

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERAT NANO KOMPOSIT PVA/SiO<sub>2</sub>  
DARI SILIKA SEKAM PADI DENGAN METODE *ELECTROSPINNING***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RIZKY PONCO RAHMADI  
NPM 1917041019**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERAT NANO KOMPOSIT PVA/SiO<sub>2</sub> DARI SILIKA SEKAM PADI DENGAN METODE *ELECTROSPINNING*

Oleh

**RIZKY PONCO RAHMADI**

Telah dibuat serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode *electrospinning*. Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> dengan variasi berat SiO<sub>2</sub> dan mengetahui pengaruh variasi penambahan SiO<sub>2</sub> pada PVA dari serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> terhadap porositas, gugus fungsi dan morfologi. Variasi SiO<sub>2</sub> yang digunakan adalah (0, 2, 3, 5) wt%. Proses *electrospinning* dilakukan pada tegangan 20 kV dengan laju alir 2,5 ml/jam. Kemudian serat nano yang terbentuk dimasukkan ke dalam oven pada suhu 90°C selama 8 jam.

Serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> diuji porositasnya dan dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transformed Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Besar viskositas larutan PVA/SiO<sub>2</sub> dengan variasi SiO<sub>2</sub> yang digunakan 0, 2, 3, 5 wt% masing-masing adalah 0,9, 1,2, 1,4 dan 1,8 Pa.s. Besar tegangan permukaan larutan PVA/SiO<sub>2</sub> masing-masing adalah 32, 34, 35 dan 37 dyn/cm. Hasil uji porositas serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> pada sampel PVA/SiO<sub>2</sub>-0%, PVA/SiO<sub>2</sub>-2%, PVA/SiO<sub>2</sub>-3%, PVA/SiO<sub>2</sub>-5% masing-masing sebesar 54,9%, 69,1%, 72,5%, 76,2%. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus -OH, C-H, C-O, C=O, -CH<sub>2</sub>, -CH<sub>3</sub>, Si-OH, Si-O, dan Si-O-Si. Hasil Karakterisasi SEM pada sampel PVA/SiO<sub>2</sub>-0%, PVA/SiO<sub>2</sub>-2%, PVA/SiO<sub>2</sub>-3%, PVA/SiO<sub>2</sub>-5% masing-masing adalah 165, 175, 199 dan 202 nm. Hasil analisis EDX menunjukkan kehadiran unsur C, O, Si dan Na.

**Kata kunci:** *electrospinning*, komposit, PVA/SiO<sub>2</sub>, serat-nano, silika

## ABSTRACT

### SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PVA/SiO<sub>2</sub> COMPOSITE NANOFIBERS FROM RICE HUSK SILICA WITH ELECTROSPINNING METHOD

By

**RIZKY PONCO RAHMADI**

PVA/SiO<sub>2</sub> composite nanofiber have been fabricated using the electrospinning method. This study aims to synthesize PVA/SiO<sub>2</sub> composite nanofiber with varying SiO<sub>2</sub> weights and to determine the effect of SiO<sub>2</sub> addition on the porosity, functional groups, and morphology of PVA/SiO<sub>2</sub> composite nanofiber. The SiO<sub>2</sub> variations used were (0, 2, 3, 5) wt%. The electrospinning process was conducted at a voltage of 20 kV with a flow rate of 2,5 ml/h. The formed serat nano were then placed in an oven at 90°C for 8 hours. The porosity of the PVA/SiO<sub>2</sub> composite nanofiber was tested and characterized using Fourier Transformed Infrared (FTIR) and Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). The viscosity of the PVA/SiO<sub>2</sub> solutions with SiO<sub>2</sub> variations of (0, 2, 3, 5) wt% were 0,9, 1,2, 1,4 dan 1,8 Pa.s, respectively. The surface tension of the PVA/SiO<sub>2</sub> solutions were 32, 34, 35 and 37 dyn/cm, respectively. The porosity test results of the PVA/SiO<sub>2</sub> composite nanofiber for the PVA/SiO<sub>2</sub>-0%, PVA/SiO<sub>2</sub>-2%, PVA/SiO<sub>2</sub>-3%, and PVA/SiO<sub>2</sub>-5% samples were 54,9%, 69,1%, 72,5%, 76,2%, respectively. FTIR characterization results showed the presence of -OH, C-H, C-O, C=O, -CH<sub>2</sub>, -CH<sub>3</sub>, Si-OH, Si-O, and Si-O-Si groups. SEM characterization results for the PVA/SiO<sub>2</sub>-0%, PVA/SiO<sub>2</sub>-2%, PVA/SiO<sub>2</sub>-3%, and PVA/SiO<sub>2</sub>-5% samples were 165, 175, 199 and 202 nm, respectively. EDX analysis results indicated the presence of C, O, Si and Na elements.

**Keywords:** composite, electrospinning, nanofiber, PVA/SiO<sub>2</sub>, silica

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERAT NANO KOMPOSIT PVA/SiO<sub>2</sub>  
DARI SILIKA SEKAM PADI DENGAN METODE *ELECTROSPINNING***

**Oleh**

**RIZKY PONCO RAHMADI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

Judul Skripsi : SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERAT NANO  
KOMPOSIT PVA/SiO<sub>2</sub> DARI SILIKA SEKAM  
PADI DENGAN METODE *ELECTROSPINNING*

Nama Mahasiswa : Rizky Ponco Rahmadi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041019

Program Studi : S1 Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

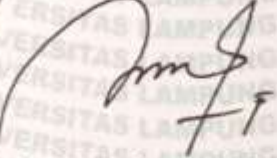


1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Prof., Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.  
NIP 195903081991031001

  
Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si.  
NIP 199006162019031016

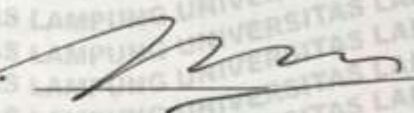
2. Ketua Jurusan

  
Arif Surtono S.Si. M.Si. M.Eng.  
NIP 197109092000121001

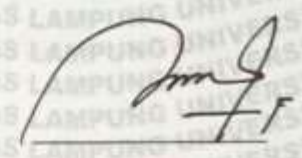
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

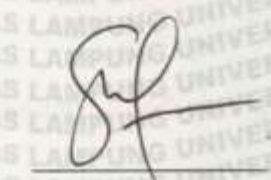
**Ketua : Prof., Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.**



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



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



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
**NIP 197110012005011002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Desember 2024**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul “**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERAT NANO KOMPOSIT PVA/SiO<sub>2</sub> DARI SILIKA SEKAM PADI DENGAN 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, 11 Desember 2024



**Rizky Ponco Rahmadi**  
NPM 1917041019

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada 7 Desember 2001. Secara *de facto* merupakan anak kedua yang dilahirkan, namun secara *de jure* merupakan anak pertama yang dilahirkan dengan selamat dan dibesarkan oleh kasih sayang Ibu Leni Susiana dan Bapak Eko Domowillopo.

Pendidikan formal penulis dimulai pada tahun 2006 di Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) Pinggungan Sebuai yang diselesaikan pada tahun 2007, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di MIN 1 Teluk Betung Utara pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMPN 3 Bandar Lampung pada tahun 2016, Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMAN 4 Bandar Lampung pada tahun 2019 dan pernah menjadi Ketua Umum Rohani Islam (Rohis) SMAN 4 Bandar Lampung periode 2017/2018.

Setelah wajib belajar 12 tahun ditempuh, penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar I. Pada tahun 2022, penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Way Rilau Bandar Lampung dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pelindung Jaya,



Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur. Penulis pernah tergabung dalam tim riset yang dilakukan oleh Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. dan menerbitkan artikel ilmiah terakreditasi SINTA 1 di *Indonesian Journal of Applied Physics* (IJAP).

Selain menimba ilmu di bangku formal kampus, penulis juga aktif di berbagai kegiatan kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) FMIPA Unila, menjadi Anggota Magang Biro Dana dan Usaha (Danus) pada tahun 2019, Anggota Kepengurusan Biro Dana dan Usaha (Danus) pada tahun 2020 dan Wakil Ketua Umum Himafi pada tahun 2021. Rohani Islam (Rois) FMIPA Unila, menjadi Anggota Muda Rois (Amar) Bidang Hubungan Masyarakat (Humas) pada tahun 2019 dan Anggota Kepengurusan Bidang Hubungan Masyarakat (Humas) pada tahun 2020-2021. Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unila, menjadi Staff Ahli Dinas Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa (Adkesma) pada tahun 2020. Bina Rohani Islam Mahasiswa (Birohmah) Unila, menjadi Keluarga Muda Birohmah (KMB) Departemen Hubungan Masyarakat (Humas) pada tahun 2019. Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) U KBM Unila, menjadi Staff Ahli Kementerian Dalam Negeri pada tahun 2020. Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) Rayon MIPA, menjadi Anggota Baru pada tahun 2019, Sekretaris Bidang Kaderisasi pada tahun 2020 dan Ketua Rayon MIPA pada tahun 2021.

## MOTTO

“*Cogito ergo sum.*”  
“Aku berpikir maka aku ada.”  
(René Descartes)

“إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا”  
“Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”  
(Q.S. Al-Insyirah [94]:6)

“Terbentur, terbentur, terbentur, TERBENTUK.”  
(Ibrahim Simabua Datuk Sutan Malaka)

“Pelaut tangguh tidak dilahirkan dari laut yang tenang.”  
(Franklin Delano Roosevelt)

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri.”  
(Baskara Putra)

“Tidak ada mimpi yang gagal, yang ada hanyalah mimpi yang tertunda. Cuma sekiranya kalau teman-teman merasa gagal dalam mencapai mimpi, jangan khawatir, mimpi-mimpi lain bisa diciptakan.”  
(Brando Franco Windah)

“Nikmati proses, tanpa banyak protes. Tidak ada yang sia-sia, setiap peristiwa punya hikmahnya. Tetap melangkah kedepan, meski harus berdarah-darah melewati rintangan.”  
(Rizky Ponco Rahmadi)

## **PERSEMBAHAN**

Dengan mengucap rasa syukur kehadiran Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, penulis persembahkan karya ini kepada:

### **Ibu dan Bapak Tercinta Leni Susiana dan Eko Domowilopo**

Atas kasih sayang, pengorbanan dan kesabaran dalam mendidik, membimbing, membesarkan dan mendoakan penulis. Jikalau seluruh air di Bumi ini adalah tinta, tidaklah akan pernah cukup untuk menuliskan rasa terima kasih penulis kepada mereka berdua.

### **Adik-adik Tercinta Akbar Ramadhan dan Rangga Dito**

Atas dukungan, doa, keceriaan dan menjadi salah satu semangat penulis untuk tumbuh lebih baik lagi.

### **Almamater Tercinta Jurusan Fisika, Fakultas MIPA dan Universitas Lampung**

Yang telah menjadi Kawah Chandradimuka bagi penulis.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, yang telah memberikan karunia, rahmat, nikmat dan kekuatan; sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“SINTESIS DAN KARAKTERISASI SERAT NANO KOMPOSIT PVA/SiO<sub>2</sub> DARI SILIKA SEKAM PADI DENGAN METODE *ELECTROSPINNING*”**. Skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir (TA) dan juga sebagai syarat memenuhi salah satu mata kuliah wajib di Universitas Lampung.

Dalam pengerjaannya, skripsi ini tidaklah jadi dalam semalam seperti Candi Prambanan yang dibangun oleh Bandung Bondowoso, melainkan perjuangan panjang yang sesekali diiringi rasa lelah dan air mata. Penulis sadar bahwa dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini masih jauh dari kata sempurna dan terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun diperlukan oleh penulis, guna dalam tulisan berikutnya dapat ditingkatkan lebih baik lagi. Semoga ilmu dan informasi yang tertuang dalam skripsi ini dapat menjadi manfaat bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 11 Desember 2024

**Rizky Ponco Rahmadi**

## SANWACANA

Tiada hentinya penulis ucapkan rasa syukur kehadirat Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang telah memberikan karunia, rahmat, nikmat dan kekuatan; sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan rasa bangga, kerendahan dan ketulusan hati; penulis mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I, telah bersedia memberikan bimbingan, saran, motivasi, ilmu dan nasihat.
2. Bapak Iqbal Firdaus S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II, telah bersedia memberikan bimbingan, saran, motivasi, ilmu dan nasihat. Juga telah memberikan pengalaman penelitian sebelumnya, serta bantuan material kepada penulis yang berasal dari dana hibah penelitian dosen.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji, telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
4. Mendiang Bapak Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D. selaku mantan Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing I, telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, ilmu dan nasihat.
5. Bapak Drs. Syafrjadi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik, telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, ilmu dan nasihat. Menjadi tempat bertukar pikiran dan curhat penulis dikala penulis sedang menghadapi gundah gulana, baik dalam kehidupan perkuliahan maupun di luar kehidupan perkuliahan penulis.
6. Kedua orang tua penulis, Ibu Leni Susiana dan Bapak Eko Domowilopo yang telah meberikan dukungan penuh, baik berupa material maupun doa yang tiada hentinya.

7. Mbah Loso, Bulek Dwi Daryati dan Om Cahya Sanjaya yang juga telah memberikan dukungan material maupun doa.
8. Adik-adikku, Akbar Ramadhan dan Rangga Dito yang telah memberikan dukungan dan semangat.
9. Teman-teman seperjuanganku yang telah mendukung, menemani, berbagi ilmu dan mendoakan; Daffa Abdul Malik, Andrean Johandra, Muhamad Ridwan, Anwar Sholihin, Muhammad Arif Jarodi, Mochammad Gilang Ramadhan, Putra Riski Utama, Rapli Sopian Sonus, Muhammad Asrizal dan teman-teman lain yang tak sempat penulis sebutkan satu persatu karena keterbatasan penulis.
10. Teman-teman yang sudah penulis anggap seperti saudara, yang telah mendukung, menemani, menghibur dan mendoakan; Adi Wira Utomo, Jodi Aldion, Oki Paksi, Reinhan Fadillah Saputra, Aldi Ramadhan dan Agung Gumilar.
11. Wanita yang pernah bersama dalam hidup penulis selama tiga tahun sejak Oktober 2020; Dian Permatasari, S.Si. yang telah mendukung, menemani, memotivasi, menghibur, bertukar pikiran dan mendoakan.
12. Keluarga Fisika 2019 dan Himafi FMIPA Unila, telah menjadi rumah kedua penulis selama di kampus.
13. Semua pihak yang tak sempat penulis sebutkan satu persatu karena keterbatasan penulis, terima kasih telah mendukung dan mendoakan penulis.
14. *Last but not least, I want to thank me, I want to thank me for believing in me, I want to thank me for doing all this hard work, I want to thank me for having no days off, I want to thank me for never quitting, I want to thank me for always being a giver and trying to give more than I receive, I want to thank me for trying to do more right than wrong, I want to thank me for just being me at all times.*

Bandar Lampung, 11 Desember 2024

**Rizky Ponco Rahmadi**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>SAMPUL</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	vii
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	viii
<b>MOTTO</b> .....	x
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	xi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xii
<b>SANWACANA</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1. Serat Nano .....	7
2.2. Komposit .....	9
2.3. Polivinil Alkohol (PVA).....	10

2.4. Silika (SiO <sub>2</sub> ) Sekam Padi.....	12
2.5. <i>Electrospinning</i> .....	14
2.6. <i>Spektroskopi Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> dengan <i>Energy-Dispersive X-Ray (EDX)</i> .....	16
2.7. <i>Fourier Transform Infra-Red (FTIR)</i> .....	18
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	20
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	20
3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	20
3.2.1. Alat Penelitian .....	20
3.2.2. Bahan Penelitian.....	21
3.3. Prosedur Penelitian.....	21
3.3.1. Pembuatan Serbuk Silika.....	21
3.3.2. Pembuatan Serat Nano Komposit PVA/SiO <sub>2</sub> .....	23
3.3.3. Pengujian dan Karakterisasi .....	24
3.4. Diagram Alir.....	26
3.4.1. Ekstraksi Silika.....	26
3.4.2. Pembuatan Serat Nano .....	28
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
4.1. Hasil Pembuatan Larutan PVA/SiO <sub>2</sub> .....	29
4.2. Hasil Uji Viskositas Larutan PVA/SiO <sub>2</sub> .....	30
4.3. Hasil Uji Tegangan Permukaan Larutan PVA/SiO <sub>2</sub> .....	31
4.4. Hasil Serat Nano Komposit PVA/SiO <sub>2</sub> dari Proses <i>Electrospinning</i> ...	32
4.5. Hasil Uji Porositas Serat Nano Komposit PVA/SiO <sub>2</sub> .....	33
4.6. Hasil Karakterisasi FTIR .....	34
4.7. Analisis Morfologi Permukaan, Ukuran Diameter dan Komposisi UnsurSerat Nano Komposit PVA/SiO <sub>2</sub> .....	37
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	42
5.1. Kesimpulan.....	42
5.2. Saran .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	45
<b>LAMPIRAN</b> .....	54



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1.</b> Morfologi Serat Nano yang Dilihat Melalui SEM (Yanilmaz, 2019).....	8
<b>Gambar 2.2.</b> Hidrolisis polivinil asetat menjadi polivinil alkohol .....	11
<b>Gambar 2.3.</b> Rumus struktur untuk PVA dimana (a) terhidrolisis sebagian atau sedang dan (b) terhidrolisis sempurna .....	11
<b>Gambar 2.4.</b> Skema <i>Electrospinning</i> .....	16
<b>Gambar 2.5.</b> Hasil Analisis SEM-EDX (Jamil <i>et al.</i> , 2021). .....	17
<b>Gambar 2.6.</b> Hasil karakterisasi FTIR serat nano PVA/SiO <sub>2</sub> (Wu <i>et al.</i> , 2010). .....	19
<b>Gambar 3.1.</b> Skema Ekstraksi Sol Silika.....	22
<b>Gambar 3.2.</b> Skema Sintesis Gel Silika.....	23
<b>Gambar 3.3.</b> Skema Pembuatan Larutan PVA/SiO <sub>2</sub> .....	24
<b>Gambar 3.4.</b> Skema proses <i>electrospinning</i> .....	24
<b>Gambar 3.5.</b> Diagram Alir Ekstraksi Silika .....	27
<b>Gambar 3.6.</b> Diagram Alir Pembuatan Serat Nano .....	28
<b>Gambar 4.1.</b> Hasil Pembuatan (a) larutan PVA/SiO <sub>2</sub> -0%, (b) larutan PVA/SiO <sub>2</sub> -2%, (c) larutan PVA/SiO <sub>2</sub> -3%, (d) larutan PVA/SiO <sub>2</sub> -5%.....	29
<b>Gambar 4.2.</b> Serat nano komposit PVA/SiO <sub>2</sub> hasil <i>electrospinning</i> (a) PVA/SiO <sub>2</sub> -0%, (b) PVA/SiO <sub>2</sub> -2%, (c) PVA/SiO <sub>2</sub> -3%, (d) PVA/SiO <sub>2</sub> -5%.....	33
<b>Gambar 4.3.</b> Hasil karakterisasi FTIR serat nano komposit PVA/SiO <sub>2</sub> dengan variasi (a) PVA/SiO <sub>2</sub> -0%, (b) PVA/SiO <sub>2</sub> -2%, (c) PVA/SiO <sub>2</sub> -3%, (d) PVA/SiO <sub>2</sub> -5%.....	35

**Gambar 4.4.** Morfologi permukaan dan grafik distribusi ukuran diameter serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> dengan skala bar 1 μm pada sampel (a) PVA/SiO<sub>2</sub>-0%, (b) PVA/SiO<sub>2</sub>-2%, (c) PVA/SiO<sub>2</sub>-3%, (d) PVA/SiO<sub>2</sub>-5%. .....38

**Gambar 4.5.** Komposisi unsur serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub>-5%. .....40

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 4.1.</b> Data uji viskositas larutan PVA/SiO <sub>2</sub> .....	31
<b>Tabel 4.2.</b> Hasil Uji Porositas Serat nano Komposit PVA/SiO <sub>2</sub> .....	34
<b>Tabel 4.3.</b> Gugus Fungsi pada Puncak-Puncak Bilangan Gelombang Hasil FTIR serat nano komposit PVA/SiO <sub>2</sub> dengan variasi (a) PVA/SiO <sub>2</sub> -0%, (b) PVA/SiO <sub>2</sub> -2%, (c) PVA/SiO <sub>2</sub> -3%, (d) PVA/SiO <sub>2</sub> -5%. .....	36

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini kemajuan teknologi telah berkembang pesat, digitalisasi telah memasuki berbagai lini kehidupan. Di era digitalisasi yang membuat kehidupan relatif lebih mudah ini, kebutuhan manusia akan barang-barang elektronik sebagai sarana untuk menunjang kehidupan tak terelakkan lagi. Barang-barang elektronik tersebut ada yang harus dicolokkan ke suatu sumber listrik setiap pemakaian dan tidak mudah untuk dibawa kemana-mana, selain itu ada juga yang portabel atau tidak harus dicolokkan ke suatu sumber listrik setiap ingin menggunakannya sehingga lebih mudah untuk dibawa kemana-mana. Kebanyakan baterai yang digunakan adalah baterai Li-ion dengan pangsa pasar 75% (Goodenough & Park, 2013). Baterai *Lithium-ion* memiliki keunggulan dibandingkan dengan jenis baterai lain karena lebih ringan, lebih murah, memiliki kerapatan energi yang lebih tinggi (250 Wh/kg, 650 Wh/L), kehilangan daya yang lebih rendah, tidak ada efek memori, masa pakai yang lebih lama, dan jumlah siklus pengisian/pengosongan yang lebih tinggi (Manthiram, 2017).

Baterai Li-ion digunakan untuk memberikan daya ke berbagai peralatan seluler, seperti smartphone, tablet, dan laptop, serta semakin banyak sensor dan aktuator, yang akan memiliki peran mendasar dalam pembentukan *Internet of Things* (IoT) dan konsep Industri 4.0, tren utama evolusi teknologi saat ini (Oliveira *et al.*, 2018). Baterai ion litium juga dapat menggerakkan kendaraan listrik dan hibrida, serta mengambil bagian dalam pengelolaan produksi energi terbarukan, yang penting dalam paradigma energi yang lebih berkelanjutan (Goodenough & Park, 2013). Karena beberapa sumber daya terbarukan, seperti matahari dan angin, terputus-putus dari waktu ke waktu, menyimpan energi untuk digunakan selama

periode kekurangan sumber daya merupakan masalah kritis untuk baterai Li-ion (Costa & Lanceros-Méndez, 2018). Penggunaan baterai Li-ion menjadi yang paling efektif dalam pengembangan *battery electric vehicle* (BEV) (Chen *et al.*, 2012).

Baterai Li-ion memiliki komponen utama yaitu katoda, anoda, elektrolit, dan separator. Separator merupakan salah satu komponen yang berperan penting dalam menjaga keamanan baterai. Fungsi utama separator pada baterai adalah untuk mencegah terjadinya kontak antara elektroda (anoda dan katoda), sehingga tidak terjadi korsleting pada sel baterai (Barbosa *et al.*, 2018) dan sebagai media transfer ion. Saat ini, separator baterai Li-ion umumnya adalah membran berpori yang terbuat dari poliolefin seperti polietilen (PE) dan polipropilen (PP). Meskipun membran ini memiliki keunggulan lembam secara kimia, mudah diproses dan biaya rendah, energi permukaan rendah dan hidrofobisitas bahan poliolefin, dan proses pembentukan pori yang meregang membuat jenis membran ini memiliki ketahanan panas yang rendah dan serapan elektrolit yang kurang baik, hal tersebut sangat mempengaruhi masa pakai dan kinerja keselamatan baterai (Wang *et al.*, 2019). Untuk mengatasi masalah di atas, metode yang paling sederhana dan efektif adalah dengan mengaplikasikan lapisan keramik pada permukaan membran untuk mempersiapkan material separator keramik komposit. Setelah lapisan keramik diterapkan pada permukaan separator poliolefin, stabilitas termal pemisah komposit meningkat karena ketahanan suhu tinggi yang baik dari partikel keramik. Pada saat yang sama, karena permukaan partikel keramik mengandung gugus hidroksil, kemampuan serapan elektrolit ke separator dapat ditingkatkan (Juang *et al.*, 2015).

Silika ( $\text{SiO}_2$ ) merupakan salah satu nanomaterial yang paling banyak digunakan, karena  $\text{SiO}_2$  tidak hanya memiliki ketahanan panas yang baik, liofilisasi, dan kelembaman kimia, tetapi juga memiliki rasio dielektrik dan fase dielektrik yang lebih tinggi, lebih rendah dibandingkan pengisi anorganik lainnya. Mempertimbangkan sifat hidrofilik dan termofilik separator, dalam penelitian yang dilakukan oleh Wang *et al.*, (2019),  $\text{SiO}_2$  dipilih sebagai pengisi keramik

anorganik. Polivinil alkohol (PVA) adalah polimer yang larut dalam air dengan sifat pembentuk membran yang baik dan daya rekat yang kuat (Wang *et al.*, 2019).

Sekam padi merupakan salah satu sisa hasil pertanian dari proses penggilingan padi yang cukup banyak terdapat di Indonesia, namun belum dimanfaatkan secara optimal (Syukri *et al.*, 2017). Komponen utama sekam padi adalah bahan organik seperti hemiselulosa, selulosa dan lignin dengan jumlah sekitar 75-90% dan sisa kadar abu 17-20%. Pada kadar abu yang terdapat pada sekam padi, kandungan silika di dalamnya mencapai lebih dari 90% (Bakar *et al.*, 2016). Hal tersebut dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan separator baterai Li-ion. Silika sekam padi dapat diperoleh dengan beberapa metode, seperti metode sol-gel, metode presipitasi atau pengendapan, metode hidrotermal, metode termokimia, metode *microwave* dan metode *leaching*. Salah satu metode dengan kemurnian terbaik adalah metode sol-gel yang merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk sintesis silika karena metode sol-gel menggunakan teknik yang sederhana dan relatif murah, mendapatkan homogenitas ukuran yang tinggi, ukuran yang merata dan tingkat kemurnian tinggi (Rahman & Padavettan, 2012).

Berdasarkan uraian di atas silika sekam padi mempunyai potensi untuk dimanfaatkan dan dikembangkan menjadi bahan utama separator baterai. Dari percobaan yang direncanakan, diharapkan diperoleh informasi ilmiah sebagai dasar pengembangan Silika sekam padi yang dapat dimanfaatkan secara luas, khususnya sebagai bahan utama pembuatan separator. Secara garis besar, serangkaian percobaan akan difokuskan dalam 3 lingkup utama: yakni, (i) PVA/SiO<sub>2</sub> berbasis silika sekam padi sebagai separator baterai Li-ion dapat diproduksi hingga ke skala industri dengan menggunakan energi/suhu rendah, (ii) silika dari sekam padi dapat diproduksi dengan mudah dan biaya relatif murah sehingga dapat dijangkau dalam skala industri rumah tangga dan sebagai pengganti silika komersial yang harganya relatif mahal. (iii) metode *electrospinning* berpeluang menjadikan metode sintesis yang sangat efisien dan

efektif karena lebih sederhana dan memerlukan waktu yang singkat dalam proses pembuatan membran serat nano dibandingkan metode lainnya.

## 1.2. Rumusan Masalah

Keberadaan limbah sekam padi yang jumlahnya cukup melimpah di Indonesia masih belum banyak dimanfaatkan dengan maksimal, biasanya sekam padi hanya dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman atau media tanam, bahkan terkadang ada juga limbah sekam padi yang tidak dimanfaatkan dan dibiarkan begitu saja, parahnya tidak jarang juga sekam padi yang dibakar sehingga menyebabkan polusi udara. Sangat disayangkan jika sekam padi yang memiliki potensi manfaat tidak dikelola dengan maksimal dan inovatif, bahkan sampai menimbulkan masalah lingkungan. Sekam padi memiliki kandungan silika yang sangat melimpah, dimana silika mempunyai banyak manfaat dan seharusnya dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menghasilkan suatu produk yang mempunyai daya guna lebih tinggi seperti sebagai bahan baku pembuatan separator baterai Li-ion. Pada saat ini, separator baterai Li-ion yang umum dipakai adalah dengan menggunakan membran berpori yang terbuat dari poliolefin seperti PE dan PP. Membran yang terbuat dari poliolefin memiliki ketahanan panas yang rendah dan penyerapan elektrolit yang buruk, hal tersebut sangat mempengaruhi masa pakai dan kinerja keselamatan baterai.

Penelitian yang penulis lakukan ini mencoba untuk mengkaji pemanfaatan silika yang terdapat pada sekam padi sebagai penguat (*reinforcement*) yang kemudian dipadukan dengan PVA sebagai matrik untuk pembuatan membran komposit serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> yang akan diaplikasikan pada separator baterai Li-ion, sehingga membuat separator menjadi lebih tahan panas dan penyerapan elektrolit yang lebih baik lagi. Dengan demikian, rumusan masalah yang dikaji dan dicari pemecahannya melalui penelitian ini diantaranya.

1. Bagaimana gugus fungsi dari serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> melalui karakterisasi *Fourier Transformed Infrared* (FTIR)?
2. Bagaimana struktur mikro yang terbentuk pada serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> menggunakan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan *Energy-Dispersive X-Ray* (EDX)?

### 1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, masalah dibatasi oleh:

1. Ekstraksi sol SiO<sub>2</sub> dengan perbandingan sekam padi, akuades, NaOH 99% sebesar 50 g, 500 ml, 25,25 ml.
2. Sintesis gel SiO<sub>2</sub> dengan perbandingan akuades dan HNO<sub>3</sub> sebesar 100 ml dan 14,71 ml.
3. PVA yang digunakan adalah 9 wt% dari akuades.
4. Silika (SiO<sub>2</sub>) yang digunakan adalah variasi (0, 2, 3, 5) wt% dari PVA.
5. Ukuran membran serat nano yang di uji yaitu  $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$ .
6. Karakterisasi serat nano menggunakan FTIR dan SEM/EDX.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menyintesis serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> dengan variasi SiO<sub>2</sub>.
2. Mengetahui pengaruh variasi penambahan SiO<sub>2</sub> pada PVA dari serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> terhadap gugus fungsi melalui karakterisasi FTIR dan morfologi melalui karakterisasi SEM/EDX.



### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi berat  $\text{SiO}_2$  pada pembuatan serat nano komposit PVA/  $\text{SiO}_2$ .
2. Memberikan pengetahuan baru terhadap perkembangan IPTEK khususnya dalam pembuatan serat nano komposit PVA/  $\text{SiO}_2$ .
3. Hasil ini dapat digunakan sebagai informasi mengenai pemanfaatan limbah sekam padi sebagai silika dan kemudian menjadi bahan alternatif pada pembuatan serat nano.
4. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila dibidang Fisika Material.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

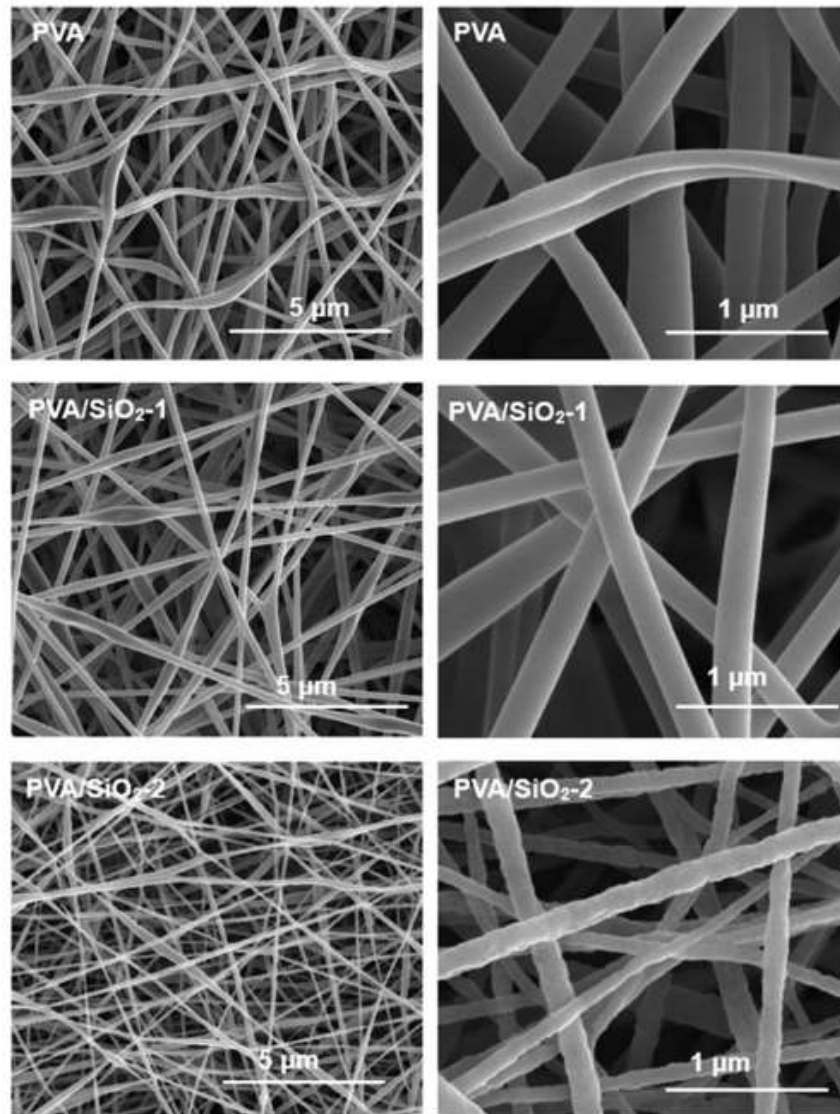
### 2.1. Serat Nano

Serat nano adalah material yang memiliki diameter sangat kecil, kurang dari 1000 nanometer (nm) atau bahkan lebih kecil dari satu mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) (Reneker & Chun, 1996). Salah satu teknik utama untuk membuat serat nano adalah *electrospinning*. *Electrospinning* melibatkan ekstrusi serat dari larutan atau leleh polimer melalui medan listrik. Proses ini menghasilkan serat-serat sangat halus dengan diameter nanoskala. Teknik ini telah mengalami perkembangan signifikan dalam beberapa dekade terakhir dan digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi (Li & Xia, 2004).

Sifat unik serat nano yang paling menonjol adalah luas permukaan yang besar dan diameter serat yang sangat kecil. Hal ini menjadikannya cocok untuk aplikasi seperti penyaring air dan udara, serta penggunaan dalam bidang biomedis sebagai *scaffold* untuk regenerasi jaringan (Li *et al.*, 2005). Selain itu, serat nano juga digunakan dalam tekstil teknis untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap air (Bushan, 2008). Dalam bidang elektronik, serat nano digunakan untuk mengembangkan perangkat elektronik fleksibel dan sensor (Thangavel *et al.*, 2020).

Perkembangan dalam penggunaan serat nano terus berlanjut. Misalnya, serat nano logam telah digunakan untuk aplikasi dalam elektronik canggih dan sensor tingkat tinggi (Pascali *et al.*, 2018). Selain itu, serat nano juga digunakan dalam pengembangan baterai Li-ion dengan kapasitas yang lebih tinggi (Armand & Tarascon, 2008). Contoh hasil karakterisasi SEM dapat dilihat pada Gambar 2.1 berdasarkan buku yang berjudul *Scanning Electron Microscopy and X-Ray*

*Microanalysis* karya Goldstein *et al.* (2018). Kemajuan dalam nanoteknologi telah membuka pintu bagi penggunaan serat nano dalam berbagai aplikasi yang lebih canggih.



**Gambar 2.1.** Morfologi Serat Nano yang Dilihat Melalui SEM (Yanilmaz, 2019).

Meskipun serat nano menawarkan potensi besar, ada sejumlah tantangan yang perlu diatasi. Kontrol diameter serat, stabilitas, dan masalah biodegradabilitas adalah beberapa tantangannya. Namun, penelitian terus berlanjut dan inovasi dalam teknik pembuatan dan aplikasi serat nano terus muncul (Sundaray *et al.*, 2004).

## 2.2. Komposit

Komposit adalah jenis material yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang berbeda yang digabungkan untuk menciptakan sifat-sifat unik yang tidak dapat dicapai oleh komponen tunggalnya (Chawla, 2012). Dalam komposit, terdapat dua komponen utama, yaitu penguat dan matriks. Penguat sering kali terbuat dari bahan seperti serat karbon, serat kaca, atau serat aramid, yang memberikan komposit kekuatan tarik dan kekakuan yang tinggi. Di sisi lain, matriks, yang dapat berupa resin epoksi, polimer, logam, atau keramik, mengelilingi dan mengikat serat-serat bersama-sama. Fungsi matriks adalah mendistribusikan beban secara merata ke seluruh serat dan memberikan perlindungan terhadap kerusakan (Chawla, 2012).

Keuntungan utama dari penggunaan komposit adalah kekuatan dan kekakuan yang dapat disesuaikan dengan mengatur jenis, orientasi, dan volume serat (Barbero, 1998). Selain itu, komposit juga cenderung lebih ringan daripada logam, sehingga menjadi pilihan yang menarik dalam industri penerbangan dan otomotif untuk mengurangi berat kendaraan. Komposit juga memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi dan bahan kimia tertentu, membuatnya cocok untuk berbagai lingkungan (Tiwari & Syväjärvi, 2015). Keunggulan lainnya adalah fleksibilitas dalam desain, karena komposit dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan struktur yang kompleks sesuai kebutuhan aplikasi (Barbero, 1998).

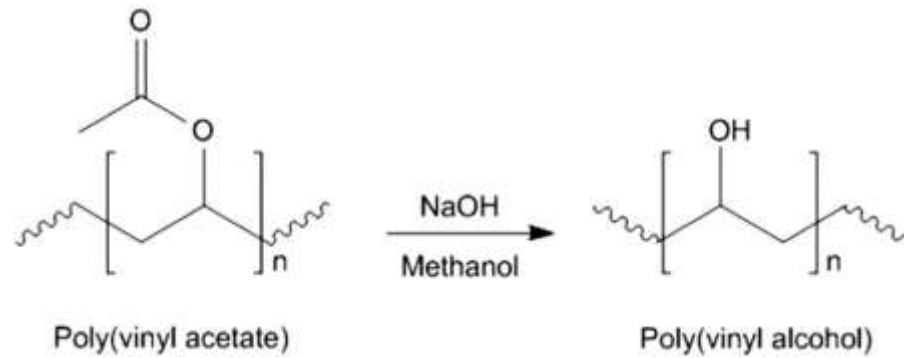
Aplikasi komposit sangat luas dan mencakup berbagai industri. Dalam industri penerbangan, komposit digunakan dalam pembuatan sayap pesawat dan komponen lainnya untuk mengurangi berat pesawat dan meningkatkan efisiensi bahan bakar (Kaw, 2005). Industri otomotif mengadopsi komposit dalam produksi mobil untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan performa. Dalam industri konstruksi, komposit digunakan untuk memperkuat struktur bangunan, jembatan, dan infrastruktur lainnya (Shelke *et al.*, 2012). Bahkan dalam olahraga, raket tenis, bat golf, dan sepeda balap seringkali menggunakan komposit untuk meningkatkan performa (Shelke *et al.*, 2012).

### 2.3. Polivinil Alkohol (PVA)

PVA adalah polimer yang dapat terurai secara hayati dan ramah lingkungan (Yan *et al.*, 2015). PVA disiapkan melalui polimerisasi monomer vinil asetat, dan kemudian alkoholis (Tian *et al.*, 2017). Fitur PVA meliputi nonionik, semi-kristal, kemampuan proses, dan kemampuan spin yang fantastis (Mallakpour & Shamsaddinimotlagh, 2018). PVA memproses berbagai aplikasi praktis karena sifat fisik dan kimia yang sangat baik dari bahan yang diproses (Zhang *et al.*, 2012). Selain itu, rantai molekul PVA mengandung sejumlah besar gugus hidroksil, yang dapat digunakan untuk menyerap ion logam berat dalam air limbah dengan ikatan hidrogen dan ikatan silang (Hallaji *et al.*, 2014).

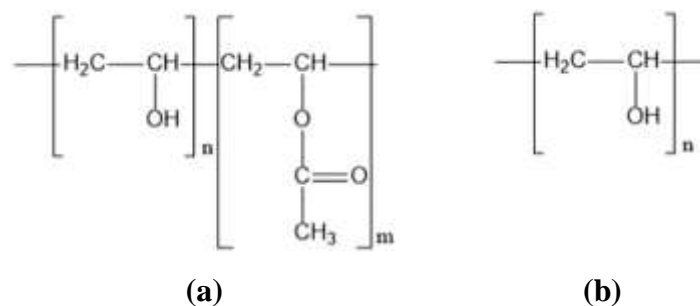
PVA adalah polimer sintetik semi-kristal dengan rumus kimia  $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})]_n$ . PVA berwarna putih dan tidak berbau. PVA umumnya ditemukan dalam bentuk bubuk, tetapi terkadang juga didistribusikan dalam bentuk manik-manik atau larutan. Berat molekul produk PVA berkisar antara 20.000 – 400.000 u. Variasi berat molekul disebabkan oleh parameter sintesis seperti panjang rantai awal polimer vinil asetat, tingkat hidrolisis untuk mereduksi gugus asetat dan apakah hidrolisis diperbolehkan dalam kondisi basa atau asam (Gaaz *et al.*, 2015).

PVA dapat disintesis dengan hidrolisis dari varietas poli(vinil ester) dan poli(vinil eter). Namun, sebagian besar PVA yang tersedia secara komersial disintesis melalui hidrolisis poli(vinil asetat) sebagian atau seluruhnya (**Gambar 2.2**). Ini karena monomer vinil alkohol tidak stabil pada suhu dan tekanan lingkungan standar. Monomer vinil alkohol menunjukkan kecenderungan besar untuk membentuk asetaldehida karena tautomerisme keto-enol. Oleh karena itu, PVA disintesis dengan polimerisasi vinil asetat pertama menjadi poli(vinil asetat) melalui polimerisasi radikal, diikuti dengan hidrolisis poli(vinil asetat) menjadi PVA (Marín *et al.*, 2014).



**Gambar 2.2.** Hidrolisis polivinil asetat menjadi polivinil alkohol

Semakin tinggi derajat hidrolisis dan polimerisasi PVA, semakin rendah kristalinitasnya serta kelarutannya dalam air. PVA secara komersial dinilai menurut tingkat hidrolisis dan viskositasnya. PVA umumnya dikelompokkan ke dalam rentang kadar terhidrolisis sebagian (84,2-89,0%), kadar terhidrolisis sedang (92,5-96,5%), dan kadar terhidrolisis sempurna (98,0-99,0%) (Marín *et al.*, 2014). **Gambar 2.3** mengilustrasikan formula struktural untuk PVA yang masing-masing dihidrolisis sebagian atau sedang dan dihidrolisis seluruhnya. Padahal, derajat hidrolisis merupakan faktor penentu sifat fisik, kimia dan mekanik dari PVA yang dihasilkan. Hal ini karena sifat polimer sesuai dengan kandungan gugus ester residu dalam PVA (Gaaz *et al.*, 2015).



**Gambar 2.3.** Rumus struktur untuk PVA dimana (a) terhidrolisis sebagian atau sedang dan (b) terhidrolisis sempurna

Menjadi bahan yang mudah dibentuk, PVA telah dibuat menjadi berbagai bentuk dan ukuran. Hal tersebut termasuk lapisan dan pelapis yang memiliki kekuatan tarik tinggi, fleksibilitas, serta sifat penghalang oksigen dan aroma yang tinggi (Tang & Alavi, 2011). Namun, sifat-sifat seperti kekuatan tarik, perpanjangan

putus dan sifat penghalang tergantung pada kelembaban. Hal ini disebabkan oleh sifat higroskopis PVA yang mengakibatkan kelembaban air lebih tinggi diserap oleh PVA saat kelembaban tinggi. Air yang tertahan di PVA, yang bertindak sebagai *plasticizer* pada akhirnya akan mengurangi kekuatan tarik film PVA dan Modulus Young tetapi meningkatkan elongasi saat putus.

PVA adalah polimer semi-kristal dengan tingkat pembengkakan yang tinggi, biodegradabilitas, nontoksisitas, kelengketan, *bioinertness*, non-karsinogenisitas sehingga menjadikannya sebagai biomaterial yang menjanjikan. Meskipun kelarutannya dalam air, PVA tampaknya tahan terhadap sebagian besar pelarut organik, minyak dan lemak (Dou *et al.*, 2014).

#### **2.4. Silika (SiO<sub>2</sub>) Sekam Padi**

Menurut penelitian Ismail & Waliuddints (1996) sekam padi memiliki kandungan 50% selulosa, 25-30% lignin, dan 15-20% silika. Silika merupakan senyawa yang dihasilkan dari polimerisasi asam silikat. Silika tersusun dari rantai satuan SiO<sub>4</sub> yang formula umumnya SiO<sub>2</sub> dan unsur kedua terbanyak dikerak bumi setelah oksigen (Husnain *et al.*, 2008). Silika adalah salah satu bahan keramik yang mempunyai daya tahan terhadap suhu tinggi, sehingga baik digunakan sebagai bahan isolator. Silika juga tidak larut dalam air, mempunyai stabilitas termal yang tinggi, dan dapat tahan terhadap asam dan basa, maka dari itu baik digunakan sebagai katalis (Timings, 1997).

Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintesis adalah amorf. Secara sintesis senyawa silika dapat dibuat dari larutan silikat (Sulastri & Kristianingrum, 2010). Silika non kristalin yang dikenal dengan silika amorf. Susunan atom silika amorf memiliki susunan atom dan molekul yang acak dan tidak beraturan. Akibat dari susunan atom dari silika amorf yang acak, membuat struktur berbentuk bola yang rumit dan menyebabkan luas permukaan yang tinggi, biasanya 3 m<sup>2</sup>/g (Kirk & Othomer, 1984).

Dari silika kristalin dan silika amorf dapat dimanfaatkan dalam industri kaca, bangunan, dan elektronik. Pada temperatur tinggi silikon dapat dimanfaatkan sebagai konduktor panas dan listrik. Sehingga dari berbagai aplikasi, silika digunakan sebagai bahan baku baterai (Shen, 2017). Namun, Silika amorf memiliki reaktifitas yang lebih tinggi dari pada kristalin, karena memiliki gugus hidroksil (silanol) yang diperoleh dari pemanasan dengan temperatur 400 °C.

Menurut penelitian yang dilakukan Zargar *et al.* (2017) mengatakan bahwa penambahan silika ke dalam polimer dapat menaikkan konduktivitas listrik dan menurunkan permeabilitas. Konduktivitas listrik bahan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Pada penelitian Nurhadini *et al.* (2021) dimana silika yang divariasikan dengan membran kitosan-PVA menyatakan bahwa penggunaan silika mendapatkan konduktivitas sebesar  $2,005 \times 10^{-7}$  S/cm. Selain itu, silika yang dikombinasi dengan membran kitosan-PVA juga dapat meningkatkan konduktivitas sebesar  $2,438 \times 10^{-2}$  S/cm (Susanti & Widiarti, 2017). Menurut penelitian Putri *et al.* (2022) partikel silika dapat dijadikan bahan isolator panas. Membran adalah salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah terutama dalam proses pemisahan. Aliran fluida antara dua fasa yang melalui membran akan dihalangi oleh membran tipis yang memiliki selektifitas tinggi (Mulder, 1996). Dibandingkan dengan metode pemisahan lainnya, membran memiliki keunggulan yaitu dapat digunakan pada suhu rendah. Keunggulan lainnya adalah material yang dapat digunakan untuk membuat membran mudah dikombinasikan dengan proses pemisahan lainnya. Membran kitosan merupakan senyawa turunan kitin yang diperoleh dengan mengganti gugus asetil ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) menjadi gugus amina ( $-\text{NH}_2$ ). Karena kitosan larut dalam asam, maka mudah dibuat menjadi membran. Membran kitosan memiliki beberapa kelebihan di antaranya selektifitas dan permeabilitas membran tinggi dan juga stabilitas termal yang tinggi dibandingkan dengan polimer murni lainnya (Aprilia, 2006).



## 2.5. *Electrospinning*

*Electrospinning* adalah salah satu metode dalam membuat serat nano yang telah menghadirkan perubahan signifikan dalam berbagai bidang aplikasi ilmu pengetahuan dan teknologi. Prinsip dasar *electrospinning* melibatkan penggunaan medan listrik untuk menghasilkan serat nanometer yang sangat tipis dari larutan atau lelehan polimer. Proses ini dimulai dengan pembebanan elektroda, di mana larutan polimer ditempatkan dalam jarum atau pipa yang terhubung dengan elektroda bermuatan positif, sedangkan elektrode kolektor bermuatan negatif ditempatkan pada jarak tertentu (Li & Xia, 2004). Ketika medan listrik diterapkan, serat polimer ditarik keluar dari jarum dan mengalami *stretching*, membentuk serat nanometer yang sangat tipis. Serat ini kemudian mengering dan bisa mengkristal jika polimer yang digunakan memiliki sifat kristal. Salah satu kekuatan utama *electrospinning* adalah kemampuannya untuk mengendalikan morfologi serat dengan presisi tinggi. Ini mencakup pengendalian ukuran, bentuk, dan porositas serat. Penelitian dalam mengatur parameter seperti laju aliran larutan, jarak antara jarum dan kolektor, dan medan listrik telah memungkinkan penyesuaian serat sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu (Bhardwaj & Kundu, 2010). Kontrol parameter seperti tegangan listrik, laju aliran cairan, jarak antara nosel dan substrat, dan viskositas cairan dapat memengaruhi diameter dan morfologi serat yang dihasilkan (Ramakrishna *et al.*, 2006).

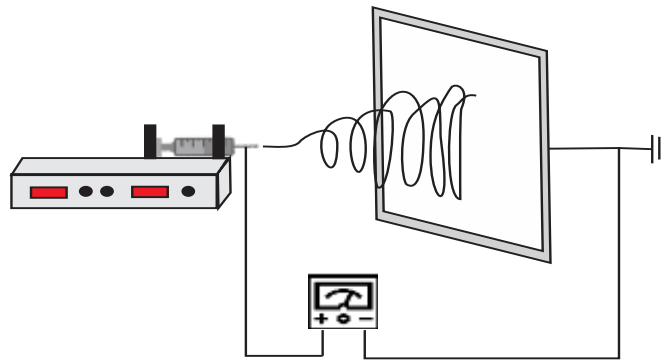
*Electrospinning* adalah metode fabrikasi serat nano yang bergantung pada interaksi kompleks berbagai parameter, termasuk parameter larutan polimer, proses, lingkungan, dan material tambahan. Konsentrasi dan viskositas larutan polimer, tegangan permukaan, serta kelarutan memengaruhi pembentukan serat, di mana konsentrasi tinggi cenderung meningkatkan diameter serat seperti yang dilaporkan oleh Huang *et al.* (2003). Parameter proses seperti tegangan listrik, jarak kolektor-spinneret, dan laju aliran larutan memengaruhi stabilitas dan struktur jet, dengan tegangan optimal menghasilkan serat kontinu tanpa cacat (Ramakrishna *et al.*, 2006). Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan juga penting, karena suhu tinggi mempercepat penguapan pelarut, sementara

kelembapan tinggi meningkatkan porositas (Casper *et al.*, 2004). Penambahan material seperti nanopartikel SiO<sub>2</sub> memengaruhi morfologi serat; misalnya, hasil penelitian Anda menunjukkan peningkatan diameter serat dengan bertambahnya konsentrasi silika, berbeda dari temuan Yanilmaz (2019). Oleh karena itu, optimasi parameter *electrospinning* perlu mempertimbangkan interaksi antar faktor ini untuk menghasilkan serat nanofiber dengan kualitas optimal.

*Electrospinning* memiliki akar sejarah yang menarik. Pada tahun 1934, Anton Formhals menggambarkan prinsip dasarnya dalam sebuah paten yang mendefinisikan proses *electrospinning* (Formhals, 1934). Namun, hingga tahun 1990-an, teknik ini belum mencapai puncak perkembangannya. Di era tersebut, teknologi *electrospinning* mengalami perbaikan dan pemahaman yang lebih mendalam, terutama berkat penelitian oleh Reneker & Chun (1996). Perkembangan ini membuka pintu bagi aplikasi lebih lanjut dan pengembangan teknik ini dalam berbagai bidang (Reneker & Chun, 1996).

Dalam bidang biomedis, *electrospinning* telah membuka berbagai peluang inovatif. Penelitian di bidang ini termasuk produksi *scaffold* jaringan untuk rekayasa jaringan, perangkat medis berbasis serat nano, dan sistem pengiriman obat berbasis serat nano. Brahatheeswaran *et al.* (2012) mengulas penggunaan *electrospinning* dalam pembuatan *scaffold* jaringan untuk aplikasi regenerasi jaringan yang kompleks. Industri tekstil juga telah mengadopsi *electrospinning* untuk memproduksi kain dengan sifat tahan air, antimikroba, atau respirasi yang ditingkatkan. Hal ini menciptakan kain fungsional dengan berbagai sifat tambahan yang dapat meningkatkan kualitas dan kinerja produk tekstil (Song *et al.*, 2017). Di bidang energi, *electrospinning* telah digunakan untuk mengembangkan sel surya berbasis serat nano dan baterai dengan elektroda serat nano. Dalam aplikasi elektronik fleksibel, teknik ini digunakan untuk menciptakan sensor fleksibel, baterai, dan komponen elektronik lainnya (Fong & Reneker, 1999). Penggunaan *electrospinning* juga ditemukan dalam aplikasi lain, seperti pembuatan membran serat nano untuk filtrasi air, yang menghasilkan penyaringan yang lebih efisien. Teknologi ini juga menawarkan potensi dalam pengembangan sensor nano yang

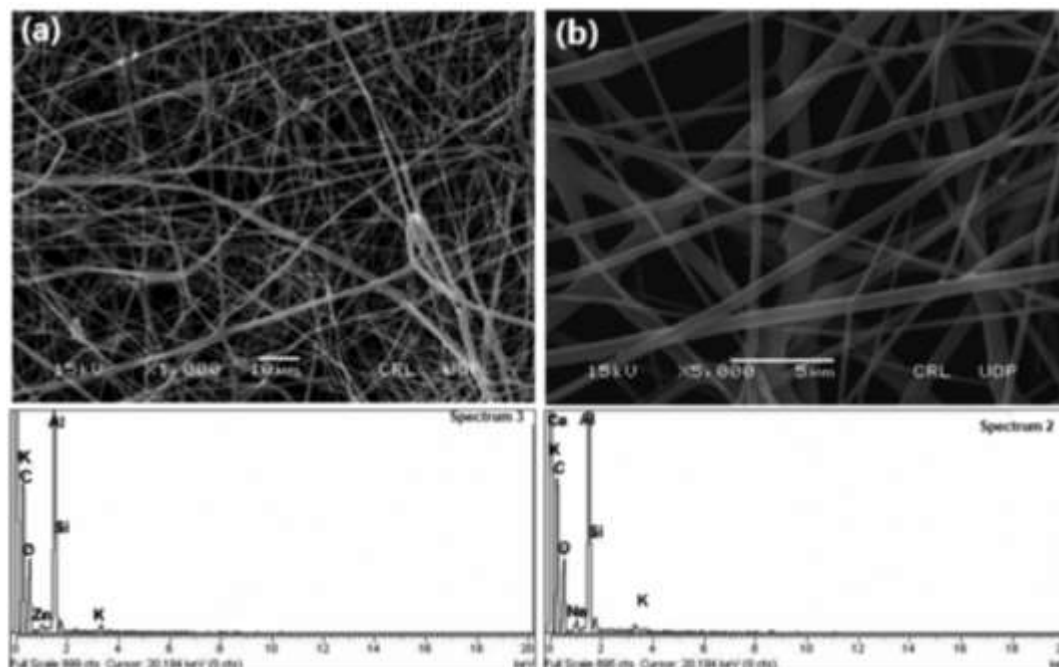
sangat sensitif dan perangkat elektronik fleksibel (Ramakrishna *et al.*, 2006). Dengan terus berkembangnya penelitian dalam bidang ini, diharapkan akan ada peningkatan teknik dan pengembangan aplikasi baru yang akan memberikan manfaat lebih lanjut dalam berbagai bidang (Tebyetekerwa *et al.*, 2017). Skema *electrospinning* dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4.** Skema *Electrospinning*

## 2.6. Spektroskopi Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan Energy-Dispersive X-Ray (EDX)

SEM/EDX adalah teknik analisis mikro unsur yang diterapkan secara luas di berbagai ilmu seperti fisika dan biologi, teknik, dan penyelidikan forensik. Puncak sinar-X karakteristik yang tereksitasi elektron memberikan identifikasi dan kuantifikasi untuk semua elemen tabel periodik, dengan pengecualian H, He, dan Li, yang hadir sebagai konstituen utama (sewenang-wenang, konsentrasi  $C > 0,1$  fraksi massa atau 10 wt%), konstituen minor ( $0,01 \leq C \leq 0,1$  fraksi massa), dan jejak konstituen ( $C < 0,01$  fraksi massa) hingga batas deteksi (CDL) biasanya dalam rentang fraksi massa 0,001–0,003 tergantung pada elemen yang diinginkan, matriks tempatnya berada, dan kondisi pengoperasian instrumen. Dengan puluhan ribu SEM yang dilengkapi dengan sistem EDX yang beroperasi di seluruh dunia, ribuan identifikasi unsur dan penentuan konsentrasi dilaporkan setiap hari (Goldstein *et al.*, 2018). Hasil analisis SEM-EDX dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5.** Hasil Analisis SEM-EDX (Jamil *et al.*, 2021).

Kemajuan dalam studi struktur serat nano telah dimungkinkan berkat teknik mikroskopis seperti *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Wu & Wu, 1995), *TransmisSiOn Electron Microscopy* (TEM) (Sheldon, 1991), mikroskop medan dekat (*Atomic Force Microscopy* (AFM)) (Bottino *et al.*, 1994) dan *Scanning Tunneling Microscopy* (STM) (Chahboun *et al.*, 1992). Diantara berbagai teknik tersebut, yang paling banyak digunakan adalah SEM. Aplikasi SEM bervariasi dan fokus pada karakterisasi struktur serat nano (Zeman & Denault, 1992), fabrikasi serat nano berongga (Xiuli *et al.*, 1998) dan studi proses *fouling* (Razavi *et al.*, 1996). Hwang & Lin (2002) menggunakan observasi yang dilakukan menggunakan SEM untuk mengkuantifikasi sifat pori-pori dari 3 membran mikrofiltrasi dengan *cut-off* 0,1 m. Mereka juga mengamati pengotoran membran ini setelah filtrasi larutan yang mengandung partikel model polimetil metakrilat (diameter rata-rata = 0,4 m). Kelemahan utama dari teknik ini adalah preparasi sampel dengan metalisasi emas, yang memerlukan penentuan ukuran pori yang kurang akurat. Contoh hasil karakterisasi SEM dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.

## 2.7. *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

FTIR adalah teknik analisis spektroskopi yang sangat luas dan penting dalam ilmu kimia, ilmu material, biokimia, farmasi, serta berbagai disiplin ilmu lainnya. Teknik ini memungkinkan para peneliti untuk memeriksa sampel dan mengungkapkan rincian struktur molekuler serta komposisi kimia dalam sampel tersebut dengan sangat detail (Silverstein & Bassler, 1962).

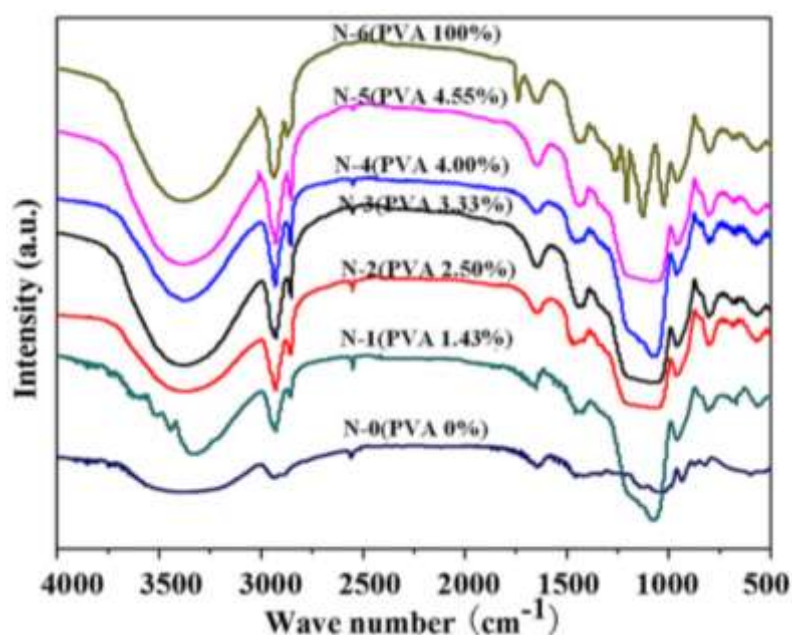
Pada dasarnya, FTIR berfungsi dengan mengukur bagaimana molekul dalam sampel merespon terhadap sinar inframerah. Ini dilakukan dengan membandingkan intensitas sinar inframerah yang dipancarkan oleh sampel dengan sinar referensi. Sidik jari spektrum inframerah yang dihasilkan adalah ciri khas untuk setiap senyawa kimia. Ketika sinar inframerah melewati sampel, molekul-molekul dalam sampel tersebut menyerap cahaya pada frekuensi tertentu, yang menciptakan pola unik pada spektrum inframerah. Dengan menganalisis pola ini, peneliti dapat mengidentifikasi senyawa-senyawa dalam sampel dan memahami sifat-sifat kimia yang dimiliki oleh molekul tersebut (Griffiths & Haseeth, 2008).

FTIR memiliki beragam aplikasi yang sangat berarti. Di industri farmasi, FTIR digunakan untuk karakterisasi bahan obat, identifikasi senyawa aktif dalam obat-obatan, dan pemantauan kualitas tablet atau kapsul (Hollas, 2004). Di industri pangan, FTIR membantu dalam analisis komposisi makanan, seperti mengukur kadar lemak, protein, dan karbohidrat dalam produk makanan (Griffiths & Haseeth, 2008). Dalam ilmu lingkungan, FTIR digunakan untuk mendeteksi polutan dalam sampel air, tanah, atau udara, serta memantau dampak lingkungan dan proses remediasi. FTIR juga penting dalam ilmu material, digunakan untuk menganalisis struktur material polimer, karakterisasi nanopartikel, dan memahami sifat-sifat optik dan termal material (Bassan *et al.*, 2014).

Perkembangan dalam FTIR telah membawa inovasi dalam analisis dan aplikasinya. Misalnya, teknik analisis spektroskopi inframerah terhadap permukaan (ATR-FTIR) memungkinkan pengukuran langsung pada sampel padat atau cair tanpa persiapan khusus. Hal ini telah memperluas cakupan aplikasi FTIR

dan menjadikannya lebih *user-friendly* (Kazarian & Chan, 2010). Teknologi FTIR juga telah diterapkan dalam analisis biomolekul, seperti protein dan asam nukleat, yang mendukung penelitian biokimia (Qi *et al.*, 2019).

Meskipun sangat berguna, FTIR juga memiliki tantangan tertentu. Beberapa sampel yang sangat kompleks atau berstruktur rumit dapat menghasilkan spektrum inframerah yang rumit dan sulit diinterpretasi. Selain itu, interpretasi spektrum FTIR memerlukan pemahaman mendalam tentang teori spektroskopi, dan perawatan peralatan FTIR yang canggih sangat penting agar peralatan tetap berkinerja optimal (Hollas, 2004).



**Gambar 2.6.** Hasil karakterisasi FTIR serat nano PVA/SiO<sub>2</sub> (Wu *et al.*, 2010)

Contoh hasil karakterisasi FTIR berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Awad *et al.* (2021) bisa dilihat pada **Gambar 2.6**. Secara keseluruhan, FTIR tetap menjadi salah satu alat analisis yang sangat berharga dalam dunia ilmu pengetahuan dan teknologi modern. Dengan kemampuannya untuk memberikan wawasan yang mendalam tentang struktur dan komposisi senyawa kimia, FTIR telah membantu peneliti memahami dunia molekuler dengan lebih baik dan telah menjadi alat utama dalam menganalisis senyawa kimia di sekitar kita.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus – November 2023, di Laboratorium Fisika Material, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

#### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.2.1. Alat Penelitian

Pada penelitian ini alat-alat yang digunakan adalah:

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1. Gelas ukur              | 12. Ayakan 325 mesh                        |
| 2. Gelas kimia             | 13. Mortar dan alu                         |
| 3. Labu ukur               | 14. Oven                                   |
| 4. Cawan petri             | 15. Pipet tetes                            |
| 5. Kompor listrik          | 16. Spatula                                |
| 6. <i>Stirrer</i>          | 17. Viskotester (Rion VT-04F, Jepang)      |
| 7. <i>Magnetic stirrer</i> | 18. Suntikan                               |
| 8. <i>Hotplate</i>         | 19. <i>Aluminium foil</i>                  |
| 9. Neraca analitik         | 20. <i>Electrospinning</i>                 |
| 10. Kertas lakmus          | 21. FTIR (Shimadzu IR Prestige-21, Jepang) |
| 11. Kertas saring          | 22. SEM/EDX (Zeiss EVO Ma10, Jerman)       |

### 3.2.2. Bahan Penelitian

Pada penelitian ini bahan-bahan yang digunakan adalah:

1. Sekam padi
2. Akuades ( $H_2O$ )
3. Natrium Hidroksida ( $NaOH$ )
4. Asam Nitrat ( $HNO_3$ )
5. Polivinil Alkohol (PVA)

### 3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu, sintesis silika dari sekam padi. Setelah itu pembuatan larutan PVA/SiO<sub>2</sub>, yang kemudian diuji tegangan permukaan dengan tensiometer (metode cincin Du Nouy) serta viskositasnya dengan viskotester (Rion VT-04F, Jepang). Lalu dilanjutkan dengan pembuatan serat nano menggunakan alat *electrospinning*. Setelah itu, melakukan pengujian pada serat nano dengan SEM/EDX (Zeiss EVO Ma 10, Jerman) dan FTIR (Shimadzu IR Prestige-21, Jepang).

#### 3.3.1. Pembuatan Serbuk Silika

Merujuk penelitian yang dilakukan oleh Suka *et al.* (2020). Pembuatan serbuk silika terdapat beberapa proses sebagai berikut.

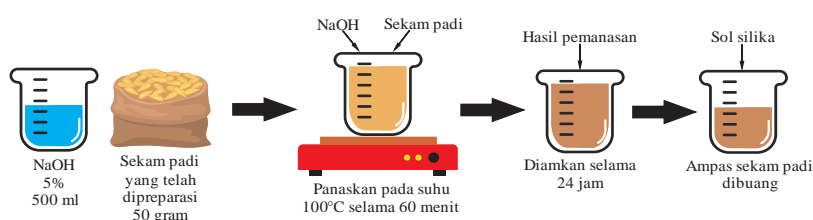
##### 3.3.1.1. Preparasi Sekam Padi

Membersihkan sekam padi dari kotoran-kotoran dengan menggunakan air mengalir, lalu merendam sekam padi dengan air mendidih selama 6 jam, setelah itu buang air dan sekam padi yang mengambang, kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari sampai kering sempurna sekitar 1-3 hari tergantung cuaca.



### 3.3.1.2. Ekstraksi Sol Silika

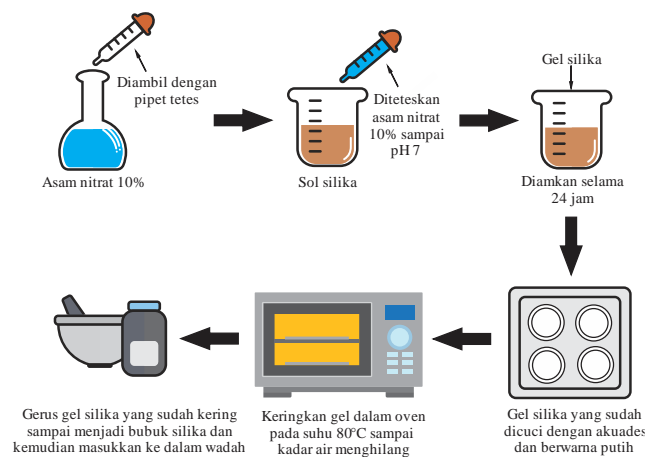
Memasukkan NaOH 5% ke dalam gelas kimia, kemudian menambahkan sebanyak 50 gram sekam padi yang sudah dipreparasi ke dalam gelas kimia tersebut lalu dipanaskan dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  dan dihomogenkan selama 60 menit. Kemudian hasil campuran didiamkan (*aging*) selama 24 jam. Setelah didiamkan, campuran di saring dan diambil larutan sol silika. Gambaran skema ekstraksi sol silika dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1.** Skema Ekstraksi Sol Silika

### 3.3.1.3. Sintesis Gel Silika

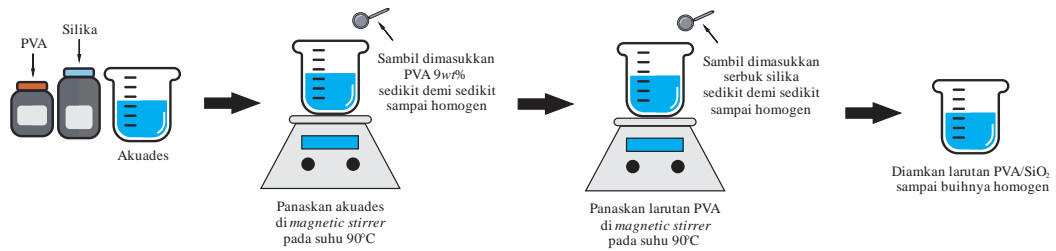
Menambahkan  $\text{HNO}_3$  10% ke dalam larutan sol silikat dari proses ekstraksi dengan menggunakan pipet tetes secara perlahan sampai pH larutan tersebut mencapai 7. Ketika sudah pH 7 larutan akan membentuk gel. Kemudian gel tersebut didiamkan selama 24 jam, selanjutnya dicuci dengan akuades yang telah dipanaskan. Lalu, gel yang sudah dicuci dikeringkan dengan menggunakan oven selama 2 sampai 3 jam dengan suhu  $90^{\circ}\text{C}$  sampai kadar air dalam gel menghilang. Kemudian setelah kering silika dihaluskan menggunakan mortar dan alu, dan diayak menggunakan ayakan 325 mesh. Selanjutnya serbuk silika siap digunakan. Gambaran skema sintesis gel silika dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



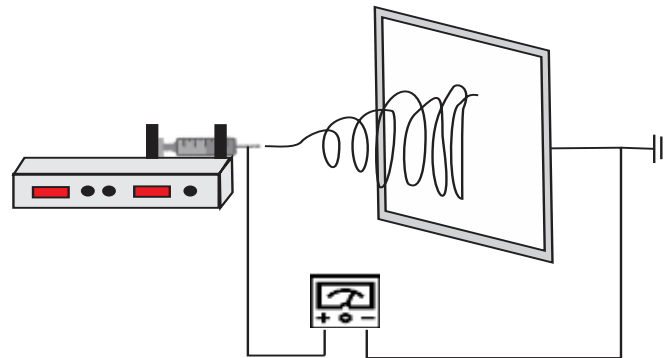
**Gambar 3.2.** Skema Sintesis Gel Silika

### 3.3.2. Pembuatan Serat Nano Komposit PVA/SiO<sub>2</sub>

Pembuatan serat nano ini merujuk pada penelitian yang sudah dilakukan oleh (Firdaus et al., 2022). Prosesnya diawali dengan membuat larutan PVA/SiO<sub>2</sub>, yaitu dengan menimbang air aquades di timbangan analitik, kemudian menimbang PVA 9 wt% dari aquades. Setelah itu, memanaskan aquades dengan magnetic stirrer dengan suhu 90°C dan kecepatan 350 rpm. Kemudian menambahkan sedikit demi sedikit PVA menggunakan spatula sampai homogen selama 60 menit. Selanjutnya, menambahkan serbuk SiO<sub>2</sub> sedikit demi sedikit selama 10 menit sampai homogen, pada penelitian ini akan dibuat dengan variasi SiO<sub>2</sub> dengan presentase (0, 2, 3, 5) wt%. Lalu, didiamkan selama 10 menit sampai buih pada larutan PVA/SiO<sub>2</sub> homogen. Setelah itu, larutan siap untuk digunakan pada alat *electrospinning*. Sebelum *electrospinning* memastikan terlebih dahulu untuk suntikan sudah bersih. Kemudian memasukan larutan pada suntikan dan meletakkan pada alat *electrospinning* dengan tegangan 20 kV dan laju penyemprotan sebesar 2.5 ml/jam dengan jarak ujung ke kolektor sepanjang 10 cm. selanjutnya mengatur waktu *electrospinning* selama 3 jam dan serat nano siap digunakan. Skema pembuatan larutan PVA/SiO<sub>2</sub> dan proses *electrospinning* dapat dilihat pada **Gambar 3.3** dan **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.3.** Skema Pembuatan Larutan PVA/SiO<sub>2</sub>



**Gambar 3.4.** Skema proses *electrospinning*

### 3.3.3. Pengujian dan Karakterisasi

Serat nano yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan:

- Uji viskositas menggunakan viskotester (Rion VT-04F, Jepang), untuk mengetahui kekentalan larutan tanpa menghitung manual, karena sudah terbaca oleh alat ketika larutan diuji. Namun secara umum, viskositas dapat dihitung melalui rasio tegangan geser dengan gradien kecepatan dalam fluida.

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_b - \rho_f)}{9v} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$\eta$  = Viskositas (Pa.s atau N.s/m<sup>2</sup>)

$r$  = Jari-jari benda (m)

$g$  = Percepatan gravitasi Bumi (m/s<sup>2</sup>)

$\rho_b$  = Massa jenis benda (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_f$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = Kecepatan benda (m/s)

b. Uji tegangan permukaan larutan PVA/SiO<sub>2</sub> menggunakan tensiometer (metode cincin Du Nouy). Proses pengukuran terbagi menjadi 2 bagian yaitu:

- Pengukuran konstanta pegas ( $k$ ) dengan **Persamaan 3.2** dan **Persamaan 3.3**.

$$k_n = \frac{m_n g}{x_n} \quad (3.2)$$

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n}{n} \quad (3.3)$$

Keterangan:

$k$  = Konstantan pegas (dyn/cm)

$m$  = Massa benda (g)

$g$  = Percepatan gravitasi Bumi (cm/s<sup>2</sup>)

$x$  = Peregangan pegas (cm)

$n$  = Banyaknya percobaan yang dilakukan

- Pengukuran koefisien tegangan permukaan ( $\gamma$ ) dengan **Persamaan 3.4** dan **Persamaan 3.5**.

$$\gamma_n = \frac{\bar{k} \Delta x_r}{4\pi r} \quad (3.4)$$

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \dots + \gamma_n}{n} \quad (3.5)$$

Keterangan:

$\gamma$  = Koefisien tegangan permukaan (dyn/cm)

$k$  = Konstanta pegas (dyn/cm)

$\Delta x_r$  = Selisih peregangan pegas (cm)

$r$  = Jari-jari cincin yang digunakan untuk mengukur tegangan larutan (cm)

$n$  = Banyaknya percobaan yang dilakukan

c. Uji porositas serat nano dengan menggunakan tes serapan n-butanol. Mula-mula menghitung volume sampel yang digunakan dengan menggunakan **Persamaan 3.6**, kemudian menghitung presentase porositas dengan menggunakan **Persamaan 3.7** berikut (Yanilmaz, 2019):

$$V = A \times l \quad (3.6)$$

$$\text{Porositas} = \frac{m_w - m_d}{\rho \times V} \times 100\% \quad (3.7)$$

Keterangan:

$m_d$  = Massa sampel sebelum dicelupkan n-Butanol (g)

$m_w$  = Massa sampel setelah dicelupkan n-Butanol (g)

$\rho$  = Massa jenis n-Butanol ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$V$  = Volume sampel ( $\text{cm}^3$ )

$A$  = Luas permukaan sampel ( $\text{cm}^2$ )

$l$  = Tebal sampel (cm)

- d. *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDX) (Zeiss EVO Ma10, Jerman), untuk mengetahui morfologi mikrostruktur serat nano dan kandungan komposisi kimiawi di dalamnya.
- e. *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) (Shimadzu IR Prestige-21, Jepang), untuk mengidentifikasi gugus fungsi  $\text{SiO}_2$  pada serat nano komposit.

### 3.4. Diagram Alir

#### 3.4.1. Ekstraksi Silika

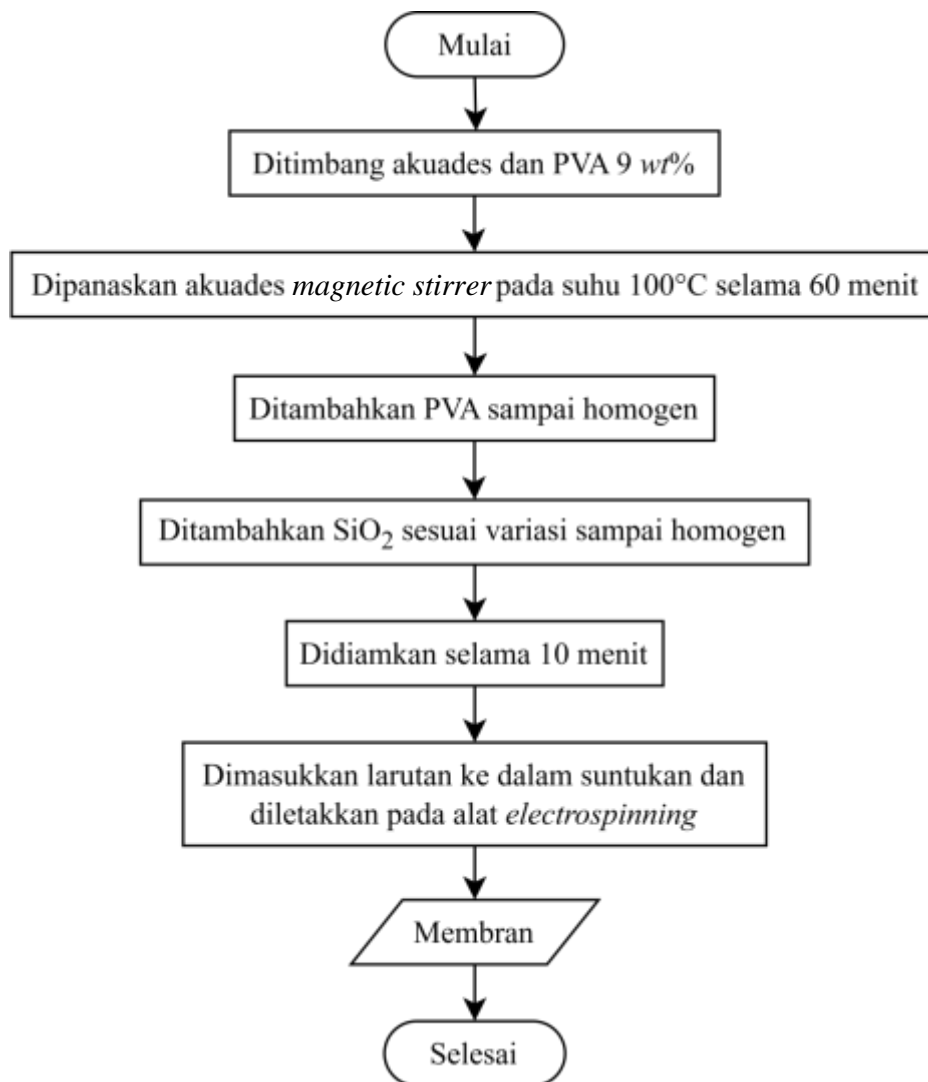
Diagram alir ekstraksi silika dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



**Gambar 3.5.** Diagram Alir Ekstraksi Silika

### 3.4.2. Pembuatan Serat Nano

Diagram alir pembuatan serat nano dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3.6.** Diagram Alir Pembuatan Serat Nano

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Larutan PVA/SiO<sub>2</sub> dengan variasi berat SiO<sub>2</sub> (0, 2, 3, 5) wt% diberi label berturut-turut adalah PVA/SiO<sub>2</sub>-0%, PVA/SiO<sub>2</sub>-2%, PVA/SiO<sub>2</sub>-3%, PVA/SiO<sub>2</sub>-5% memiliki nilai viskositas sebesar 0,9, 1,2, 1,4 dan 1,8 Pa.s. dan nilai tegangan permukaan berturut-turut sebesar 32, 34, 35 dan 37 dyn/cm telah berhasil membentuk serat nano dengan teknik *electrospinning* pada tegangan 20 kV.
2. Hasil FTIR menunjukkan bahwa pada sampel adanya gugus –OH, C–H, C–O, C=O, –CH<sub>2</sub>, –CH<sub>3</sub>, Si–OH, Si–O, dan Si–O–Si karena adanya ikatan silang antara SiO<sub>2</sub> dan PVA. kemudian pengaruh variasi berat SiO<sub>2</sub> terhadap morfologi permukaan serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> menunjukkan diameter serat yang semakin besar seiring dengan bertambahnya konsentrasi SiO<sub>2</sub>, dengan rata-rata ukuran diameter sebesar 165, 175, 199 dan 202 nm. Peningkatan diameter serat dikarenakan viskositas, tegangan permukaan dan konsentrasi larutan yang digunakan terlalu tinggi. Dan unsur pada serat nano PVA/SiO<sub>2</sub> yang terbentuk berdasarkan analisis EDX menunjukkan adanya unsur C, O, Si, Na dengan konsentrasi berat masing-masing yaitu, 60,99 wt%, 35,45 wt% 3,28 wt%, 0,27 wt%. Adanya unsur Si membuktikan bahwa serat nano mengandung SiO<sub>2</sub>. Hasil uji porositas serat nano komposit PVA/SiO<sub>2</sub> (0, 2, 3, 5) wt% diperoleh berturut-turut sebesar 54,9%, 69,1%, 72,5%, 76,2%.



## 5.2. Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian serat nano berikutnya adalah:

### 1. Studi Variasi Parameter Proses

Lanjutkan dengan mengeksplorasi efek variasi parameter seperti tegangan *electrospinning*, laju alir, dan jarak antara jarum dengan kolektor. Hal ini dapat membantu memahami pengaruh lebih lanjut terhadap morfologi dan porositas serat nano yang dihasilkan.

### 2. Penggunaan Material Penguat Lain

Eksplorasi material penguat selain SiO<sub>2</sub> dari sumber alami lainnya, seperti TiO<sub>2</sub> atau ZnO, untuk melihat apakah ada peningkatan signifikan pada sifat-sifat mekanik dan fungsional serat nano.

### 3. Aplikasi dalam Industri Lain

Penelitian lanjutan dapat difokuskan pada aplikasi serat nano PVA/SiO<sub>2</sub> ini di bidang lain, seperti penyaring udara atau air, scaffold dalam rekayasa jaringan, atau sebagai material pengisi untuk perangkat elektronik fleksibel.

### 4. Uji Ketahanan Panas dan Kimia

Penelitian tambahan dapat dilakukan untuk menguji ketahanan serat nano ini terhadap panas dan bahan kimia, terutama untuk aplikasi di kondisi lingkungan yang ekstrim.

### 5. Optimasi Proses Sintesis Silika

Mengembangkan proses yang lebih efisien dan ramah lingkungan dalam ekstraksi silika dari sekam padi, untuk mendapatkan silika dengan kemurnian yang lebih tinggi.

### 6. Investigasi Pengaruh Konsentrasi PVA

Selain variasi konsentrasi SiO<sub>2</sub>, studi lebih lanjut mengenai pengaruh variasi konsentrasi PVA terhadap sifat mekanik dan morfologi serat nano dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif.

### 7. Pengujian Biodegradabilitas

Mengingat PVA adalah polimer yang dapat terurai secara hayati, melakukan pengujian biodegradabilitas serat nano komposit ini dapat memberikan informasi penting untuk aplikasi ramah lingkungan.

**8. Pengujian Mekanik**

Melakukan uji mekanik seperti uji tarik, uji kompresi, dan uji lentur pada serat nano komposit untuk mengevaluasi kekuatan dan elastisitas material ini.

**9. Studi Interaksi dengan Elektrolit**

Melakukan studi mendalam tentang interaksi antara serat nano komposit dengan berbagai jenis elektrolit untuk memahami potensi aplikasinya dalam baterai atau superkapasitor.

**10. Penggunaan Teknik Karakterisasi Lain**

Menggunakan teknik karakterisasi tambahan seperti X-Ray Diffraction (XRD) untuk analisis struktur kristal, Thermogravimetric Analysis (TGA) untuk stabilitas termal, dan Differential Scanning Calorimetry (DSC) untuk analisis sifat termal.

**11. Studi Aplikasi Spesifik**

Mengembangkan penelitian untuk aplikasi spesifik seperti filter udara berkecepatan tinggi, membran untuk pemisahan gas, atau bahan penutup untuk perangkat elektronik.

**12. Kolaborasi Interdisipliner**

Mendorong kolaborasi dengan peneliti dari bidang lain seperti kimia, biologi, dan teknik material untuk mengeksplorasi potensi aplikasi baru dan memperluas cakupan penelitian.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, S. (2006). Pembuatan Membran Komposit Khitosan-Selulosa dari Limbah Kulit Kepala Udang. *Jurnal Rekayasa Kimia*, 5(1), 28–35.
- Armand, M., & Tarascon, J. (2008). Building Better Batteries. *Nature*, 451(7), 652–657.
- Awad, S., Alomari, A. H., Hady, E. E. A., & Hamam, M. F. M. (2021). Characterization, nanostructure, and transport properties of styrene grafted PVA/SiO<sub>2</sub> hybrid nanocomposite membranes: Positron lifetime study. *Polymers Advanced Technologies*, 32(4), 1742–1751.
- Bakar, R. A., Yahya, R., & Gan, S. N. (2016). Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk. *Procedia Chemistry*, 19, 189–195.
- Barbero, E. J. (1998). Prediction of Compression Strength of Unidirectional Polymer Matrix Composites. *Sage Journals*, 32(5), 483–501.
- Barbosa, J. C., Dias, J. P., Lanceros-Méndez, S., & Costa, C. M. (2018). Recent Advances in Poly(Vinylidene Fluoride) and Its Copolymers for Lithium-Ion Battery Separators. *Membranes*, 8(3), 1–36.
- Bassan, P., Mellor, J., Shapiro, J., Williams, K. J., Lisanti, M. P., & Gardner, P. (2014). Transmission FT-IR Chemical Imaging on Glass Substrates: Applications in Infrared Spectral Histopathology. *Analytical Chemistry*, 86(3), 1648–1653.
- Bearden, J. A. (1967). X-Ray Wavelengths. *Review of Modern Physics*, 39(1), 86–99.
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A Fascinating Fiber Fabrication Technique. *Biotechnology Advances*, 28(3), 325–347.
- Bhat, N. V., Nate, M. M., Kurup, M. B., Bambole, V. A., & Sabharwal, S. (2005). Effect of  $\gamma$ -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*, 237(3–4), 585–592.

- Bottino, A., Capannelli, G., Grosso, A., Rolandib, R., & Soria, R. (1994). Surface Characterization of Ceramic Membranes by Atomic Force Microscopy. *Journal of Membrane Science*, 95(3), 289–296.
- Brahatheeswaran, D., Mathew, A., Aswathy, R. G., Nagaoka, Y., Venugopal, K., Yoshida, Y., Maekawa, T., & Sakthikumar, D. (2012). Hybrid Fluorescent Curcumin Loaded Zein Electrospun Nanofibrous Scaffold for Biomedical Applications. *Biomedical Materials*, 7, 1–16.
- Bushan, B. (2008). *Nanotribology and Nanomechanics* (B. Bushan (ed.); Second). Springer.
- Casper, C. L., Stephens, J. S., Tassi, N. G., Chase, D. B., & Rabolt, J. F. (2004). Controlling Surface Morphology of Electrospun Polystyrene Fibers: Effect of Humidity and Molecular Weight in The Electrospinning Process. *Macromolecules*, 37(2), 573–578.
- Chahboun, A., Coratger, R., Ajastro, F., Beauvillain, J., Aimarb, P., & Sanchezb, V. (1992). First Investigations on The Use of Scanning Tunnelling Microscopy (STM) for The Characterisation of Porous Membranes. *Journal of Materials Chemistry*, 67(2–3), 295–300.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite Materials: Science and Engineering* (Third). Springer US.
- Chen, X., Shen, W., Vo, T. T., Cao, Z., & Kapoor, A. (2012). An Overview of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles. *10th International Power and Energy Conference, IPEC 2012*, 230–235.
- Costa, C. M., & Lanceros-Méndez, S. (2018). Printed Batteries: Materials, technologies and Applications. In C. M. Costa & S. Lanceros-Méndez (Eds.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (First, Vol. 53, Issue 9). John Wiley & Sons, Inc.
- Dou, Y., Zhou, A., Pan, T., Han, J., Wei, M., Evans, D. G., & Duan, X. (2014). Humidity-Triggered Self-Healing Films with Excellent Oxygen Barrier Performance. *Royal Society of Chemistry*, 50(54), 7136–7138.
- Firdaus, I., Sembiring, S., Junaidi, Johandra, A., Rifansyah, T. I., Rahmadi, R. P., & Putra, O. A. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Nanofiber Komposit PVA/SiO<sub>2</sub> Menggunakan Metode Electrospinning. *Indonesian Journal of Applied Physics (IJAP)*, 12(1), 116–123.
- Fong, H., & Reneker, D. H. (1999). Elastomeric Nanofibers of Styrene-Butadiene-Styrene Triblock Copolymer. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 37(24), 3488–3493.

- Formhals, A. (1934). Process and Apparatus for Preparing Artificial Threads. *U.S. Patent No. 1,975,504*.
- Gaaz, T. S., Sulong, A. B., Akhtar, M. N., Kadhum, A. A. H., Mohamad, A. B., & Al-amiery, A. A. (2015). Properties and Applications of Polyvinyl Alcohol, Halloysite Nanotubes and Their Nanocomposites. *Molecules*, *20*(12), 22833–22847.
- Gibson, L. T. (2004). Archaeometry and Antique Analysis: (b) Metallic and Ceramic Objects. In P. J. Worsfold, A. Townshend, & C. F. Poole (Eds.), *Encyclopedia of Analytical Science* (pp. 117–123). Elsevier Limited.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2018). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (Fourth). Springer.
- Goodenough, J. B., & Park, K.-S. (2013). The Li-ion rechargeable battery: A perspective. *Journal of the American Chemical Society*, *135*(4), 1167–1176.
- Gray, D. E. (1972). *American Institute of Physics Handbook* (Third). McGraw Hill.
- Griffiths, P. R., & Haseth, J. A. de. (2008). *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (Second). John Wiley & Sons, Inc.
- Hallaji, H., Reza, A., & Ali, M. (2014). A Novel Electrospun PVA/ZnO Nanofiber Adsorbent for U (VI), Cu (II) and Ni (II) Removal from Aqueous Solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *46*, 109–118.
- Holland-moritz, K., & Siesler, H. . W. (1976). Infrared Spectroscopy of Polymers. *Applied Spectroscopy Reviews*, *11*(1), 1–55.
- Hollas, J. M. (2004). *Modern Spectroscopy* (Fourth). John Wiley & Sons, Inc.
- Huang, Z., Zhang, Y., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. (2003). A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composites Science and Technology*, *63*, 2223–2253.
- Husnain, Wakatsuki, T., Setyorini, D., Hermansah, Sato, K., & Masunaga, T. (2008). Silica Availability in Soils and River Water in Two Watersheds on Java Island, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, *54*(1), 916–927.
- Hwang, K., & Lin, T. (2002). Effect of Morphology of Polymeric Membrane on The Performance of Cross-Flow Microfiltration. *Journal of Membrane Science*, *199*(1–2), 41–52.

- Ismail, M. S., & Waliuddints, A. M. (1996). Effect of Rice Husk Ash on High Strength Concrete. *Construction and Building Materials*, 10(7), 521–526.
- Jamil, T., Munir, S., Wali, Q., Shah, G. J., Khan, M. E., & Jose, R. (2021). Water Purification through a Novel Electrospun Carbon Nanofiber Membrane. *ACS Omega*, 6(50), 34744–34751.
- Juang, R. S., Hsieh, C. Te, Chen, P. A., & Chen, Y. F. (2015). Microwave-Assisted Synthesis of Titania Coating onto Polymeric Separators for Improved Lithium-Ion Battery Performance. *Journal of Power Sources*, 286, 526–533.
- Kaw, A. K. (2005). *Mechanics of Composite Materials* (Second). CRC Press.
- Kazarian, S. G., & Chan, K. L. A. (2010). Micro- and Macro-Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopic Imaging. *Applied Spectroscopy*, 64(5), 135A-152A.
- Khil, M., Cha, D., Kim, H., Kim, I., & Bhattarai, N. (2003). Electrospun Nanofibrous Polyurethane Membrane as Wound Dressing. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 67B(2), 675–679.
- Kirk, R. E., & Othomer, D. F. (1984). *Encyclopedia of Chemical Technology* (Watcher (ed.); Fourth). John Wiley & Sons, Inc.
- Li, D., & Xia, Y. (2004). Electrospinning of Nanofibers: Reinventing The Wheel? *Advanced Materials*, 16(14), 1151–1170.
- Li, M., Mondrinos, M. J., Gandhi, M. R., Ko, F. K., Weiss, A. S., & Lelkes, P. I. (2005). Electrospun Protein Fibers as Matrices for Tissue Engineering. *Biomaterials*, 26, 5999–6008.
- Liu, S., Zhang, Z., Zhang, H., Zhang, Y., Wei, S., Ren, L., Wang, C., He, Y., Li, F., & Xiao, F.-S. (2010). Journal of Colloid and Interface Science Phase Separation of Organic/Inorganic Hybrids Induced by Calcination: A Novel Route for Synthesizing Mesoporous Silica and Carbon Materials. *Journal of Colloid And Interface Science*, 345(2), 257–261.
- Mallakpour, S., & Shamsaddinimotlagh, S. (2018). Employment of Ultrasonic Waves for The Preparation of PVA/TiO<sub>2</sub>-BSA Nanocomposites: Mechanical, Thermal, and Optical Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(30).
- Mansur, H. S., Sadahira, C. M., Souza, A. N., & Mansur, A. A. P. (2008). FTIR Spectroscopy Characterization of Poly (Vinyl Alcohol) Hydrogel with Different Hydrolysis Degree and Chemically Crosslinked with Glutaraldehyde. *Materials Science & Engineering*, 28, 539–548.

- Manthiram, A. (2017). An Outlook on Lithium Ion Battery Technology. *ACS Central Science*, 3(10), 1063–1069.
- Marín, M., Zapata, A., Quintero, L., & Mejía, M. (2014). Fabricación de un Biosensor a partir de PVA para Uso en Productos Cárnicos. *Congreso Internacional de Materiales*, 107–113.
- Moldoveanu, G. M., Ibanescu, C., Danu, M., & Minea, A. A. (2018). Viscosity Estimation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> Nanofluids and Their Hybrid: An Experimental Study. *Journal of Molecular Liquids*, 253, 188–196.
- Mulder, M. (1996). Preparation of Synthetic Membranes. In *Basic Principles of Membrane Technology* (pp. 71–156). Springer.
- Nurhadini, Fabiani, V. A., Putri, M. A., & Lestari, I. (2021). Analisis Konduktivitas dan Termal pada Polimer Elektrolit dari Kitosan/PVA/Gliserol/LiClO<sub>4</sub> untuk Aplikasi Baterai Ion Litium. *Chemistry Progress*, 14(1), 1–6.
- Oliveira, J., Costa, C. M., & Lanceros-Méndez, S. (2018). Printed Batteries: An Overview. In C. M. Costa & S. Lanceros-Méndez (Eds.), *Printed Batteries* (First, pp. 1–20). John Wiley & Sons, Inc.
- Pascali, C. De, Signore, M. A., Taurino, A., Francioso, L., Macagnano, A., Avossa, J., Siciliano, P., & Capone, S. (2018). Investigation of The Gas-Sensing Performance of Electrospun TiO<sub>2</sub> Nanofiber-Based Sensors for Ethanol Sensing. *IEEE Sensors Journal*, 18(18), 7365–7374.
- Phadkule, S. S., Navin, K., Nigrawal, A., Ball, R. J., & Kurchania, R. (2022). Effects of ZnO and SiO<sub>2</sub> Nanoparticle Additions on the Structural, Water Absorption and Mechanical Properties of Polyvinyl Alcohol (PVA) Films. *Nano Hybrids and Composites*, 35, 41–54.
- Putri, Q. U., Hasanudin, H., Asri, W. R., Mara, A., Maryana, R., Gea, S., & Wijaya, K. (2022). Production of Levulinic Acid from Glucose Using Nickel Phosphate-Silica Catalyst. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 136, 287–309.
- Qi, X., Chen, L., Zhang, L., Bai, C., Xin, H., & Rao, Z. (2019). In situ FTIR Study on Real-Time Changes of Active Groups During Lignite Reaction Under Low Oxygen Concentration Conditions. *Journal of the Energy Institute*, 92(5), 1557–1566.
- Rahman, I. A., & Padavettan, V. (2012). Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size-Dependent Properties, Surface Modification, and Applications in Silica-Polymer Nanocomposites - A Review. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 15.



- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W., Yong, T., Ma, Z., & Ramaseshan, R. (2006). Electrospun Nanofibers: Solving Global Issues. *Materials Today*, 9(3), 40–50.
- Razavi, S. K. S., Harris, J. L., & Sherkat, F. (1996). Fouling and Cleaning of Membranes in The Ultrafiltration of The Aqueous Extract of Soy Flour. *Journal of Materials Chemistry*, 114(1), 93–104.
- Reneker, D. H., & Chun, I. (1996). Nanometre Diameter Fibres of Polymer, Produced by Electrospinning. *Nanotechnology*, 7(3), 216–223.
- Sheldon, J. M. (1991). The Fine-Structure Membranes of Ultrafiltration Membranes. *Journal of Membrane Science*, 62(1), 75–86.
- Shelke, V., Mazumdar, D., Jesse, S., Kalinin, S., Baddorf, A., & Gupta, A. (2012). Ferroelectric Domain Scaling and Switching in Ultrathin BiFeO<sub>3</sub> Films Deposited on Vicinal Substrates. *New Journal of Physics*, 14, 1–9.
- Shen, Y. (2017). Rice Husk Silica Derived Nanomaterials for Sustainable Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(1), 453–466.
- Silverstein, R. W., & Bassler, G. C. (1962). Spectrometric Identification of Organic Compounds. *Journal of Chemical Education*, 39(11), 546–553.
- Smith, A. L. (1982). *The Coblenz Society Desk Book of Infrared Spectra in Carver* (Second). The Coblenz Society.
- Song, K., Wu, Q., Qi, Y., & Karki, T. (2017). Electrospun Nanofibers with Antimicrobial Properties. In M. Afshari (Ed.), *Electrospun Nanofibers* (Issue 1, pp. 551–569). Woodhead Publishing.
- Suka, E. G., Putri, I. S., Puspitasari, R., Arsela, R., Firdaus, I., & Sembiring, S. (2020). Karakteristik Struktur Mikro dan Gugus Fungsi Komposit Silika Sekam Padi dan Aspal. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 8(1), 93–100.
- Sulastrri, S., & Kristianingrum, S. (2010). Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan. In S. Sulastrri & S. Kristianingrum (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA* (pp. 211–216).
- Sundaray, B., Subramanian, V., Natarajan, T. S., Xiang, R., Chang, C., & Fann, W.-S. (2004). Electrospinning of Continuous Aligned Polymer Fibers. *Applied Physics Letters*, 84(7), 1222–1224.
- Susanti, N., & Widiarti, A. P. (2017). Sintesis Silika Gel Teraktivasi dari Pasir Kuarsa untuk Menurunkan Kadar Ion Cu<sup>2+</sup> dalam Air. *Jurnal MIPA*, 40(1), 39–42.

- Syukri, I., Hindryawati, N., & Dirgarini Julia NS, R. R. (2017). Sintesis Silika dari Abu Sekam Padi Termodifikasi 2-Merkaptobenzotiazol untuk Adsorpsi Ion Logam  $Cd^{2+}$  dan  $Cr^{6+}$ . *Jurnal Atomik*, 2(2), 221–226.
- Tang, X., & Alavi, S. (2011). Recent Advances in Starch, Polyvinyl Alcohol Based Polymer Blends, Nanocomposites and Their Biodegradability. *Carbohydrate Polymers*, 85(1), 7–16.
- Tebyetekerwa, M., Wang, X., Marriam, I., Dan, P., Yang, S., & Zhu, M. (2017). Green Approach to Fabricate Polyindole Composite Nanofibers for Energy and Sensor Applications. *Materials Letters*, 209, 400–403.
- Thangavel, K., Roshini, T., Balaprakash, V., Gowrisankar, P., Sudha, S., & Mohan, M. (2020). Structural, Morphological and Antibacterial Properties of ZnO Nanofibers Fabricated by Electrospinning Technique. *Materials Today: Proceedings*, 33(5), 1–7.
- Tian, A. H., Wang, K., Liu, D., Yan, J., & Rajulu, A. V. (2017). Enhanced Mechanical and Thermal Properties of Poly (Vinyl Alcohol)/Corn Starch Blends by Nanoclay Intercalation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 314–320.
- Timings, R. L. (1997). *Engineering Materials* (R. L. Timings (ed.); Second). Longman.
- Tiwari, A., & Syväjärvi, M. (2015). *Graphene Materials: Fundamentals and Emerging Applications* (A. Tiwari & M. Syväjärvi (eds.)). John Wiley & Sons, Inc.
- Tungprapa, S., Puangparn, T., Weerasombut, M., Jangchud, I., Fakum, P., Semongkhon, S., Meechaisue, C., & Supaphol, P. (2007). Electrospun Cellulose Acetate Fibers: Effect of Solvent System on Morphology and Fiber Diameter. *Cellulose*, 14, 563–575.
- Wang, X., Hu, Y., Li, L., Fang, H., Fan, X., & Li, S. (2019). Preparation and Performance of Polypropylene Separator Modified by  $SiO_2$ /PVA Layer for Lithium Batteries. *E-Polymers*, 19(1), 470–476.
- Widiyandari, H., Putra, O. A., Purwanto, A., & Subagio, A. (2021). Fabrication of PVDF/ $SiO_2$  Nanofiber Membrane as a Separator of Li-ion Battery by Double Jet Sprayers Electrospinning Method. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 1–7.
- Wu, Q., & Wu, B. (1995). Study of Membrane Morphology by Image Analysis of Electron Micrographs. *Journal of Membrane Science*, 105(1–2), 113–120.

- 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/SiO<sub>2</sub> Composite Nano Fiber Membranes and Their Application for Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution. *Polymer*, *51*(26), 6203–6211.
- Xiuli, Y., Hongbin, C., Xiu, W., & Yongxin, Y. (1998). Morphology and Properties of Hollow-Fiber Membrane Made by PAN Mixing with Small Amount of PVDF. *Journal of Membrane Science*, *146*(2), 179–184.
- Yan, J., Tian, H., Zhang, Y., & Xiang, A. (2015). Effect of Urea and Formamide Plasticizers on Starch/PVA Bioblend Sheets. *Journal of Applied Polymer Science*, *132*(33), 1–8.
- Yanilmaz, M. (2019). Evaluation of Electrospun PVA/SiO<sub>2</sub> Nanofiber Separator Membranes for Lithium-Ion Batteries. *The Journal of The Textile Institute*, *111*(3), 447–452.
- Zargar, M., Hartanto, Y., Jin, B., & Dai, S. (2017). Understanding Functionalized Silica Nanoparticles Incorporation in Thin Film Composite Membranes: Interactions and Desalination Performance. *Journal of Membrane Science*, *521*, 53–64.
- Zeman, L., & Denault, L. (1992). Characterization of Microfiltration Membranes by Image Analysis of Electron Micrographs. Part I. Method Development. *Journal of Materials Chemistry*, *71*(3), 221–231.
- Zeytuncu, B., Akman, S., Yucel, O., & Kahraman, M. (2014). Preparation and Characterization of UV-Cured Hybrid Polyvinyl Alcohol Nanofiber Membranes by Electrospinning. *Materials Research*, *17*(3), 565–569.
- Zhang, C., Lv, K., Cong, H., & Yu, S. (2012). Controlled Assemblies of Gold Nanorods in PVA Nanofiber Matrix as Flexible Free-Standing SERS Substrates by Electrospinning. *Small*, *8*(5), 648–653.
- Zhang, F., Ma, X., Cao, C., Li, J., & Zhu, Y. (2014). Poly(Vinylidene Fluoride)/SiO<sub>2</sub> Composite Membranes prepared by electrospinning and Their Excellent Properties for Nonwoven Separators for Lithium-Ion Batteries. *Journal of Power Sources*, *251*, 423–431.

## **LAMPIRAN**