrikasi nanofiber PVA/PVP/Cs sebagai *wound dressing* dilakukan karakterisasi MO, Uv-Vis, FTIR, SEM, EDX, dan antibakteri. Berdasarkan hasil karakterisasi MO menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang disuplai antara drum kolektor dan jarum, maka ukuran diameter nanofiber tersebut semakin kecil. Hasil Uv-Vis menunjukkan bahwa fabrikasi ini mampu mengabsorpsi yang ditunjukkan dengan adanya peak pada hasil grafik. Hasil FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi O-H *stretch* terdeteksi pada puncak serapan PVA, gugus fungsi N-H *bend* terdeteksi pada puncak serapan kitosan dan gugus fungsi C-O *stretch* terdeteksi pada puncak serapan PVP. Selanjutnya, karakterisasi SEM menunjukkan bentuk morfologi permukaan yang halus dan ukuran diameter serat pada PVA 10% sekitar 210-225

nm mengalami penurunan pada PVA/PVP/Cs 18 kV sekitar 170-195 nm. Hasil EDX menunjukkan bahwa penyusun pembentuk polimer PVA, PVP, dan kitosan terdapat unsur C, N, dan O. Hasil antibakteri dengan menggunakan bakteri *S.aereus* menghasilkan efisiensi antibakteri tertinggi sebesar 56,8% dalam waktu inkubasi 3 jam yang menunjukkan bahwa nanofiber tersebut efektif sebagai *wound dressing*.

Saran

Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya dilakukan uji lebih lanjut lagi mengenai sifat mekanik dari nanofiber ini seperti uji kuat tarik dan elastisitasnya. Uji antibakteri yang dilakukan sebaiknya menggunakan metode pengujian yang berbeda dari penelitian ini seperti metode difusi cakram.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelgawad, A. M., Hudson, S. M., & Rojas, O. J. (2014). Antimicrobial wound dressing nanofiber mats from multicomponent (chitosan/silver-NPs/polyvinyl alcohol) systems. *Carbohydrate Polymers*, *100*, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.12.043>
- Al Mogbel, M. S., Elabbasy, M. T., Mohamed, R. S., Ghoniem, A. E., El-Kader, M. F. H. A., & Menazea, A. A. (2021). Improvement in antibacterial activity of Poly Vinyl Pyrrolidone/Chitosan incorporated by graphene oxide NPs via laser ablation. *Journal of Polymer Research*, *28*(12). <https://doi.org/10.1007/s10965-021-02838-x>
- Alipour, R., Khorshidi, A., Shojaei, A. F., Mashayekhi, F., & Moghaddam, M. J. M. (2019). Skin wound healing acceleration by Ag nanoparticles embedded in PVA/PVP/Pectin/Mafenide acetate composite nanofibers. *Polymer Testing*, *79*(August), 106022. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106022>
- Asawahame, C., Sutjarittangtham, K., Eitssayeam, S., Tragoolpua, Y., Sirithunyalug, B., & Sirithunyalug, J. (2015). Formation of orally fast dissolving fibers containing propolis by electrospinning technique. *Chiang Mai Journal of Science*, *42*(2), 469–480.
- Aytumur, A., & Uslu, I. (2014). Promising Materials for Wound Dressing: PVA/PAA/PVP Electrospun Nanofibers. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, *53*(7), 655–660. <https://doi.org/10.1080/03602559.2013.874031>
- Bandatang, N., Pongsomboon, S. amnart, Jumpapaeng, P., Suwanakood, P., & Saengsuwan, S. (2021). Antimicrobial electrospun nanofiber mats of NaOH-hydrolyzed chitosan (HCS)/PVP/PVA incorporated with in-situ synthesized AgNPs: Fabrication, characterization, and antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, *190*(July), 585–600.

- <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.209>
- Bhusnure, O. G., Gholve, S. B., Giram, P. S., Gaikwad, A. V., Udumansha, U., Mani, G., & Tae, J. H. (2021). Novel 5-fluorouracil-Embedded non-woven PVA - PVP electrospun nanofibers with enhanced anti-cancer efficacy: Formulation, evaluation and in vitro anti-cancer activity. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, *64*(June), 102654. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2021.102654>
- Elabbasy, M. T., Abd El-Kader, M. F. H., Ismail, A. M., & Menazea, A. A. (2021). Regulating the function of bismuth (III) oxide nanoparticles scattered in Chitosan/Poly (Vinyl Pyrrolidone) by laser ablation on electrical conductivity characterization and antimicrobial activity. *Journal of Materials Research and Technology*, *10*(Iii), 1348–1354. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.109>
- Faridi-Majidi, R., Nezafati, N., Pazouki, M., & Hesarak, S. (2017). Evaluation of morphology and cell behaviour of a novel synthesized electrospun poly(vinyl pyrrolidone)/poly(vinyl alcohol)/hydroxyapatite nanofibers. *Nanomedicine Journal*, *4*(2), 107–114. <https://doi.org/10.22038/nmj.2017.22112.1236>
- Gökmeşe, F., Uslu, I., & Aytimur, A. (2013). Preparation and Characterization of PVA/PVP Nanofibers as Promising Materials for Wound Dressing. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, *52*(12), 1259–1265. <https://doi.org/10.1080/03602559.2013.814144>
- Hashmi, M., Ullah, S., Ullah, A., Akmal, M., Saito, Y., Hussain, N., Ren, X., & Kim, I. S. (2020). Optimized loading of carboxymethyl cellulose (Cmc) in tri-component electrospun nanofibers having uniform morphology. *Polymers*, *12*(11), 1–12. <https://doi.org/10.3390/polym12112524>
- Hindi, A., Masri, M. Y., Hardcastle, S., & Batal, M. A. (2021). Synthesis of Polymeric (Self-Disappearing) Nano Medical Patches Loaded with a Long-Acting Pharmacological Substance by Electrospinning Method. *Nanotechnology & Applications*, *4*(1). <https://doi.org/10.33425/2639-9466.1029>
- Kalalinia, F., Taherzadeh, Z., Jirofti, N., Amiri, N., Foroghinia, N., Beheshti, M., Bazzaz, B. S. F., Hashemi, M., Shahroodi, A., Pishavar, E., Tabassi, S. A. S., & Movaffagh, J. (2021). Evaluation of wound healing efficiency of vancomycin-loaded electrospun chitosan/poly ethylene oxide nanofibers in full thickness wound model of rat. *International Journal of Biological Macromolecules*, *177*, 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.209>
- Kaur, D., Gupta, A., Singh, N., Delhi, N., & Dhakate, S. (2014). *Accepted Manuscript Advanced Materials Letters*. November. <https://doi.org/10.5185/amlett.2014.5594>
- Laosirisathian, N., Saenjum, C., Sirithunyalug, J., Eitssayeam, S., Chaityana, W., & Sirithunyalug, B. (2021). PVA/PVP K90 Nanofibers Containing Punica granatum Peel Extract for Cosmeceutical Purposes. *Fibers and Polymers*, *22*(1), 36–48. <https://doi.org/10.1007/s12221-021-0165-0>
- Liu, Y., Wang, S., & Lan, W. (2018). Fabrication of antibacterial chitosan-PVA blended film using electrospay technique for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *107*(PartA), 848–854. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.044>
- Mistry, P., Chhabra, R., Muke, S., Narvekar, A., Sathaye, S., Jain, R., & Dandekar, P. (2021). Fabrication and characterization of starch-TPU based nanofibers for wound healing applications. *Materials Science and Engineering C*, *119*, 111316. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111316>
- Mudigoudra, B. S., Masti, S. P., & Chougale, R. B. (2012). *Thermal Behavior of Poly (vinyl alcohol) / Poly (vinyl pyrrolidone) / Chitosan Ternary Polymer Blend Films*. *1*(9), 83–86.
- Rahmani, F., Ziyadi, H., Baghali, M., Luo, H., & Ramakrishna, S. (2021). Electrospun pvp/pva nanofiber mat as a novel potential transdermal drug-delivery system for buprenorphine: A solution needed for pain management. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(6). <https://doi.org/10.3390/app11062779>
- Rihova, M., Ince, A. E., Cicmancova, V., Hromadko, L., Castkova, K., Pavlinak, D., Vojtova, L., & Macak, J. M. (2021). Water-born 3D nanofiber mats using cost-effective centrifugal spinning: comparison with electrospinning process: A complex study. *Journal of Applied Polymer Science*, *138*(5), 1–14. <https://doi.org/10.1002/app.49975>
- Rosli, N., & Setu, S. A. (2018). Polyvinyl-alcohol/polyvinyl-pyrrolidone membranes coated with violacein pigments as antibacterial agent for wound dressing application. *EProceedings Chemistry*, *3*, 152–159. <http://e proceedings.chemistry.utm.my/index.php/FYP/article/view/314>
- Subramanian, U. M., Kumar, S. V., Nagiah, N., & Sivagnanam, U. T. (2014). Fabrication of polyvinyl alcohol-polyvinylpyrrolidone blend scaffolds via electrospinning for tissue engineering applications. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, *63*(9), 476–485. <https://doi.org/10.1080/00914037.2013.854216>
- Sugumar, S., Ghosh, V., Nirmala, M. J., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2014). Ultrasonic emulsification of eucalyptus oil nanoemulsion: Antibacterial activity against Staphylococcus aureus and wound healing activity in Wistar rats. *Ultrasonics Sonochemistry*, *21*(3), 1044–1049. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.10.021>
- Sundarrajan, S., Tan, K. L., Lim, S. H., & Ramakrishna, S. (2014). Electrospun nanofibers for air filtration applications. *Procedia Engineering*, *75*, 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.11.034>
- Taghe, S., Mehrandish, S., & Mirzaeei, S. (2021). Preparation of Azithromycin Nanofibers as Controlled Release Ophthalmic Drug Carriers Using Electrospinning Technique: In-Vitro and in-Vivo

- Characterization . *Advanced Pharmaceutical Bulletin*. <https://doi.org/10.34172/apb.2022.033>
- Wu, J. Y., Wang, C. Y., Chen, K. H., Lai, Y. R., Chiu, C. Y., Lee, H. C., & Chang, Y. K. (2022). Electrospinning of Quaternized Chitosan-Poly(vinyl alcohol) Composite Nanofiber Membrane: Processing Optimization and Antibacterial Efficacy. *Membranes*, *12*(3). <https://doi.org/10.3390/membranes12030332>
- Xue, J., Wu, T., Dai, Y., & Xia, Y. (2019). Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications [Review-article]. *Chemical Reviews*, *119*(8), 5298–5415. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00593>
- Zhang, Y., Li, J. F., Qiu, K. H., Zhong, L. Z., Li, G. Y., Lai, X. F., & Zhang, P. C. (2014). Preparation of a novel chitosan-based composite nanofibers by electrospinning. *Advanced Materials Research*, *850–851*, 136–139. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.850-851.136>
- Zhang, Z., Qian, Y. F., Zheng, L. J., Song, R. Y., & Shi, F. (2014). Fabrication of porous nanofibrous mats by dual-nozzle electrospinning. *Advanced Materials Research*, *1048*, 387–390. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1048.387>
- Zhao, Y., Qiu, Y., Wang, H., Chen, Y., Jin, S., & Chen, S. (2016). Preparation of Nanofibers with Renewable Polymers and Their Application in Wound Dressing. *International Journal of Polymer Science*, *2016*. <https://doi.org/10.1155/2016/4672839>

