



## BIOFABRIKASI PEMBUATAN NANOFIBER SCAFFOLD DENGAN ELEKTROSPINNING

Dahlia Noviani Butarbutar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Biomedis, Institut Teknologi Sumatera

\*Penulis Korespondensi: [dahlia.122430009@student.itera.ac.id](mailto:dahlia.122430009@student.itera.ac.id)

**Abstract.** *Biomedical Engineering students of the 2022 RC class have conducted a practicum entitled grip strength. They have completed individual assignments, and practicums given by the practicum assistant with the tools and materials listed in the module. This practicum aims to be able to understand the principles and effects of electrospinning parameters, be able to understand the process of making nanofiber scaffolds, be able to master material preparation and selection techniques, be able to evaluate the characteristics and structure of nanofiber scaffolds and be able to understand the application of nanofiber scaffolds. In this practicum, nanofibers were successfully made using the electrospinning method from polyvinyl alcohol (PVA) polymer materials. To optimize the nanofiber formation process, a study was conducted on various influencing factors, such as the type and concentration of polymer, as well as electrospinning operational parameters including electric voltage and the distance between the spinneret and the collector, in order to understand their effects on the structure and morphology of the resulting fibers. The electrospinning process using PVA solution polymer raw materials in acetic acid can produce fiber formation. The electrospinning process using 12% HA/Sr solution at optimum conditions of 15 kV electric voltage and a spinneret distance of 12 cm from the collector produced continuous nanofibers.*

**Keywords:** *Nanofiber, Electrospinning, Polyvinyl alcohol (PVA), Serat nano, Spinneret-kolektor*

**Abstrak.** Mahasiswa Teknik Biomedis angkatan 2022 kelas RC telah melakukan praktikum dengan judul *grip strength*. Mereka telah menyelesaikan tugas individu, dan praktikum yang diberikan oleh asisten praktikum dengan alat dan bahan yang tertera pada modul. Praktikum ini bertujuan untuk dapat memahami prinsip dan pengaruh parameter electrospinning, mampu memahami proses pembuatan nanofiber scaffold, mampu menguasai teknik persiapan dan pemilihan material, mampu mengevaluasi karakteristik dan struktur nanofiber scaffold dan mampu memahami aplikasi nanofiber scaffold. Dalam praktikum ini, serat nano (nanofiber) berhasil dibuat menggunakan metode electrospinning dari bahan polimer polivinil alkohol (PVA). Untuk mengoptimalkan proses pembentukan serat nano, dilakukan kajian terhadap berbagai faktor yang mempengaruhi, seperti jenis dan konsentrasi polimer, serta parameter operasional electrospinning meliputi tegangan listrik dan jarak antara spinneret dan kolektor, guna memahami pengaruhnya terhadap struktur dan morfologi serat yang dihasilkan. Proses electrospinning dengan menggunakan bahan baku polimer larutan PVA dalam asam asetat dapat menghasilkan formasi fiber. Proses electrospinning menggunakan larutan HA/Sr 12% pada kondisi optimum tegangan listrik 15 kV dan jarak spinneret dengan kolektor 12cm menghasilkan serat nano yang kontinyu.

**Kata kunci:** Nanofiber, Electrospinning, Polyvinyl alcohol (PVA), Serat nano, Spinneret-kolektor

### LATAR BELAKANG

#### a. Latar Belakang

Nanoteknologi terus berkembang seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Nanoteknologi menggunakan teknologi penggunaan material dalam skala nanometer (1-100 nm). Beberapa contoh nanoteknologi seperti nano partikel, nanofiber, nanowire dan nanotube. Nanofiber satu material nano yang

sampai saat ini terus diteliti dan dikembangkan berupa serat yang memiliki diameter antara 100-500 nm [1].

Nanofiber dapat diaplikasikan di berbagai bidang, seperti industri tekstil, komposit, otomotif, kertas, elektronik, optik, pertanian, kosmetik, kesehatan, kedokteran, olahraga dan farmasi. Perkembangan nanoteknologi yang sangat pesat dalam beberapa dekade terakhir ini telah memberikan dampak terhadap perkembangan berbagai industri. Aplikasi nanoteknologi dalam industri tekstil dapat menghasilkan produk yang bersifat lebih fungsional [1] [2].

Salah satu material yang dihasilkan dengan menggunakan prinsip nanoteknologi serat nano (nanofiber). Dengan keunggulan sifat-sifat yang dimilikinya seperti luas permukaan yang tinggi, struktur berpori dan tingkat modulus elastisitas, nanofiber dapat diaplikasikan secara efektif untuk bidang medis, filtrasi, kain pelindung (protective fabrics) dan lain-lain [2].

Pada dasarnya pembuatan serat nano dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti teknik pemintalan serat multikomponen, *melt blowing* dan *electrospinning*. Dari ketiga metode pembuatan serat tersebut, untuk saat ini *electrospinning* teknik yang cukup sederhana namun mampu menghasilkan serat nano dengan rentang ukuran paling kecil yakni 0,04 – 2 mikron [2].

*b. Tujuan Percobaan*

Adapun tujuan percobaan dari praktikum kali ini adalah:

1. Mahasiswa mampu memahami prinsip dan pengaruh parameter *electrospinning*.
2. Mahasiswa mampu memahami proses pembuatan nanofiber scaffold.
3. Mahasiswa mampu menguasai teknik persiapan dan pemilihan material.
4. Mahasiswa mampu mengevaluasi karakteristik dan struktur nanofiber scaffold
5. Mahasiswa mampu memahami aplikasi nanofiber scaffold.

**KAJIAN TEORITIS**

*a. Scaffold Nanofiber*

Scaffold merupakan kerangka atau struktur yang digunakan dalam rekayasa jaringan sebagai pendukung untuk menumbuhkan dan memandu sel ke dalam jaringan atau organ yang diinginkan. Scaffold berfungsi sebagai tempat sementara bagi sel untuk melekat, bermigrasi, berkembang biak, dan berdiferensiasi hingga jaringan baru terbentuk. Dalam aplikasinya, scaffold harus bersifat biokompatibel, memiliki porositas yang sesuai, serta mampu mengalami degradasi secara bertahap seiring dengan pembentukan jaringan baru [3].

Oleh karena itu, pemilihan material dan desain struktur scaffold menjadi aspek penting dalam keberhasilan teknik rekayasa jaringan. Salah satu bentuk scaffold yang menarik perhatian peneliti adalah scaffold berbentuk nanofiber. Nanofiber scaffold memiliki struktur serat halus yang menyerupai matriks ekstraseluler (ECM) alami dalam tubuh manusia, yang berperan penting dalam proses regenerasi jaringan [3].

Struktur ini memberikan luas permukaan yang tinggi per satuan massa, sehingga memungkinkan interaksi yang lebih besar antara sel dan permukaan scaffold. Hal ini mendukung adhesi dan proliferasi sel secara efektif, serta memungkinkan difusi nutrisi dan pembuangan zat metabolik dengan lebih efisien. Dengan karakteristik ini, nanofiber scaffold menjadi pilihan yang menjanjikan dalam berbagai aplikasi rekayasa jaringan seperti regenerasi kulit, tulang, dan jaringan saraf [3] [4].

Scaffold nanofiber juga dapat dimodifikasi dengan berbagai biomaterial, seperti polimer alami dan sintesis (misalnya, kolagen, gelatin, poliuretan, dan polycaprolactone), serta dikombinasikan dengan agen bioaktif seperti faktor pertumbuhan dan molekul antiinflamasi. Material ini dapat dipilih dan dimodifikasi untuk memberikan sifat biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan karakteristik mekanik yang mendekati jaringan asli [4].

*b. Electrospinning*

Electrospinning merupakan salah satu metode pembentukan nanofiber melalui pancaran muatan listrik dari suatu larutan atau cairan polimer. Teknik ini telah dipatenkan oleh Formlis pada tahun 1934. Electrospinning adalah proses sederhana dan komprehensif untuk menghasilkan nanofiber dari bahan yang seperti polimer,

komposit dan keramik. Komponen electrospinning terdiri dari tiga bagian utama yaitu, pembangkit daya tegangan tinggi, jarum suntik logam, dan kolektor konduktif [5].

Electrospinning merupakan suatu proses pembuatan serat nano yang efisien dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik dalam menghasilkan pancaran (jet) larutan atau lelehan polimer bermuatan listrik. Serat nano polimer terbentuk karena pada proses tersebut terjadi penguapan pelarut secara simultan. Beberapa keuntungan metode electrospinning terletak pada peralatannya yang relatif sederhana dan biayanya yang cukup efisien [5] [6].

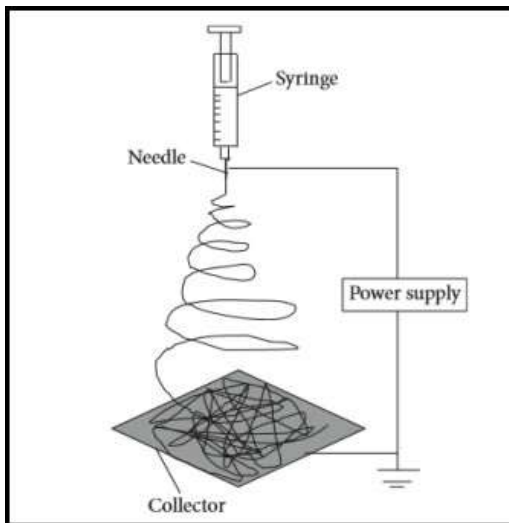
Electrospinning merupakan suatu proses pembuatan serat nano yang efisien dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik dalam menghasilkan pancaran (jet) larutan atau lelehan polimer bermuatan listrik. Serat nano polimer terbentuk karena pada proses tersebut terjadi penguapan pelarut secara simultan. Beberapa keuntungan metode electrospinning terletak pada peralatannya yang relatif sederhana dan biayanya yang cukup efisien [6].

Pada prinsipnya mekanisme pembuatan serat dengan electrospinning adalah dengan cara mendorong larutan polimer yang diberi tegangan listrik tinggi menggunakan pompa syringe hingga membentuk butir/tetes larutan pada ujung kapiler spinnerette. Butir/tetes larutan polimer yang telah terinduksi muatan listrik tersebut dibawah pengaruh medan listrik akan meloncat atau bergerak ke arah elektroda dengan muatan berlawanan sambil disertai proses penguapan pelarut polimer, sehingga yang tertinggal pada pelat pengumpul (*collecting plate*) hanya serat polimer nya saja [6].

a. *Prinsip Electrospinning*

Electrospinning menghasilkan serat dengan diameter dari skala nanometer hingga mikrometer. Konfigurasi pemasangan komponen electrospinning secara umum terdiri dari tiga komponen utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Daya bertegangan tinggi (dalam tegangan kV), *syringe pump* dengan jarum nozzle, dan kolektor (*collector plate*). Susunan pemasangan listrik tegangan tinggi diikatkan pada larutan polimer melalui jarum logam dan papan kolektor sebagai ground (-) [7].

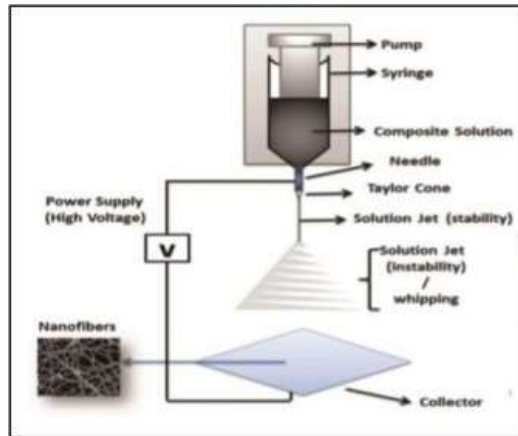
Larutan polimer dimasukkan dalam pump dan diberi tekanan yang sesuai, larutan akan keluar melewati ujung jarum dan membentuk butiran-butiran. Gaya elektrostatik akan timbul dikarenakan jarum logam yang dialiri listrik. Interaksi antara medan listrik dan medan fluida membentangi arus fluida dan membuatnya mengalami gerakan mencambuk. Hal ini menyebabkan aliran jet terus menerus memanjang sebagai filamen yang panjang. Hasil dari serat electrospun yang dihasilkan terdapat pada papan kolektor [7].



**Gambar 2.1** Skema Electrospinning

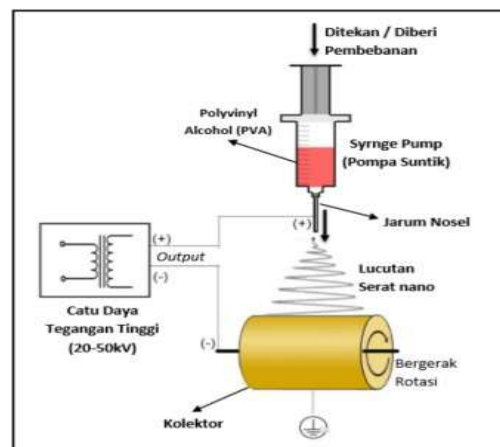
*c. Mekanisme Electrospinning*

Electrospinning merupakan proses pembuatan serat dengan metode pancaran dari suatu larutan atau cairan polimer yang dialiri muatan listrik. Larutan polimer dimasukkan ke dalam tabung *syringe pump* yang telah terpasang jarum nozzle. Kemudian syringe pump ditekan sehingga larutan polimer tertekan dengan laju alir secara konstan. Selanjutnya tegangan tinggi pada tingkat 5-50 kV diaplikasikan pada jarum. Salah satu bagian penting dalam electrospinning adalah pemberian tegangan tinggi pada larutan. Secara umum tegangan diatas 6 kV baik positif atau negatif dapat menyebabkan larutan untuk bergerak menuju ujung jarum dan membentuk taylor cone selama proses awal pembentukan jet. Mekanisme dari proses electrospinning dapat dilihat pada Gambar 2.2 [8].



**Gambar 2.2** Mekanisme Electrospinning Proses electrospinning merupakan teknik

yang sangat bergantung pada dinamika fluida dan medan listrik untuk menghasilkan serat-serat halus dari larutan polimer. Ketika larutan polimer disalurkan melalui sebuah nozzle dan dikenai medan listrik tinggi, terbentuklah struktur berbentuk kerucut yang dikenal sebagai Taylor cone. Dari ujung kerucut ini, pancaran fluida (jet) terlempar menuju papan kolektor yang memiliki muatan listrik negatif atau di-ground-kan. Dalam perjalanannya, pelarut dalam larutan polimer mengalami penguapan karena gaya tarik elektrostatis dan paparan lingkungan sekitar, menyebabkan konsentrasi polimer meningkat dan membentuk serat padat. Ketidakstabilan lekukan elektrostatis yang muncul saat jet melengkung dan menjalar menyebabkan serat semakin menipis dan mengalami pemanjangan, yang kemudian mengendap pada permukaan kolektor dalam bentuk serat halus atau nanofiber [8].



**Gambar 2.3** Skema Percobaan Alat Electrospinning

## **METODE PENELITIAN**

Bagian ini memuat rancangan penelitian meliputi disain penelitian, populasi/sampel penelitian, teknik dan instrumen pengumpulan data, alat analisis data, dan model penelitian yang digunakan. Metode yang sudah umum tidak perlu dituliskan secara rinci, tetapi cukup merujuk ke referensi acuan (misalnya: rumus uji-F, uji-t, dll). Pengujian validitas dan reliabilitas instrumen penelitian tidak perlu dituliskan secara rinci, tetapi cukup dengan mengungkapkan hasil pengujian dan interpretasinya. Keterangan simbol pada model dituliskan dalam kalimat.

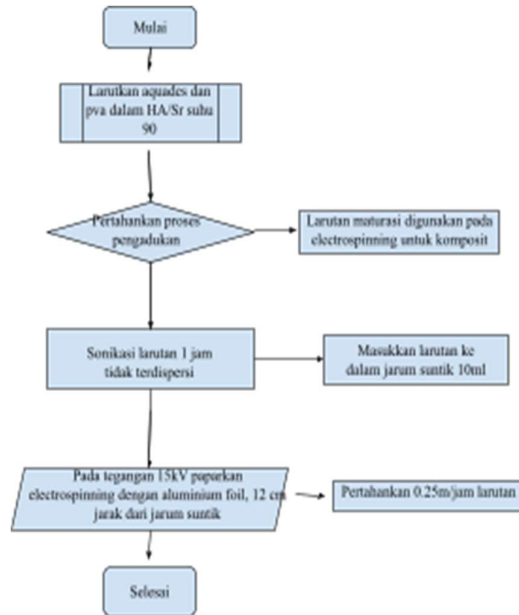
### *a. Alat dan Bahan*

Alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ialah:

- Gelas beker (Duran, Jerman);
- Erlenmeyer (Pyrex, Jepang);
- Tabung reaksi (Duran, Jerman);
- Statis dan tabung titrasi (Pyrex, Jepang);
- pH-meter (Benchtop, USA);
- Pengaduk magnetik;
- Timbangan;
- Oven pengering;
- Alat sentrifugasi;
- Oven vakum;
- Furnace untuk kalsinasi (Daihan, Korea);
- Mesin XRD (Bruker AXS D8 Advance Eco, USA);
- Spektrometer FTIR (Thermo Scientific Nicolet iS10, USA);
- Scanning Electron Microscopy (JSM-6510LA, Jepang) yang dilengkapi EDS;
- X-Ray Fluorescent (Rigaku-NEX QC+QuanTEZ, USA);
- Seperangkat alat uji sel (Mikroskop Digital Carl Zeiss-Axioskop 40, USA);

*b. Langkah Kerja*

Diagram Alir

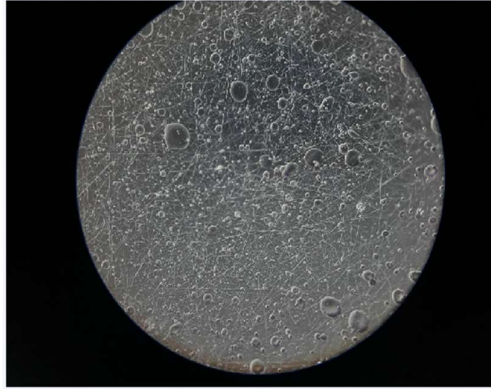


**HASIL DAN ANALISIS**

*a. Hasil Data Praktikum*



**Gambar 4.1** Hasil Mikroskop



**Gambar 4.2** Serat nano PVA hasil percobaan awal electrospinning

Pengujian dilakukan untuk pembuatan nanofiber menggunakan larutan PVA 12% dengan parameter tegangan tinggi 15 kV dan jarak jarum menuju kolektor sebesar 12 cm. Nanofiber terkumpul pada kolektor yang telah dilapisi dengan aluminium foil. Hasil pembuatan nanofiber dapat dilihat pada gambar diatas. Gambar diatas menunjukkan bahwa nanofiber yang telah dibuat dapat menghasilkan nanofiber yang terbentuk seperti membran berwarna putih halus. Nanofiber yang tampak pada Gambar diatas terlihat homogen dan terdapat banyak tetesan dari larutan PVA yang menetes secara elektrostatis. Untuk memastikan nanofiber yang terbentuk, maka dilakukan pengujian mikroskop digital.

Alat electrospinning yang digunakan memiliki sistem vertikal di mana kolektor berada di bagian bawah sehingga jet larutan polimer bergerak dari atas ke bawah. Larutan PVA diinjeksikan ke dalam spinneret kemudian electrospinning. Hasil electrospinning menunjukkan bahwa serat nano PVA dapat terbentuk dan secara visual berbentuk selaput tipis berwarna putih. Dari percobaan awal, dapat disimpulkan alat yang digunakan dalam penelitian ini mampu menghasilkan serat nano.

*b. Diskusi*

1. Jelaskan prinsip dasar dari teknik electrospinning. Bagaimana proses ini menghasilkan serat pada skala nanometer?

**Jawab:** Electrospinning adalah teknik fabrikasi yang memanfaatkan gaya elektrostatis untuk menghasilkan serat halus dari larutan atau lelehan polimer. Proses

ini dimulai dengan menempatkan larutan polimer dalam sebuah syringe (alat suntik) yang dilengkapi dengan jarum logam sebagai nozzle. Ketika tegangan listrik tinggi diberikan antara nozzle dan kolektor (yang bermuatan negatif atau di-ground-kan), terbentuklah gaya elektrostatis yang cukup kuat untuk mengatasi tegangan permukaan larutan. Ini menyebabkan larutan polimer membentuk kerucut Taylor (Taylor cone), dan dari ujungnya terlepas jet cairan yang sangat tipis.

Selama jet ini bergerak menuju kolektor, pelarut menguap karena paparan udara, dan larutan mengalami pemanjangan serta penipisan akibat gaya elektrostatis. Proses ini menghasilkan serat halus yang diameternya dapat mencapai skala nanometer. Ketidakstabilan jet yang berkelok-kelok juga membantu dalam memperkecil ukuran serat sebelum akhirnya mengendap di permukaan kolektor dalam bentuk jaring serat halus atau nanofiber [9].

2. Apa yang dimaksud dengan nanofiber scaffold, dan mengapa struktur ini penting dalam aplikasi biomedis? Sebutkan setidaknya dua aplikasi biomedis yang memanfaatkan nanofiber scaffold. **Jawab:** Nanofiber scaffold adalah struktur berpori yang tersusun dari serat-serat berdiameter nanometer, biasanya dibuat melalui teknik electrospinning. Scaffold ini menyerupai matriks ekstraseluler alami (ECM), yang penting dalam menunjang pertumbuhan dan diferensiasi sel dalam berbagai aplikasi biomedis. Struktur ini penting karena memiliki luas permukaan yang sangat tinggi, memfasilitasi adhesi dan proliferasi sel, memiliki porositas tinggi yang memungkinkan pertukaran gas dan nutrisi yang baik, menyediakan lingkungan tiga dimensi (3D) yang menyerupai jaringan asli tubuh, sehingga mendukung regenerasi jaringan. Dua contoh aplikasi biomedis yang menggunakan nanofiber scaffold :
  - Rekayasa jaringan (tissue engineering): Untuk regenerasi kulit, tulang, atau pembuluh darah, di mana scaffold berperan sebagai kerangka tempat tumbuhnya sel.
  - Penghantaran obat (drug delivery): Nanofiber dapat dimodifikasi untuk melepaskan obat secara terkontrol dan lokal pada jaringan target [9].

3. Sebutkan faktor-faktor utama yang mempengaruhi morfologi dan struktur serat pada proses electrospinning. Jelaskan bagaimana masing-masing faktor tersebut berperan.

**Jawab:**

**Parameter larutan:**

- Viskositas: Viskositas tinggi mendukung pembentukan serat kontinu, namun jika terlalu tinggi dapat menyulitkan aliran. Viskositas rendah dapat menyebabkan terbentuknya tetesan (electrospray).
- Konsentrasi polimer: Konsentrasi rendah dapat menghasilkan serat bercelah atau tetesan, sedangkan konsentrasi tinggi cenderung menghasilkan serat lebih besar.
- Konduktivitas: Konduktivitas tinggi memungkinkan pembentukan serat lebih tipis karena gaya tarik elektrostatis yang lebih besar.
- Tegangan permukaan: Tegangan permukaan tinggi menghambat terbentuknya jet, sehingga diperlukan tegangan listrik yang lebih besar untuk memulai proses.

- **Parameter proses:**

- Tegangan listrik: Tegangan yang lebih tinggi mempercepat jet dan dapat menipiskan serat, tetapi terlalu tinggi dapat menyebabkan ketidakstabilan.
- Jarak antara nozzle dan kolektor: Jarak yang cukup memungkinkan pelarut menguap sempurna; jarak terlalu dekat menyebabkan serat belum mengering saat sampai di kolektor.
- Laju alir larutan: Aliran terlalu cepat dapat menyebabkan tetesan; aliran lambat lebih stabil dan menghasilkan serat halus.

- **Kondisi lingkungan:**

- Suhu dan kelembaban: Kelembaban tinggi dapat menyebabkan pembentukan pori pada serat. Suhu mempengaruhi kecepatan penguapan pelarut [10].

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil dan analisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Percobaan dalam praktikum ini dapat membantu mahasiswa untuk mampu memahami prinsip dan pengaruh parameter electrospinning.

2. Percobaan dalam praktikum ini dapat membantu mahasiswa untuk dapat memahami proses pembuatan nanofiber scaffold.
3. Percobaan dalam praktikum ini dapat membantu mahasiswa untuk dapat menguasai teknik persiapan dan pemilihan material.
4. Percobaan dalam praktikum ini dapat membantu mahasiswa untuk dapat mengevaluasi karakteristik dan struktur nanofiber scaffold.
5. Percobaan dalam praktikum ini dapat membantu mahasiswa untuk dapat memahami aplikasi nanofiber scaffold.
6. Hasil praktikum menunjukkan bahwa serat nano dari beberapa senyawa polimer telah dapat disintesis dengan electrospinning. Kondisi proses electrospinning dipengaruhi oleh konsentrasi dan viskositas larutan polimer, jarak spinneret–kolektor dan tegangan listrik yang digunakan
7. Hasil pengujian pembuatan nanofiber menggunakan electrospinning menghasilkan serat nanofiber PVA, hal ini menunjukkan bahwa nanofiber yang dihasilkan sudah atau mendekati ukuran nanometer.

#### **DAFTAR REFERENSI**

- Çeliközlü, S. (2023). Biyoaktif Bileşiklerin Elektrosinning Yöntemi İle Nanoenkapsülasyonu. In *Nanoteknoloji ve Organik Kimya*. Özgür Yayınları. <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub393.c1560>
- Dewi, W. K., Indahsari, D. N., Prastuti, O. P., & Septiani, E. L. (2021). Sintesis Nanofiber PVP dengan Ekstrak *Basella rubra* Linn. Menggunakan Metode Elektrosinning. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(1), 55–60. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i1.203>
- Fajariah, A. R., Aprilia, A., Faizal, F., & Safriani, L. (2022). Pengaruh Viskositas Larutan Terhadap Karakteristik TiO<sub>2</sub> Nanofiber Yang Dibuat Menggunakan Teknik Elektrosinning. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.24198/jme.v12i01.40282>
- Fathurin, N., & Kusumawati, D. H. (2022). Fabrikasi Nanofiber PVA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan Metode Elektrosinning. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 10(1), 71. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v10i1.2911>
- Hendra. (2023). Studi Tentang Potensi Serat Nano PVA/AgNO<sub>3</sub> Sebagai Material Anti Bakteri Melalui Proses Elektrosinning Untuk Aplikasi Medis. *Arena Tekstil*, 38(1). <https://doi.org/10.31266/at.v38i1.8087>
- İnan, A. T., & Şeker, M. M. (2021). Elektrosinning Yöntemiyle Üretilmiş Farklı Çaplardaki Yapay Damarların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *International*

- Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(4), 687–693. <https://doi.org/10.7240/jeps.993582>
- Istiqomah, K. V. N., & Kusumawati, D. H. (2022). Sintesis Nanofiber Kitosa/PVA Sebagai Wound Dressing Dengan Metode Electrospinning. *Inovasi Fisika Indonesia*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.26740/ifi.v11n1.p1-7>
- Kaşikci Özen, M., Ceylan, O., Evcin, A., & Bezir, N. Ç. (2021). PbO.ZrO<sub>2</sub>.TiO<sub>2</sub> ve SrO.ZrO<sub>2</sub>.TiO<sub>2</sub> Nanofiberlerin Elektrospinning Yöntemi ile Hazırlanması ve Karakterizasyonu. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.836535>
- Prianto, J., Putra, V. G. V., & Mohamad, J. N. (2021). Pembuatan Serat Nano PVA/TiO<sub>2</sub>/Zat Warna Menggunakan Electrospinning Sebagai Sel Surya DSSC Menggunakan Elektroda Kain Fiberglass/Tinta Karbon. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 6(2), 68–74. <https://doi.org/10.35508/fisa.v6i2.6835>
- Wibowo, Z. H. L., Syakir, N., Fitrilawati, F., Faizal, F., & Safriani, L. (2023). Karakteristik Serat Nano PVA Yang Dibuat Menggunakan Electrospinning Dengan Kolektor Statik. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 12(1), 26. <https://doi.org/10.24198/jme.v12i01.43204>