

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI PENGARUH VARIASI BERAT SiO₂
PADA PEMBUATAN MEMBRAN NANOFIBER PVA/SiO₂
MENGUNAKAN METODE *ELECTROSPINNING***

(Skripsi)

Oleh

**Andrean Johandra
1917041041**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI PENGARUH VARIASI BERAT SiO₂ PADA PEMBUATAN MEMBRAN NANOFIBER PVA/SiO₂ MENGUNAKAN METODE *ELECTROSPINNING*

Oleh

ANDREAN JOHANDRA

Telah dibuat membran *nanofiber* PVA/SiO₂ dengan menggunakan metode *electrospinning*. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis membran *nanofiber* PVA/SiO₂ dengan variasi berat SiO₂ dan mengetahui pengaruh variasi penambahan SiO₂ pada PVA dari membran *nanofiber* PVA/SiO₂ terhadap porositas, gugus fungsi dan morfologi. Variasi SiO₂ yang digunakan adalah 0, 2, 3, 5 wt%. Proses *electrospinning* dilakukan pada tegangan 20 kV dengan laju alir 2,5 ml/jam. Kemudian membran *nanofiber* yang terbentuk dimasukkan ke dalam oven pada suhu 80°C selama 8 jam. Membran *nanofiber* PVA/SiO₂ diuji porositasnya dan dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transformed Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Besar viskositas larutan PVA/SiO₂ dengan variasi SiO₂ yang digunakan 0, 2, 3, 5 wt% masing-masing adalah 0,8; 0,9; 1; 1,4 Pa.s. Besar tegangan permukaan larutan PVA/SiO₂ masing-masing adalah (29 ± 5); (36 ± 5); 39; 39 dyn/cm. Hasil uji porositas membran *nanofiber* PVA/SiO₂ pada sampel PVA/SiO₂-0%, PVA/SiO₂-2%, PVA/SiO₂-3%, PVA/SiO₂-5% masing-masing sebesar 65,7; 74,2; 77,7; 96,5%. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus OH, C-H, CH₂, C-OH, dan Si-OH. Hasil Karakterisasi SEM pada sampel PVA/SiO₂-0%, PVA/SiO₂-2%, PVA/SiO₂-3%, PVA/SiO₂-5% masing-masing adalah (200 ± 43), (262 ± 85), (311 ± 135), dan (381 ± 180) nm. Hasil analisis EDX menunjukkan kehadiran unsur C, O, dan Si.

Kata kunci: *electrospinning*, membran *nanofiber* PVA/SiO₂, variasi SiO₂, PVA.

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF THE EFFECT OF WEIGHT VARIATION OF SiO₂ IN THE MANUFACTURE OF PVA/SiO₂ NANOFIBER MEMBRANES USING THE ELECTROSPINNING METHOD

By

ANDREAN JOHANDRA

A PVA/SiO₂ nanofiber membrane has been made using the electrospinning method. This study aims to synthesis PVA/SiO₂ nanofiber membranes with variations in SiO₂ weight and determine the effect of variations in the addition of SiO₂ to PVA from PVA/SiO₂ nanofiber membranes on porosity, functional groups and morphology. SiO₂ variation used is 0, 2, 3, 5 wt%. The electrospinning process was carried out at a voltage of 20 kV with a flow rate of 2,5 ml/hour. Then the nanofiber membrane formed was put into the oven at 80°C for 8 hours. PVA/SiO₂ nanofiber membranes were tested for porosity and characterized using Fourier Transformed Infrared (FTIR) and Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). The viscosity of the PVA/SiO₂ solution with variations of SiO₂ used 0, 2, 3, 5 wt% were 0,8; 0,9; 1; 1,4 Pa.s. The surface tension of each PVA/SiO₂ solution is (29 ± 5); (36 ± 5); 39; 39 dyn/cm. The results of the PVA/SiO₂ nanofiber membrane porosity test on PVA/SiO₂-0%, PVA/SiO₂-2%, PVA/SiO₂-3%, PVA/SiO₂-5% samples were 65,7; 74,2; 77,7; 96,5%. FTIR characterization results showed the presence of OH, C-H, CH₂, C-OH, and Si-OH groups. SEM characterization results on samples PVA/SiO₂-0%, PVA/SiO₂-2%, PVA/SiO₂-3%, PVA/SiO₂-5% were (200 ± 43), (262 ± 85), (311) ± 135), and (381 ± 180) nm. The results of the EDX analysis indicated the presence of C, O, and Si elements.

Keyword: electrospinning, PVA/SiO₂ nanofiber membrane, variations of SiO₂, PVA.

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI PENGARUH VARIASI BERAT SiO₂
PADA PEMBUATAN MEMBRAN NANOFIBER PVA/SiO₂
MENGUNAKAN METODE *ELECTROSPINNING***

Oleh
ANDREAN JOHANDRA

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
Sarjana Sains

Pada

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **SINTESIS DAN KARAKTERISASI
PENGARUH VARIASI BERAT SiO₂
PADA PEMBUATAN MEMBRAN
NANOFIBER PVA/SiO₂
MENGUNAKAN METODE
ELECTROSPINNING**

Nama Mahasiswa : **Andrean Johandra**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1917041041**


Program Studi : **Sarjana Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

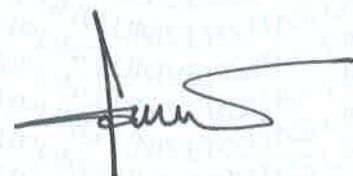


1. Komisi Pembimbing


Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.
NIP. 19590308 199103 1 001


Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si.
NIP. 19900616 201903 1 016

2. Ketua Jurusan Fisika



Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010 200501 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

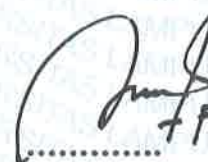
Ketua

: **Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.**



Sekretaris

: **Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si.**



Penguji

Bukan pembimbing

: **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Mei 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul “**SINTESIS DAN KARAKTERISASI PENGARUH VARIASI BERAT SiO₂ PADA PEMBUATAN MEMBRAN NANOFIBER PVA/SiO₂ MENGGUNAKAN METODE ELECTROSPINNING**” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 29 Mei 2023



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Andryan Johandra".

Andryan Johandra
NPM. 1917041041

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Way Kanan, pada 27 April 2001. Anak pertama dari pasangan Bapak Hendra Farlin dan Ibu Amrina. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 01 Banjit pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Banjit pada tahun 2016, Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Baradatu pada tahun 2019.

Selanjutnya, penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur SBMPTN. Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Lampung pada tahun 2022 dan telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Desa Pematang Tahalo, Kecamatan Jabung, Lampung Timur. Selama menjadi mahasiswa, penulis memiliki berbagai prestasi diantaranya yaitu mendali emas bidang matematika Olimpiade Sains Mahasiswa tingkat Mahasiswa dan Perguruan Tinggi Se-Indonesia pada tahun 2020, mendali perak bidang matematika Kompetisi Sains Indonesia tingkat Mahasiswa Se-Indonesia pada tahun 2021, finalis lomba Borneo Photo Challenge tingkat Nasional pada tahun 2021, juara 1 lomba video twibbon tingkat FMIPA pada tahun 2021, Kompetisi Film Mahasiswa tingkat FMIPA pada tahun 2021, mendali perunggu bidang matematika tingkat Perguruan Tinggi oleh Divya

Competition 3.0 pada tahun 2022, mendali emas bidang fisika National Science & Social Competition 2.0 pada tahun 2022, mendali emas bidang fisika Universitas Islam Sumatra Utara Science Competition pada tahun 2022, mendali emas bidang fisika Kompetisi Sains Pelajar Se-Indonesia pada tahun 2022 dan juara 1 Kompetisi Wirausaha Muda Pemula Dies Natalis ke-33 FMIPA UNILA pada tahun 2022.

Selain itu, penulis aktif di berbagai kegiatan kampus seperti Himpunan Mahasiswa Fisika pada tahun 2019-2021, Rohani Islam pada tahun 2019-2020, dan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada tahun 2021. Kemudian menjadi ketua bidang komunikasi dan informasi pada tahun 2021. Penulis juga menjadi asisten praktikum Fisika Dasar I pada tahun 2022, menjadi asisten praktikum komposit pada tahun 2023 dan menjadi asisten praktikum logam dan korosi pada tahun 2023.

MOTTO

Tanpa sasaran dan rencana meraihnya, Anda seperti kapal yang berlayar tanpa tujuan

(Fitzhugh Dodson)

Tetapkan tujuan, tantang diri Anda, dan capai tujuan tersebut. Hiduplah dengan sehat dan hitunglah setiap waktu yang Anda miliki. Bangkitlah mengatasi rintangan dan fokus pada hal yang positif

(Robbert H. Goddard)

Perhatikan pikiran anda karena itu menjadi kata-kata, hati-hati dengan ucapan anda, karena mereka akan menjadi nyata, perhatikan tindakan anda karena mereka menjadi kebiasaan, perhatikan kebiasaan anda karena mereka menjadi karakter, dan perhatikan karakter anda untuk itu menjadi takdir anda

(Margaret Thatcher)

Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu, dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu

(Umar bin Khattab)

Saat kamu sudah mengerti makna dari kata SABAR maka kamu akan mendapatkan apa yang kamu inginkan

(Andrean Johandra)

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah SWT, aku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang aku cintai:

Ibuku Tercinta

Amrina

Atas pengorbanan, kesabaran dan kasih sayang dalam membimbing, mendidik, dan menyemangati dengan do'a yang tiada kesudahan. Terima kasih aku ucapkan tiada hentinya.

Ayah dan Adik-adikku Tercinta

Atas dukungan, do'a tiada henti dan keceriaan yang kalian berikan.

Universitas Lampung

Almamater Tercinta

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa, yang telah memberikan kemudahan, kelancaran dan berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Sintesis dan Karakterisasi Pengaruh Variasi Berat SiO₂ pada Pembuatan Membran Nanofiber PVA/SiO₂ Menggunakan Metode *Electrospinning***”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir (TA) dan juga syarat memenuhi salah satu mata kuliah wajib di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun guna dalam penulisan berikutnya yang lebih baik. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 29 Mei 2023

Andrean Johandra

SANWACANA

Assalamu 'alikum Wr.Wb

Puji dan puja syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, nikmat sehat dan nikmat islam sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan kerendahan hati dan ketulusan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing I yang telah bersedia memberikan bimbingan, saran, motivasi, ilmu, dan nasehat kepada penulis saat proses perkuliahan, penelitian dan kepenulisan skripsi.
2. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu selama perkuliahan.
3. Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing II yang sudah banyak memberikan waktunya selama perkuliahan, penelitian, dan kepenulisan skripsi serta memberikan nasehat dan motivasi kepada penulis yang sangat berharga selama menyusun skripsi. Selain itu, memberikan bantuan material yang berasal dari dana Hibah Penelitian Dasar Unila Tahun 2022.
4. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Penguji yang telah berkenan memberikan saran dan kritikan yang membangun kepada penulis.

5. Orang tua penulis Bapak Edison dan Ibu Amrina yang selalu memberikan dukungan penuh dan do'a yang tiada henti.
6. Adikku Eka Rahmat Abdul Aji dan Nurjannah Muchalifah yang selalu menghiburku.
7. Kakekku Hi. Marhum yang telah mendo'akanku dan bibiku Vivi Marlina yang selalu membantuku.
8. Teman perjuangan "Bismillah Sukses" Muhammad Rizki, Fegi Liani, Linda Herviana, dan Hikmah Nurcahayaniati yang selalu membantu, memberikan semangat dan sebagai pendengar yang baik
9. Sahabatku Daffa Abdul Malik, Arin Sadita, Gina Salsabila, Aquarisma Diansari, Chairunissa Ananda Benyamin, Meysi Meilani Putri, dan Putra Riski Utama yang selalu memberikan bantuan, dukungan, menjadi pendengar yang baik.
10. Tim Riset *Nanofiber* Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. Risky Ponco Rahmadi, dan TB Ikhwan Rifansyah.
11. Teman-teman jurusan fisika angkatan 2019.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan biat baik yang telah diberikan.

Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Bandar Lampung, 29 Mei 2023

Andrean Johandra

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
HALAMAN PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	x
HALAMAN PERSEMBAHAN	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. PVA.....	6
2.2. Silika Sekam Padi	7
2.3. <i>Nanofiber</i>	9

2.4. Membran	11
2.5. <i>Electrospinning</i>	13
2.6. <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	17
2.7. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	19

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2. Alat dan Bahan.....	23
3.3. Prosedur Penelitian	23
4.4 Diagram Alir	31

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pembuatan Larutan PVA/SiO ₂	32
4.2. Kekentalan dan Tegangan Permukaan Larutan PVA/SiO ₂	33
4.3. Hasil Membran <i>Nanofiber</i> PVA/SiO ₂ dari Proses <i>Electrospinning</i>	34
4.4. Hasil Uji Porositas Membran <i>Nanofiber</i> PVA/SiO ₂	36
4.5. Hasil Karakterisasi FTIR	37
4.6. Hasil Analisis Morfologi Permukaan, Ukuran Diameter dan Komposisi Unsur Membran <i>Nanofiber</i> PVA/SiO ₂	39

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Struktur Kimia PVA	6
Gambar 2.2. Morfologi <i>Nanofiber</i> PVA/SiO ₂	10
Gambar 2.3. Penampang membran simetris dan asimetris.....	12
Gambar 2.4. Skema dasar susunan <i>electrospinning</i>	14
Gambar 2.5. Spektrum FTIR pada PVA/SiO ₂ -1, PVA/SiO ₂ -2.....	19
Gambar 2.6. Alat SEM	20
Gambar 2.7. Gambar SEM membran separator a). PVA, b) PVA/SiO ₂ (0,6 wt%), c). PVA/SiO ₂ (1,2 wt %), d) PVA/ (2 wt %).....	22
Gambar 3.1. Mengukur Viskositas	25
Gambar 3.2. Skema Tensiometer	26
Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan silika.....	30
Gambar 3.4. Diagram alir pembuatan membran <i>nanofiber</i> PVA/SiO ₂	31
Gambar 4.1. Hasil pembuatan (a) larutan PVA/SiO ₂ -0 wt%, (b) larutan PVA/SiO ₂ -2 wt%, (c) larutan PVA/SiO ₂ -3 wt%, (d) larutan PVA/SiO ₂ -5 wt%	32
Gambar 4.2. Membran <i>nanofiber</i> PVA/SiO ₂ hasil <i>electrospinning</i> (a) PVA/SiO ₂ -0%, (b) PVA/SiO ₂ -2%, (c) PVA/SiO ₂ -3%, (d) PVA/SiO ₂ -5%	35

Gambar 4.3. Hasil karakterisasi FTIR membran <i>nanofiber</i> PVA/SiO ₂ dengan variasi (a) PVA/SiO ₂ -0%, (b) PVA/SiO ₂ -2%, (c) PVA/SiO ₂ -3%, PVA/SiO ₂ -5%	38
Gambar 4.4. Morfologi permukaan dan grafik distribusi ukuran diameter <i>nanofiber</i> PVA/SiO ₂ (a) sampel PVA/SiO ₂ -0%, (b) sampel PVA/SiO ₂ -2%, (c) sampel PVA/SiO ₂ -3%, dan (d) PVA/SiO ₂ -5%	41
Gambar 4.5. Komposisi unsur membran <i>nanofiber</i> PVA/SiO ₂ sampel PVA/SiO ₂ -5%	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Sifat kimia PVA	7
Tabel 2.2. Sifat Fisika PVA.....	7
Tabel 2.3. Karakteristik Silika.....	8
Tabel 4.1. Data pengukuran viskositas larutan.....	33
Tabel 4.2. Hasil Uji porositas membran <i>nanofiber</i> PVA/SiO ₂	36

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Membran berasal dari bahasa latin “membrana” yang artinya kulit. Namun, sebutan membran sudah diperluas untuk menggambarkan suatu lembaran tipis yang fleksibel. Lembaran tipis tersebut berfungsi sebagai pemisah selektif antara dua fasa karena bersifat semipermeabel (Shaposhnik, 2002). Pengaplikasian membran banyak dibidang teknologi, salah satunya sebagai separator baterai lithium-ion (Sania & Munasir, 2022). Separator merupakan komponen penting untuk meningkatkan kinerja pada baterai (Choudhury *et al.*, 2017).

Separator berfungsi memisahkan elektroda negatif dan elektroda positif pada baterai untuk mencegah korsleting listrik mengaktifkan transportasi ionik selama aliran arus dalam sel elektrokimia (Linden & Reddy, 2002). Berdasarkan eksperimen membran separator dapat dikualifikasikan sebagai pemisah yang baik untuk aplikasi baterai harus memiliki porositas yang tinggi dan diameter pori yang kecil. Nilai porositasnya $>80\%$ dan diameter pori harus $<1 \mu\text{m}$ (Shi *et al.*, 2002). Material yang umum digunakan pada separator komersial adalah polietilen (PE) dan polipropilen (PP) karena memiliki kelebihan berupa stabilitas kimia dan sifat mekanik yang cukup baik Namun, membran PE dan PP memiliki porositas yang rendah, penyerapan elektrolit yang rendah dan tidak stabil pada temperatur yang

tinggi (Li *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2018). Oleh karena itu, saat ini pengembangan material alternatif untuk menggantikan PE dan PP sebagai separator sangat gencar dilakukan. Salah satu material alternatif yang lebih baik ialah *Polyvinyl Alcohol* (PVA). Polimer tersebut memiliki keunggulan dibandingkan dengan polimer lain yaitu mudah larut dalam air, *biodegradable*, ramah lingkungan dan biaya yang lebih murah (Yanilmaz, 2019; Kausar, 2020). Untuk meningkatkan kualitas suatu membran separator adalah membuat membran *nanofiber* melalui PVA yang dikompositkan dengan keramik. Salah satu keramik yang banyak dan melimpah adalah SiO₂. Maka dari itu, dengan membuat membran *nanofiber* berbahan dasar PVA yang dikompositkan dengan dengan SiO₂ dapat menjadi pilihan untuk meningkatkan kualitas membran. Sehingga dapat diaplikasikan dalam berbagai teknologi seperti pada baterai Li-ion.

Di alam SiO₂ sangat melimpah salah satunya terdapat pada sisa hasil pertanian yaitu sekam padi. Silika pada sekam padi memiliki kadar yang cukup tinggi dengan kemurnian dapat mencapai 99,58% (Bakar *et al.*, 2016). Kemurnian silika sekam padi lebih tinggi jika dibandingkan dengan silika yang diperoleh dari batu apung. Kemurnian silika pada batu apung mencapai 96,26% (Manurung *et al.*, 2022). Silika pada sekam padi dapat diperoleh dengan berbagai metode salah satunya ialah metode sol-gel. Metode sol-gel adalah teknik untuk memproduksi partikel dengan kemurnian tinggi dan memungkinkan untuk mengontrol ukuran dan bentuk (Pierre, 1998).

Banyak teknik untuk memproduksi *nanofiber* diantaranya yaitu, pemintalan konjugasi (*conjugate spinning*), system perakitan mandiri (*self-assembly*), pemisahan fasa (*phase separate*), lelehan (*melt-blowing*), dan *electrospinning*

(Ko & Wan, 2014). Dari berbagai teknik dalam produksi *nanofiber* tersebut, *electrospinning* dapat menjadi pilihan sebagai teknik yang tepat karena teknik tersebut merupakan teknik yang cukup sederhana namun dapat membentuk serat dengan ukuran nano (Dersch *et al.*, 2005). Selain itu, *electrospinning* juga menghasilkan *nanofiber* yang kontinu dan dapat diproduksi dalam jumlah yang besar (Bahroum *et al.*, 2019).

Yanilmaz (2019) dan Firdaus *et al.* (2022) berhasil mensintesis membran *nanofiber* PVA/SiO₂ menggunakan metode *electrospinning*. Pencampuran silika dan PVA dapat membentuk jaringan ikat. Tanpa jaringan ikat tersebut, larutan tidak dapat diproses *electrospinning* karena kurangnya keterikatan pada larutan (Pirzada *et al.*, 2012). Pada penelitian Yanilmaz (2019) SiO₂ yang digunakan berupa TEOS yang kemudian ditambahkan ke dalam larutan PVA 16 wt% dengan variasi perbandingan PVA/SiO₂ yaitu 4/1 dan 2/1. Penelitian tersebut menghasilkan membran *nanofiber* dengan porositas yang semakin baik pada kadar SiO₂ yang semakin tinggi. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Firdaus *et al.* (2022) SiO₂ yang digunakan diperoleh dari sekam padi melalui metode sol gel. Kemudian SiO₂ ditambahkan pada larutan PVA 9 wt% dengan variasi berat SiO₂ (0; 0,6; 1,2; 2) wt%. Penelitian ini menghasilkan porositas yang paling baik pada variasi 2 wt% dan menghasilkan ukuran *nanofiber* semakin kecil ketika penambahan silika.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian untuk melihat dan mempelajari bagaimana pengaruh variasi berat SiO₂ (0, 2, 3, 5) wt% pada larutan PVA 12 wt% pembuatan membran *nanofiber* PVA/SiO₂ dengan metode *electrospinning* sehingga menghasilkan membran yang tipis, halus dan memiliki struktur yang sangat berpori. Larutan PVA/SiO₂ akan diuji kekentalannya

(viskositas) dengan menggunakan viscotester VT-04F dan uji tegangan permukaan dengan menggunakan tensiometer. Setelah pengujian larutan, maka larutan digunakan untuk membuat membran *nanofiber* dengan metode *electrospinning*. Membran yang terbentuk kemudian dikarakterisasi. Untuk mengetahui mikrostruktur *nanofiber* dilakukan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM), untuk mengidentifikasi gugus fungsi SiO₂ pada membran *nanofiber* dilakukan karakterisasi *Fourier Transformed Infrared* (FTIR), dan melakukan uji porositas untuk melihat porositas membran yang terbentuk.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi berat SiO₂ pada pembuatan membran *nanofiber* PVA/SiO₂ terhadap porositas?
2. Bagaimana gugus fungsi dari membran *nanofiber* dari PVA/SiO₂ melalui karakterisasi *Fourier Transformed Infrared* (FTIR)?
3. Bagaimana struktur mikro yang terbentuk pada membran *nanofiber* PVA/SiO₂ menggunakan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM)?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis membran *nanofiber* PVA/SiO₂ dengan variasi berat SiO₂.
2. Mengetahui pengaruh variasi penambahan SiO₂ pada PVA dari membran *nanofiber* PVA/SiO₂ terhadap porositas membran melalui uji porositas, gugus fungsi melalui karakterisasi FTIR dan morfologi melalui karakterisasi SEM.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ukuran membran yang di uji yaitu $2 \times 2 \text{ cm}^2$.
2. Penggunaan PVA 12 wt% dan variasi SiO_2 yaitu 0, 2, 3, 5 wt%.
3. Uji porositas.
4. Karakterisasi yang digunakan FTIR dan SEM.

1.5. Manfaat Penelitian

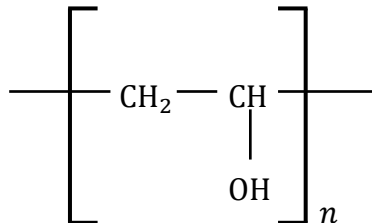
Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi berat SiO_2 pada pembuatan membran *nanofiber* PVA/ SiO_2 .
2. Memberikan pengetahuan baru terhadap perkembangan IPTEK khususnya dalam pembuatan membran separator baterai.
3. Hasil ini dapat digunakan sebagai informasi mengenai pemanfaatan limbah sekam padi sebagai silika dan kemudian menjadi bahan alternatif pada pembuatan membran.
4. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila dibidang Fisika Material.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Polyvinyl Alcohol (PVA)*

Polyvinyl alcohol ditemukan pada tahun 1915 oleh F Klatte (Premaj & Doble, 2005). PVA merupakan polimer sintetik semi-kristalin yang mudah larut dalam air, tidak berwarna, tidak beracun dan dapat terurai secara hayati (Kenawy *et al.*, 2014). Biasanya PVA tersedia dalam bentuk bubuk, butiran atau pelet dan larutan dalam air. Titik lebur PVA adalah 230°C dan memiliki rumus kimia $(C_2H_4OH)_n$ (Aslam *et al.*, 2018). Struktur kimia PVA terlihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. Struktur Kimia PVA (Noezar *et al.*, 2008).

PVA memiliki sifat yang ramah lingkungan sehingga banyak digunakan berbagai aplikasi rumah tangga, medis, industri, termasuk pengemasan makanan, benang tekstil, produk kertas, bahan kimia pengolahan air, bahan kimia pertanian dan lainnya. Hal tersebut dikarenakan PVA memiliki sifat kimia yang disajikan pada **Tabel 2.1** dan sifat fisika yang disajikan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.1. Sifat kimia PVA (Aslam *et al.*, 2018).

Parameter	Deskripsi
Berat molekul	20.000 hingga 400.000 g/mol
Rumus struktur	$(\text{CH}_2\text{CHOH})_n(\text{CH}_2\text{CHOCOCH}_3)_m$
Rumus empiris	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2)_m$
kelarutan	Larut dalam air, tidak larut dalam hidrokarbon alifatik dan aromatik, minyak, keton dan ester.

Tabel 2.2. Sifat Fisika PVA (Aslam *et al.*, 2018).

Sifat fisik	Keterangan
Penampilan	Krim putih, butiran, dan bubuk
Densitas	1,19 – 1,31 g/cm ³
Titik lebur	230°C untuk terhidrolisis penuh 180°C - 190°C untuk terhidrolisis sebagian
Titik didih	228 °C
Stabilitas termal	Perubahan warna pada suhu 100°C, menjadi gelap pada suhu diatas 150°C dan dekomposisi pada suhu 200°C

PVA banyak digunakan untuk menghasilkan *films*, *hydrogels*, *fiber* dan *membrane*. Membran yang terbuat dari PVA dapat diaplikasikan pada baterai, bahan filter dan sel bahan bakar (membran sel bahan bakar adalah alternatif untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik) (Aslam *et al.*, 2018).

2.2. Silika Sekam Padi

Silika adalah material yang sangat penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan industri. Unsur utama dari silika yaitu silikon (Si). Silikon merupakan unsur yang terdapat dikerak bumi. Bentuk senyawa yang banyak ditemui dialam ialah silika (silikon dioksida) dengan rumus molekul SiO₂. Ciri-ciri fisis silika yaitu berbentuk padatan atau serbuk yang halus, berwarna putih, titik didih dan cair yang tinggi, tahan terhadap asam dan basa, serta tidak larut dalam air.

Tabel 2.2. Karakteristik Silika (El-Kareh, 1995).

Nama Mineral	Silikon Dioksida (Silika)
Kordinasi Geometri	Tetrahedral
Bentuknya	Padat
Berat Jenis	2,6 gr/cm ³
Titik Cair	1610°C
Titik Didih	2230°C
Kekerasan	650 kg/mm ²
Kekuatan Teknik	70 MPa
Kekuatan Tarik	110 MPa
Modulus Elastis	73-75 GPa
Resistivitas	>10 ⁻⁷ Ωmm
Konduktivitas Termal	3,2 x 10 ⁻³ W/cm.K
Koefisien Ekspansi Termal	12,3 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹

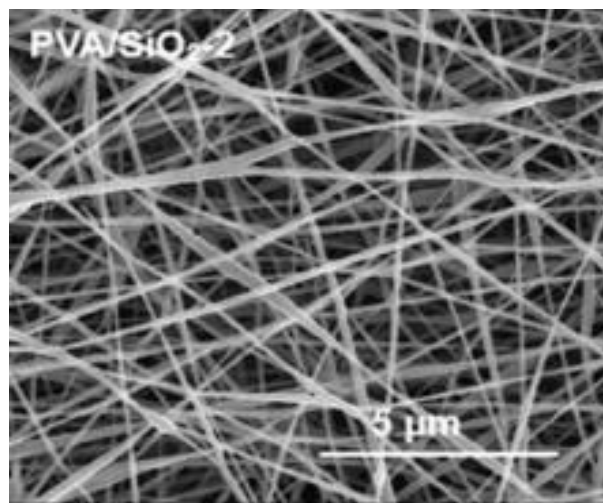
Silika banyak ditemukan di alam salah satunya pada sekam padi. Sekam padi adalah bagian kulit yang terluar atau lapisan keras pembungkus kariopsis (butiran padi). terdiri dari dua belahan lemma dan palea yang saling bertautan. Lapisan tersebut akan terlepas saat proses penggilingan dan menghasilkan sekitar 20% sekam padi. Pada umumnya komponen organik dalam sekam padi memiliki komponen utama yaitu, 33-40 % wt selulosa, 19-47 % wt lignin, dan 17-26 % wt hemiselulosa. Silika pada sekam padi memiliki kadar yang cukup tinggi dengan kemurnian dapat mencapai mencapai 99,58% (Bakar *et al.*, 2016). Sekam padi merupakan residu pertanian yang jumlahnya melimpah, sehingga sekam padi dapat menjadi pilihan sebagai bahan dasar pembuatan silika. Hal ini didasarkan atas tiga faktor yaitu: (i) Ketersediaan sekam padi yang melimpah (ii) Kadar silika dalam sekam dan (iii) Kemudahan perolehan silika dari sekam padi (Sembiring & Simanjuntak, 2015). Silika sekam padi dapat diperoleh dengan metode alkalis dan pengabuan (Sembiring & Simanjuntak, 2015). Metode alkalis disebut juga metode kimia, salah satunya metode sol-gel. Metode sol-gel merupakan teknik untuk memproduksi partikel dengan kemurnian tinggi dan memungkinkan untuk mengontrol ukuran dan

bentuk (Pierre, 1998). Pada metode sol-gel terjadi proses kimia yang melibatkan hidrolisis dan kondensasi alkoksida logam dan garam anorganik (Vansant *et al.*, 1995).

2.3. Nanofiber

Nanofiber atau serat nano merupakan serat dengan diameter 100-500 nm (Subbiah *et al.*, 2005). Secara geometri *nanofiber* termasuk ke dalam kategori material satu dimensi (1D). *Nanofiber* didefinisikan sebagai serat yang memiliki struktur silinder dengan diameter luar <1000 nm. *Nanofiber* tersusun dari serat-serat yang tersambung dan terhubung satu sama lain membentuk pori-pori diantara serat-serat tersebut (Widiyandari *et al.*, 2021). *Nanofiber* memiliki nilai perbandingan luas permukaan dan volume lebih besar seribu kali (10^3) jika dibandingkan dengan serat mikro (Huang *et al.*, 2003). *Nanofiber* memiliki banyak keunggulan diantaranya memiliki struktur pori yang kecil, diameter kecil, Hal tersebut menyebabkan *nanofiber* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti, sensor, filtrasi, aplikasi pelindung, biomedis, biosensor, aplikasi pembangkit energi, elektronik optik, separator baterai, serat optik, sel bahan bakar baterai, film pelapis implan, dan sistem penghantaran obat serta aplikasi kosmetik (Tan & Lim, 2006; Subbiah *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2009; Yoon *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2003; Bhardwaj *et al.*, 2010). Banyak teknik untuk memproduksi *nanofiber* diantaranya yaitu, pemintalan konjugasi (*conjugate spinning*), system perakitan mandiri (*self-assembly*), pemisahan fasa (*phase separate*), lelehan (*melt-blowing*), dan *electrospinning* (Ko & Wan, 2014). Dari berbagai teknik dalam produksi *nanofiber* tersebut *electrospinning* sering digunakan oleh peneliti karena teknik yang

sederhana dan efisien namun dapat membentuk *nanofiber* (Dersch *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2003). Selain itu, *electrospinning* juga menghasilkan *nanofiber* yang kontinyu dan dapat diproduksi dalam jumlah yang besar (Bahroum *et al.*, 2019). Karakteristik *nanofiber* baik bentuk diameter dan struktur permukaan dipengaruhi oleh parameter *electrospinning* (Bhardwaj *et al.*, 2010). Tampilan morfologi *nanofiber* hasil penelitian Nirwan *et al.* (2020) dari larutan PVA/SiO₂ dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2. Morfologi *nanofiber* PVA/SiO₂ (Yanilmaz, 2019).

Pada **Gambar 2.2** terlihat morfologi permukaan *nanofiber* PVA/SiO₂ berhasil diperoleh dengan menggunakan teknik *electrospinning*. Keberhasilan tersebut diperlihatkan oleh bentuk serat yang kontinyu dan ukuran yang relatif seragam dengan tidak adanya manik yang terbentuk.

2.4. Membran

Membran berasal dari Bahasa latin “membrana” yang artinya kulit. namun saat ini sebutan membran sudah diperluas untuk menggambarkan suatu lembaran tipis fleksibel dan bertindak sebagai pemisah selektif antara dua fase karena bersifat semipermeabel (Shaposhnik, 2002).

Membran dapat diklasifikasikan beberapa hal (Mulder, 1996), yaitu:

1. Material membran

a. Membran alam merupakan membran yang terdapat pada jaringan tubuh makhluk hidup. Membran pada jaringan tersebut berfungsi sebagai pelindung sel dari pengaruh lingkungan dan membantu pada proses metabolisme dari sifat permeabilitasnya.

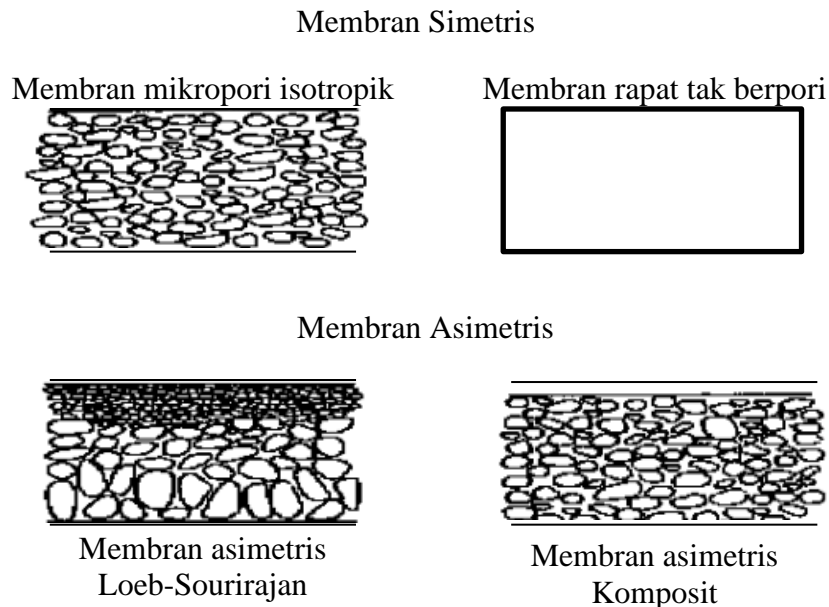
b. Membran sintetik yaitu membran yang diperoleh dari reaksi kimia dan digunakan untuk kepentingan tertentu. Pada membran ini terdiri atas dua jenis yaitu membran organik dan anorganik.

2. Morfologi Membran

a. Membran simetris adalah membran dengan struktur dan ukuran pori yang seragam dengan ketebalan 10-200 μm . Membran ini kurang efektif karena memungkinkan lebih cepat terjadinya *fouling* atau penyumbatan pori pada penggunaannya. Jenis membran ini terdiri atas membran berpori dan membran rapat yang dapat dilihat dari **Gambar 2.3**.

Membran asimetris adalah membran dengan struktur dan ukuran yang tidak beragam. Pada bagian lapisan aktif membran memiliki pori ukuran kecil dan rapat dengan ketebalan 0,1-1 μm . Sedangkan pada lapisan penyangga/pendukung

memiliki pori yang berukuran besar 1-150 μm seperti pada **Gambar 2.3** pada membran jenis ini terdapat kombinasi selektifitas yang tinggi dari membran rapat dan laju permeasi yang tinggi dari membran yang sangat tipis.



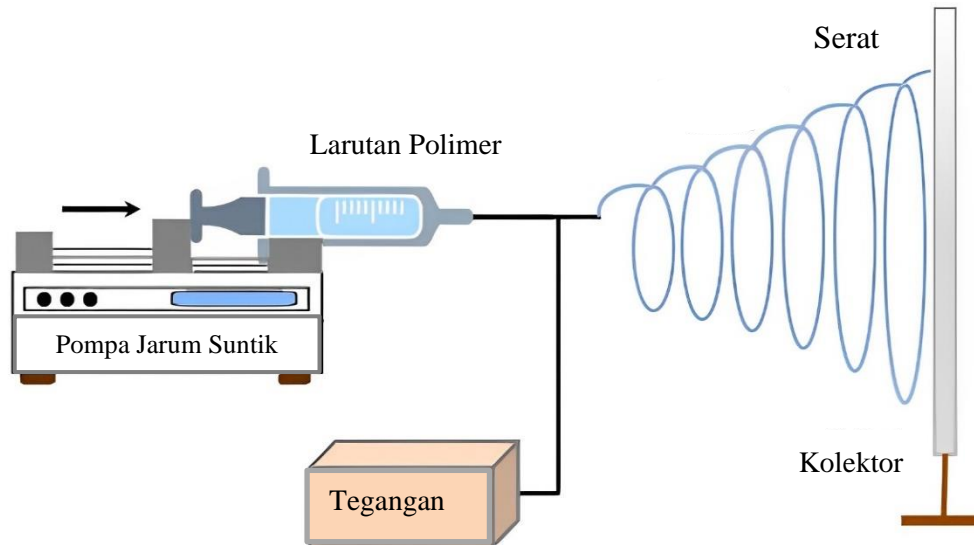
Gambar 2.3. Penampang membran simetris dan asimetris (Mulder, 1996).

3. Jenis membran berdasarkan prinsip pemisah akibat ukuran pori
 - a. Membran berpori, biasa digunakan untuk mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Pada mikrofiltrasi ukuran porinya diantara 0,1-10 μm sedangkan ultrafiltrasi diantara 2-100 nm.
 - b. Membran tak berpori, membran ini berpotensi untuk memisahkan molekul dengan ukuran yang hampir sama satu sama lain. Membran seperti ini biasa digunakan untuk pervaporasi dan pemisahan gas.
 - c. Membran cair, membran yang biasa digunakan untuk memisahkan gas, cairan, ion-ion dan partikel non-ionik.

2.5. *Electrospinning*

Electrospinning pertama kali diamati pada tahun 1897 oleh Rayleigh. Kemudian dipatenkan oleh Formhals pada tahun 1934. Istilah *electrospinning* berasal dari “*electrostatic spinning*”. Sejak tahun 1980-an proses *electrospinning* menjadi perhatian lebih karena penelitian dalam nanoteknologi terus dikembangkan. *Electrospinning* adalah teknik yang unik dengan menggunakan gaya elektrostatis untuk menghasilkan serat halus dari larutan polimer. Serat yang dihasilkan dari teknik ini memiliki diameter yang tipis (Bhardwaj *et al.*, 2010).

Pada dasarnya terdapat tiga komponen utama untuk proses *electrospinning* yaitu, tegangan tinggi, tabung kapiler dengan pipet berdiameter kecil dan layar pengumpul logam (kolektor) (Huang *et al.*, 2003). Proses *electrospinning* didasarkan pada penerapan tegangan tinggi untuk menghasilkan jet bermuatan dengan menghasilkan gaya saling tolak untuk mengatasi tegangan permukaan dalam cairan polimer bermuatan. Tegangan diterapkan antara pemintal dan kolektor sehingga muatan permukaan menumpuk di permukaan larutan (Islam *et al.*, 2019). Ketika medan listrik meningkat permukaan setengah bola cairan diujung tabung kapiler memanjang membentuk kerucut yang dikenal dengan kerucut Taylor (Huang *et al.*, 2003). Pancaran muatan fluida dikeluarkan dari ujung kerucut Taylor. Selanjutnya pancaran tersebut akan tidak stabil dari ujung kapiler dan kolektor sehingga terjadi penguapan pelarut dan membentuk serat pada kolektor (Islam *et al.*, 2019). Skema *electrospinning* ditampilkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4. Skema dasar susunan *electrospinning* (Alharbi *et al.*, 2016).

Parameter pengaruh *electrospinning* terbagi menjadi dua yaitu:

2.5.1. Parameter Larutan

1) Konsentrasi

Pada proses *electrospinning* konsentrasi mempengaruhi serat yang terbentuk. Semakin tinggi konsentrasi polimer, maka diameter serat yang dihasilkan juga semakin besar. Konsentrasi polimer akan berpengaruh pada viskositas larutan. Jika konsentrasi yang tinggi akan menyebabkan viskositas yang tinggi. Kemudian viskositas yang tinggi dapat membentuk manik-manik atau *beads* (Huang *et al.*, 2003).

2) Viskositas

Serat yang terbentuk bergantung pada viskositas larutan atau kekentalan larutan. Serat kontinu yang halus dapat diperoleh dengan viskositas yang optimum pada kombinasi pelarut tertentu. Konsentrasi polimer memiliki hubungan yang erat

dalam menghasilkan viskositas pada suatu larutan. Serat tidak akan terbentuk dari viskositas larutan yang rendah melainkan akan membentuk partikel polimer (*electrospray*) (Marno *et al.*, 2018). Viskositas yang tinggi memerlukan tegangan listrik yang lebih tinggi untuk dapat *running* pada mesin *electrospinning*, sehingga larutan dengan viskositas yang tinggi sulit untuk diatur pembentukan seratnya (Bhattarai *et al.*, 2019). Viskositas yang maksimum berkisar 1-20 poise untuk bisa menghasilkan serat pada proses *electrospinning* (Islam *et al.*, 2019).

3) Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan merupakan parameter penting pada proses *electrospinning*. Tegangan permukaan yang terlalu tinggi menyebabkan ketidakstabilan jet sehingga terbentuknya manik-manik (Islam *et al.*, 2019).

2.5.2. Parameter Proses *Electrospinning*

1) Tegangan

Tegangan yang diberikan ke larutan (muatan positif) dapat memicu larutan membentuk *taylor cone* (tetesan yang menggantung di ujung *syringe*) tertarik bergerak menuju kolektor (muatan negatif). Jika tegangan yang diberikan terlalu besar dapat mengakibatkan pergerakan *jet* larutan semakin cepat dan dapat menyebabkan pembentukan *taylor cone* yang kecil dan menjadi kurang stabil. Beberapa penelitian menyatakan bahwa tegangan masukan yang besar menyebabkan regangan pada larutan semakin meningkat karena gaya *coulomb* yang besar pada *jet* larutan (Marno *at al.*, 2018). Seperti yang dilakukan Zhang *et al.* (2015) mendapatkan kondisi terbaik dengan tegangan 22,5 kV dalam pembentukan serat lurus. Selain itu, proses *electrospinning* pada tegangan rendah cenderung membentuk diameter serat yang besar dengan munculnya *beads*. Hal tersebut

terjadi karena lemahnya gaya *columbic* pada tegangan permukaan dan viskoelastisitas. Tegangan listrik yang tinggi dapat meningkatkan gaya *columbic*. Diameter serat akan berkurang seiring dengan meningkatnya tegangan listrik yang diberikan (Tsuge *et al.*, 2019).

2) *Flow Rate*

Flow rate merupakan suatu larutan yang melewati jarum ketika mendapat dorongan dari *syringe* persatuan waktu (Marno *et al.*, 2018). *Flow rate* yang diterapkan pada polimer memiliki pengaruh terhadap ukuran, bentuk dan pori-pori serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa diameter serat dan ukuran pori-pori bertambah karena pengaruh *flow rate* (Bhattarai *et al.*, 2019).

3) *Tip-to-Collector-Distance* (TCD)

TCD adalah jarak ujung jarum hingga ke kolektor. TCD ialah aspek lain dalam memainkan peran esensial kontrol ukuran dan morfologi *nanofiber*. Serat dapat membentuk morfologi dengan sempurna, tetapi tidak menutup kemungkinan hanya berupa tetesan larutan di kolektor, sehingga jarak kolektor dengan ujung jarum harus dioptimasi (Bhattarai *et al.*, 2019). Pengaturan jarak dari ujung jarum hingga kolektor memiliki efek pada medan listrik dan waktu tempuh pada proses *running*. Waktu yang cukup bagi *jet* untuk menguap menuju ke kolektor akan menghasilkan *nanofiber* yang sempurna dan sesuai harapan. Jangkauan jarak proses *electrospinning* pada umumnya yaitu, 10 cm sampai 20 cm. Jarak TCD yang jauh dapat menghasilkan diameter serat kecil (Bhattarai *et al.*, 2019).

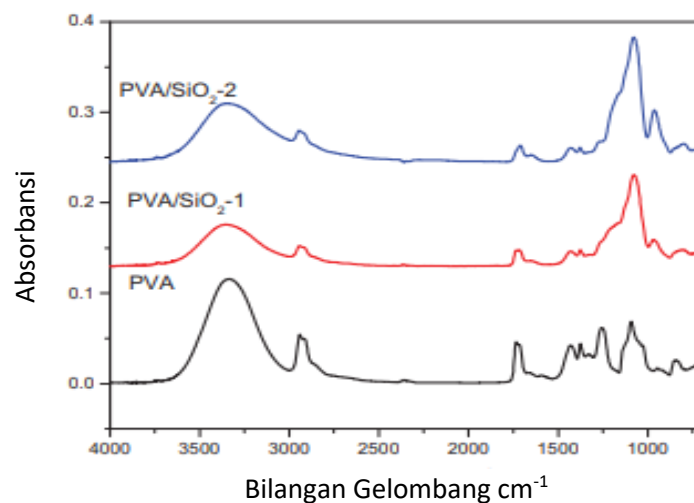
2.6. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

FTIR adalah alat atau instrument yang dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisis campuran sampel yang dianalisis dengan tidak merusak sampel. Wilayah inframerah spektrum elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10 cm^{-1} . Berdasarkan dari panjang gelombang tersebut daerah inframerah terbagi menjadi tiga daerah, yaitu IR dekat ($14000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) yang peka terhadap vibrasi *overtone*, IR sedang ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) yang berhubungan dengan transisi energi vibrasi dari molekul dan memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut, dan IR jauh ($400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$) untuk menganalisis molekul yang terdapat atom-atom berat seperti senyawa anorganik tapi butuh teknik khusus (Schechter, 1997; Griffiths & Chalmers, 1999).

FTIR terdiri dari 5 bagian utama yaitu:

1. Sumber sinar, yang terbuat dari filamen nerst atau globar yang dipanaskan menggunakan listrik hingga suhu $1000 - 1800$.
2. *Beam Splitter*, berupa material yang transparan dengan indeks relatif sehingga menghasilkan 50% radiasi yang direfleksikan dan 50% radiasi yang diteruskan.
3. Interferometer, ialah bagian utama dari FTIR yang berfungsi sebagai pembentuk interferogram yang selanjutnya diteruskan menuju detektor.
4. Daerah sampel, ialah daerah berkas acuan dan sampel masuk ke dalam daerah sampel, masing-masing menembus sel acuan dan sampel secara bersesuaian.
5. Detektor, adalah piranti yang berfungsi untuk mengukur energi pancaran yang lewat akibat panas yang dihasilkan.

Prinsip kerja FTIR adalah dengan mengemisikan sinar infra merah dari sumber dengan bergerak melalui celah sempit untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan ke sampel. Pada saat berkas laser dipancarkan memasuki ruang sampel, maka berkas selanjutnya diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel bergantung dari besarnya energi yang diserap, sampai berkas akhirnya sampai ke detektor. Pada FTIR biasanya menggunakan detektor *Mercury Cadmium Telluride* (MCT) atau *Tetra Glycerine Sulphate* (Griffith, 1975). Salah satu hasil spektrum FTIR membran *nanofiber* yang terbentuk dari variasi PVA, PVA/SiO₂-1, PVA/SiO₂-2 disajikan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5. Spektrum FTIR pada PVA/SiO₂-1, PVA/SiO₂-2 (Yanilmaz, 2019).

Berdasarkan hasil spektrum FTIR yang ditampilkan pada **Gambar 2.5** puncak utama yang terdapat PVA terbukti pada bilangan gelombang antara 3550 hingga 3200 cm⁻¹ yang berhubungan dengan peregangan O-H dari ikatan hidrogen antarmolekul dan intramolekul. Kemudian pada bilangan gelombang antara 2840 hingga 3000 cm⁻¹ merupakan peregangan C-H dari gugus alkil dan pada puncak antara 1750 dan 1735 cm⁻¹ adanya C=O dan C-O dari kelompok asetat dalam

matriks PVA. Sedangkan SiO_2 terlihat pada sekitar 1080 dan 800 cm^{-1} yang dikaitkan dengan peregangan Si-O-Si asimetris dan peregangan Si-O-Si simetris dari SiO_2 (Yanilmaz, 2019).

2.7. Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. SEM pertama kali diperkenalkan di Jerman oleh M. Knoll pada tahun 1935. SEM berfungsi untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro dan morfologi berbagai material. Hasil yang diperoleh disajikan dalam bentuk tiga dimensi yaitu berupa gambar atau foto. Keunggulan SEM dibandingkan dengan mikroskop optik adalah tingkat perbesaran yang tinggi 25-25.000 kali atau sampai ukuran partikel 1-5 nm dan memiliki fokus kedalaman yang lebih besar (Griffin & Nix, 1991). Gambar alat SEM disajikan pada **Gambar 2.6**.

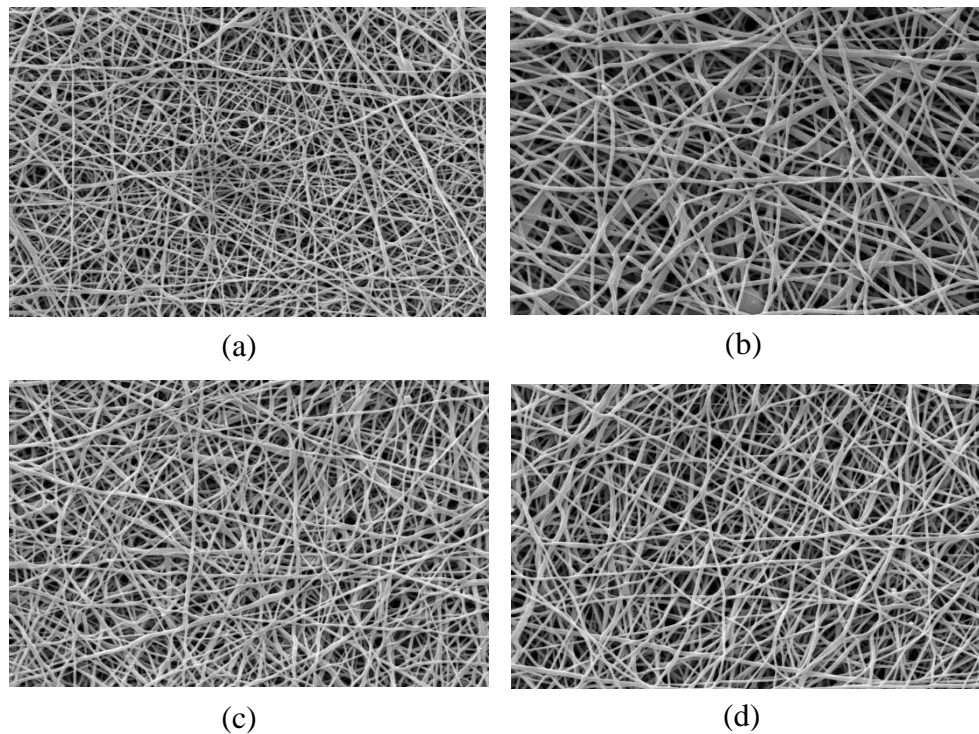


Gambar 2.6. Alat SEM.

Pada **Gambar 2.6** disajikan alat SEM yang terdapat pistol elektron berfungsi sebagai sumber elektron dengan menggunakan tegangan tinggi sekitar 10-40 kV. Pada pistol elektron biasanya menggunakan material berupa tungsten dan lanthanum atau hexaboride cerium (LaB_6 atau CeB_6). Bahan yang digunakan sebagai sumber elektron disebut emitter atau katoda dan bahan yang menerima elektron disebut anoda. Pada lensa magnetik terdapat dua buah kondensator yang berfungsi menguatkan elektron agar informasi gambar yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik. Koil pemindai berfungsi mengumpulkan berkas sinar elektron.

Elektron akan mengenai sampel dan terjadi tumbukkan. Setelah terjadinya tumbukan antara elektron dan sampel, maka detektor akan merekam interaksi yang terjadi pada sampel. Detektor *secondary electron* (SE) adalah sintilator yang jika mengenai elektron akan menghasilkan cahaya. Kemudian cahaya tersebut dikonversi menjadi sinyal elektrik oleh photomultiplier. SE berasal dari interaksi elektron yang energinya kurang dari 50 kV dan hanya dapat berinteraksi pada permukaan sampel. Sehingga informasi yang dihasilkan dari SE ialah bentuk permukaan sampel (topografi). Hasil dari interaksi elektron yang memiliki energi tinggi akibat adanya hamburan elastik ialah *backscattered electron* (BSE). Energi yang dimiliki elektron tersebut dapat berinteraksi dengan sampel sampai menembus lapisan permukaan sampel. Hasil yang diperoleh dari BSE berupa morfologi struktur pada bahan material (Griffin & Nix, 1991).

Tampilan gambar morfologi dari hasil karakterisasi SEM membran separator PVA/SiO₂ akan tampak pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Gambar SEM membran a). PVA, b) PVA/SiO₂ (0,6 wt %), c). PVA/SiO₂ (1,2 wt %), d) PVA/ (2 wt %) (Firdaus *et al.*, 2021).

Gambar 2.7 menunjukkan gambar SEM PVA dan PVA/SiO₂ dengan variasi berat SiO₂ (0; 0,6; 1,2; 2 wt %) dengan perbesaran 10.000 x dan skala bar 2 μm. Dari membran separator yang berbasis PVA terlihat memiliki serat yang seragam dan porositas yang tinggi tanpa adanya *beads* agresi partikel. **Gambar 2.7** menunjukkan bahwa dari penambahan SiO₂ dapat mengubah kekerasan permukaan dan diameter serat rata-rata. Kandungan SiO₂ yang lebih tinggi menyebabkan serat lebih tipis dan permukaan yang lebih halus. Diameter *nanofiber* rata-rata adalah PVA ~ 236 nm, kemudian mengalami penurunan ketika ditambahkan SiO₂ yaitu berturut-turut ~ 232 nm, ~ 227 nm dan ~ 220 nm. Penurunan diameter rata-rata dari *nanofiber* ini tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan kadar SiO₂ yang ditambahkan sedikit. Namun, tetap terdapat perubahan yaitu dengan meningkatnya kadar SiO₂ menyebabkan diameter serat rata-rata lebih tipis yang berkaitan dengan

Gaya tolak SiO₂ yang membatasi belitan/keterikatan rantai polimer sehingga serat menjadi lebih tipis (Firdaus *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian tugas akhir dilakukan pada bulan Desember – Januari 2023 di Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jl. S. Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Rajabasa, Bandar Lampung, Lampung, 35141.

3.2. Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu, oven, gelas ukur, gelas beaker, *hotplate*, *magnetic stirrer*, neraca analitik, labu ukur, pipet tetes, spatula, kompor listrik, kertas saring, kertas pH, *mesh* 325 (ukuran 45 μm), alat *electrospinning*, mikrometer sekrup, FTIR dan SEM.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, sekam padi, NaOH, HNO₃, aquades, Polivinil Alkohol (PVA) dan n-butanol.

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini diawali dengan pembuatan serbuk silika dari sekam padi. Selanjutnya pembuatan membran menggunakan alat *electrospinning*. Kemudian membran yang diperoleh dilakukan pengujian dengan menggunakan FTIR dan SEM, serta melakukan uji porositas.

3.3.1. Pembuatan Serbuk Silika

Sekam padi dibersihkan dari kotoran-kotoran dengan air mengalir. Setelah itu, sekam padi dikeringkan di bawah sinar matahari selama 1-2 hari sampai benar-benar kering. Selanjutnya membuat serbuk silika dengan menggunakan 50 gr sekam padi yang dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dan ditambahkan larutan NaOH 5% pada gelas *beaker* tersebut. Kemudian dipanaskan dengan menggunakan kompor listrik sampai mendidih (sampai warna ekstrak sekam padi keluar). Setelah itu, hasilnya didiamkan selama 24 jam. Setelah 24 jam didiamkan dan disaring agar terpisah dengan sekamnya dan yang digunakan ialah larutan sol silikanya. Selanjutnya sol silika dari ekstrak sekam padi diberi larutan HNO₃ 10% dengan menggunakan pipet tetes secara perlahan, ini dilakukan sampai pH 7 (sampai terbentuk gel). Kemudian gel yang diperoleh didiamkan selama 24 jam dan dicuci menggunakan aquades panas. Setelah itu, dioven dengan suhu 110°C selama 2-3 jam sampai kadar air pada gel menghilang (akan terbantuk silika yang keras). Kemudian silika dihaluskan dengan menggunakan mortar dan alu. Lalu, diayak menggunakan *mesh* 325 (ukuran 45 µm). Serbuk silika siap digunakan.

3.3.2. Persiapan Larutan PVA/SiO₂

Pembuatan membran ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Firdaus (2022). Proses pembuatan membran *nanofiber* menggunakan larutan PVA/SiO₂ dengan metode *electrospinning*. Larutan PVA dibuat dengan PVA 12 wt% ke dalam aquades. Kemudian aquades dipanaskan dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 90°C dan kecepatan 350 rpm. Kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit PVA menggunakan spatula sampai homogen selama 60 menit. Setelah larutan homogen selanjutnya SiO₂ dicampurkan dengan variasi berat (0, 2, 3, 5) wt%

terhadap larutan PVA. Campuran tersebut dihomogenkan dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 90°C selama 30 menit. Kemudian larutan diuji viskositas dan tegangan permukaan larutannya.

3.3.3. Menentukan Viskositas dan Tegangan Permukaan Larutan PVA/SiO₂

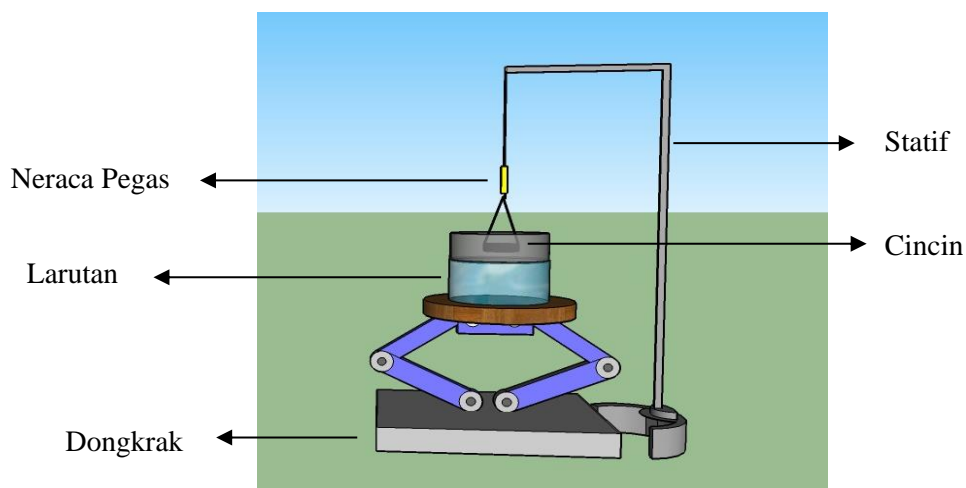
Untuk menentukan viskositas larutan menggunakan Viscotester VT-04F. Pengukuran kekentalan dari larutan PVA/SiO₂ dilakukan dengan cara dimasukkan larutan ke dalam gelas beaker 100 ml. Selanjutnya rotor akan ditenggelamkan pada larutan tersebut sampai menyeluruh, kemudian alat viskotester akan membaca kekentalan larutan PVA/SiO₂. Nilai dari pengukuran kekentalan akan ditampilkan skala pada alat viscotester. Proses pengukuran kekentalan larutan PVA/SiO₂ di sajikan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Mengukur Viskositas.

Satuan yang dipakai untuk viskositas ialah Pa.s (paskal sekon), N.s/m², kg/m.s dengan $1 \text{ P} = 0,1 \text{ Pa.s}$ dan $1 \text{ Pa.s} = 1 \text{ N.s/m}^2 = 1 \text{ kg/m.s}$ (Viswanath, 2007).

Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan permukaan larutan PVA/SiO₂. Pengukuran tegangan permukaan dilakukan menggunakan tensiometer dengan skema dengan skema alat seperti yang disajikan seperti pada **Gambar 3.2**. Proses pengukuran terbagi menjadi 2 bagian yaitu dilakukan pengukuran konstanta pegas (k) dan dilakukan pengukuran koefisien tegangan permukaan larutan (γ).



Gambar 3.2. Skema Tensiometer.

Pengukuran k dilakukan dengan menimbang massa tiga buah beban (gram), kemudian mengukur gaya pegas X (mN), masing-masing beban pada neraca pegas yang sudah digantung pada statif. Masing-masing beban dihitung konstanta juga rata-ratanya dengan **Persamaan 3.1** dan **Persamaan 3.2**.

$$k_n = \frac{m_n g}{x_n} \quad (3.1)$$

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n}{n} \quad (3.2)$$

Kemudian dilakukan pengukuran koefisien tegangan permukaan larutan PVA/SiO₂. Pertama, larutan PVA/SiO₂ disiapkan sebanyak 20 ml dalam gelas beaker dan diletakkan di atas dongkrak. Selanjutnya cincin aluminium digantung pada neraca pegas yang telah diukur diameternya (untuk mengukur panjang garis khayal). Lalu, nilai yang terbaca pada neraca pegas dicatat sebagai nilai X_{awal} . Selanjutnya dongkrak didekatkan dengan gelas beaker yang berisi larutan PVA/SiO₂ dengan cincin aluminium sampai cincinya terendam setengah bagian. Kemudian gelas beaker diturunkan secara perlahan melalui kedudukan dongkrak. Hal tersebut akan menyebabkan cincin aluminium hampir terlepas dari permukaan larutan. Angka yang terdapat pada neraca pegas saat sebelum cincin aluminium terlepas dicatat sebagai data X_{akhir} . Kemudian percobaan tersebut dilakukan dengan tiga kali pengulangan. Setelah itu, menghitung selisih dari kedua nilai gaya pegas tersebut sebagai data nilai ΔX (mN). Koefisien tegangan permukaan kemudian dihitung dengan **Persamaan 3.3** dan **Persamaan 3.4**.

$$\gamma_n = \frac{\bar{k}\Delta X}{4\pi r} \quad (3.3)$$

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n}{n} \quad (3.4)$$

r merupakan jari-jari cincin aluminium dan satuan yang digunakan γ adalah mN/m atau dyn/cm.

3.3.4. Sintesis *Nanofiber* PVA/SiO₂

Merujuk dari penelitian yang telah dilakukan Firdaus *et al.* (2021), yaitu larutan PVA/SiO₂ dimasukkan ke dalam pipet/jarum suntik dengan pompa, jarak antara ujung jarum suntik dengan kolektor sejauh 10 cm, tegangan DC yang digunakan

sebesar 20 kV dan laju penyemprotan polimer sebesar 2,5 ml/jam. Pada proses pembuatan membran *nanofiber* ini dilakukan selama 3 jam.

Membran PVA/SiO₂ yang telah terbentuk selanjutnya dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 80°C selama 8 jam. Proses pengeringan ini bertujuan agar pengotor organik serta pelarut yang masih pada membran dapat menguap, sehingga diharapkan akan terbentuk membran separator yang murni terdiri dari PVA dan SiO₂.

3.3.5. Pengujian dan Karakterisasi

a. Uji porositas

Parameter geometris *nanofiber* adalah diameter serat dan morfologi serat. Selain itu, porositas juga menjadi parameter *nanofiber* yang penting karena porositas dan ukuran pori dari membran *nanofiber* dapat mempengaruhi dalam pengaplikasiannya diberbagai bidang (Huang *et al*, 2003). Porositas dapat diketahui dengan menggunakan tes serapan n-butanol. Porositas dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3.6** berikut (Yanilmaz, 2019):

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{W_w - W_d}{\rho \times V} \times 100 \% \quad (3.6)$$

dengan W_w merupakan berat basah membran dan W_d adalah berat kering membran.

Sedangkan ρ merupakan densitas n-butanol dan V adalah volume dari sampel.

b. SEM-EDX

Karakterisasi SEM dilakukan dengan menggunakan alat SEM EVO MA 10. Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui gambar morfologi permukaan dan ukuran *nanofiber* PVA/SiO₂ dan EDX digunakan untuk mengetahui komposisi

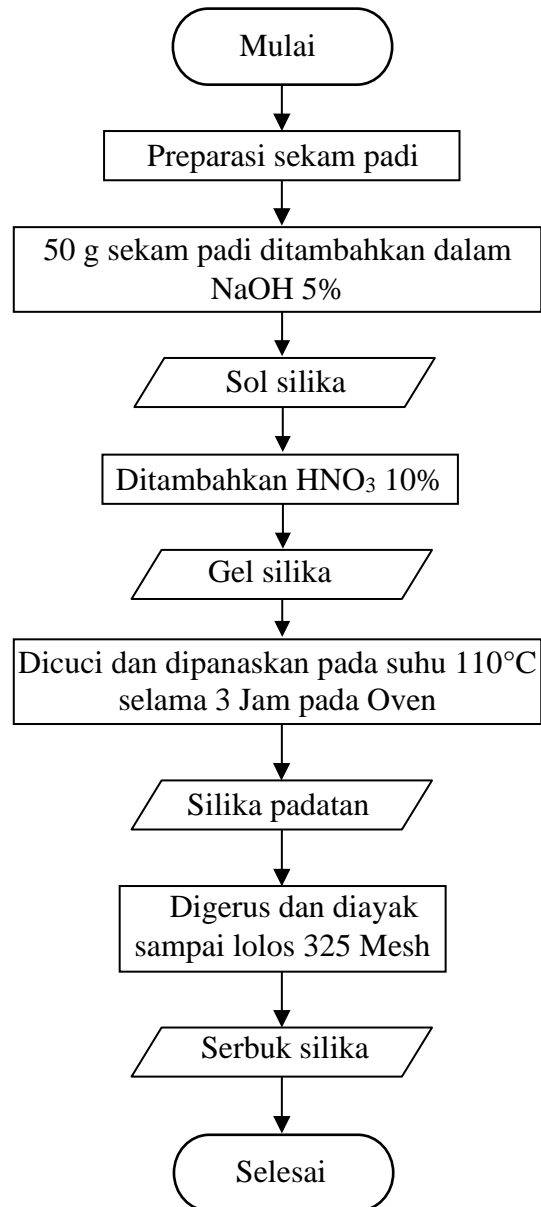
unsur SiO₂. Gambar yang didapatkan akan digunakan untuk mengamati dan menganalisis struktur permukaan sampel dan mengetahui besar ukuran diameter serat nano yang berhasil diperoleh saat proses *electrospinning*. Karakterisasi SEM ini dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung.

c. FTIR

Ikatan gugus fungsi membran *nanofiber* PVA/SiO₂ diamati dengan menggunakan alat FTIR PRESTIGE 21, SHIMADZU, Japan. Hasil karakterisasi FTIR berupa spektrum puncak serapan yang menunjukkan vibrasi ikatan senyawa organik yang terkandung dalam sampel.

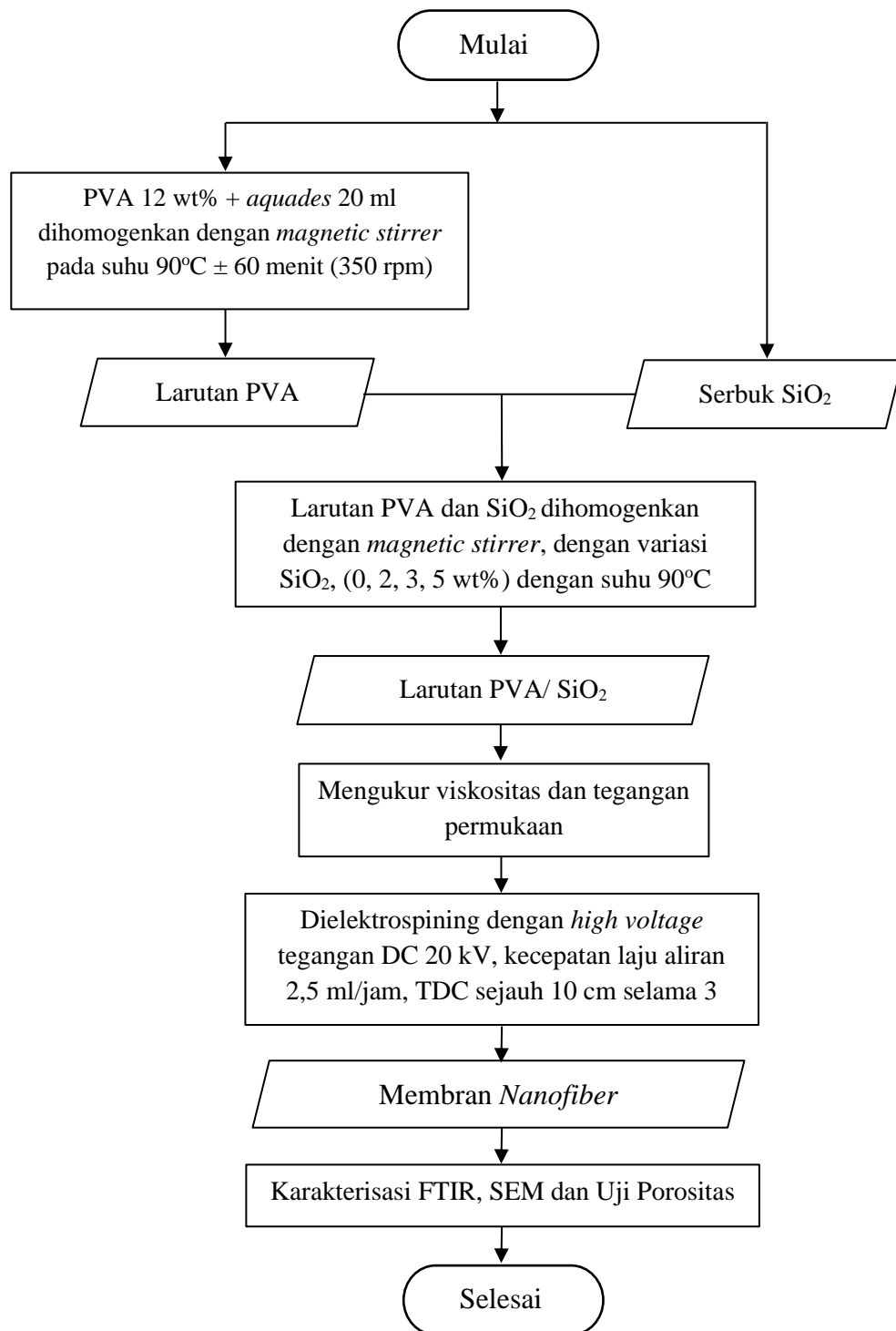
3.3.6. Diagram Alir

Diagram Alir Pembuatan Serbuk Silika



Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan silika.

Diagram Alir Pembuatan Membran



Gambar 3.4. Diagram alir pembuatan membran *nanofiber* PVA/SiO₂.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Larutan PVA/SiO₂ dengan variasi berat SiO₂ (0, 2, 3, 5) wt% diberi label berturut-turut adalah PVA/SiO₂-0%, PVA/SiO₂-2%, PVA/SiO₂-3%, PVA/SiO₂-5% memiliki nilai viskositas sebesar 0,80 Pa.s, 0,90 Pa.s, 1,0 Pa.s dan 1,4 Pa.s. dan nilai tegangan permukaan berturut-turut sebesar (29 ± 5) dyn/cm, (36 ± 5) dyn/cm, 39 dyn/cm, 39 dyn/cm telah berhasil membentuk membran *nanofiber* dengan teknik *electrospinning* pada tegangan 20 kV.
2. Hasil FTIR menunjukkan bahwa pada sampel adanya gugus -OH, C-H, -CH₂, Si-O, dan Si-OC karena adanya ikatan silang antara SiO₂ dan PVA. kemudian pengaruh variasi berat SiO₂ terhadap morfologi permukaan membran *nanofiber* PVA/SiO₂ menunjukkan diameter serat yang semakin besar dengan rata-rata ukuran diameter PVA/SiO₂-0%, PVA/SiO₂-2%, PVA/SiO₂-3%, PVA/SiO₂-5% masing-masing adalah (200 ± 43) nm, (262 ± 85) nm, (311 ± 135) nm, dan (381 ± 180) nm. Peningkatan diameter serat dikarenakan viskositas, tegangan permukaan dan konsentrasi larutan yang digunakan terlalu tinggi. Dan Unsur kimia membran *nanofiber* PVA/SiO₂ yang terbentuk berdasarkan analisis EDX menunjukkan adanya unsur C, O, dan Si dengan besar masing - masing yaitu, 68,84%, 28,81% dan 2,35%. Adanya unsur Si

membuktikan bahwa membran *nanofiber* mengandung SiO₂. Hasil uji porositas membran PVA/SiO₂-0%, PVA/SiO₂-2%, PVA/SiO₂-3%, PVA/SiO₂-5% diperoleh berturut-turut sebesar 66%; 74%; 77%; 97%. Peningkatan nilai porositas membran PVA/SiO₂ dikarenakan meningkatnya SiO₂.

2.2. Saran

Saran yang dapat diterapkan untuk penelitian selanjutnya adalah menggunakan konsentrasi larutan polimer <12 wt%, karena konsentrasi larutan polimer yang dapat diproduksi dengan teknik *electrospinning* maksimum 12,8 wt%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alharbi, A. R., Alarifi, I. M., Khan, W. S., & Asmatulu, R. 2016. Highly Hydrophilic Electrospun Polyacrylonitrile/Polyvinylpyrrolidone Nanofibers Incorporated with Gentamicin as Filter Medium for Dam Water and Wastewater Treatment. *Journal of Membrane and Separation Technology*. Vol. 5. No. 78. Pp. 38-56.
- Aslam, M., Kalyar, M. A., & Raza, Z. A. 2018. Polyvinyl Alcohol: A Review of Research Status and Use of Polyvinyl Alcohol Based Nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*. Vol. 58. No.12. Pp.432-433.
- Awad, S., Alomari, A. H., Abdel-Hady, E. E., & Hamam, M. F. 2021. Characterization, Nanostructure, and Transport Properties of Styrene Grafted PVA/SiO₂ Hybrid Nanocomposite Membranes: Positron Lifetime Study. *Polymers for Advanced Technologies* Vol. 32. No. 4. Pp. 1742-1751.
- Bakar, R. A., Yahya, R., & Gan, S. N. 2016. Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk. *Procedia Chemistry*. Vol. 19. No. 45. Pp. 189-195.
- Barhoum, A., Bechelany, M., & Makhlof, A.S.H. 2019. *Handbook of Nanofibers*. Springer. New York City. Pp. 1179.
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. 2010. Electrospinning: A Fascinating Fiber Fabrication Technique. *Biotechnology Advances*. Vol. 28. No. 3. Pp. 325-347.
- Bhat, N. V., Nate, M. M., Kurup, M. B., Bambole, V. A., & Sabharwal, S. 2005. Effect of γ -radiation on The Structure and Morphology of Polyvinyl Alcohol Films. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. Vol. 237. No. 3-4. Pp. 585-592.
- Bhattarai, R. S., Bachu, R. D., Boddu, S. H., & Bhaduri, S. 2018. Biomedical Applications of Electrospun Nanofibers: Drug and Nanoparticle Delivery. *Pharmaceutics*. Vol. 1. No. 15-20. Pp. 2223.

- Chang, M. J., Cui, W. N., & Liu, J. 2017. Facile Preparation of Porous Inorganic SiO₂ Nanofibrous Membrane by Electrospinning Method. *Journal of Nanomaterials*. Vol. 15. No. 45. Pp. 222.
- Choudhury, S., Azizi, M., Raguzin, I., Göbel, M., Michel, S., Simon, F., & Ionov, L. 2017. Effect of Fibrous Separators on The Performance of Lithium–Sulfur Batteries. *Physical Chemistry Chemical Physics*. Vol. 19. No. 18. Pp. 11239-11248.
- Cui, L., Song, Y., Wang, F., Sheng, Y., & Zou, H. 2019. Electrospinning Synthesis of SiO₂-TiO₂ Hybrid Nanofibers with Large Surface Area and Excellent Photocatalytic Activity. *Applied Surface Science*. Vol. 488. No. 12. Pp. 284-292.
- Dersch, R., Martin, G., Andreas, G. & Joachim, H. W. 2007. Electrospinning of Nanofibres: Towards New Twchniques, Function, and Applications. *Australian Journal of Chemistry*. Vol. 60. No. 20. Pp. 719-728.
- Faccini, M., Borja, G., Boerrigter, M., Martín, D. M., Crespiera, S. M., Vázquez-Campos, S., & Amantia, D. 2015. Electrospun Carbon Nanofiber Membranes for Filtration of Nanoparticles From Water. *Journal of Nanomaterials*. Vol. 1. No. 17. Pp. 2-3.
- Firdaus, I., Sembiring, S., Junaidi, Johandra, A., Rifansyah, T. I., & Rahmadi, R. P. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Nanofiber Komposit PVA/SiO₂ dari Silika Sekam Padi Menggunakan Metode Electrospinning. *Indonesian Journal of Applied Physics*. Vol. 12. Pp. 116-123.
- Geltmeyer, J., De Roo, J., Van den Broeck, F., Martins, J. C., De Buyser, K., & De Clerck, K. 2015. The Influence of Tetraethoxysine Sol Preparation on The Elelctrospinning of Silica Nanofibers. *Journal of Sol-Gel Scince and Technology*. Vol. 77. No. 2. Pp. 453-462.
- Griffin, P., & Nix, P. 1991. *Educational Assesment and Reporting*. Harcourt Brace Javanovich. Sydney.
- Griffiths, P. & Chalmers, J. M. 1999. *Handbook of Vibration Spectroscopy*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Griffiths, P. R. 1975. *Chemical Infra Red Fourier Transform*. John Willey and SMS. Toronto.
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. 2003. A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composites Science and Technology*. Vol. 63. No. 15. Pp. 2223-2253.

- Islam, M. S., Ang, B. C., Andriyana, A., & Afifi, A. M. 2019. A Review on Fabrication of Nanofibers Via Electrospinning and Their Applications. *SN Applied Sciences*. Vol. 1. No. 7. Pp. 1-16.
- Juang, R.S., Hsieh, C.T., Chen, P.A. & Chen, Y. 2015. Microwave-Assisted Synthesis of Titania Coating onto Polymeric Separators for Improved Lithium-ion Battery Performance. *Journal Power Sources*. Vol. 286. No.7-15. Pp. 526-533.
- Kausar, A. 2020. Innovation in Poly(Vinyl Alcohol) Derived Nanomaterials. *Advances in Materials Science*. Vol. 20. No. 3. Pp. 5-22.
- Kenawy, E. R., Kenamoun, E. A., Eldin, M. S. M., & El-Meligy, M. A. 2014. Physically Crosslinked Poly(Vinyl Alcohol)-Hydroxyethyl Starch Blend Hydrogel Membranes: Synthesis and Characterization for Biomedical Applications. *Arabian Journal of Chemistry*. Vol. 7. No. 1. Pp. 372-380.
- Ko, F., & Wan, Y. 2014. *Introduction to Nanofiber Materials*. Cambridge University Press. New York. 279 p.
- Lawrence H. V. V. 1992. *Ilmu dan Teknologi bahan*. Erlangga, edisi 5.
- Li, H., Chen, Y. M., Ma, X. T., Shi, J. L., Zhu, B. K., & Zhu, L. P. 2011. Gel Polymer Electrolytes Based on Active PVDF Separator for Lithium Ion Battery. I: Preparation and Property of PVDF/poly (dimethylsiloxane) Blending Membrane. *Journal of Membrane Science*. Vol. 379. No. 1. Pp. 397-402.
- Li, J., Tian, W., Yan, H., He, L., & Tuo, X. 2016. Preparation and Performance of Aramid Nanofiber Membrane for Separator of Lithium Ion Battery. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 1. No. 30. Pp. 1-8.
- Linden, D.T.B & Reddy. 2002. *Handbook of Batteries Third-ed*. McGraw-Hill Companies. New York. 343 Inc.
- Liu, H., Yu, H., Yuan, X., Ding, W., Li, Y., & Wang, J. 2019. Amino-functionalized Mesoporous PVA/SiO₂ Hybrids Coated membrane for Simultaneous Removal of Oils and Water-soluble Contaminants from Emulsion. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 374. No. 12. Pp. 1394-1402.
- Manurung, P., Ginting, E., Ginting Suka, E., & Suprihatin, S. 2022. Synthesis and Characterisation of Nano-silica Based on Pumice Using NaOH. *Journal of Physical Science*. Vol. 33. No. 1. Pp. 17-28.
- Manurung, P. 2022. *Pengantar Fisika Inti Populer*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Marno, M., Widiyanto, E., Sumarjo, J., & Santoso, A. 2018. Perancangan dan Pengembangan Sistem Electrospinning sebagai Teknologi dalam Pembuatan Nanofiber. *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*. Vol. 18. No. 1. Pp. 101-108.
- Mohammadi, F., Valipouri, A., Semnani, D., & Alsahebfosoul, F. 2018. Nanofibrous Tubular Membrane for Blood Hemodialysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Vol. 186. No. 23-24. Pp. 443-458.
- Muhaimin, M. M. 2014. *Fabrikasi Nanofiber Komposit dari Nanoselulosa Sisal dengan Polyvinyl Alcohol Menggunakan Metode Electrospinning*. Doctoral Dissertation. Universitas Gadjah Mada.
- Oates, K. 2010. *Lithium-ion Batteries: Commercialization History and Current Market*. Foresight Science and Technology: Providence. USA.
- Nirwan, M., Setyawan, H., & Widiyastuti, W. 2021. Synthesis of PVA/SiO₂ Nanofibers by Electrospinning Method for Supercapacitor Separators. *IPTEK Journal of Proceedings Series*. Vol. 6. No. 2. Pp. 336-341.
- Noezar, I. 2018. Membran PVA-Chitosan Crosslinked untuk Pemisahan Campuran Etanol-Air secara Pervaporasi. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. Vol. 7. Pp. 724-730.
- Partington, J. R. 1955. *An Advanced Treatise on Physical Chemistry Volume II: The Properties of Liquids*. London: Longmans, Green and Co. Pp. 188.
- Pierre, A.C. 1998. *Introduction to Sol-Gel Processing*. Springer Science + Business Media, LLC. New York. 701 p.
- Pirzada, T., Arvidson, S. A., Saquing, C. D., Shah, S. S., & Khan, S. A. 2012. Hybrid Silica-PVA Nanofibers via Sol-gel Electrospinning. *Langmuir*. Vol. 28. No. 13. Pp. 5834-5844.
- Premaj, R. & Doble, M. 2005. Biodegradation of Polymers. *Indian Journal of Biotechnology*. Vol. 4. No.22. Pp. 186-193.
- Rohman, F. 2012. *Aplikasi Graphene Untuk Lithium Ion Battery*. Institut Teknologi Bandung. Bandung .
- Sania, N. F., & Munasir, M. 2022. Fabrication of PVA/SiO₂ (Nanofiber) Membranes Prepared Using Electrospinning Method for Lithium Battery Separator. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 92. No. 1. Pp. 120.
- Shaposhnik, V. A. 2002. Evolution of the Membrane Electrochemistry. *Russian Journal of Electrochemistry*. Vol. 38. No. 8. Pp. 800-805.

- Saxena, S. K. 2004. Polyvinyl Alcohol (PVA). *Chemical and Technical Assessment*. Vol. 1. No. 3. Pp. 335.
- Shechter, G. 1997. Analysis of The Orientational Effects on Infrared Absorption Spectra in P-Type Semiconductor Quantum Wells. *Superlattices and Microstructures*. Vol. 19. No. 12. Pp. 383–392.
- Shalumon, K. T., Anulekha, K. H., Nair, S. V., Nair, S. V., Chennazhi, K. P., & Jayakumar, R. 2011. Sodium Alginate/Polyvinyl Alcohol/Nano ZnO Composite Nanofibers for Antibacterial Wound Dressings. *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 49. No. 3. Pp. 247–254.
- Shi, Q., Yu, M., Zhou, X., Yan, Y., & Wan, C. 2002. Structure and Performance of Porous Polymer Electrolytes Based on P(VDF-HFP) for Lithium Ion Batteries. *Journal of Power Sources*. Vol. 103. No. 2. Pp. 286-292.
- Sembiring, S., & Firdaus, I. 2021. *Silika Sekam Padi sebagai Campuran Aspal Untuk Bahan Atap Baja Ringan*. Edisi Pertama. Teknosain. Yogyakarta. 142 hlm.
- Sembiring, S., & Simanjuntak, W. 2015. *Silika Sekam Padi*. Plantaxia. Yogyakarta. 111 hlm.
- Subbiah, T., Bhat, G. S., Tock, R. W., Parameswaran, S., & Ramkumar, S. S. 2005. Electrospinning of Nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 96. No. 2. Pp. 557-569.
- Tan, E. P. S., & Lim, C. T. 2006. Mechanical Characterization of Nanofibers—a Review. *Composites Science and Technology*. Vol. 66. No.9. Pp. 1102-1111.
- Tang, X., & Alavi, S. 2011. Recent Advances in Starch, Polyvinyl Alcohol Based Polymer Blends, Nanocomposites and Their Biodegradability. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 85. No. 1. Pp. 7-16.
- Tsuge, M., Takahashi, K., Kurimoto, R., Fulati, A., Uto, K., Kikuchi, A., & Ebara, M. 2019. Fabrication of Water Absorbing Nanofiber Meshes Toward an Efficient Removal of Excess Water from Kidney Failure Patients. *Fibers*. Vol. 7. No. 3. Pp. 30-39.
- Tungprapa, S., Puangparn, T., Weerasombut, M., Jangchud, I., Fakum, P., Semongkhon, S., & Supaphol, P. 2007. Electrospun Cellulose Acetate Fibers: Effect of Solvent System on Morphology and Fiber Diameter. *Cellulose*. Vol. 14. No. 1. Pp. 563-575.
- Vasita, R., & Katti, D. S. 2006. Nanofibers & Their Applications in Tissue Engineering. *International Journal of Nanomedicine*. Vol. 1. No. 15.

- Vansant, E. F., Van Der Voort, P., & Vrancken, K. C. 1995. *Characterization and Chemical Modification of the Silica Surface*. Elsevier. The Netherlands. 556 p.
- Viswanath, D.S., Ghosh, T. K., Prasad, D. H. L., Dutt, N. V. K., & Rani, K. Y. 2007. *Viscosity of Liquid: Theory, Estimation, Experiment, and Data Springer*. Netherland. Pp. 16-17.
- Wang, X., Yuan, H., Li, L., Fang, H., Fan, X., & Li, S. 2019. Preparation and Performance of Polypropylene Separator Modified by SiO₂/PVA Layer for Lithium Batteries. *Journal of the Textile Institute*. Vol. 19. No. 2. Pp. 470-476.
- Wang, X., Xu, G., Wang, Q., Lu, C., Zong, C., Zhang, J., Cui, G. 2018. A Phase Inversion Based Sponge-like Polysulfonamide/SiO₂ Composite Separator For High Performance Lithium-ion Batteries. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. Vol. 27. No. 6. Pp. 1292–1299.
- Wenten, I.G. 1999. *Teknologi Membran Industrial*. ITB. Bandung.
- Widiyandari, H., Putra, O. A., Purwanto, A., & Subagio, A. 2021. Fabrication of PVDF/SiO₂ Nanofiber Membrane as A Separator of Li-ion Battery by Double Jet Sprayers Electrospinning Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1096. No. 1. Pp. 12142.
- Worsfold, P., Townshend, A., & Poole, C. 2005. Encyclopedia of Analytical Science, 2nd Edition: Archaeometry and Antique Analysis - Metallic and Ceramic Objects by L.T. Gibson. *Reference Module in Chemistry Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier. UK. 5000 p.
- Wu, S., Li, F., Wang, H., Fu, L., Zhang, B., & Li, G. 2010. Effects of Poly (vinyl alcohol)(PVA) Content on Preparation of Novel Thiol-functionalized Mesoporous PVA/SiO₂ Composite Nanofiber Membranes and Their Application for Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Aolution. *Polymer*. Vol. 51. Hal. 26. Pp. 6203-6211.
- Yanilmaz, M. 2019. Evaluation of Electrospun PVA/SiO₂ Nanofiber Separator Membranes for Lithium-ion Batteries. *The Journal of The Textile Institute*. Vol. 111. Pp. 447-452.
- Yang, C., Jia, Z., Guan, Z., & Wang, L. 2009. Polyvinylidene Fluoride Membrane by Novel Electrospinning System for Separator of Li-ion Batteries. *Journal of Power Sources*. Vol. 189. No. 1. Pp. 716-720.
- Yoon, K., Kim, K., Wang, X., Fang, D., Hsiao, B. S., & Chu, B. 2006. High Flux Ultrafiltration Membranes Based on Electrospun Nanofibrous PAN Scaffolds and Chitosan Coating. *Polymer*. Vol. 47. No. 7. Pp. 2434-2441.

- Zeytuncu, B., Akman, S., Yucel, O., & Kahraman, M. 2014. Preparation and Characterization of UV-cured Hybrid Polyvinyl Alcohol Nanofiber Membranes by Electrospinning. *Materials Research*. Vol. 17. No. 3. Pp. 565-569.
- Zhang, Y., Ji, X., & Lu, X. 2015. Choline-Based Deep Eutectic Solvents for Mitigating Carbon Dioxide Emissions. *Novel Materials for Carbon Dioxide Mitigation Technology*. Vol. 2. No. 11. Pp. 87-116.
- Zhang, F., Ma, X., Cao, C., Li, J., & Zhu, Y. 2014. Poly (vinylidene fluoride)/SiO₂ Composite Membranes Prepared by Electrospinning and Their Excellent Properties for Nonwoven Separators for Lithium-ion Batteries. *Journal of Power Sources*. Vol. 251. No.23. Pp. 423-431.