

KARAKTERISTIK SERAT NANO PVA YANG DIBUAT MENGGUNAKAN ELEKTROSPINNING DENGAN KOLEKTOR STATIK

ZANETA HELGA LOVELY WIBOWO¹, NORMAN SYAKIR², FERRY FAIZAL², LUSI SAFRIANI², FITRILAWATI^{2*}

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014

²Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014

Abstrak. Metode elektrospinning adalah metode pembuatan serat nano dengan menggunakan pengaruh medan listrik untuk menghasilkan pancaran larutan polimer yang bermuatan listrik. Pada penelitian ini dilakukan studi pembuatan serat nano polivinil alkohol (PVA) dari larutan PVA dengan berbagai viskositas menggunakan peralatan elektrospinning dengan kolektor statik. Pemindaian menggunakan mikroskop elektron (SEM) menunjukkan bahwa morfologi serat nano yang terbentuk terlihat homogen, kontinu, dan tanpa *bead (beads free)*. Parameter elektrospinning yang digunakan dalam menghasilkan serat nano tersebut adalah parameter tegangan sebesar 15 kV, laju alir 0,5 mL/jam, dengan jarak antara ujung jarum dengan kolektor sebesar 10 cm. Hasil citra SEM tersebut dianalisa menggunakan *software* ImageJ, yang kemudian dilakukan pencocokan (*fitting*) menggunakan *software* Origin untuk mengetahui diameter serat. Diameter rata-rata serat yang dihasilkan dari larutan PVA dengan viskositas 324 mPas, 659 mPas, dan 1.210 mPas adalah berturut-turut 173,79 nm, 189,5 nm, dan 315,73 nm. Tampak bahwa semakin besar viskositas larutan PVA yang digunakan maka diameter dari serat nano yang dihasilkan juga semakin besar.

Kata kunci: PVA, serat nano, elektrospinning, viskositas, diameter

Abstract. The electrospinning method is a method for making nanofiber by using the influence of an electric field to produce an emission of an electrically charged polymer solution. In this research, a study was conducted on the manufacture of polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers from PVA solutions with various viscosities using electrospinning equipment with a static collector. The parameters for electrospinning process are voltage setting up of 15 kV, a flow rate of 0.5 mL/hour, and a distance between the needle and the collector of 10 cm. The morphology of the samples was observed using scanning electron microscopy (SEM) and shows that the morphology of nanofiber is homogeneous, continuous, and without beads (beads free). From SEM images and ImageJ software, followed by fitting using Origin software, it was found that the average fiber diameter from PVA solution with a viscosity of 324 mPas, 659 mPas, and 1,210 mPas were respectively 173.79 nm, 189.5 nm, and 315.73 nm. It appears that the higher viscosity of PVA solution produce a larger nanofibers diameter.

Keywords: PVA, fiber, electrospinning, viscosity, diameter

1. Pendahuluan

Teknik elektrospinning adalah proses pembuatan serat berukuran nano (*nanofiber*) secara efisien dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik untuk menghasilkan pancaran larutan polimer yang bermuatan listrik. Keuntungan dari metode ini adalah peralatan yang relatif sederhana dan biaya yang murah dibandingkan dengan metode lain. Prinsip kerja dari teknik elektrospinning adalah penyemprotan larutan polimer yang ada di dalam tabung dengan kecepatan konstan yang dapat diatur, kemudian polimer tersebut keluar melalui lubang jarum yang kemudian ditarik dengan energi elektrostatik dari tegangan listrik arus DC, dan serat yang terbentuk terkumpul pada layar kolektor [1]. Ada tiga kelompok parameter yang mempengaruhi karakteristik serat yang terbentuk yaitu larutan, proses, dan lingkungan. Parameter larutan meliputi konsentrasi, berat molekul, viskositas,

*email : fitrilawati@phys.unpad.ac.id

tegangan permukaan, dan konduktivitas larutan. Parameter proses meliputi tegangan, laju aliran, dan jarak kolektor ke ujung jarum. Parameter lingkungan meliputi suhu dan kelembaban. Optimasi yang dilakukan pada beberapa parameter tersebut dapat menghasilkan serat nano dengan karakteristik yang diharapkan dan disesuaikan dengan aplikasi.

Polivinil alkohol (PVA) adalah polimer ramah lingkungan yang dapat larut dalam air, tidak beracun, dengan sifat pembentukan lapisan yang baik, dan dapat terdegradasi relatif mudah. Polimer PVA diperoleh dari polimerisasi *vinyl acetate* dan hidrolisis dari *polyvinyl acetate*. PVA banyak digunakan di bidang pengemasan makanan, pembuatan lapisan, farmasi, jaringan biologis, komposit, dan lain-lain. Sebagai bahan membran, PVA dianggap menarik karena memiliki hidrofilitas yang tinggi, bersifat permeabilitas terhadap air, sifat mekanik yang baik seperti ketahanan termal dan kimia yang tinggi, potensi *anti-fouling*, dan kemampuan membentuk lapisan tipis [2].

Artikel ini akan membahas hasil studi pembuatan serat nano PVA dengan metode elektrospinning yang menggunakan kolektor statik dari larutan PVA dengan berbagai variasi konsentrasi. Seperti yang diketahui, variasi konsentrasi akan menghasilkan variasi viskositas yang merupakan salah satu parameter larutan pada metode elektrospinning. Dalam penelitian yang dilakukan dikaji kaitan parameter tersebut dengan pembentukan *beads* dan distribusi dari diameter serat nano PVA yang dihasilkan.

2. Eksperimen

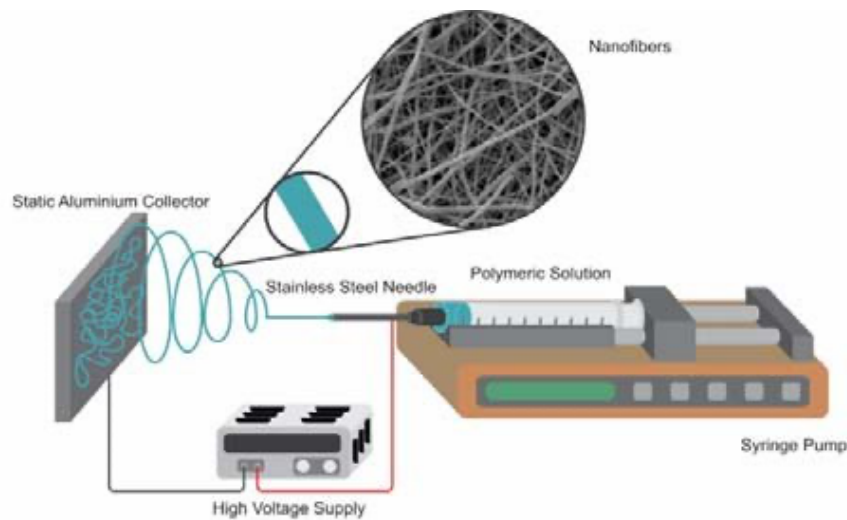
Bahan yang digunakan pada penelitian adalah serbuk PVA sebagai bahan utama, *deionized water* sebagai pelarut, lembaran *stainless steel* dengan ukuran 2,5 cm × 1,5 cm sebagai substrat, serbuk Al₂O₃ sebagai bahan *polish* substrat, *aquades*, *ethanol*, *isopropanol*, dan *acetone* sebagai bahan untuk membersihkan substrat. Alat yang digunakan adalah peralatan elektrospinning, *syringe*, jarum dengan ukuran diameter 0,8 mm, aluminium foil, pinset, botol vial, *beaker glass*, viskometer, dan *ultrasonic cleaner*.

Langkah pertama untuk menghasilkan serat nano PVA adalah penyiapan larutan PVA dengan mencampurkan serbuk PVA dan *deionized water*, lalu diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 90°C dan kecepatan putaran 500 rpm. Pengadukan dilanjutkan selama 2 jam sampai larutan homogen. Kemudian viskositas dari masing-masing larutan diukur dengan menggunakan viskometer. Dalam penelitian ini dibuat larutan PVA dengan konsentrasi berat 10%, 12%, dan 14%, yaitu dengan mencampurkan 2,22gram, 2,72gram, 3,25gram serbuk PVA ke dalam 20 mL *deionized water*. Langkah selanjutnya adalah penyiapan substrat. Lembaran *stainless steel* di-*polish* dengan serbuk Al₂O₃, kemudian substrat dipotong dengan ukuran 2,5 cm × 1,5 cm. Selanjutnya substrat dibersihkan lagi menggunakan akuades, *ethanol*, dan *isopropanol* dalam *ultrasonic cleaner* dengan suhu 40°C selama 15 menit. Substrat kemudian dikeringkan dengan mencelupkannya ke dalam *acetone* yang dipanaskan pada suhu 50°C.

Pembuatan serat nano PVA menggunakan peralatan elektrospinning dengan kolektor statik yang diperlihatkan pada Gambar 1. Peralatan elektrospinning tersebut terdiri dariudukan elektrospinning sebagai tempat diletakkannya *syringe*, kolektor statik sebagai tempat mengumpulnya serat yang terbentuk, *syringe pump* untuk mengontrol laju alir dari polimer yang dikeluarkan, sumber tegangan tinggi DC sebagai sumber tegangan yang akan menarik polimer dari jarum.

Pembuatan serat nano dilakukan dengan memasang substrat yang sudah bersih pada *collector* dan larutan PVA dimasukkan kedalam *syringe* 1 mL. Kemudian *syringe* yang berisi larutan PVA tersebut diletakkan pada dudukan elektrospinning. Proses pembuatan serat nano dilakukan pada

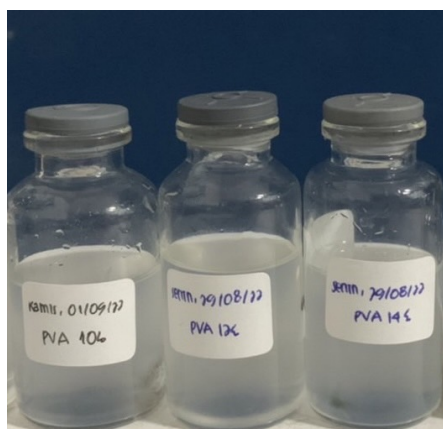
tegangan 15 kV, laju alir 0,5 mL/h, dan jarak antara ujung jarum dan kolektor sejauh 10 cm. Pada proses tersebut diharapkan serat nano yang terbentuk menempel pada substrat yang ada pada kolektor. Serat PVA yang dihasilkan dikarakterisasi dengan SEM untuk mengamati morfologinya. Kemudian hasil SEM diolah dengan *software* ImageJ untuk menentukan distribusi diameter dari serat yang didapatkan dengan jumlah *sampling* 100 serat. Data tersebut kemudian di-*fitting* dengan fungsi Gaussian menggunakan *software* origin.



Gambar 1. Skema peralatan elektrospinning dengan kolektor statik [3]

3. Hasil dan Diskusi

Larutan PVA yang digunakan untuk pembuatan serat nano tampak cukup kental seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Viskositas dari masing-masing larutan PVA dengan konsentrasi 10 w/w%, 12 w/w%, dan 14 w/w% tersebut yang diukur dengan viskometer diperlihatkan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut terlihat bahwa viskositas dari larutan PVA meningkat ketika konsentrasi larutan dinaikkan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak molekul polimer dalam larutan, maka interaksi antar rantai polimer akan semakin banyak [4]. Pada eksperimen yang dilakukan, serat akan mulai terbentuk ketika *taylor cone* muncul pada larutan yang terdapat pada ujung jarum. *Taylor cone* tersebut muncul akibat adanya gaya elektrostatis dan medan listrik yang mengarah pada kolektor, sehingga terjadi akumulasi densitas muatan akibat medan listrik yang menyebabkan muatan-muatan bergerak ke ujung meniskus, sehingga terbentuklah droplet berbentuk kerucut (*Taylor cone*) [5]. Pembentukan *taylor cone* dipengaruhi oleh parameter proses pada elektrospinning, seperti tegangan dan laju alir.



Gambar 2. Larutan PVA dalam air dengan berbagai konsentrasi

Eksperimen dengan tegangan 15 kV telah dapat menghasilkan serat PVA, yang mengindikasikan pada nilai tegangan tersebut, *taylor cone* terbentuk pada ujung jarum. Kestabilan *taylor cone* dipengaruhi oleh parameter lain dalam elektrospinning yaitu laju alir, sehingga untuk tegangan tertentu diperlukan laju alir yang optimal. Pada penelitian ini laju alir yang digunakan adalah 0,5 mL/jam, karena pada laju alir tersebut *taylor cone* yang terbentuk terpantau stabil. Salah satu parameter yang penting dalam proses elektrospinning adalah jarak antara ujung jarum ke kolektor. Jarak dapat mempengaruhi diameter dan morfologi serat karena dapat menentukan waktu deposisi, tingkat penguapan, kestabilan pancaran (jet) polimer. Pada umumnya jarak antara ujung jarum dengan kolektor adalah antara 5 sampai dengan 25 cm.

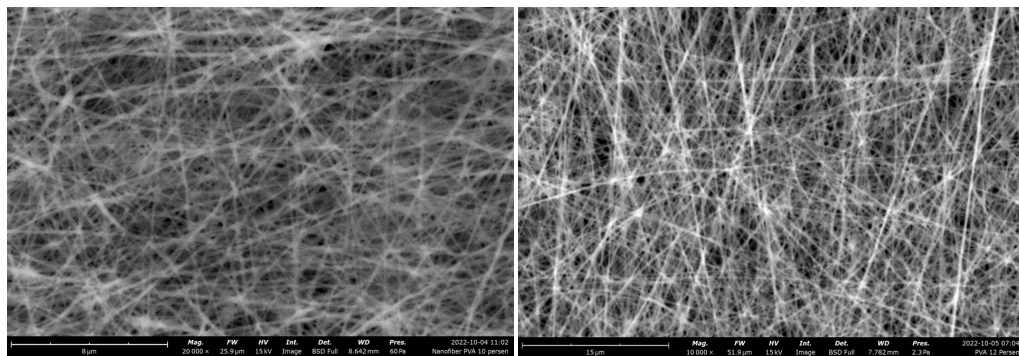
Tabel 1. Viskositas berbagai konsentrasi larutan PVA dalam air

Konsentrasi Larutan (% w/w)	Viskositas Larutan (mPas)
10	324
12	659
14	1210

Gambar 3 menunjukkan bentuk fisik dari lapisan serat nano PVA yang dihasilkan menggunakan peralatan elektrospinning dengan kolektor statik. Pada gambar tersebut terlihat bahwa lapisan yang dihasilkan homogen dan tebal, sehingga dapat dilepaskan dari substrat *stainless steel* yang terdapat pada kolektor. Morfologi lapisan serat PVA yang diamati melalui karakterisasi SEM memperlihatkan bahwa serat PVA yang dihasilkan dari berbagai konsentrasi larutan PVA tersebut tampak tanpa *beads* (*beads free*), kontinu, dan homogen seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Dari hasil SEM tersebut terlihat pola serat mengumpul pada kolektor tidak selaras atau berorientasi secara acak. Hal ini dapat berkaitan dengan kolektor yang digunakan, yaitu kolektor statik. Untuk mendapatkan serat yang sejajar, dapat digunakan kolektor yang berputar seperti *drum collector* [6]. Hasil citra SEM tersebut diolah dengan software ImageJ sebagai alat bantu untuk mengukur diameter serat. Ukuran diameter yang sudah didapatkan kemudian dikelompokkan dengan rentang 20. Dari rentang tersebut didapatkan frekuensi dari ukuran diameter serat, dan kemudian divisualisasikan dalam bentuk histogram seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Kemudian dari histogram tersebut, dilakukan fitting dengan menggunakan fungsi Gauss, dan didapatkan nilai diameter rata-rata dan standar deviasi dari serat.

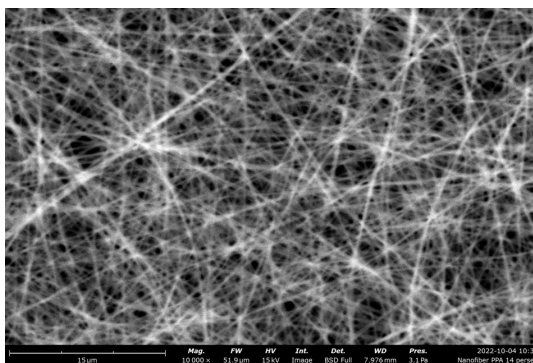


Gambar 3. Bentuk fisik lapisan serat nano PVA



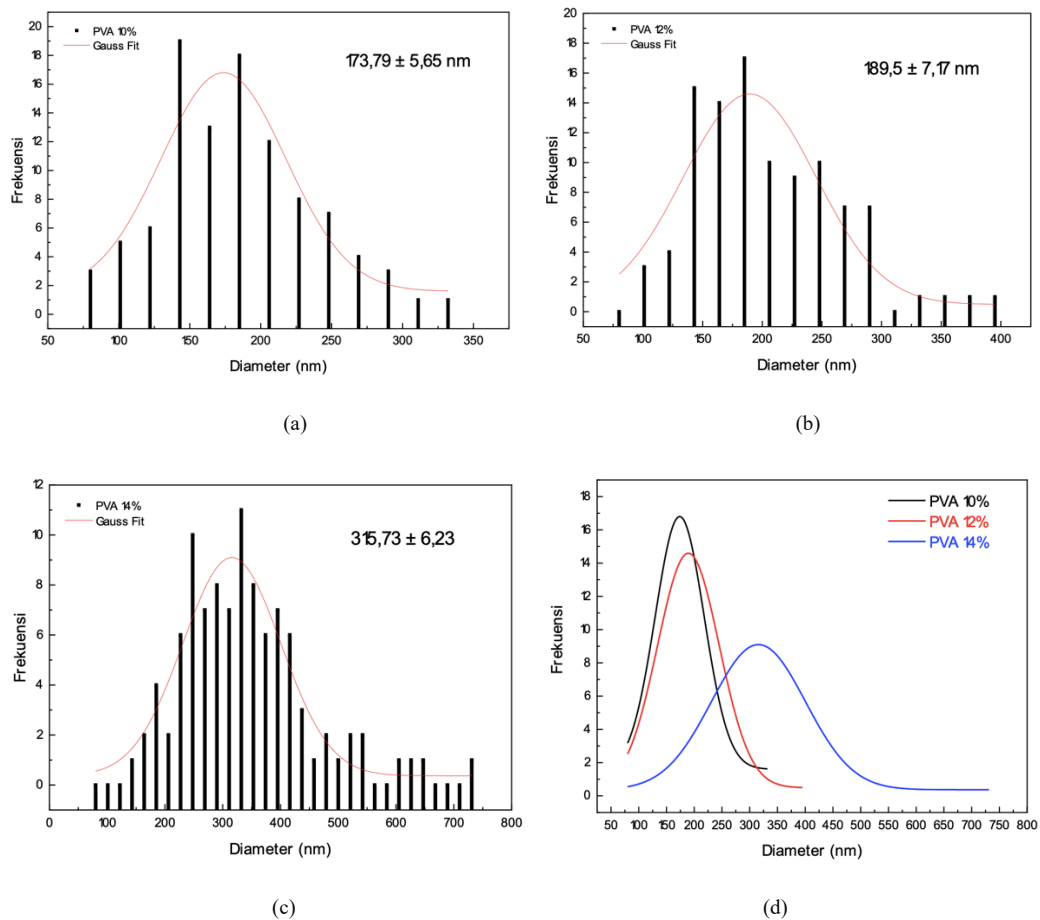
(a)

(b)



(c)

Gambar 4. Morfologi permukaan serat nano PVA konsentrasi (a) 10 w/w%, (b) 12 w/w%, (c) 14 w/w%



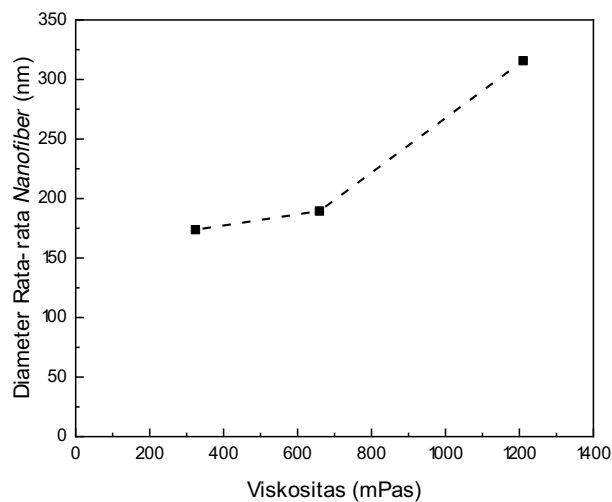
Gambar 5. Hasil *fitting* histogram distribusi diameter dari serat nano PVA (a) 10 w/w%, (b) 12 w/w%, (c) 14 w/w%

Berdasarkan hasil *fitting*, didapatkan nilai diameter rata-rata dan standar deviasi dari serat PVA yang dihasilkan seperti diperlihatkan pada Tabel 2. Dari data pada tabel tersebut dapat tampak adanya kenaikan dari diameter rata-rata serat seiring bertambahnya viskositas dari larutan PVA. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan konsentrasi larutan yang menyebabkan peningkatan ikatan antar rantai polimer, yang mengakibatkan gaya elektrostatik dari sumber tegangan DC yang diterapkan sulit menarik larutan untuk mengalami elongasi atau pemanjangan serta penipisan sehingga dihasilkan diameter serat yang lebih besar.

Korelasi antara diameter dari serat nano PVA yang dihasilkan dengan viskositas larutan PVA yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 6. Larutan PVA dengan viskositas yang lebih tinggi akan menghasilkan serat dengan diameter yang lebih besar. Secara keseluruhan, serat yang dihasilkan sudah menunjukkan tidak adanya *beads*. Hal ini berkaitan dengan konsentrasi atau viskositas dari larutan PVA yang digunakan sudah sesuai dengan jarak antara ujung jarum dengan kolektor, tegangan dan laju alir yang diterapkan. *Beads* dapat terbentuk karena adanya tetesan yang terjadi selama proses elektrospinning akibat viskositas larutan polimer yang digunakan rendah.

Tabel 2. Distribusi diameter untuk serat nano PVA yang dihasilkan dari larutan PVA dengan berbagai konsentrasi

Viskositas Larutan (mPas)	Diameter Rata-rata (nm)	Standar Deviasi (nm)	Keterangan
PVA 10%	173,79 ± 5,65	88,04 ± 16,56	Tanpa <i>beads</i> , kontinu, homogen
PVA 12%	189,5 ± 7,17	111,2 ± 20,66	Tanpa <i>beads</i> , kontinu, homogen
PVA 14%	315,73 ± 6,23	169,66 ± 15,81	Tanpa <i>beads</i> , kontinu, homogen

**Gambar 6.** Korelasi antara diameter rata-rata serat nano PVA dengan viskositas larutan PVA yang digunakan

4. Kesimpulan

Konsentrasi dari larutan polimer merupakan faktor utama yang mempengaruhi karakteristik morfologi dan diameter dari serat yang dihasilkan dengan teknik elektrospinning dengan kolektor statik. Meningkatnya konsentrasi PVA yang diikuti dengan peningkatan viskositas larutan, menyebabkan diameter serat yang dihasilkan semakin besar. Hasil SEM menunjukkan pola serat PVA mengumpul pada kolektor berorientasi secara acak yang berkaitan dengan kondisi kolektor yang statik. Untuk mendapatkan serat PVA yang halus dan seragam, parameter dari konsentrasi atau viskositas larutan, tegangan, laju alir, dan jarak antara jarum dan kolektor harus diperhatikan. Pada penelitian ini, untuk konsentrasi berat larutan 10%, 12%, dan 14% dengan laju alir 0.5 mL/jam, tegangan 15 kV, dan jarak antara ujung jarum dengan kolektor 10 cm, diidentifikasi sudah tidak ada *beads*.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) nomor kontrak 2064/UN6.3.1/PT.00/2022 tanggal 17 Maret 2022.

Daftar Pustaka

- [1] S. Ramakrishna, K. Fujihara and W. Teo. (2005). *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*. World Scientific Publisher: Singapore. Chap. 3, pp. 90-154.
- [2] D. H. Kusumawati, et. al. (2021). *Synthesis of Nanofiber Polyvinyl Alcohol (PVA) with Electrospinning Method*. *J. Phys.:Conf. Ser.*, vol. 2110, no. 012010, pp. 1-8.
- [3] R. Hernandez, A. Sarafian, D. Lopez and C. Mijangos. (2004). *Viscoelastic properties of poly (vynil alcohol) hydrogels and ferrogels obtained through freezing-thawing cycles*. *Journal of Polymer*, vol. 45, no. 16, pp. 5543-5549.
- [4] M. R. Hashmet, M. Onur and I. M. Tan. (2014). *Empirical Correlations for Viscosity of Polyacrylamide Solutions with the Effects of Concentration, Molecular Weight and Degree of Hydrolysis of Polymer*. *Journal of Applied Sciences*, vol. 14, no. 10, pp. 1000-1007.
- [5] T. I. Sari. (2018). *Optimasi Nanofiber Hasil Electrospinning*. *Skripsi Sarjana*. Fisika FMIPA ITS.
- [6] N. E. Zander. (2013). *Hierarchically Structured Electrospun Fibers*. *Polymers*, vol. 5, no. 1, pp. 19-44.
- [7] E. José Torres Martínez, J. M. C. Bravo, G. L. Pérez-González, L. E. G. Pineda, L. J. V. Gómez and N. Bogdanchikova. (2019). *Drug Delivery Systems Based on An Inclusion Complex of Cyclodextrin-Sildenafil Citrate Incorporated in Electrospun Fibers for the Treatment of Pulmonary Arterial Hypertension*. *Número Especial de la Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada*, vol. 7, no. 14, pp. 361-365.