

NANOFIBER KOMPOSIT PVDF-NANOSILIKA DARI BAMBU SEBAGAI MEMBRAN ULTRAFILTRASI

Oleh:
Ervin Tri Suryandari
Hamdan Hadi Kusuma
Umi Ma'rifah



Dibiayai dengan anggaran DIPA BOPTN
UIN Walisongo Semarang
Tahun 2022

**LAPORAN PENELITIAN DASAR
PENGEMBANGAN PROGRAM STUDI**

**NANOFIBER KOMPOSIT PVDF-NANOSILIKA
DARI BAMBU SEBAGAI MEMBRAN
ULTRAFILTRASI**

Oleh:

**Ervin Tri Suryandari
Hamdan Hadi Kusuma
Umi Ma'rifah**



Dibiayai dengan anggaran DIPA BOPTN
UIN Walisongo Semarang
Tahun 2022



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN
KEPADA MASYARAKAT

Jalan Walisongo No. 3-5 Semarang 50185
Email: lp2m@walisongo.ac.id, Website: lp2m.walisongo.ac.id

SURAT KETERANGAN

Nomor : 1706/Un.1D.0/L.1/TA.00.08/12/2022

Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LP2M) UIN Walisongo Semarang, dengan ini menerangkan bahwa penelitian yang dibiayai oleh Anggaran DIPA-BOPTN tahun 2022 dengan judul:

**NANOFIBER KOMPOSIT PVDF-NANOSILIKA DARI BAMBU SEBAGAI MEMBRAN
ULTRAFILTRASI**

adalah benar-benar merupakan hasil penelitian Dasar Pengembangan Program Studi yang dilaksanakan oleh:

Nama Ketua : Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si
NIP/ID Peneliti : 197407162009122001
Jabatan Fungsional : Lektor
Fakultas : Sains dan Teknologi

Nama Anggota : Dr. Hamdan Hadi Kusuma
NIP/ID Peneliti : 19770320 200912 1002
Jabatan Fungsional : Lektor
Fakultas : Sains dan Teknologi

Nama Anggota : Umi Ma'rifah
NIM : 1808036013
Jabatan : Mahasiswa
Fakultas : Sains dan Teknologi

Demikian surat keterangan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 6 Desember 2022



AKHMAD ARIF JUNAIDI

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan berkah, nikmat, rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Nanofiber Komposit PVDF-nanosilika dari bambu sebagai membran ultrafiltrasi” dengan baik dan lancar.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penelitian ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, arahan dan saran dari semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Imam Taufiq, M.Ag, selaku Rektor UIN Walisongo Semarang
2. Dr. H. Ismail, M.Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian, arahan dan saran guna perbaikan dalam penulisan penelitian ini.
3. Ibu Malikhatul Hidayah, ST, M.Pd, selaku Ketua Jurusan Kimia, yang telah memberikan izin dan arahan serta bimbingan
4. Bapak Ketua LP2M UIN Walisongo Semarang

5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dorongan, bimbingan, arahan, motivasi, saran serta bantuan selama proses penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna sempurnanya penelitian ini. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi semua pembaca.

Semarang, November 2022
Penulis

ABSTRAK

Metilen biru merupakan zat warna kation yang sering digunakan dalam industri tekstil, dan rentan dibuang ke air karena senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan 95% sisanya akan dibuang sebagai limbah. Cara penanganan limbah yang sering dilakukan adalah dengan menggunakan membran. Salah satu polimer unggulan yang digunakan sebagai membran adalah PVDF yang bersifat termoplastik (kuat) namun memiliki daya rejeksi yang kurang maksimal disebabkan oleh ukuran pori terlalu kecil sehingga mudah tersumbat (fouling). Untuk mengatasi hal tersebut ditambahkan nanosilika pada membran PVDF dengan harapan dapat meningkatkan rejeksi. Nanosilika didispersikan ke dalam membran PVDF yang dibuat dengan pembalikan fase. Membran PVDF dan komposit PVDF-Nanosilika telah berhasil dibuat dengan karakterisasi hidrofobik berpori, penambahan nanosilika akan mengurangi sudut kontak. Membran komposit PVDF-Nanosilika berhasil dibuat dengan ketebalan antara 0,05-0,08 mm dan ukuran pori rata-rata di bawah 2 μm sehingga tergolong membran ultrafiltrasi. Setelah dilakukan pengujian kemampuan pemisahan membran komposit PVDF-Nanosilika sebesar 82,65% dan permeabilitas sebesar 19,197 $\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$. Peningkatan koefisien rejeksi dan permeabilitas membran yang dimodifikasi dimana pada kondisi yang sama membran PVDF ultrafiltrasi biasa memiliki koefisien rejeksi sebesar 76,45% dan permeabilitas 8,921 $\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$.

Kata Kunci : serat nano, nanosilika, PVDF, methylene biru

ABSTRACT

Methylene blue is a cation dyestuff that is often used in the textile industry, and is susceptible to being discharged into water because, this compound is only used about 5% while the remaining 95% will be disposed of as waste. The method of handling waste that is often done is to use a membrane. One of the superior polymers used as membranes is PVDF which is thermoplastic (strong) but has a lack of rejection which is less than the maximum which is usually caused by pore size that is too small so that it can easily be blocked (fouling). To overcome this, nanosilikae is added to the PVDF membrane in hopes of increasing rejection. Nanosilikae is then dispersed into a PVDF membrane that is made by phase reversal. PVDF membranes and PVDF-Nanosilikae composite membranes have been successfully made with porous, hydrophobic characterization, and by adding nanosilikae to the polymer will reduce the contact angle. PVDF-Nanosilikae composite membrane was successfully made with a thickness between 0.05-0.08 mm and an average pore size below 2 μm so that it is classified as an ultrafiltration membrane. After testing the separation ability of the PVDF-Nanosilikae composite membrane against the sample solution, it is known that the membrane rejection coefficient value of 82.65% and permeability of 19.197 $\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$. An increase in the rejection coefficient and permeability of the modified membrane where under the same conditions the usual ultrafiltration PVDF membrane has a rejection coefficient of 76.45% and permeability of 8.921 $\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$.

Keyword : *nanofibers, nanosilikae, PVDF, methylene blue*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan.....	iii
Kata Pengantar.....	v
Abstrak	vii
Daftar isi	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel.....	xvii
Daftar Lampiran	xix
Bab I Pendahuluan.....	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Rumusan Masalah	8
1.3.Tujuan Penelitian.....	8
1.4. Kajian Penelitian yang reeelevan....	9
Bab II Kajian Pustaka	
2.1. Membran	13
2.2. Klasifikasi membran.....	14
2.3. Serat nano/Nanofibers	17
2.4. Teknik sintesis nanofibers	18
2.5. Bambu.....	28
2.6. Hipotesis	28
Bab III Metode Penelitian.....	
3.1.Alat dan Bahan	31
3.1.1 Alat	31

3.1.2. Bahan.....	32
3.2.Sintesis nanosilika.....	32
3.3.Sintesis nanofiber PVDF.....	33
3.4.Sintesis nanofiber PVDF-Silika ...	33
3.5.Karakterisasi	35
3.6.Aplikasi	38
Bab IV Hasil dan Pembahasan.....	43
4.1 Sintesis dan Karakterisasi nanosilika dari Bambu	44
4.2 Sintesis dan karakterisasi nanofiber PVDF, PVDF-nanosilika	57
4.2.1. Optimalisasi kondisi optimum sintesis nanofiber PVDF	57
4.2.2. Sintesis nanofiber PVDF dan PVDF- nanosilika.....	71
4.2.2. Karakterisasi nanofiber PVDF dan PVDF-nanosilika	73
4.3 Aplikasi untuk penyerapan methylene biru	99
Bab V Kesimpulan dan Saran	107
Daftar Pustaka	109

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Parameter Optimasi untuk sintesis membrane nanofiber PVDF	28
Tabel 4.1	Rendemen silika dari berbagai jenis bambu	47
Tabel 4.2	Ukuran sebaran partikel silika untuk 4 jenis bambu.....	48
Tabel 4.3	Bilangan gelombang dan gugus fungsi silika bambu Kuning.....	50
Tabel 4.4	Bilangan gelombang dan gugus fungsi silika bambu Ori	52
Tabel 4.5	Bilangan gelombang dan gugus fungsi silika bambu Jawa.....	54
Tabel 4.6	Bilangan gelombang dan gugus fungsi silika bambu Tali	56
Tabel IV.7	Analisis Spektrum membran nanofiber PVDF	75
Tabel IV.8	Sudut kontak nanofiber PVDF dan PVDF- SILIKA terhadap air	79
Tabel IV.9	Spreading Time nanofiber PVDF ..	82
Tabel IV.10	Spreading Time nanofiber PVDF-Silika 1%.....	83
Tabel IV.11	Spreading Time nanofiber PVDF-Silika 2,5%.....	84

Tabel IV.12 Spreading Time nanofiber PVDF-Silika 5%.....	89
Tabel IV.13 Hasil Uji Tarik membrane	78
Tabel IV.14 Nilai flux membran nanofiber.....	100
Tabel IV.15 Koefisien Rejeksi membran nanofiber.....	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar III.1	Skema proses elektrospinning.....	35
Gambar III.2	Skema alat uji filtrasi	39
Gambar IV.1	Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat	45
Gambar IV.2	Spektrum FTIR untuk silica Bambu Kuning.....	49
Gambar IV.3	Spektrum FTIR untuk silica Bambu Ori	51
Gambar IV.4	Spektrum FTIR untuk silica Bambu Jawa.....	53
Gambar IV.5	Spektrum FTIR untuk silica Bambu Tali	55
Gambar IV.6	Gambar mikroskop optik nanofiber PVDF pada berbagai konsentrasi (%w/v), 15(a), 17,5(b), 20(c) 22,5% (d).....	59
Gambar IV.7	Gambar mikroskop optik nanofiber PVDF pada berbagai tegangan yang diterapkan (kV), 7(a), 8(b), 9(c), 10 (d) dan 11(e).	64
Gambar IV.8	Gambar mikroskop optik nanofiber PVDF dengan berbagai laju aliran	

	(mL/jam), 0,01 (a), 0,04 (b), 0,08 (c), dan 0,1 (d).....	68
Gambar IV.9	Gambar mikroskop optik nanofiber PVDF pada berbagai jarak pemintal dan ujung kolektor (cm), 10 (a), 11 (b), 12 (c), dan 13 (d).	69
Gambar IV.10	Nanofiber PVDF	71
Gambar IV.11	Nanofiber PVDF dengan variasi Silika, 1% (a); 5% (b) dan 10% (c).....	72
Gambar IV.12	Spektrum FTIR dari serat nano PVDF	74
Gambar IV.13	Profile suduk kontak air pada nanofiber PVDF dan Nanofiber PVDF-silika 1%, 2,5% dan 5%.....	77
Gambar IV.14	Sudut kontak dan energi bebas hidrasi permukaan dari Nanofiber PVDF dan PVDF-Silika	80
Gambar IV.15	Citra SEM nanofiber PVDF (A) dan Nanofiber PVDF-Silika (B).....	92
Gambar IV.16	Distribusi diameter nanofiber PVDF	93
Gambar IV.17	Distribusi diameter nanofiber PVDF- Silika 1%.....	94
Gambar IV.18	Distribusi diameter nanofiber PVDF- Silika 2,5%.....	95

Gambar IV.19 Distribusi diameter nanofiber PVDF- Silika 5 %.....	96
Gambar IV.20 Mapping EDX nanofiber PVDF	97
Gambar IV.21 Mapping EDX nanofiber PVDF- Silika	98

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat elektrospinning.....	119
Lampiran 2 Alat Reaktor Membran... ..	121

Bab 1

Pendahuluan

1. Latar Belakang

Saat ini kebutuhan akan air bersih menjadi masalah besar di berbagai negara termasuk di Indonesia, hal ini disebabkan perairan yang tercemar. Keberadaan industri dengan sistem pengolahan dan pembuangan limbah yang buruk merupakan penyebab pencemaran. Salah satunya adalah limbah tekstil yang tidak diolah dan dibuang langsung ke perairan, padahal limbah tekstil ini didominasi oleh bahan pencemar organik yang bersifat karsinogenik dan sulit terurai secara alami. Berbagai metode digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut, antara lain metode adsorpsi, fotoelektrodegradasi dan teknologi membran.

Metode adsorpsi sering terkendala oleh kebutuhan akan adsorben yang cukup besar dan kendala pada pembuangan setelah digunakan, sedangkan fotoelektrodegradasi membutuhkan konsumsi energi yang cukup besar. Teknologi membran cukup menjanjikan dan pengolahan air dengan menggunakan membran ini berkembang pesat karena memiliki keunggulan antara lain dapat berlangsung dalam kondisi lunak, mudah dalam penskalaan, konsumsi energi relatif lebih rendah dan proses dapat dilakukan secara berkelanjutan. Saat ini, penggunaan bahan membran dan modifikasinya sedang dikembangkan untuk menghasilkan kinerja yang unggul. Ada beberapa jenis teknik pembuatan membran, antara lain *printing*, *phase inversion*, *stretching*, dan *etching*, sehingga menghasilkan membran dengan karakteristik yang berbeda-beda. Salah satu teknik pembuatan membran yang akhir-akhir ini menarik perhatian adalah membran nanofiber yang akhir-akhir ini mendapat perhatian khusus karena potensi penggunaannya yang luas di berbagai bidang. Metode *electrospinning* merupakan cara sederhana untuk membentuk serat nano[1] Sejak tahun 1980 dan terutama dalam beberapa tahun terakhir

nanofiber telah menjadi bahan yang menjanjikan karena memiliki beberapa keunggulan yaitu luas permukaannya pada skala nm², kinerja mekanik yang unggul seperti kekakuan dan kekuatan tarik[2], porositas tinggi, ukuran pori kecil, ringan. , permeabilitas tinggi. Nanofiber memiliki luas permukaan yang spesifik dan porositas yang tinggi[3]. Sifat inilah yang menyebabkan nanofiber banyak digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan ion logam berat[4]. Nanofibers dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi seperti pengolahan air limbah, pengolahan makanan, produk farmasi [5], aplikasi biomedis dan membran[6]. Peningkatan performa nanofiber dilakukan melalui penambahan material lain (komposit) atau fungsionalisasi[7]. Salah satu polimer organik yang menjanjikan adalah polivinilden fluorida (PVDF) yang bersifat termoplastik, hidrofobik dan memiliki stabilitas mekanik yang baik [8]. Berbagai modifikasi PVDF dilakukan untuk mengatasi kelemahan membran PVDF dengan mencampurkan material porous atau hidrophilic untuk meningkatkan kinerja membran[9–11]. Beberapa bahan anorganik yang ditambahkan sebagai pengisi adalah CuO dan

CaCO_3 [12], ZnO [10], Fe_2O_3 , TiO_2 [13], ZrO [14] dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Bahan lain yang menjanjikan adalah silika, silika bisa diperoleh dari berbagai sumber melimpah di Indonesia, seperti dari ampas tebu, jerami padi dan dari daun bambu[15]. Penelitian tentang nanosilika sebagai pengisi membran telah dilakukan dan telah mampu meningkatkan sifat mekanik dan sifat termal membran. Indonesia merupakan Negara yang sangat kaya dengan sumber daya alam yang potensial, didukung dengan keadaan geografis Indonesia. Adapun salah satu sumber daya alam yang ada di Indonesia adalah bambu. Bambu merupakan tanaman Ordo Bambu idea yang pertumbuhannya cepat dan bambu dapat dipanen pada umur 3 tahun dan memiliki jumlah produksi yang tinggi. Bambu mengandung silikat yang cukup tinggi, bambu memiliki komposisi kimia diantaranya terdapat unsur silikat yang terkandung didalam bambu. Hal ini silikat merupakan senyawa yang umum ditemukan dalam kehidupan sehari-hari dan banyak digunakan dalam aplikasi elektronik, keramik, adsorben semen, katalisator, dan masih banyak lagi pemanfaatannya. (Hosokawa. dkk, 2007) Dengan keterbatasan sumber daya, material silika diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk pengembangan nanoteknologi. Nanoteknologi sudah digiatkan diberbagai benua baik Amerika, Australia, sebagian Eropa dan sebagian Asia, namun di Indonesia masih dalam tahap rintisan.

(Martien. dkk, 2012) Nanopartikel adalah partikel berukuran 1-100 nanometer. Nanopartikel telah dijadikan sebagai kajian yang sangat menarik, oleh karena itu nanopartikel arang daun bambu tutul merupakan suatu partikel yang didefinisikan sebagai obyek kecil yang berperilaku sebagai satu kesatuan terhadap sifat transportasinya yang yang baru atau lebih baik berdasarkan karakteristik dibanding dengan partikel bulk yang lebih besar. (Waluyo. dkk, 2013) Menggabungkan ball-milling dan ultrasonic milling yang diproses dengan planetary ball-mill selama 40 jam untuk membuat nanopartikel. (Joharwan. dkk, 2017) Membuat penelitian tentang kajian nanopartikel dari arang bambu wulung yang diproduksi dengan High Energy Ball Milling tipe Shaker mill. (Mei. dkk, 2006) Melakukan penelitian karbon nanopartikel yang berbentuk cobble seperti diameter 21-198 nm dinding sel serat bambu. (Kumar. dkk, 2016) Telah melakukan penelitian bambu mentah menjadi produk terkompresi atau dilaminasi dengan resin termosetel dengan kerapatan 800-1200kg. (Sharma. dkk, 2015) Melakukan penelitian pengolahan batang bambu menjadi komposit berlapis yang mirip dengan produk kayu 2 dilaminasi. (Schuster.dk, 2012) Membuat penelitian tentang sintesis nanopartikel mesopori yang sumbernya dari (PMMA) poli metal akrilat. Yang fungsinya untuk menghilangkan silica yang sumbernya dari komposit. (Falco. dkk, 2013) Telah meneliti produk

partikel nanopartikel mikropori dari furfural alcohol dengan karbonisasi sebagai metode tersebut. (Ghrair. dkk, 2009) Telah Melakukan penelitian dibidang lingkungan remediasi yang menghasilkan dan mengkarakterisasi tuf Na-Zeolitik. (Agung. dkk, 2013) Pernah melakukan penelitian temperature pemanasan dan waktu pemanasan terhadap yield silica yang dihasilkan dari sekam padi. (Sa'diyah. dkk, 2016) Membuat penelitian dari arang daun bambu yang menghasilkan ekstrak silica dengan pencucian HC1 7%. (Rasyidi. dkk, 2015) Telah meneliti oksidasi etanol yang membentuk asetaldehida dengan menggunakan katalis molibdenum oksida berpenyangga silica oksida. (Rao. dkk, 2011) Memodifikasi serbuk silicon dan karbida yang berukuran mikro terbentuk menjadi serbuk silicon karbida terstruktur nano yang menggunakan metode High Energy Milling (HEM). (Muhriz. dkk, 2014) Membuat zeolit alam yang diproduksi menjadi nanopartikel yang menggunakan metode High Energy Milling (HEM). (Fajarin. dkk, 2014) Telah Melakukan penelitian Fe_2TiO_5 sebagai salah satu jenis titanate atau MxTi_yO_z yang memiliki sifat elektrik magnetic yang menggunakan type mechanical alloying model planetary ball mill. (Giat. dkk, 2012) Pernah meneliti paduan Co-Cr-Mo menggunakan proses metode milling menggunakan metode High Energy Milling (HEM) type PW700i mixer/mill. (Herminiwati. dkk, 2015)

Melakukan penelitian nano nabati dari ekstrak kulit kayu akasia sebagai komposisi metode High Energy Milling (HEM) model planetary ball mill. (Jearanaisilawong, dkk, 2015) Telah membuat karbon hitam dari bambu ori (*Bambusa arundinacea*) dan bambu petung (*Dendrocalamus asper*) dapat dihasilkan dari pemanasan dengan furnace dengan temperatur pemanasan 300° C, 500° C, 800° C dengan waktu tahan 1 jam. (Chen, dkk, 2015) Dalam penelitiannya menyampaikan arang bambu merupakan alternative penghasil produk karbon, dikarenakan karbon merupakan sumber daya alam yang bias diperbaharui. (Salihati, dkk, 2013) Keberadaan bambu banyak kita jumpai di berbagai wilayah, mulai dari yang tumbuh secara alami ataupun dengan sengaja untuk dibudidayakan. Populasi bambu di dunia ini diperkirakan sekitar 1200-1300 jenis bambu. Di Indonesia terdapat jumlah 143 jenis macam bambu, dan 60 jenis bambu ada di pulau Jawa termasuk di dalamnya ada jenis bambu tutul. (Charomai, 2013) Di 3 dunia ini bambu merupakan tanaman dengan pertumbuhan yang paling cepat. dikarenakan mempunyai system rhizoma dependen yang unik, dalam waktu sehari-hari bambu dapat berkembang setinggi 60 cm (24 inchi) bahkan lebih dari 60 cm, dan tergantung pada kondisi tanah atau klimatologi tempat bambu ditanam

Penelitian ini akan mengembangkan pembuatan material PVDF nanofiber [16,17] yang dimodifikasi dengan

nanosilika dari batang bambu yang dibuat secara elektrospinning. Penambahan nanosilika pada nanofiber PVDF diharapkan dapat meningkatkan sifat hidrofilisitas dan meningkatkan kapasitas adsorpsi nanofiber terutama terhadap zat warna. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan kombinasi membran nanofibers PVDF-nanosilika baru yang memberikan kinerja yang lebih baik untuk adsorpsi zat warna di perairan tercemar.

2. Rumusan Masalah

- a. Bagaimana kondisi optimum untuk sintesis membran nanofiber PVDF dan PVDF-nanosilika yang dibuat dengan electrospinning
- b. Bagaimana karakteristik nanosilika dari batang bambu, membran nanofiber PVDF dan PVDF-nanosilika disiapkan dengan electrospinning
- c. Bagaimana kinerja membran nanofiber PVDF dan PVDF-nanosilika pada adsorpsi zat warna

3. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mensintesis material baru, membran nanofiber PVDF dan PVDF-Nanosilika yang dibuat dengan elektrospinning untuk meningkatkan kinerjanya dalam adsorpsi metilen biru.

Tujuan khusus:

- a. menentukan kondisi optimum untuk sintesis membran nanofiber PVDF dan PVDF-nanosilika yang dibuat dengan *electrospinning*
- b. menentukan karakteristik nanosilika dari batang bambu, membran nanofiber PVDF dan PVDF-nanosilika yang disiapkan dengan *electrospinning*
- c. mengetahui kinerja membran nanofiber PVDF dan PVDF-Nanosilika pada adsorpsi zat warna

4. Kajian Terdahulu yang relevan

Pengolahan zat warna atau limbah tekstil telah dilakukan dengan berbagai cara, baik yang sederhana maupun yang canggih. Misalnya pengolahan limbah dengan menambahkan bahan kimia tertentu seperti proses koagulan dan klorinasi, proses tersebut mampu mengatasi atau mengolah limbah yang ada tetapi juga menimbulkan masalah baru yaitu meningkatnya biaya operasional akibat penggunaan bahan kimia yang banyak dan terus menerus serta proses menghasilkan residu dalam jumlah yang sangat besar. besar pula, sehingga lama kelamaan akan berkembang menjadi sumber

pencemar baru yang juga berbahaya bagi kelestarian lingkungan, cara lain adalah proses pengolahan secara biologis yang melibatkan proses bioremediasi, namun masih memiliki banyak kekurangan karena kurang fleksibel, tidak secara maksimal mengambil semua kontaminan limbah pewarna[18,19].

Metode adsorpsi juga telah dilakukan, metode ini sangat baik untuk pengolahan limbah namun memiliki kelemahan yaitu kemampuan untuk digunakan kembali (regenerasi) sangat rendah, sehingga akan mengakibatkan penggunaan biaya yang sangat tinggi. . Berdasarkan kelemahan metode di atas maka dikembangkan suatu metode pengolahan limbah dengan menggunakan teknologi membran. Membran dikenal sebagai teknologi ramah lingkungan. Faktor-faktor yang mendorong penggunaan membran dalam pengolahan air adalah regulasi tentang pengolahan dan penyediaan air bersih, meningkatnya kebutuhan air bersih, komersialisasi teknologi membran karena penerapannya di masyarakat luas, dan biaya operasional yang dapat ditekan secara maksimal. dengan inovasi pembuatan membran yang lebih optimal[20]. Proses pengolahan limbah

menggunakan membran memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat dikatakan relatif sederhana, tidak menggunakan bahan kimia untuk pengolahannya, dapat diterapkan pada skala pengolahan yang lebih besar.

Keunggulan tersebut menjadi dasar penggunaan teknologi membran untuk pengolahan limbah pada industri tekstil. Untuk menekan biaya penggunaan membran dapat dilakukan regenerasi pada membran agar dapat digunakan berulang kali yaitu dengan membersihkan membran secara berkala. Sedangkan untuk mengatasi kelemahan utama teknologi membran adalah *fouling*, dilakukan dengan memilih proses penyaringan sesuai dengan karakteristik dan sifat limbah cair tekstil, atau dengan memperbaiki bahan membran yang digunakan sehingga dapat meminimalkan *fouling*. Seperti pada penelitian ini dilakukan perbaikan sifat material membran dengan penambahan Nanosilika, dengan harapan dapat mengurangi *fouling* dan meningkatkan kinerja membran.

Modifikasi membran PVDF dengan penambahan nanosilika dapat meningkatkan ketahanan membran terhadap abrasi permukaan[21], meningkatkan sifat mekanik membran, memberikan kinerja yang lebih

baik[22], meningkatkan polaritas permukaan membran dan juga meningkatkan selektivitas membran dalam pemisahan zat warna.

BAB II

Kajian Pustaka

2.1. Membran

Membran merupakan pembatas antara dua fasa yang selektif, memiliki kemampuan untuk menggerakkan suatu komponen campuran umpan lebih baik dari komponen lainnya, sehingga proses pemisahan dapat terjadi. Proses pemisahan pada membran dapat terjadi karena selektivitas yang ada pada membran yaitu kemampuan untuk memisahkan suatu partikel dari campurannya karena ukuran partikel yang lebih besar dari pori membran.

Selama proses pemisahan, membran dapat mengalami pengotoran. Fouling adalah penyumbatan pada membran yang terjadi karena akumulasi partikel, koloid, makromolekul, dan

garam di permukaan dan di dalam dinding pori membran. Proses fouling dapat menyebabkan aliran umpan melalui membran menurun sehingga menyebabkan penurunan kinerja membran.

2.2 Klasifikasi membran

Proses pemisahan yang terjadi pada membran secara umum adalah proses filtrasi, namun jika dilihat lebih detail, proses pemisahan pada membran merupakan salah satu cara filtrasi yang menerapkan pembagian aliran antara feed dan permeat. Padahal, ada banyak prinsip yang bisa diterapkan dalam memisahkan kedua sekolah tersebut. Prinsip pemisahan merupakan salah satu faktor dalam klasifikasi jenis membran. Berdasarkan ukuran porinya, membran dapat dibedakan menjadi:

1. Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi adalah proses filtrasi yang menggunakan membran berpori dengan diameter berkisar antara 0,1-10 μm untuk memisahkan partikel tersuspensi [23]. Membran jenis ini memiliki ukuran pori 0,05-10 μm , sebagian besar terbuat dari beberapa jenis polimer atau keramik, memiliki ketebalan 10-150 μm dan umumnya hanya tahan terhadap tekanan <2 bar. Aplikasi membran

mikrofiltrasi skala besar adalah untuk mengolah mikroorganisme dalam air minum. Jenis aliran pada membran dibedakan menjadi dua, yaitu aliran buntu dan aliran silang. Kedua jenis aliran tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan tergantung penggunaannya. Membran dengan model buntu biasanya diaplikasikan untuk filtrasi/sterilisasi steril produk makanan atau minuman.

2. Ultrafiltrasi

Ukuran pori membran ultrafiltrasi berkisar antara $0,05 - 1\mu\text{m}$ dengan ketebalan sekitar $150\mu\text{m}$ dan dapat bekerja pada tekanan 10 bar. Membran ultrafiltrasi dapat dibuat dengan menggunakan polimer seperti polisulfon (PS) dan poliakrilonitril (PAN) atau keramik seperti zirkonium oksida dan aluminium dioksida. Proses pemisahan pada membran ultrafiltrasi terjadi karena adanya tekanan hidrostatik yang memaksa cairan menembus membran semipermeabel yang menyebabkan pelarut dan padatan tersuspensi tertahan tetapi memungkinkan air dan pelarut lewat.

Membran ultrafiltrasi dapat digunakan mengikuti model dead-end atau cross-flow seperti membran mikrofiltrasi. Kemampuan untuk memisahkan

membran ultrafiltrasi sangat dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk pori. Penggunaan membran ultrafiltrasi dapat diterapkan pada pemisahan partikel tersuspensi dan makromolekul. Pori-pori pada membran ultrafiltrasi lebih kecil dibandingkan dengan pori-pori pada bakteri dan sel khamir, sehingga ultrafiltrasi mampu memberikan 100% rejeksi mikroba terlarut pada pakan.

3. Nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi merupakan membran dengan ukuran pori $<2 \mu\text{m}$. Membran ini biasanya sering diaplikasikan pada air permukaan dan air tanah yang memiliki padatan tersuspensi lebih kecil dan dapat bekerja dari tekanan 10 bar hingga 25 bar. Nanofiltrasi juga dapat digunakan untuk menyaring zat organik alami dan pewarna sintetis serta untuk pelunakan. Pelunakan adalah proses yang dilakukan untuk memisahkan kation polivalen.

4. Reverse Osmosis

Ketika pelarut (misalnya air) mengalir melintasi membran semipermeabel dari larutan yang lebih encer ke larutan yang lebih pekat, kesetimbangan dalam sistem akan tercapai bila konsentrasi dalam

kedua larutan tersebut sama. Perbedaan tekanan dalam larutan dengan konsentrasi tinggi ke larutan dengan konsentrasi rendah disebut tekanan osmotik. Reverse osmosis (osmosis balik) terjadi ketika larutan dengan konsentrasi lebih tinggi diberi tekanan yang lebih besar daripada larutan dengan konsentrasi lebih rendah, sehingga terjadi pergerakan partikel dari larutan pekat ke larutan yang lebih encer. Reverse osmosis adalah metode penyaringan yang dapat memisahkan banyak jenis molekul dan ion besar dari larutan [23].

2.3 Serat Nano/Nanofibers

Nanofibers didefinisikan sebagai serat yang memiliki diameter antara 100 nm sampai 1 μm [26]. Karakteristik nanofibers adalah memiliki pori-pori kecil, porositas tinggi[27], biodegradable dan memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang besar[28]. Nanofibers memiliki sifat yang sangat khas, sangat kuat, rasio permukaan terhadap volume yang besar, dan berpori. Sifat nanofiber adalah permukaannya lebih fleksibel dan memiliki kekuatan/sifat mekanik yang tinggi. Sifat-sifat tersebut menjadikan nanofibers sebagai bahan yang sangat potensial untuk digunakan di berbagai bidang

industri, seperti, otomotif, pulp dan kertas, komposit, elektronik, industri farmasi, tekstil, optik, pertanian, kosmetik, kesehatan, kedokteran, dan olahraga.

2.4. Teknik sintesis nanofibers

Ada beberapa teknik untuk sintesis nanofibers. Teknik-teknik ini meliputi, pemisahan fasa, sintesis templat ekstrusi bikomponen, menggambar, peleburan lelehan, pemintalan elektro, dan pemintalan sentrifuga

a. Ekstrusi dua komponen

Serat bikomponen dapat didefinisikan sebagai mengekstrusi dua polimer bersama-sama dalam serat yang sama dari pemintal yang sama. Dalam ekstrusi dua komponen, dua polimer dikirim ke lubang pemintal sederhana, dibelah oleh tepi pisau atau septum, yang mengumpulkan dua segmen ke dalam pengaturan berdampingan.

b. Pemisahan Fase

Dalam pemisahan fase, polimer awalnya dicampur dengan pelarut sebelum mengalami gelasi. Mekanisme utama dalam

sistem ini adalah pemisahan fase karena ketidakkonsistenan fisik. Fase pelarut kemudian diekstraksi, meninggalkan fase residu lainnya. Metode terperinci untuk produksi nanofibrous poly(L-lactic) acid (PLLA) dalam lima langkah utama, pelarutan polimer, gelasi, ekstraksi pelarut, pembekuan, dan pengeringan beku[45]

c. Sintesis Templat

Sintesis templat adalah pendekatan lain yang umum digunakan untuk menghasilkan serat nano anorganik, mis. tabung nano karbon dan serat nano atau polianilin konduktif (PANI), polipirol (PPy), dll. Sintesis templat melibatkan penggunaan templat atau cetakan untuk mendapatkan bahan atau struktur yang diinginkan. Dengan demikian teknik casting dan replikasi DNA dapat dipercaya sebagai sintesis berbasis template. Template menyebutkan membran oksida logam dengan pori-pori ketebalan diameter skala nano. Dengan penggunaan tekanan air

bersama dengan kontrol membran berpori menyebabkan ekstrusi polimer yang, dengan kontak dengan larutan pematatan, menghasilkan serat nano yang diameternya diatur oleh pori-pori.

d. Menggambar

Proses menggambar dapat dicirikan sebagai pemintalan kering pada tingkat molekuler. Proses ini hanya dapat diterapkan pada bahan viskoelastik yang dapat mengalami deformasi tingkat tinggi, tetapi tetap cukup padat untuk menahan tegangan yang timbul selama penarikan. Metode menggambar tipikal membutuhkan permukaan SiO_2 ; mikropipet dan mikromanipulator untuk menghasilkan serat nano. Namun, proses ini menghasilkan nanofibers dalam skala laboratorium satu per satu yang mencegahnya untuk ditingkatkan ke tingkat industri.

e. Teknologi meleleh

Teknologi Meltblown melibatkan satu langkah produksi serat oleh lelehan polimer

yang diekstrusi melalui cetakan orifice dan menarik ekstrudat dengan udara panas, biasanya pada suhu yang sama dengan polimer cair. Udara menggunakan gaya seret untuk menipiskan ekstrudat leleh menjadi serat, yang kemudian dikumpulkan dalam bentuk tikar bukan tenunan.

f. Elektrosinning

Electrosinning adalah prosedur terkenal untuk produksi elektrostatis nanofibers polimer. Formhals menerbitkan paten pertama untuk menyiapkan benang buatan dengan electrosinning pada tahun 1934. Electrosinning adalah metode cerdas untuk mendapatkan serat nano karena mudah digunakan dan menghasilkan tikar non-anyaman dengan rasio volume/luas yang luar biasa

Electrosinning jelas merupakan metode yang disukai untuk fabrikasi nanofiber; meskipun demikian ia menghadapi beberapa kelemahan misalnya kebutuhan medan listrik yang tinggi, solusi dengan sifat dielektrik yang unggul, tingkat produksi

yang rendah, biaya produksi yang tinggi dan banyak topik berkorelasi keselamatan lainnya, electrospinning tidak cocok untuk produksi massal bahan tertentu

g. Pemintalan sentrifugal

Pemintalan sentrifugal, atau Forcespinning, adalah metode pembentukan serat nano yang dikembangkan baru-baru ini dan menarik minat yang luas terutama karena tingkat produksinya yang tinggi, yaitu 500 kali lebih cepat daripada electrospinning tradisional. Alih-alih menggunakan gaya elektrostatik, pemintalan sentrifugal mengembangkan gaya sentrifugal untuk mewujudkan produksi serat nano tingkat tinggi

Sintesis membran Nanofibers dengan Electrospinning

Metode electrospinning adalah metode yang menggunakan gaya elektrostatik untuk membentuk serat. Cara ini relatif mudah dan sederhana untuk membentuk serat berukuran nano[29]. Alat electrospinning terdiri dari beberapa bagian yaitu pipa kapiler, sumber tegangan tinggi yang

bermuatan positif dan negatif, dan pengumpul serat. Alat suntik/injektor digunakan untuk mendorong cairan ke dalam kapiler. Sebuah sumber tegangan ditempatkan pada jarum suntik dan kolektor serat. Beberapa parameter yang perlu diperhatikan untuk membentuk nanofiber adalah konsentrasi polimer[30], besarnya tegangan listrik yang diberikan[31], jarak antara ujung jarum dan kolektor[5,32], laju alir cairan, konsentrasi polimer, dan berat molekul polimer [33].

Beberapa parameter yang perlu diperhatikan untuk membentuk nanofiber adalah besarnya tegangan yang diberikan, jarak antara ujung jarum dan kolektor, laju aliran cairan, konsentrasi polimer, dan berat molekul bahan. polimer [50].

a. Tegangan listrik

Besarnya tegangan listrik mempengaruhi morfologi dan diameter serabut yang terbentuk. Jika tegangannya kurang, maka gaya elektrostatisnya juga lemah sehingga berkas serat belum terbentuk, atau walaupun bisa terbentuk, serat terputus, dan muncul manik-manik. Jika tegangan terlalu besar maka gaya elektrostatis juga besar sehingga

diameter serat yang dihasilkan juga besar [48].

Kekuatan medan listrik yang diterapkan pada larutan dapat menghasilkan diameter serat dari beberapa mikron hingga puluhan nanometer. Kekuatan medan yang kurang optimal dapat menyebabkan hasil serat yang buruk atau bahkan kegagalan dalam pembentukan serat. Kekuatan medan listrik untuk sistem polimer/pelarut tertentu yang terlalu lemah atau terlalu kuat akan menyebabkan pembentukan serat dengan manik-manik. Secara umum peningkatan penggunaan tegangan listrik yang lebih tinggi akan menyebabkan laju proses pemintalan menjadi lebih cepat karena laju polimer yang keluar dari ujung kapiler akan meningkat.

b. Jarak dari ujung jarum ke kolektor

Jika jaraknya terlalu sempit maka pengeringannya tidak sempurna, sehingga serat yang dihasilkan banyak mengandung butiran. Jika jaraknya cukup lebar maka pengeringan akan sempurna sehingga serat

yang dihasilkan menjadi halus (Doshi dan Reneker, 1995). Jarak juga mempengaruhi bentuk dan diameter serat yang diperoleh[9].

c. Laju Aliran

Laju alir yang rendah sangat dianjurkan dalam proses ini, karena pada laju alir yang rendah, larutan polimer memiliki waktu yang cukup untuk terjadinya polarisasi yang kemudian akan membentuk serat halus dengan diameter kecil [51], sedangkan laju alir yang terlalu tinggi mengakibatkan serat yang memiliki manik-manik karena tidak cukup waktu bagi pelarut untuk menguap sebelum mencapai kolektor

d. Konsentrasi Solusi dan Viskositas

Untuk membentuk serat, diperlukan konsentrasi larutan polimer yang cukup sehingga terbentuk ikatan antar rantai. Selain itu, konsentrasi polimer dipengaruhi oleh viskositas dan tegangan permukaan larutan. Menurut [43], karakteristik konsentrasi larutan polimer berbanding lurus dengan viskositas larutan, yang memiliki pengaruh

terbesar pada ukuran dan morfologi serat nano. Jika konsentrasi polimer terlalu rendah, nanofibers akan terbentuk dalam bentuk bintik-bintik bulat atau manik-manik di permukaan dan tetesan karena viskositas yang terlalu rendah. Ini mungkin juga karena beberapa pelarut mencapai kolektor dan menyebabkan serat menjadi basah sehingga membentuk persimpangan dan bola. Viskositas larutan meningkat secara signifikan, menghasilkan serat yang lebih seragam. Namun, jika larutan terlalu kental, proses electrospinning tidak mungkin dilakukan karena penyumbatan di ujung jarum (pelarut lebih cepat menguap).

Diameter nanofiber juga dipengaruhi oleh konsentrasi larutan polimer. Viskositas larutan yang terlalu tinggi menghasilkan serat yang lebih tebal. Solusi dengan konduktivitas atau kerapatan muatan yang lebih tinggi umumnya membantu menghasilkan serat yang lebih seragam. Konduktivitas dapat ditingkatkan dengan

penambahan garam (tidak akan tinggal di produk akhir), alkohol, atau surfaktan.

e. Berat Molekul Polimer

Berat molekul polimer yang terlalu rendah cenderung membentuk butiran karena belitan rantai polimer tidak cukup untuk membentuk serat. Jika berat molekul polimer terlalu besar, cenderung membentuk serat berdiameter besar dalam bentuk pita [47].

Keuntungan lain dari teknik ini adalah dapat menghasilkan serat nano yang cukup panjang (kontinu). Beberapa penggunaan/aplikasi komersial dari serat electrospinning meliputi:

1. Penguatan serat pada material komposit.
2. Lapisan permukaan non-basah pada tekstil biasa.
3. Dukungan untuk membran pemisahan polimer yang sangat tipis.
4. Aplikasi insektisida pada tanaman.
5. Rute untuk produksi kain bukan tenunan.
6. Bahan pembalut luka (Deitzel et al., 2001)

2.5 Bambu

Tanaman Bambu tumbuh dengan membentuk rumpun, akan tetapi Bambu juga dapat hidup secara soliter. Jenis Bambu tertentu memiliki percabangan yang sangat banyak dan membentuk perdu. Ada juga Bambu yang memiliki kemampuan memanjat. Bambu mengandung silica yang cukup tinggi. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan, Bambu memiliki kadar selulosa berkisar antara 42,4-53,6%, kadar lignin berkisar 19,8-26,6%, kadar pentosa 1,24-3,77%, kadar abu 1,24-3,77%, kadar silica 0,1-1,28%, kadar ekstrak 0,9-6,95% dan Bambu mengandung selulosa dan hemiselulosa berkisar antara 73,32 – 83,80%. Dari kandungan silica yang dimiliki Bambu, memungkinkan untuk memanfaatkan Bambu menjadi lebih optimal dengan mengekstrak kandungan silica dari Bambu tersebut. Silika merupakan bahan kimia yang pemanfaatannya dan aplikasinya cukup luas di berbagai bidang.

2.6 Hipotesis

- a. Sintesis membran nanofiber PVDF dan PVDF-Nanosilika yang disiapkan secara

electrospinning sangat dipengaruhi oleh konsentrasi PVDF, tegangan, laju alir, jarak antara ujung spinneret ke kolektor, dan komposisi PVDF-Nanosilika.

- b. Penambahan Nanosilika pada sintesis nanofiber pada membran nanofiber PVDF-Nanosilika akan meningkatkan hidrofilitas, luas permukaan, stabilitas termal dari nanofibers. dan meningkatkan kemampuan menyerap metilen biru

Bab III

Meodologi Penelitian

1.1 Alat dan Bahan

1.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas piala, pipet volume 10 mL, neraca analitik, pipet tetes, batang pengaduk, plat kaca, lakban hitam, bak koagulan, *magnet stirer*, *stirer*, reaktor membran, pH meter, penggaris, gunting,

stopwatch dan instrumen berupa Spektrofotometer UV-Vis, FTIR, SEM, alat uji tarik, reaktor membran

1.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Co polimer Poliviniliden Fluoride (PVDF), Zeolit 4A, Dimethyl Acetamide (DMAc), Methylene Blue, Aquademineral

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu sintesis, karakterisasi dan aplikasi:

a. Sintesis nanosilika dari batang bambu

Bambu, dikeringkan dan dipanaskan pada suhu 700⁰C selama 4 jam sehingga terbentuk abu bambu yang berwarna putih, digerus dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Kemudian 20 g abu bambu dilarutkan dalam 160 KOH 4M, ditutup dan dipanaskan pada suhu 85oC sambil diaduk selama 3 jam. Larutan disaring, kemudian residu dinetralkan menggunakan 40 mL aquades. Larutan didinginkan pada suhu ruangan kemudian ditambahkan HCl 1 M sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai pH netral (7). Larutan di diamkan selama 3,5 jam. Larutan disaring, dan endapan dikeringkan dalam oven (Kalapathy

et al., 2000). Endapan kering atau silika murni direfluks menggunakan HCl 6 M selama 4 jam kemudian dicuci hingga pH netral. Larutan dilarutkan dalam NaOH 2,5 N dilanjutkan pengadukan menggunakan magnetic stirrer selama 6 jam. Ditambahkan H₂SO₄ pekat sampai pH 8. Endapan dicuci menggunakan aquades hangat hingga netral kemudian dikeringkan dalam oven (Rafiee et al., 2012).

b. Sintesis membran nanofibers PVDF dan PVDF-Nanosilika

Sintesis nanofibers dilakukan dengan menggunakan peralatan electrosinning. Tahap pertama prosesnya adalah larutan PVDF ditempatkan ke dalam syringe 5 mL. Larutan yang terdapat dalam spuit tidak boleh mengandung gelembung udara, hal ini akan mempengaruhi serat yang akan dihasilkan. Kemudian larutan tersebut dipompa melalui selang silikon dengan diameter 0,6 mm dan syringe dengan diameter 0,70 x 38 mm ke dalam spinneret. Ujung logam pemintal dihubungkan ke kutub positif sumber arus tegangan tinggi dengan mengencangkan ulir

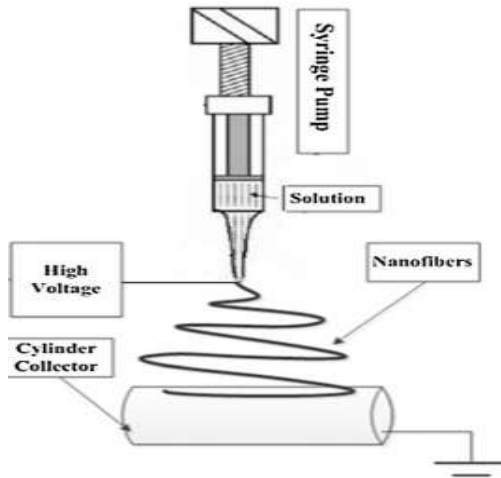
yang terdapat pada penyangga pemintal. Lembaran aluminium foil diletakkan di atas kutub negatif sebagai kolektor.

Proses electrospinning dilakukan pada suhu kamar dan berlangsung selama 3-4 jam hingga terbentuk lapisan nanofiber pada aluminium foil. Pengamatan yang dilakukan pada parameter electrospinning yang mempengaruhi pembentukan nanofibers meliputi konsentrasi polimer, tegangan listrik, jarak ujung spinneret ke kolektor dan kecepatan aliran. Variasi optimasi sintesis nanofiber PVDF dengan electrospinning tercantum dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1. Parameter optimasi untuk sintesis membran nanofibers PVDF

Parameter	Variasi
Konsentrasi (% w/v)	15, 17,5, 20, 22,5
Tegangan (kV)	7, 8, 9, 10,11
Jarak ujung jarum ke kolektor (cm)	10,11, 12 dan 13
Laju alir (mL/menit)	0,001; 0,004; 0,008, 0,01

dan untuk sintesis membran nanofiber PVDF-Nanosilika dilakukan variasi penambahan nanosilika yaitu 1,5 dan 10% (b/v). Teknik electrospinning disajikan pada Gambar III.1



Gambar III.1. Skema proses elektrospinning

- c. Karakterisasi membran nanofiber PVDF dan PVDF-Nanosilika

Mikroskop optik

Pengamatan menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk mengetahui morfologi serat yang terbentuk sesaat sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Sejumlah kecil serat yang

terbentuk dari proses electrospinning ditampung pada kaca objektif dan diamati dengan mikroskop optik (Eclipse E400, Nikon) pada perbesaran 400x.

Karakterisasi hidrofilisitas nanofibers

Sifat hidrofilisitas nanofibers dianalisis dengan mengukur sudut kontak nanofibers ke air. Metode yang digunakan adalah metode pengukuran tetesan air pada permukaan nanofiber. Sudut kontak diukur berdasarkan metode DSA (Drop Shape Analysis), dengan mengamati secara manual penurunan sessile menggunakan kamera. Sudut kontak tetesan air diukur menggunakan fitting menggunakan perangkat lunak ImageJ dalam mode plugin sudut kontak. Setiap sampel diukur 3 kali dengan posisi nanofiber yang berbeda.

Karakterisasi morfologi nanofibers

Morfologi permukaan, penampang, dan distribusi Nanosilika dalam nanofiber dikarakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Karakterisasi komposisi unsur nanofibers dilakukan dengan

menggunakan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX).

Karakterisasi gugus fungsi atau interaksi PVDF dan Nanosilika

Analisis untuk mengetahui adanya gugus fungsi tipikal yang terkandung dalam membran nanofibers PVDF dan PVDF-Nanosilika menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).

Karakterisasi struktural

Struktur padat membran nanofibers PVDF dan PVDF-Nanosilika ditentukan menggunakan X-Ray Diffraction Miniflex Rigaku dengan sumber Cu K α .

Karakterisasi Porositas

Metode yang digunakan untuk melakukan uji porositas membran adalah dengan merendam membran selama 24 jam dalam air pada suhu ruang, kemudian membran ditimbang. Setelah

itu membran dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60°C selama 48 jam sampai benar-benar kering kemudian dipasang kembali.

Karakterisasi Sifat Termal

Analisis sifat termal membran nanofiber Nanosilika, PVDF dan PVDF-Nanosilika ditentukan menggunakan DTA/TGA.

- d. Aplikasi membran nanofiber PVDF dan PVDF-Nanosilika untuk adsorpsi metilen biru
Nilai permeabilitas membran terhadap air diuji dengan menempatkan lembaran membran tercetak di atas penyangga dalam serangkaian alat uji filtrasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar III.2.



Gambar III.2. Skema alat uji filtrasi

Kemudian larutan umpan yang berisi aquademineral dimasukkan ke dalam feed tank melalui water inlet valve dan diaduk dengan magnetic stirrer. Reaktor diberi tekanan pada 2 bar dan dibiarkan selama 1 jam sampai terjadi pepadatan. Tekanan dalam reaktor terisolasi kemudian diturunkan secara perlahan pada kisaran 0,5 bar. Pada setiap penurunan tekanan, dilakukan penyimpanan permeat dan waktu dihitung menggunakan stopwatch. Nilai fluks kemudian dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$J_w = V / A \cdot t \quad (1)$$

Dimana J_w adalah fluks (L / m²h), V adalah volume permeat yang dihilangkan (L), A adalah luas permukaan membran efektif (m²), dan t adalah waktu selama penyimpanan permeat (jam)

Penentuan nilai persen rejeksi

Persen rejeksi membran dari larutan sampel divariasikan pHnya pada pH 3, 4, 5 dan 6 menggunakan pH meter, diuji dengan meletakkan lembaran membran tercetak di atas penyangga dalam rangkaian sel membran seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Seperti pada cara penentuan flux maka pada setiap penurunan tekanan, dilakukan penyimpanan permeat dan waktu dihitung menggunakan stopwatch. Permeat yang terkumpul kemudian diukur konsentrasinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Persen rejeksi kemudian ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% R = (C_u - C_p) / C_u \times 100\% \quad (2)$$

Dimana %R adalah persen rejeksi, konsentrasi umpan Cu (ppm), dan konsentrasi permeat C_p (ppm).

Bab IV

Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan dibahas sintesis nanosilika dari 4 jenis bambu, nanofiber PVDF, nanofiber PVDF-nanosilika dan karakterisasinya meliputi analisa gugus fungsi menggunakan FTIR, analisa sudut kontak untuk mengetahui sifat hidrofobisitasnya, PSA untuk mengetahui ukuran partikel dan SEM untuk mengetahui morfologi permukaan nanofiber.

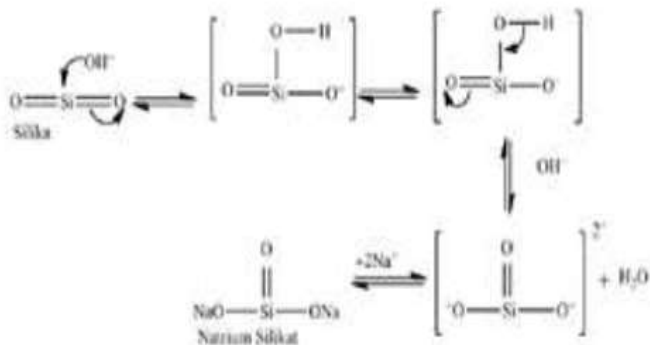
IV.1 Sintesis dan Karakterisasi Nanosilika dari bambu

Pada tahap preparasi, batang bambu dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan zat-zat pengotornya dan direndam dalam larutan HCl 1 M selama 1 jam dengan tujuan untuk menghilangkan logam pengotor seperti CaO, K₂O dan MnO serta berfungsi dalam hidrolisis senyawa organik dalam bambu sebelum dilanjutkan ke tahap pengabuan. Perendaman dalam larutan HCl juga menghasilkan kandungan SiO₂ yang tinggi dibandingkan dengan tanpa perendaman HCl.

Proses pengabuan dilakukan selama 7 jam pada suhu 600°C. Proses ini bertujuan untuk mengabukan dan menghilangkan zat-zat organik atau pengotor yang terkandung dalam abu daun bambu petung, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan

kandungan silika (SiO_2) pada abu daun bambu tersebut.

Pada proses pembuatan natrium silikat, abu bambu ditambahkan ke dalam larutan NaOH 1 M sehingga dihasilkan larutan natrium silikat berwarna bening. Adapun mekanisme reaksi yang terjadi selama proses pembentukan natrium silikat seperti pada gambar IV.1.



Gambar IV.1. Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat

Dari gambar IV.1 dapat dilihat bahwa natrium hidroksida akan terdisosiasi sempurna membentuk ion natrium (Na^+) dan ion hidroksil (OH^-). Dimana salah satu ion OH^- bertindak sebagai nukleofil yang akan menyerang atom Si dalam SiO_2 sehingga mengakibatkan terjadinya pemutusan ikatan rangkap. Ion OH^- yang kedua akan berikatan dengan hidrogen (H^+) sehingga membentuk molekul air (H_2O) pada saat terjadi dehidrogenasi. Sedangkan dua ion Na^+ bertindak dalam menyeimbangkan SiO_3^{2-} yang bermuatan negatif sehingga terbentuk natrium silikat (Na_2SiO_3). Pada penelitian ini digunakan sumber silika dari 4 jenis bambu yaitu bambu Kuning, Ori, Jawa dan Tali dan silika yang dihasilkan berwarna putih keabuan dengan rendemen seperti tercantum dalam Tabel IV.1

Tabel IV.1. Rendemen silika dari berbagai jenis bambu

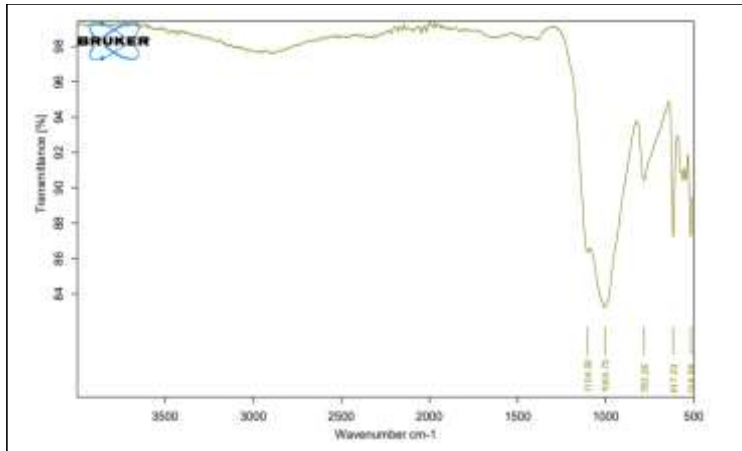
No	Jenis Bambu	Rendemen(%)
1	Kuning	46
2	Ori	35
3	Jawa	68
4	Tali	42

Silika dari ke empat jenis bambu yang sudah dihasilkan dianalisa ukuran partikelnya menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA), untuk memastikan silika yang terbentuk berukuran nano. Hasil analisa ukuran partikel silika dari ke empat jenis bambu bisa dilihat pada tabel IV.2.

Tabel IV.2. Ukuran sebaran partikel silika untuk 4 jenis bambu

No	Jenis Bambu	Ukuran partikel
1	Kuning	1260
2	Ori	1082
3	Jawa	950
4	Tali	1998

Silika dari keempat jenis bambu ini dipilih yang terbaik dengan kriteria yang memberikan rendemen terbaik dan memberikan ukuran yang berskala nano, yaitu silika dari bambu Jawa Silika yang dihasilkan juga dianalisa menggunakan FTIR untuk menentukan gugus fungsi yang terdapat pada silika yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada Gambar IV. 2 sampai Gambar IV.5

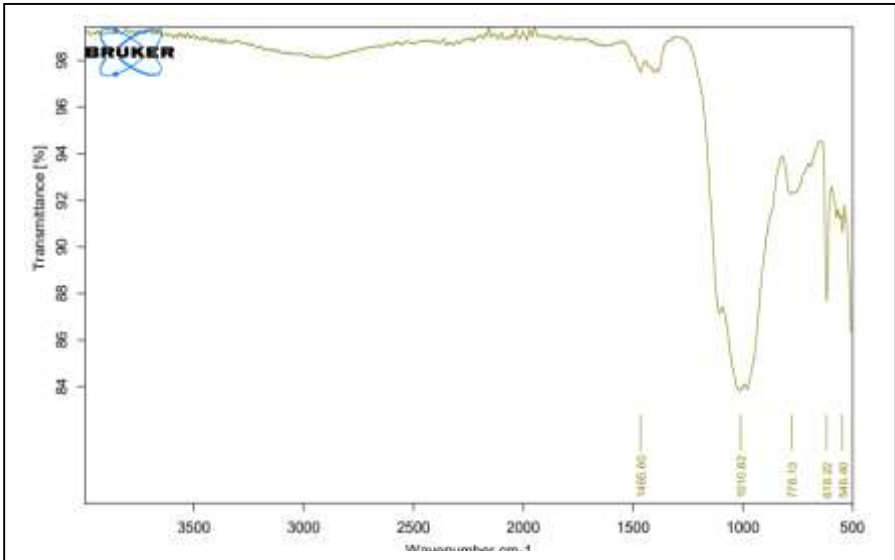


Gambar IV.2 Spektrum FTIR untuk silika bambu Kuning

Dari spectra pada gambar IV.2 dapat ditentukan gugus fungsi yang terdapat dalam silika bambu Kuning seperti pada Tabel IV.3

Tabel IV.3. Bilangan gelombang dan gugus fungsi silika bambu Kuning

No	Bilangan Gelombang	Gugus Fungsi
1	1104,00	Regangan C-O
2	1005,73	Vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si
3	783,26	Vibrasi ulur Si-O pada SiOH
4	617,33	Regangan simetris SiO ₄
5	515,88	Vibrasi tekuk Si-O-Si

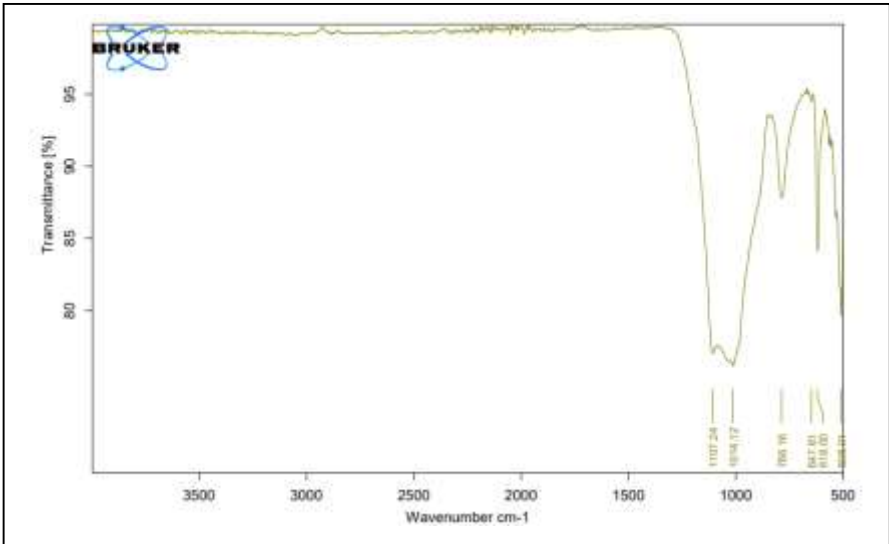


Gambar IV.3 Spektrum FTIR untuk silika bambu
Ori

Dari spectra pada gambar IV.3 dapat ditentukan gugus fungsi yang terdapat dalam silika bambu Kuning seperti pada Tabel IV.4

Tabel IV.4. Bilangan gelombang dan gugus fungsi silika bambu Ori

No	Bilangan Gelombang	Gugus Fungsi
1	1465,60	Regangan C-O
2	1010,82	Vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si
3	778,13	Vibrasi ulur Si-O pada SiOH
4	618,22	Regangan simetris SiO ₄
5	546,40	Vibrasi tekuk Si-O-Si

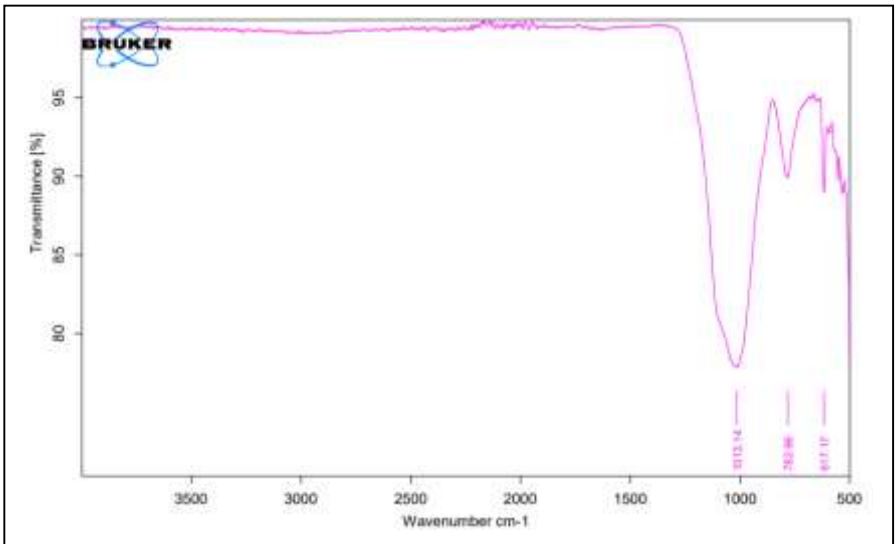


Gambar IV.4 Spektrum FTIR untuk silika bambu
Jawa

Dari spectra pada gambar IV.4 dapat ditentukan gugus fungsi yang terdapat dalam silika bambu Jawa seperti pada Tabel IV.5

Tabel IV.5. Bilangan gelombang dan gugus fungsi silika bambu Jawa

No	Bilangan Gelombang	Gugus Fungsi
1	1107,24	Regangan C-O
2	1014,12	Vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si
3	782,66	Vibrasi ulur Si-O pada SiOH
4	617,17	Regangan simetris SiO ₄
5	508,01	Vibrasi tekuk Si-O-Si



Gambar IV.5 Spektrum FTIR untuk silika bambu Tali

Dari spectra pada gambar IV.5 dapat ditentukan gugus fungsi yang terdapat dalam silika bambu Tali seperti pada Tabel IV.6

Tabel IV.6. Bilangan gelombang dan gugus fungsi silika bambu Tali

No	Bilangan Gelombang	Gugus Fungsi
1	1013,14	Vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si
2	763,16	Vibrasi ulur Si-O pada SiOH
3	618,00	Regangan simetris SiO ₄
4	505,01	Vibrasi tekuk Si-O-Si

Gugus fungsi Si-O dapat dilihat pada tiap-tiap jenis bambu ada perbedaan bilangan gelombang baik dari Si-O simetris maupun asimetris, terdapat pergeseran bilangan gelombang tetapi tidak terlalu jauh. Pergeseran bilangan gelombang pada setiap gugus di

atas menunjukkan adanya pengaruh dari lamanya waktu reaksi yang telah dilakukan dan juga dipengaruhi oleh gugus-gugus lain yang berikatan dengannya.

IV.2 Sintesis dan karakterisasi nanofiber PVDF, PVDF-nanosilika

IV.2.1 Optimasi kondisi optimum sintesis nanofiber PVDF

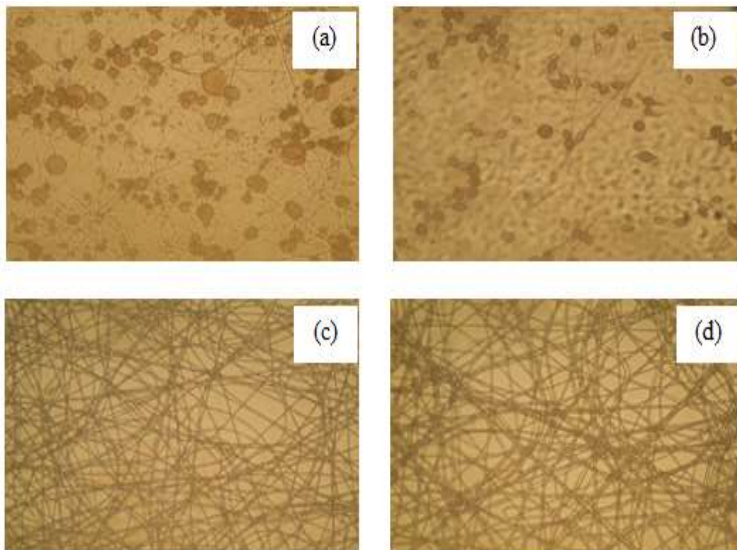
Sintesis nanofiber PVDF, komposit nanofiber PVDF-nanosilika dilakukan dengan metode *electrospinning*, dengan cara membuat larutan PVDF dengan konsentrasi tertentu yang dimasukkan ke dalam *syringe*. Larutan PVDF didorong dari syringe dengan laju alir tertentu keluar melalui ujung jarum membentuk serat secara terus menerus karena adanya gaya listrik (potensial tegangan tinggi

polimer larutan) yang melawan tegangan permukaan. Untuk mendapatkan nanofiber yang seragam dan serat halus maka perlu diperhatikan beberapa parameter yang mempengaruhi sehingga hingga diperoleh kondisi optimum, meliputi konsentrasi polimer, laju alir, tegangan dan jarak ujung spinneret ke kolektor

a. Konsentrasi polimer

Karakteristik konsentrasi larutan polimer berbanding lurus dengan viskositas larutan, yang memiliki pengaruh terbesar pada morfologi dan ukuran diameter nanofiber (Lin et al., 2004). Pada penelitian ini dibuat larutan PVDF dalam pelarut DMAc dengan konsentrasi 15; 17,5; 20 dan 22,5% (b/v). Larutan yang sudah siap, dilakukan sintesis nanofiber menggunakan teknik electrospinning. Pada tahap optimasi ini nanofiber yang dihasilkan ditampung dalam kaca

preparat dan akan diamati menggunakan mikroskop optik. Hasil mikroskop optik untuk semua konsentrasi ditunjukkan dalam Gambar IV.6



Gambar IV.6 Gambar mikroskop optik nanofiber PVDF pada berbagai konsentrasi (%w/v), 15(a), 17,5(b), 20(c) 22,5% (d)

Dari gambar IV.6 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan morfologi nanofiber yang terbentuk. Jika konsentrasi polimer terlalu rendah (15%), nanofibers akan terbentuk seperti noda bulat dan tetesan di permukaan nanofiber.

Hal ini disebabkan karena encer makan jumlah pelarut terlalu banyak dan beberapa pelarut mencapai kolektor dan menumpuk yang menyebabkan nanofiber menjadi basah, membentuk sambungan dan manik-manik seperti Gambar IV.6(a).

Pada konsentrasi 17,5% (b/v) nanofibers terbentuk seperti Gambar IV.6 (b), tetapi masih memiliki banyak manik-manik dan tetesan kecil. Manik-manik yang terbentuk pada nanofiber disebabkan oleh pengaruh tegangan permukaan larutan. Ketika tegangan permukaan

mendominasi coulomb memaksa medan listrik dalam larutan yang memancar (jet) sehingga jet tidak cukup ditarik oleh medan listrik. Selain itu, pelarut dalam jet tidak cukup menguap karena jumlahnya yang banyak sehingga nanofiber yang dihasilkan berbentuk butiran.

Pada konsentrasi 20% (b/v) dan 22,5% polimer PVDF membentuk nanofiber seperti Gambar IV.6 (c) dan (d), dimana kuat medan listrik melebihi tegangan permukaan larutan. Semakin tinggi viskositas dan densitas muatan suatu larutan, maka tegangan permukaan semakin menurun sehingga pancaran cukup teregang oleh medan listrik. Jumlah pelarut dalam larutan jet sedikit dan cukup menguap sehingga nanofiber yang dihasilkan lebih baik dan lebih kontinyu. Meningkatkan Viskositas larutan mempengaruhi peningkatan resistensi terhadap jet breaking. Jika

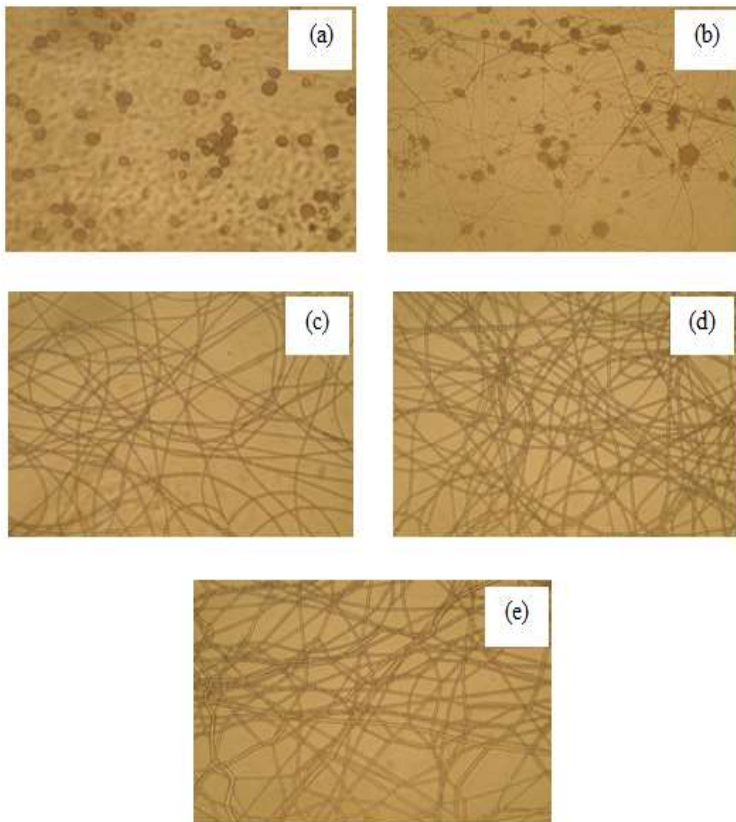
larutan yang digunakan terlalu kental maka proses electrospinning tidak dapat dilakukan karena terdapat sumbatan pada ujung jarum (pelarut lebih cepat menguap).

b. Tegangan Listrik

Tegangan listrik merupakan komponen yang sangat penting dalam proses electrospinning untuk menghasilkan serat nano. Medan listrik harus cukup kuat untuk mengatasi tegangan permukaan selama proses electrospinning. Pada tegangan rendah, serat yang dihasilkan berupa bintik-bintik bulat atau manik-manik, sedangkan pada tegangan tinggi menyebabkan emisi dari permukaan larutan di ujung pemintal ke kolektor untuk menghasilkan serat yang seragam dan kontinu.

Berbagai variasi tegangan digunakan untuk menghasilkan bentuk morfologi nanofiber yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.7.

Jika tegangan yang diberikan rendah, menghasilkan nanofiber dengan morfologi yang buruk, tidak seragam, ada banyak tetesan dan manik-manik. Hal ini disebabkan perbedaan kekuatan tarik (*stretching*) jet larutan polimer dari tegangan listrik yang diberikan.



Gambar IV.7 Gambar mikroskop optik nanofiber PVDF pada berbagai tegangan yang diterapkan (kV), 7(a), 8(b), 9(c), 10 (d) dan 11(e).

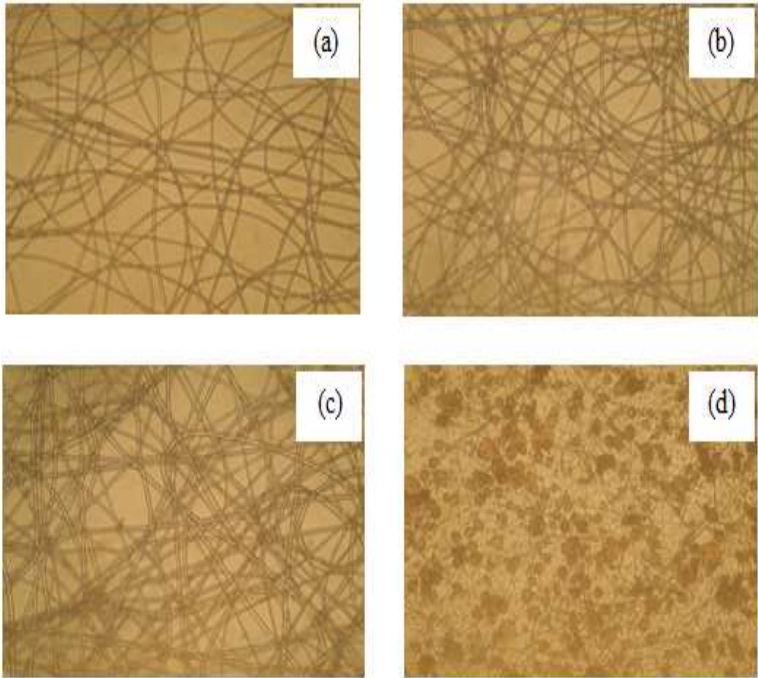
Pada tegangan rendah, kekuatan tarik jet polimer berkurang, sehingga manik-manik tidak cukup teregang untuk menjadi serat nano. Ketika tegangan dinaikkan, jumlah regangan jet larutan polimer juga meningkat sehingga butiran sferis pada celah nanofiber akan ditarik menjadi bentuk lurus sehingga nanofiber yang dihasilkan terlihat lebih seragam dengan serat halus. Pada tegangan yang terlalu tinggi akan menyebabkan proses elektrospinning akan menjadi terhambat karena larutan akan mengumpul dan mengering pada ujung spinneret.

c. Laju Alir

Laju alir adalah jumlah larutan yang mengalir pada laju tertentu per satuan waktu. Pada Gambar IV.8 terdapat perbedaan morfologi nanofiber yang dihasilkan karena adanya perbedaan laju alir yang diberikan. Ketika laju aliran yang

diberikan kecil, jumlah tetesan yang terdapat di ujung jarum berkurang, sehingga jumlah polarisasi muatan pada permukaan juga kecil. Pada tegangan listrik yang sama, tetesan di ujung jarum cukup ditarik ke arah kolektor untuk membentuk serat nano seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.8 (a). Saat laju aliran meningkat, jumlah tetesan di ujung jarum meningkat dan polarisasi muatan pada permukaan juga meningkat. Pada tegangan Pada saat yang sama, tetesan akan ditarik ke arah kolektor untuk membentuk serat nano, tetapi hanya sebagian yang ditarik. Hal ini disebabkan banyaknya polarisasi muatan permukaan pada ujung jarum drop, tegangan tidak cukup untuk menarik semua muatan pada drop sehingga sebagian tidak meregang membentuk nanofibers (Gambar IV.8 (b)).

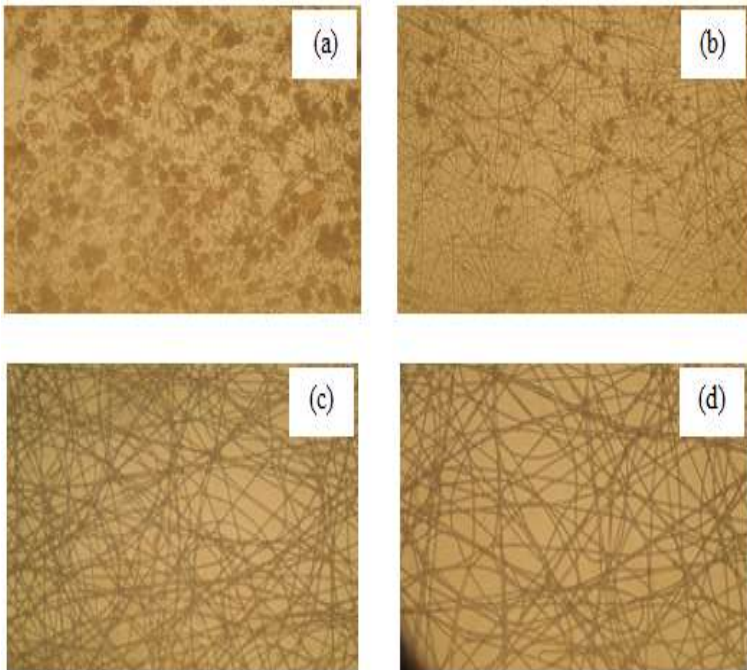
Dalton et al., (2005) telah melaporkan bahwa laju alir yang lebih rendah menghasilkan nanofiber yang seragam dengan diameter yang lebih kecil, sedangkan laju alir yang tinggi menghasilkan nanofiber yang memiliki manik-manik karena tidak cukup waktu bagi pelarut untuk menguap sebelum mencapai kolektor. Jarak antara ujung jarum dengan kolektor juga mempengaruhi bentuk dan diameter nanofiber yang akan dihasilkan. Jarak antara ujung jarum dan kolektor (jarak antara dua elektroda) harus sesuai agar pelarut mengering sebelum mencapai kolektor.



Gambar IV.8 Gambar mikroskop optik nanofiber PVDF dengan berbagai laju aliran (mL/jam), 0,01 (a), 0,04 (b), 0,08 (c), dan 0,1 (d).

d. Jarak ujung jarum ke kolektor

Perbedaan jarak ujung jarum dengan kolektor mempengaruhi jarak jet larutan polimer dan kuat medan listrik sehingga menghasilkan bentuk morfologi nanofiber yang berbeda. Berbagai variasi jarak ujung jarum ke kolektor ditunjukkan pada Gambar IV.10. Ketika jarak diperkecil, waktu tempuh larutan polimer juga berkurang, sehingga kuat medan listrik meningkat untuk membentuk serat nano lurus dan kontinu (Gambar IV.10(a)).



Gambar IV.9. Gambar mikroskop optik nanofiber PVDF pada berbagai jarak pemintal dan ujung kolektor (cm), 10 (a), 11 (b), 12 (c), dan 13 (d).

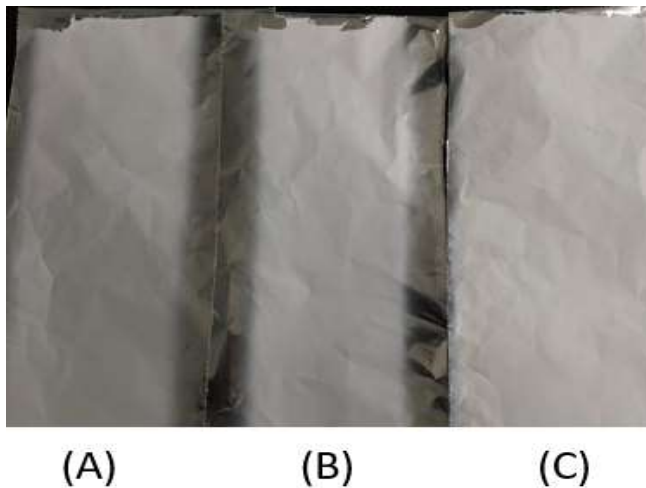
IV.2.2. Sintesis Nanofiber PVDF dan PVDF nanosilika

Nanofiber PVDF disintesis menggunakan kondisi optimum yaitu konsentrasi 22,5% (b/w), laju alir 0,004 mL/jam, Voltase 11 kV dan jarak 12 cm dan elektrospinning dilakukan selama 2 jam. Nanofiber yang dihasilkan adalah seperti gambar IV.10.



Gambar IV.10 Nanofiber PVDF

Nanofiber PVDF-silika disintesis dengan cara yang sama dengan nanoofiber PVDF, tetapi dengan variasi penambahan nanosilika 0,1,5 dan 10% (b/b). Nanofiber PVDF-silika berbagai variasi dapat dilihat pada gambar IV.11



Gambar IV.11 Nanofiber PVDF dengan variasi Silika, 1% (A); 2,5% (B) dan 5% (C)

Nanofiber PVDF dan PVDF-Silika dilepaskan dari kolektornya untuk kemudian di karakterisasi.

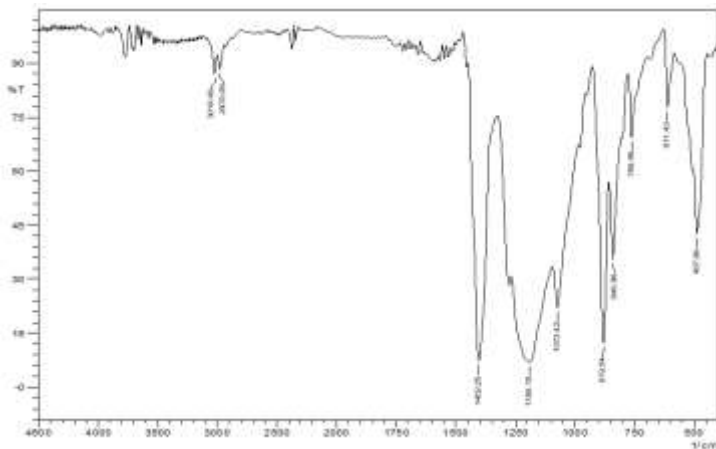
IV.2.3 Karakterisasi Nanofiber PVDF dan PVDF nanosilika

Karakterisasi membran meliputi penentuan gugus fungsi menggunakan FTIR, penentuan sifat hidrofilisitas dengan sudut kontak, menentukan kekuatan mekanik dengan uji tarik, dan untuk mengetahui morfologi dan sebaran nanosilika dalam nanofiber dengan SEM-EDX.

a. Karakterisasi gugus fungsi dengan FTIR

Analisis FTIR pada membran nanofibers PVDF dan PVDF-Nanosilika bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung di dalamnya. Spektrum direkam dari bilangan gelombang $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$.

Dari gambar di atas, beberapa puncak khas PVDF dapat dilihat. Adanya ikatan C-F jenuh ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang $1010,70\text{ cm}^{-1}$, $1033,85\text{ cm}^{-1}$ dan $1089,78\text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan gelombang 792 cm^{-1} dan 839 cm^{-1} menunjukkan adanya getaran ayunan dari CH_2 .



Gambar IV.12 Spektrum FTIR dari serat nano
PVDF

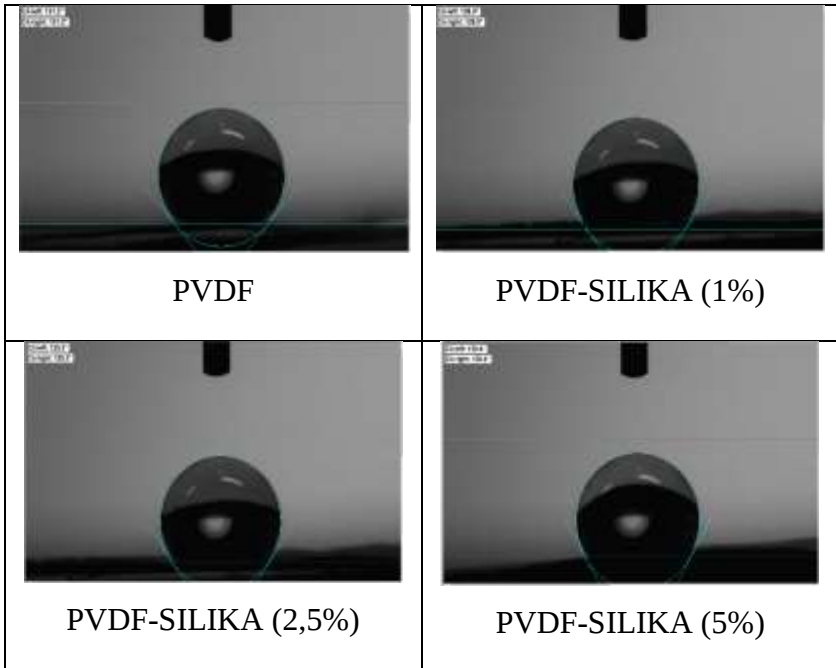
Adanya ikatan CF₃ ditunjukkan dengan munculnya puncak pada bilangan gelombang 756,10 cm⁻¹, 1261,45 cm⁻¹ dan 1330,88 cm⁻¹. Sedangkan serapan pada bilangan gelombang 3200-2800 cm⁻¹ menunjukkan daerah regangan C-H

Tabel IV.7 Analisis Spektrum membran nanofiber PVDF

Wave number (cm ⁻¹)	Functional Group
1010,70	C-F saturated
1089,78	C-F saturated
1033,83	C-F saturated
792	CH ₂
839	CH ₂
756,1	CF ₃
1261,45	CF ₃
1330,88	CF ₃

b. Karakterisasi penentuan sifat hidrofilisitas dengan sudut kontak

Sifat hidrofilisitas dari *nanofiber* ditentukan dengan pengukuran sudut kontak terhadap air. Sudut kontak adalah sudut yang terbentuk dari kemiringan cairan yang ditetaskan pada permukaan suatu membran/film/nanofiber.



Gambar IV.13 Profile sudut kontak air pada nanofiber PVDF dan Nanofiber PVDF-silika 1%, 2,5% dan 5%

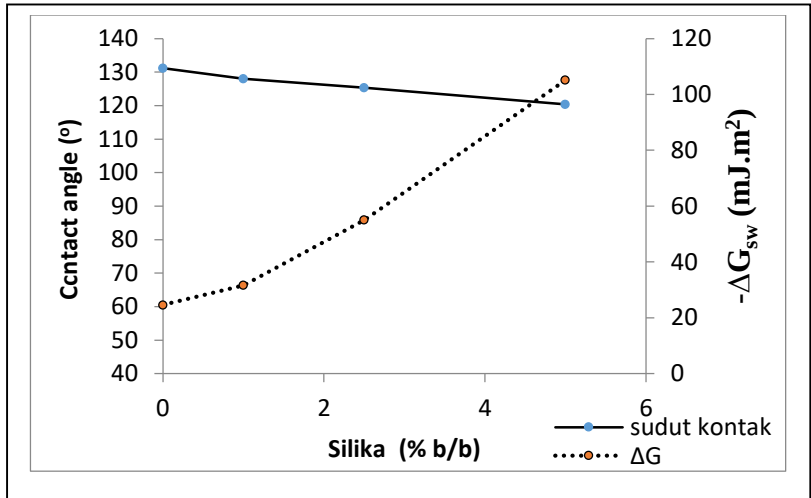
Sudut kontak diukur secara manual berdasarkan metode DSA (*Drop Shape Analysis*) dengan mengamati *sessile drop* menggunakan kamera.

Sudut kontak kecil ($< 90^\circ$) memperlihatkan tingginya tingkat keterbasahan (membran bersifat hidrofilik), sedangkan sudut kontak yang besar ($>90^\circ$) memperlihatkan tingkat keterbasahan yang rendah (membran bersifat hidrofobik). Sifat hidrofilisitas dari nanofiber PVDF dan PVDF-Silika bisa dilihat pada gambar IV.13 dan Tabel IV.8

Tabel IV.8 Sudut kontak nanofiber PVDF dan PVDF-SILIKA terhadap air

<i>Nanofiber</i>	Sudut Kontak (°)
PVDF	131,2
PVDF-SILIKA (1%)	128,0
PVDF-SILIKA (2,5%)	125,3
PVDF-SILIKA (5%)	120,4

Dari Gambar IV.14 dan Tabel IV.8. terlihat bahwa dengan meningkatnya jumlah silika yang ditambahkan akan menurunkan nilai sudut kontak yang berarti membuat nanofiber menjadi lebih hidrofilik. Hal ini disebabkan karena sifat silika yang bersifat porous sehingga mampu mengikat air lebih banyak, dengan semakin tinggi jumlah silika maka jumlah air yang terserap akan semakin banyak dan sudut kontak dengan air menjadi lebih kecil.



Gambar IV.14 Sudut kontak dan energi bebas hidrasi permukaan dari Nanofiber PVDF dan PVDF-Silika

Semakin tinggi konsentrasi nanosilika yang ditambahkan, maka permukaan nanofiber akan semakin hidrofilik. Hal ini juga dikonfirmasi oleh data energi bebas hidrasi permukaan nanofibers

($-\Delta G_{Sw}$) yang meningkat dengan meningkatnya konsentrasi zeolit. Peningkatan nilai $-\Delta G_{Sw}$ menunjukkan bahwa permukaan nanofibers lebih mudah berinteraksi dengan air. Hubungan antara hidrofilisitas, energi bebas hidrasi

Pengukuran waktu pembasahan (spreading time) dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan cairan untuk membasahi membran secara sempurna (totally wetting). Lamanya waktu yang dibutuhkan cairan untuk membasahi membran tergantung pada kerapatan pori dan sifat membran itu sendiri. Perubahan nilai sudut kontak dan waktu yang dibutuhkan cairan untuk membasahi membran nanofiber ditunjukkan pada Tabel IV.19

Tabel IV.9 Spreading Time nanofiber PVDF

Waktu (menit)	Sudut Kontak (°)
0	111.62
30	108.34
60	103.61
90	100.70
120	99.89
150	95.47
180	88.80
210	78.59
240	67.48
270	52.82
300	33.74
330	0,00

Tabel IV.10 Spreading Time nanofiber PVDF-Silika
1%

Waktu (menit)	Sudut Kontak (°)
0	115.65
30	111.44
60	108.85
90	106.55
120	102.10
150	99.69
180	90.09
210	88.24
240	77.64
270	70.05
300	57.32
330	0

Tabel IV.11 Spreading Time nanofiber PVDF-Silika
2,5%

Waktu (menit)	Sudut Kontak (°)
0	100.95
30	99.84
60	97.70
90	94.05
120	91.42
150	88.42
180	84.51
210	79.19
240	74.81
270	66.69
300	60.47
330	46.51
360	38.50
390	28.37
410	0

Tabel IV.12 Spreading Time nanofiber PVDF-Silika
5%

Waktu (menit)	Sudut Kontak (°)
0	102.38
30	101.81
60	99.75
90	97.27
120	96.23
150	93.17
180	89.91
210	86.46
240	81.95
270	77.27
300	70.07
330	58.10
360	51.73
390	40.93
410	29.58
422	20.27

Dari data yang ditunjukkan masing-masing pada Tabel IV.9-IV.12 terlihat bahwa penambahan nanosilika mengubah waktu pembasahan, penambahan nanosilika dapat memberikan waktu pembasahan yang lebih lama. Hal ini terjadi karena penambahan nanokomposit akan mempengaruhi porositas membran nanofiber yang dibuktikan dengan perubahan waktu yang dibutuhkan droplet untuk membasahi membran.

Perubahan porositas ini akan mempengaruhi kapasitas migrasi ion litium dalam baterai, namun hal ini perlu dikonfirmasi lebih lanjut dengan mengukur porositas membran.

c. Karakterisasi menentukan kekuatan mekanik dengan uji tarik

Analisis kekuatan mekanik berdasarkan uji tarik, pengukuran sifat mekanik dilakukan untuk mengetahui kekuatan membran jika dikenai

kekuatan yang dapat merusak membran. Sifat mekanik dapat digambarkan melalui pengukuran uji tarik. Uji tarik bertujuan untuk mengukur gaya yang dibutuhkan untuk membuat membran *polivinilidene fluoride* (PVDF) terputus.

Uji tarik dilakukan pada suhu kamar dengan menggunakan alat Favigraph yang nantinya akan dihasilkan nilai kuat tegang membran pada saat putus dan kekuatan regangan pada saat putus yang dimiliki oleh membran (Margiyani, dkk., 2014). Tegangan merupakan perbandingan besar gaya terhadap luas bidang penampang. Sedangkan regangan merupakan perbandingan pertambahan panjang membran akibat adanya gaya tarik yang sama besar dan berlawanan arah. Kekuatan mekanik membran dinyatakan dalam *modulus young*, yaitu perbandingan tegangan terhadap regangan (Zemansky, 1994).

Nilai modulus young akan berpengaruh ketika membran diaplikasikan dalam proses pemisahan (Wiliainal et al., 2022). Pada saat pengujian kuat tarik sampel membran harus dipotong dengan ukuran 5 x 0,5 cm, kemudian sampel diuji dengan menggunakan alat Brookfield CT 3 4500. Dalam uji kuat tarik membran akan diperoleh nilai kuat tarik, persen elongasi, dan modulus young dengan hasil seperti Gambar IV.

Tabel IV.13 Hasil uji tarik pada membran

No	Nanofiber	Kuat Tarik σ (MPa)	Persen Elongasi ϵ (%)	Modulus Young E (MPa) = σ/ϵ
1	PVDF	1,93	29,0	0,0665
2	PVDF-Silika 1%	2,97	36,5	0,0814
3	PVDF-Silika 5%	6,60	63,0	0,1047
4	PVDF-Silika 10%	16,04	89,0	0,1802

Dari tabel IV.13 bisa dilihat bahwa penambahan silika akan meningkatkan nilai modulus Young, dan penambahan silika yang semakin banyak juga akan meningkatkan nilai Modulus Young. Tingginya nilai modulus Young merupakan ukuran baik dan tidaknya kinerja nanofiber digunakan sebagai membran.

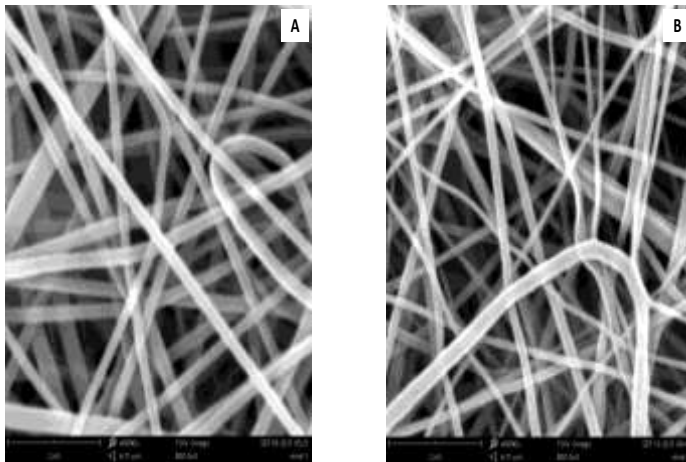
Nanofiber PVDF-silika memiliki nilai modulus Young yang jauh lebih besar dibanding nanofiber PVDF. Artinya kekuatan mekanik pada nanofiber PVDF-silika jauh lebih besar. Faktor yang mempengaruhi kekuatan mekanik suatu membran dapat disebabkan oleh kerapatan pori, tebal membran dan sifat elastisitas yang dimiliki membran.

Kerapatan pori suatu membran akan berpengaruh terhadap nilai tegangan sehingga membran yang semakin rapat umumnya memiliki tegangan yang semakin besar juga. Oleh karena itu, nilai tegangan yang besar pada membran akan menyebabkan membran tersebut mampu menahan tekanan yang lebih besar pula. Nilai regangan dipengaruhi oleh sifat elastisitas membran, yaitu kemampuan membran untuk mengalami perpanjangan panjang.

Nilai regangan berbanding terbalik dengan tegangan. Nilai modulus young yang jauh lebih besar pada membran nanofiber PVDF-silika menunjukkan bahwa membran nanofiber PVDF-silika memiliki kekuatan mekanik yang jauh lebih besar daripada membran PVDF biasa. Hal ini dikarenakan membran nanofiber PVDF-silika mampu menahan gaya yang lebih besar meskipun tidak seelastis membran PVDF biasa. Artinya penambahan silika menyebabkan sifat mekanik membran menjadi lebih kuat. Untuk penentuan fluks dan % rejeksi selanjutnya dibandingkan antara membran PVDF dengan membran PVDF-Silika 1; 2,5 dan 5%.

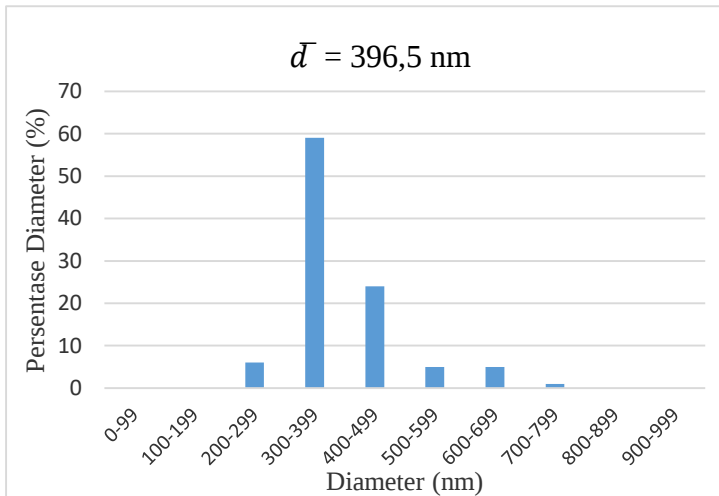
d. Karakterisasi untuk mengetahui morfologi dan sebaran nanosilika dalam nanofiber dengan SEM-EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan untuk melihat morfologi membran nanofiber PVDF dan sebaran dari partikel-partikel silika pada membran nanofiber PVDF-silika dengan SEM EDX, seperti pada gambar IV.15

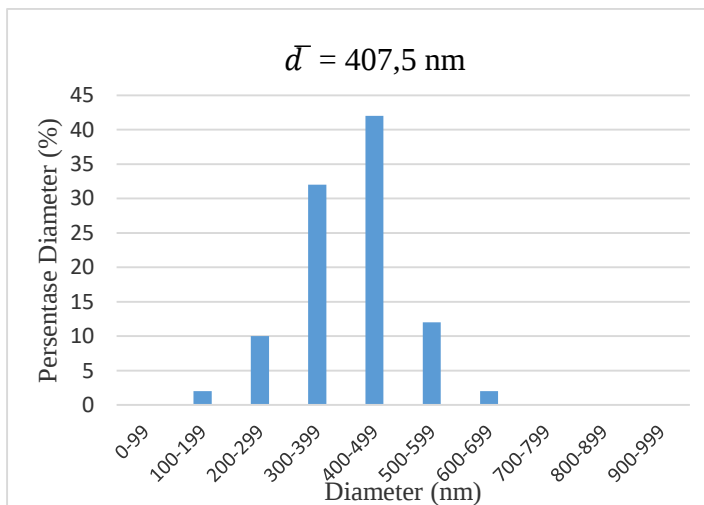


Gambar IV.15 Citra SEM nanofiber PVDF (A) dan Nanofiber PVDF-Silika (B)

Pada Gambar IV.15 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan diameter nanofiber PVDF dengan diameter nanofiber PVDF-silika. Distribusi diameter nanofibers ditunjukkan pada Gambar IV.15.

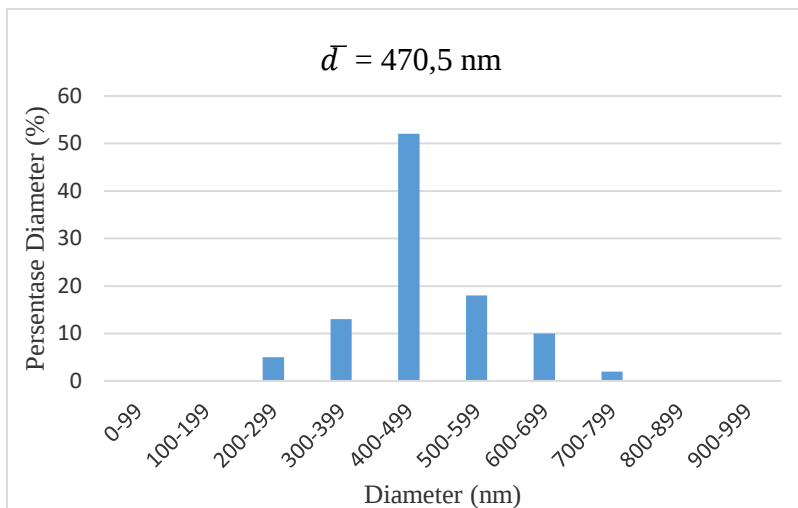


Gambar IV.16 Distribusi diameter nanofiber PVDF



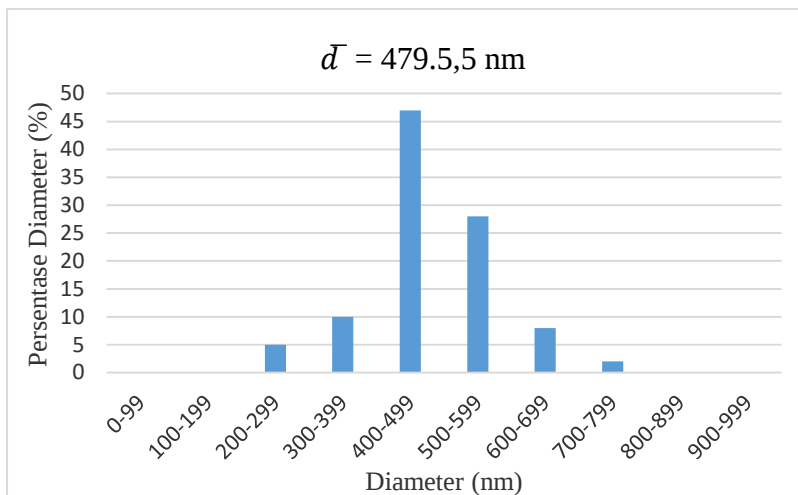
Gambar IV.17 Distribusi diameter nanofiber
PVDF-Silika 1%

Diameter rata-rata nanofiber PVDF adalah sekitar 396,5 nm sedangkan diameter rata-rata nanofiber PVDF-silika 1% adalah 407,5 nm



Gambar IV.18 Distribusi diameter nanofiber
PVDF-Silika 2,5%

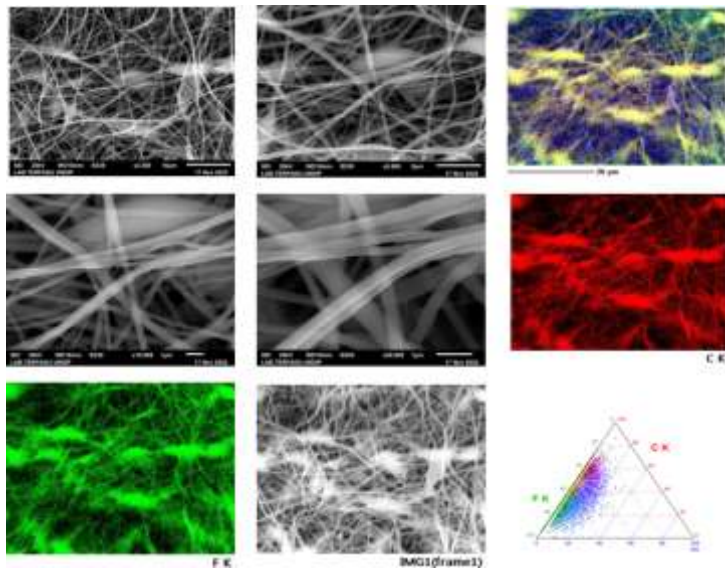
Hasil ini menunjukkan bahwa diameter nanofiber PVDF mengalami kenaikan dengan penambahan silika. Silika adalah polielektrolit ionik, menyebabkan kerapatan muatan yang lebih tinggi pada permukaan jet (taylor cone) yang dipancarkan selama proses electrospinning.



Gambar IV.18 Distribusi diameter nanofiber
PVDF-Silika 5 %

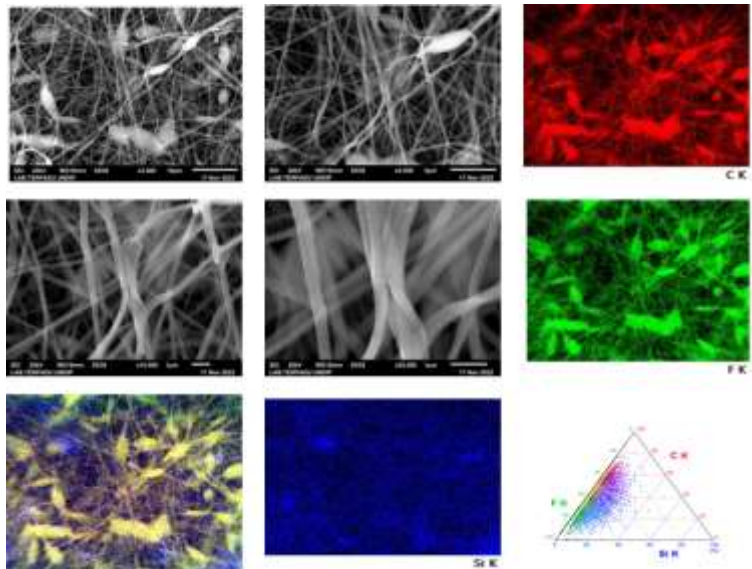
Ketika muatan yang dibawa oleh pancaran (balok) meningkat, gaya pemanjangan (elongasi) menjadi lebih tinggi dalam pancaran di bawah medan listrik. Diketahui bahwa tegangan keseluruhan dalam nanofiber tergantung pada gaya tolak dari muatan berlebih pada balok (taylor cone). Dengan demikian, ketika kerapatan muatan meningkat, diameter nanofiber menjadi lebih besar.

Uji EDX SEM juga dilakukan untuk mengetahui komposisi penyusun masing-masing membran. Untuk lebih memastikan keberadaan silika pada membran dilakukan pemetaan EDX dan hasilnya bisa dilihat pada GambarIV.



Gambar IV.20 Mapping EDX nanofiber PVDF

Dari hasil pemetaan EDX diketahui bahwa unsur penyusun nanofiber PVDF adalah C diindikasikan dengan warna biru muda, F diindikasikan dengan warna merah dan O diindikasikan dengan warna hijau.



Gambar IV.21 Mapping EDX nanofiber PVDF-Silika

Dan untuk membuktikan keberadaan nanosilika dalam nanofiber PVDF-silika, dilakukan pemetaan EDX, diperoleh hasil sesuai Gambar IV.

Dari Gambar IV.14 dapat dilihat bahwa selain unsur C, F dan O yang menandakan PVDF, juga terdapat unsur Si yang mengindikasikan keberadaan Silika yang ditandai dengan. warna jingga

IV. 3. Aplikasi untuk penyerapan methylene biru

IV.3.1. Penentuan Nilai Permeabilitas air

Nilai permeabilitas dapat menunjukkan besarnya efisiensi pemisahan pada membran. Pengukuran permeabilitas dilakukan dengan melakukan pengukuran nilai fluks terlebih dahulu. Pada penelitian ini penentuan nilai fluks dilakukan menggunakan aquademineral sebagai larutan umpan, dan diukur pada tekanan 2 bar, permeat ditampung pada membran hingga mencapai volume tertentu kemudian diukur waktu yang dibutuhkan

selama proses penampungan permeat. Besarnya nilai fluks dapat dilihat pada Tabel IV.14

Tabel IV.14 Nilai flux membran nanofiber

Membran nanofiber	Flux (L/m ² .jam)
PVDF	48.53
PVDF Silika 1%	70.64
PVDF Silika 5%	80,28
PVDF Silika 10%	96,43

Nilai fluks sebanding dengan kenaikan tekanan. Semakin besar tekanan yang diberikan pada sistem, maka gaya dorong larutan umpan menjadi semakin kuat sehingga akan melewati dinding membran menjadi lebih cepat. Nilai permeabilitas air kedua jenis membran kemudian dapat ditentukan berdasarkan persamaan garis yang dihasilkan pada grafik fluks terhadap tekanan. Permeabilitas membran didapatkan dari nilai slope dari persamaan yang diperoleh Hal ini

mendefinisikan bahwa nilai permeabilitas dapat juga diartikan sebagai fluks yang dihasilkan pada tekanan tertentu (fluks/tekanan).

Nilai permeabilitas membran PVDF terdispersi jauh lebih besar dibandingkan nilai permeabilitas pada membran PVDF. Perbedaan nilai permeabilitas ini disebabkan oleh perbedaan jumlah dan ukuran pori yang dimiliki kedua jenis membran. Nilai permeabilitas yang terlalu kecil akan menyebabkan waktu pemisahan menjadi semakin lama sehingga seringkali dihindari. Akan tetapi nilai permeabilitas yang terlalu besar juga menandakan bahwa proses pemisahan akan berlangsung cepat artinya kontak antara spesi dengan bagian selektif membran semakin cepat sehingga dapat mengurangi kemampuan pemisahan suatu membran.

Untuk membran nanofiber PVDF yang umumnya memiliki pori yang sangat rapat, seringkali

dilakukan modifikasi selama proses sintesis yang bertujuan untuk memperbesar pori membran yang dapat dilakukan dengan cara penambahan porogen & modifikasi non pelarut.

Pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa nilai fluks dan permeabilitas membran komposit PVDF-silika masih berada pada nilai yang cukup baik untuk melakukan proses pemisahan.

IV.3.2. Penentuan Koefisien Rejeksi

Koefisien rejeksi merupakan kemampuan suatu membran dalam menahan suatu spesi dan melewatkan spesi tertentu. Nilai koefisien rejeksi dapat mewakili selektivitas suatu membran. Nilai koefisien rejeksi yang baik akan tercapai jika membran mampu memisahkan hingga mencapai 100% yang menunjukkan bahwa semua zat terlarut mampu tertahan dengan sempurna oleh membran. dengan cara melewatkan larutan analit pada

membran. Penentuan koefisien rejeksi ditentukan kemudian dihitung konsentrasi permeat dan umpan untuk mengetahui jumlah analit yang dapat tertahan. Sebagai sampel digunakan larutan metilen biru yang dibuat dan ditentukan konsentrasinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Tabel IV.15 Koefisien Rejeksi membran nanofiber

Membran nanofiber	Koefisien Rejeksi
PVDF	42,1503
PVDF Silika 1%	48,4581
PVDF Silika 5%	60,2430
PVDF Silika 10%	56,7650

Nilai koefisien rejeksi membran membran nanofiber PVDF-silika lebih besar dibanding membran PVDF biasa. Hal ini menandakan bahwa selektivitas membran membran komposit PVDF-silika lebih baik dibanding membran biasa. Modifikasi membran nanofiber PVDF berhasil meningkatkan

keselektifan membran meskipun tidak terlalu tinggi. Akan tetapi, proses pemisahan pada membran komposit berlangsung lebih cepat sehingga kinerja membran komposit lebih efisien daripada membran PVDF biasa.

Pada membran komposit, penambahan silika menyebabkan jumlah pori yang terbentuk pada membran menjadi lebih banyak, akan tetapi proses pemisahan yang terjadi pada membran dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu ukuran pori dan penyerapan oleh silika yang terdispersi pada membran. Hal inilah yang kemungkinan menyebabkan nilai koefisien rejeksi pada membran nanofiber PVDF-silika meningkat. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa modifikasi pada membran PVDF menyebabkan nilai permeabilitas dan selektivitas mengalami peningkatan.

Tetapi pada membran nanofiber PVDF-Silika 10% terjadi penurunan koefisien rejeksi, hal ini kemungkinan disebabkan karena kemampuan melewati air (pelarut) tinggi/harga fluks tinggi maka kesempatan waktu analit berinteraksi dengan membran nanofiber menjadi berkurang dan tidak maksimal interaksinya antara analit dengan membran, sehingga jumlah analit yang tertahan di membran sedikit.

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

1. Kondisi optimum sintesis membran nanofiber PVDF dan PVDF-silika yang dibuat dengan elektrosinning adalah konsentrasi 20% (b/v), tegangan 11,5 kV, laju alir 0,08 mL/jam dan jarak dari ujung noozel ke kolektor adalah 13 cm.
2. Nanofiber PVDF dan PVDF-Silika yang terbentuk memiliki serat yang seragam dengan diameter sekitar 400 nm, dengan penambahan silika akan meningkatkan modulus Young, meningkatkan sifat hidrofilitas sehingga dapat meningkatkan kinerja membran
3. Kinerja membran nanofiber PVDF dalam menyerap metilen biru sebesar 42,1503%, sedangkan membran nanofiber PVDF-silika 2,5% sebesar 60,2430%

5.2.SARAN

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan modifikasi pada komposisi membran sehingga didapatkan membran dengan selektivitas yang lebih baik. Selain itu perlu juga dilakukan penentuan kondisi optimum pada membran termodifikasi yang dibuat seperti optimasi waktu, komposisi, dan penentuan MWCO untuk memastikan kemampuan membran dalam proses pemisahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, G. F., Hanafie, M. R., & Mardina, P. (2013). Ekstraksi Silika Dari Abu Sekam Padi Dengan Pelarut Koh. Konversi.,vol.2, p 28–31.
- Baker, R. W., 2012. *Membran Technology and Applications*. 3rd penyunt. California: Wiley
- Bhattacharyya, K. G., dan Sharma, A., (2009): Kinetics and thermodynamics of methylene blue adsorption on Neem (*Azadirachta Indica*) leaf powder, *Dyes and Pigments*, 65, 51-59.
- Charomaini, (2013). Budidaya Bambu Jenis Komersial. Institut Pertanian Bogor., vol.1, pp. 17- 20
- Chen, G., Du, G., Ma, W., Yan, B., Wang, Z., & Gao, W. (2015). Production of amorphous rice husk ash in a 500 kw fluidized bed combustor *Fuel.*, vol.2, p 214–221.
- Chang, Hsu-Hsien; Yao, Liang-Chin; Lin, Dar-Jong; dan Cheng, Liao-Ping, (2010), “Preparation of microporous poly(VDF-co-HFP) membrans by template-leaching method”, *Separation and Purification Technology*, Vol.72, Hal. 156 – 166
- Dutta, B.K., 2007. *Principles of Mass Transfer and Separation Processes*. PHI Learning Pvt. Ltd., New Delhi
- Falco, C., Sieben, M., Brun, N., Sevilla, M., Maehlen, T. Van Der, Morallón, E., & Cazorlaamorós, D. (2013). Hydrothermal Carbons from Hemicellulose-Derived Aqueous Hydrolysis Products as Electrode Materials for

- Supercapacitors., vol.4,p374-382
- Georlette, P. dan Leva, J., (1984), “Composition comprising a vinylidene fluoride polymer and a blowing agent”, U. S. Pat, Vol. 4, Hal. 425 – 443.
- Giat, S., & Ari, W. (2012). Fabrication of a novel electrochemical immunosensor based on the gold nanoparticles_ colloidal carbon nanosphere hybrid.pusat teknologi bahan industri nuklir - Batan vol.2,p 3-6.
- Ghraid, A. M., & Ingwersen, J. (2009). Nanoparticulate Zeolitic Tuff for Immobilizing Heavy Metals in Soil: Preparation and Characterization., vol.2, p.155-168.
- Grasselli, M. dan Betz, N., (2005), “Making porous membrans by chemical etching of heavy-ion tracks in β -PVDF films”, *Beam Interaction with Materials and Atoms*, Vol. 236, Hal. 501 – 507
- Gupta, G. S.,Prasad, G., Panday, K. K., & Singh, V. N., (1988). Removal of Chrome Dyes from Aqueous Solution by Fly Ash. *Journal of Water, Air and Soil Pollution*. 32, 384-395
- Hosokawa. (2007). Mechanical Milling a Top Down Approach for the Synthesis of Nanomaterials and Nanocomposites, *Journal Powder Technologi*, vol.1, p7-42
- Jearanaisilawong, P., Eahkanong, S., Phungsara, B., & Manonukul, A. (2015). Determination of in-plane elastic properties of rice husk composite. *Journal Of Materials &Design*.vol.76, 31 pp.55-63.

- Joharwan, Supriyono. (2017). Produksi nanopartikel arang bambu wulung dengan menggunakan High Energy Milling (HEM) model shaker mill.p1-5.
- Judistira, 2016. *Aplikasi Proses-Proses Berbasis Membran dengan Gaya Dorong Tekanan dalam Pengolahan Air dan Limbah*. Bandung: Teknik Kimia ITB
- Kang, G. & Cao, Y., 2014. Application and Modification of Polyviniliden Fluorida (PVDF) Membran. *J. Membr. Sci*, 13, pp. 145-165.
- Kirk, R. E. dan Othmer, D. F., (2000), *Encyclopedia of Chemical Engineering* Kluwer Academic Publisher, London.
- Kumar, A., Vlach, T., Laiblova, L., Hrouda, M., Kasal, B., Tywoniak, J., & Hajek, P. (2016). Engineered bamboo scrimber: Influence of density on the mechanical and water absorption properties. *Construction and Building Materials*. vol.2, p815-827
- Lalia, Boor Singh; Kochkodan, Victor; Hashaikeh, Raed; dan Hilal, Nidal, (2013), “A review on membran fabrication: Structure, properties and performance relationship”, *Desalination*, Vol. 326, Hal. 77 – 95
- Li, Nana; Xiao, Changfa; Mei, Shuo; dan Zhang, Shujie, (2011), “The multi-pore- structure of polymer-silicon hollow fiber membran fabricated via thermally induced phase separation combining with stretching”, *Desalination*, Vol. 274, Hal. 284 – 291.

- Liu, F., N.A, H., Y.T, L. & M.R.M, A., 2011. Progress in the Production and and Modification of PVDF Membrans. *J. Membr. Sci*, 375, pp. 1-27.
- Lovinger, Andrew J., (1981), *Poly(vinylidene Fluoride)*, Bell Lab, New Jersey
- Madorsky, S. L., (1964), *Fluorocarbon and chlorocarbon polymers in thermal degradation of organic polymers*, John Wiley and Sons Inc, New York.
- Martien, R., Adhyatmika, Irianto, I. D. K., Farida, V., Dian, & Sari, P. (2012). Technology Developments Nanoparticles As Drug. *Majalah Farmaseutik*. vol.1, p133-14
- Mei, F., Liu, C., Zhang, L., Ren, F., Zhou, L., Zhao, W. K., & Fang, Y. L. (2006). Microstructural study of binary TiO₂: SiO₂ nanocrystalline thin films. *Journal of Crystal Growth*. vol.1, p87-91.
- Muhriz, A. Subagio, and Pardoyo, “Pembuatan Zeolit Nanopartikel. vol.2, p34-36.
- Mulder, M., (1996), *Basic Principle of Membran Technology, Second Edition*,
- Nguyen, T., (1985), “Degradation of poly[vinilidene fluoride] and poly[vinilydene
- O’Mahony, T., dan Guibal, E., (2002), “Reactive dye biosorption by *Rhizopus arrhizus* biomass”, *Enzyme Microb Technol*, Vol. 31, Hal. 456 – 463.
- Radhip, N. R., Pradeep, N., & M, A. A. (2015). Synthesis of Silica Nanoparticles from Malpe Beach Sand using Planetary Ball Mill Method.vol.5, p165-172.
- Rao, J. B., Catherin, G. J., Murthy, I. N., Rao, D. V., & Raju, B. N. (2011). Production of nano structured

- silicon carbide by high energy ball milling. *International Journal of Engineering, Science and Teknologi*.vol.4,p82-88.
- Rasyidi, A., & Hasfita, F. (2015). Sintesis Molibdenum Oksida Berpenyangga Silika sebagai Katalis pada Reaksi Oksidasi Etanol Menjadi Asetaldehida Synthesis of Molibdenum Oxide with Silica Supported Catalyst for Oxidation of Ethanol to Acetaldehyde.vol.3, p23- 26.
- Riyanto dan Shabur, T., (2009): Degradasi senyawa metilen biru dengan metode elektrolisis menggunakan elektro platinum, Laporan Penelitian, Program Studi Ilmu Kimia, FMIPA, Universitas Islam Indonesia.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P., 2001. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresour. Technol.* 77, 247-255.
- Roussel, S.; McElroy, K. L.; dan Judovits, L.H., (1992), “Molecular weight dependent of the crystallization kinetics of poly(vinylidene fluoride)”, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 32, Hal. 1300 – 1308
- Teow, Y. H., Ahmad, A. L., Lim, J. K., dan Ooi, B. S., (2012), “Preparation and characterization of PVDF/TiO₂ mixed matrix membran via in situ colloidal precipitation method”, *Desalination*, Vol. 295, Hal. 61 – 69.
- Salihati, F. G., & Ardhyanta, H. (2013). Studi Pembuatan Karbon Hitam dari Bambu Ori

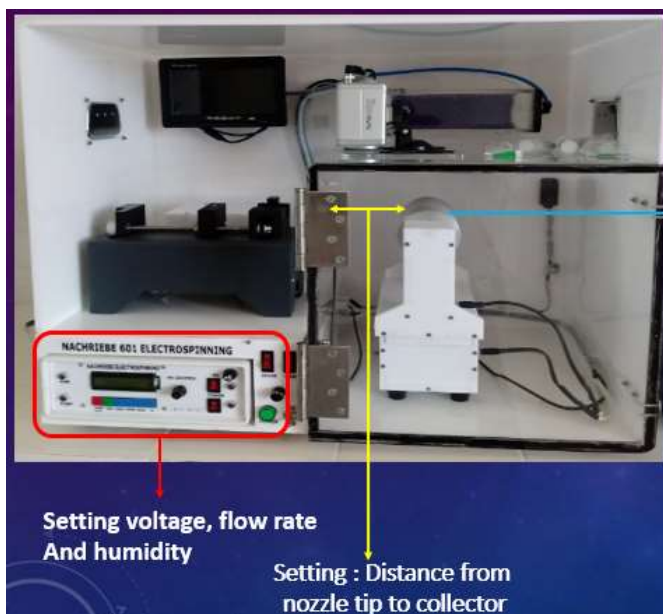
- (*Bambusa arundinacea*) dan Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*). Teknik Pomits. vol.2, p1-6.
- Sa'diyah, H., Nurhimawan, S., Fatoni, S. A., Irmansyah, & Irzaman. (2016). Ekstraksi silikon dioksida dari daun bambu. Prosiding Seminar Nasional Fizika. vol.5, p13-16
- Scott, Keith & Hughes, R., 1996. *Industrial Membran Separation*. Great Britain: Hartnoll's Ltd. Bodmin Technology, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Schuster, J., He, G., Mandlmeier, B., Yim, T., Lee, K. T., Bein, T., & Nazar, L. F. (2012). Spherical Ordered Mesoporous Carbon Nanoparticles with High Porosity for Lithium – Sulfur Batteries *Angewandte*.vol.2, p3591-3595.
- Sharma, B., Gatóo, A., Bock, M., & Ramage, M. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*. vol.81, p66-73
- Sulandari, S. A., Susita, L., & Murwani, D. (2013). Studi Fabrikasi Isolator Silikon Dioksida (SiO_2) Berbasis Lapisan Tipis Menggunakan Teknik Plasma.vol.1, p2-5.
- Tüργay, O., Erşeoő, G., Atalay, S., Forss, J., Welander, U., 2011. The treatment of azo dyes found in textile industry wastewater by anaerobic biological method and chemical oxidation. *Sep. Purif. Technol.* 79, 26-33
- Van der Bruggen, B., M€antt€ari, M., Nystr€om, M., 2008. Drawbacks of applying nanofiltration and how to avoid them: a review. *Sep. Purif. Technol.*

63, 251-263

- Waheed Ahmad Khanday, G. Kabir, B. H. H. (2016). Production of amorphous silica from rice husk in fluidised bed system. Universiti Teknologi Malaysia., vol. 2, p.362.
- Waluyo, T. B., & Rochman, N. T. (2013). Pembuatan Partikel Nano Fe₂O₃ dengan Kombinasi Ball-Milling dan Ultrasonic-Milling.vol.1, p48-51.
- Wenten , I., Khoiruddin, Hakim, A. & Aryanti, P., 2012. *Teori Perpindahan dalam Membran*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Wenten, I., 2004. *Teknologi Membran dalam Pengolahan Air dan Limbah Industri*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wenten, I.G.; Aryanti, P.T.P.; Khoiruddin; Teknologi Membran dalam Pengolahan Limbah. Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, 2014.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat elektrospinning



*Nanofiber Komposit PVDF-Nanosilika dari Bambu sebagai
Membran Ultrafiltrasi*

Lampiran 2. Alat uji filtrasi



Nanofiber Komposit PVDF-Nanosilika dari Bambu sebagai Membran Ultrafiltrasi