

**ANALISIS KARAKTERISTIK FISIKA-KIMIA MEMBRAN
SERAT NANO *POLYVINYLIDENE FLUORIDE* (PVDF)
UNTUK MASKER MEDIS**

SKRIPSI

Oleh

Raffi Fandu Ramadhani

NIM: 06111281924061

Program Studi Pendidikan Fisika



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
INDRALAYA
2023**

**ANALISIS KARAKTERISTIK FISIKA-KIMIA MEMBRAN
SERAT NANO *POLYVINYLIDENE FLUORIDE* (PVDF)
UNTUK MASKER MEDIS**

SKRIPSI

Oleh:

Raffi Fandu Ramadhani

NIM: 06111281924061

Program Studi Pendidikan Fisika

Mengesahkan:

Mengetahui

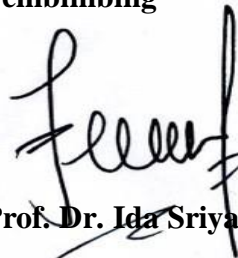
Koordinator Program Studi



Saparini, S.Pd., M.Pd

NIP 198610052015042002

Pembimbing



Prof. Dr. Ida Sriyanti, M.Si

NIP 197811082001122002



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rafli Fandu Ramadhani

NIM : 06111281924061

Program Studi : Pendidikan Fisika

menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul “ANALISIS KARAKTERISTIK FISIKA-KIMIA MEMBRAN SERAT NANO *POLYVINYLIDENE FLUORIDE* (PVDF) UNTUK MASKER MEDIS” ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi. Apabila di kemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam skripsi ini dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 01 Februari 2023

Yang membuat pernyataan,



Rafli Fandu Ramadhani

NIM. 06111281924061

PRAKATA

Skripsi dengan judul “ANALISIS KARAKTERISTIK FISIKA-KIMIA MEMBRAN SERAT NANO *POLYVINYLIDENE FLUORIDE* (PVDF) UNTUK MASKER MEDIS” disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd.) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya. Penulis persembahkan skripsi ini kepada Almarhum ayah saya Bapak Ahmad Abduh dan Ibu saya Dra. Fatmawati. Dalam mewujudkan skripsi ini, tentunya tak lepas dari kemudahan dan kelancaran yang dikaruniakan Allah SWT, Alhamdulillah untuk semua kasih sayang-Nya. Kemudian juga, dalam pengerjaan ini penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan selama proses pengerjaan skripsi ini, Adapun pihak-pihak tersebut adalah:

1. Prof. Dr. Ida Sriyanti, M.Si. sebagai pembimbing, terimakasih atas segala bimbingan yang telah diberikan dalam penulisan skripsi ini.
2. Dr. Hartono, M.A., Dekan FKIP Unsri, Dr. Ismet, M.Si., Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan, Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd., Ketua Jurusan Pendidikan MIPA, Saparini, S.Pd., M.Pd., Koordinator Program Studi Pendidikan yang telah memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi selama penulisan skripsi ini.
3. Keluarga besar kandung saya, Keluarga besar dari pihak Ibu, dan Keluarga besar dari pihak Ayah, Terimakasih atas semua dukungan dan bantuannya selama menempuh jenjang sarjana ini.
4. Teman-teman peneliti di Laboratorium Instrumentasi dan Aplikasi Nanoteknologi yaitu Kak M. Rama Almafie. S.Pd., M.Pd., Ning Intan Lestari, Silfiyana, yang telah kebersamai dan banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini
5. Seluruh Dosen Pengajar di Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya
6. Sahabat-sahabat baik saya yang tersebar dalam beberapa squad diantaranya, Maju Bareng Squad, Khodam Squad, dan Zona Nyaman Squad.

Terimakasih telah ingin menjadi pendengar dan *support system* saya selama perkuliahan ini.

7. Terimakasih untuk Tim lomba dan Project saya, Tim Asuara, Tim EDScience, Tim CHITS, Tim EDMath, Tim HECOFIT, Tim YScientist, Tim Busrain, Tim Lupy. Terimakasih atas semua bantuan, kerjasama dan kolaborasi dalam menggapai prestasi selama perkuliahan.
8. Sahabat-sahabat dekat saya di Ranau yang senantiasa mendukung dan menghibur saya.
9. Seluruh rekan seperjuangan mahasiswa Pendidikan Fisika Universitas Sriwijaya, terutama Angkatan 2019.
10. Sahabat di berbagai organisasi/komunitas yang pernah berjuang Bersama untuk saling memberikan kebermanfaatan Bersama saya, diantaranya BO CENDEKIA, HIMAPFIS KM FKIP UNSRI, dan IHAMAFI

Terima kasih banyak atas ilmu yang telah diberikan, semoga ini menjadi ladang pahala bagi kita semua. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for, for never quitting. Thanks, thanks, and thanks me.* Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembelajaran bidang studi Pendidikan Fisika dan pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni.

Indralaya, 26 Januari 2023



Rafli Fandu Ramadhani

NIM. 06111281924061

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Material Polimer <i>Polyvinylidene Fluoride</i> (PVDF)	6
2.2 Elektrospinning	7
2.3 Serat Nano	8
2.4 Masker <i>Nanofiber</i>	8
2.5 Teknik Analisis	8
2.5.1 Morfologi SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	8
2.5.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	9
2.5.3 Spektrofotometer Inframerah (FT-IR)	9
2.5.4 Uji Kuat Tarik/Mekanik (<i>Mechanics Test</i>)	10
2.6 Manfaat Bagi Program Studi Pendidikan Fisika	11
BAB III	12
METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Metode Penelitian	12
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	13
3.3.1 Alat dan Bahan Tahap Persiapan Penelitian	13

3.3.2 Alat dan Bahan Tahap Eksperimen Penelitian	13
3.4 Prosedur Eksperimen Penelitian	13
3.4.1 Tahap Persiapan Eksperimen Penelitian	13
3.4.2 Tahap Eksperimen Penelitian	14
3.5 Tahapan Analisis dan Pengumpulan data.....	14
3.5.1 Morfologi Serat Nano	14
3.5.2 <i>X-Ray Diffraction</i>	15
3.5.3 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	15
3.5.4 <i>Mechanical Test</i> (Uji Kuat Tarik)	15
3.6 Diagram Alir Proses Penelitian	15
3.7 Kontribusi Penelitian.....	16
BAB IV	17
HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Gambar Membran Serat Nano PVDF	17
4.2 Morfologi Membran Serat Nano PVDF.....	18
4.3 Kuat Tarik/Mekanik Membran Serat Nano PVDF	21
4.4 Analisis FTIR Membran Serat Nano PVDF.....	23
4.5 Analisis XRD Membran Serat Nano PVDF.....	25
BAB V.....	28
PENUTUP	28
5.1 Kesimpulan.....	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (a) Material <i>Polyvinylidene fluoride</i> (PVDF) dan (b) Struktur <i>Polyvinylidene fluoride</i> (PVDF) (Zhang et al., 2013)	6
Gambar 2. Elektrospinning Unit (ES-106) (Jauhari et al., 2019)	7
Gambar 3. Diagram Alir Alur Penelitian	16
Gambar 4. (a) PVDF1, PVDF2, PVDF3, dan PVDF4 <i>solution</i> , (b) PVDF1, PVDF2, PVDF3, dan PVDF4 <i>nanofiber membranes</i> , (c) PVDF1, PVDF2, PVDF3, dan PVDF4 <i>nanofiber membranes</i> membentuk sudut 90°	17
Gambar 5. Gambar SEM dengan distribusi ukuran serat (a) PVDF1, (b) PVDF2, (c) PVDF3, dan (d) PVDF4	19
Gambar 6. Analisis Signifikansi Distribusi Diameter antara serat (a) PVDF1, (b) PVDF2, (c) PVDF3, dan (d) PVDF4	20
Gambar 7. Diameter celah antar serat PVDF	21

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tempat Pengambilan Data Penelitian	12
Tabel 2. Parameter larutan <i>Polyvinylidene Fluoride</i> (PVDF)	14
Tabel 4. <i>Wavenumber of FTIR analisis of PVDF Nanofiber Membranes</i>	24
Tabel 5. <i>Wavenumber of Phase α, β, γ. of PVDF</i>	26

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Dokumentasi Penelitian 41
Lampiran B. Data Hasil Penelitian 56
Lampiran C. Administrasi Penelitian 54

ABSTRAK

SARS-CoV-2 telah menyebabkan permasalahan kesehatan masyarakat global sejak tahun 2020. Memakai masker merupakan tindakan yang memiliki manfaat paling signifikan guna meminimalisir penyebaran virus Covid-19. Sehingga diperlukan masker yang pembuatannya menggunakan material terjangkau, salah satunya menggunakan polimer. Studi ini bertujuan untuk mengkarakterisasi membran seran nano *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) menggunakan metode elektrospinning untuk masker medis yang standar. Analisis SEM menunjukkan peningkatan rata-rata diameter serat dari 172 nm ke 812 nm dengan diameter rata-rata celahnya 318-656 nm. Hasil uji tarik/mekanik menunjukkan peningkatan kuat tekan dari 3,61 MPa ke 6,00 MPa serta regangan dari 4,20% - 8,11%. Hasil analisis FTIR mengkonfirmasi adanya sejumlah fase khas yang mendominasi disetiap sampelnya, dengan fase khas yang kuat adalah fase khas β . Serta hasil XRD menunjukkan penurunan kristalinitas polimer dari 58.45% turun menjadi 52.67% berupa kondisi semi-kristal. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi mempengaruhi karakteristik fisika-kimia seratnya. Hasil penelitian ini memenuhi standar untuk diaplikasikan menjadi masker medis, dengan standar diameter masker 0,1-10 μm dengan besar regangan 4-28%. Sehingga PVDF *nanofibers* dapat dipromosikan untuk masker medis yang standar.

Kata Kunci: Fisika-Kimia, Karakterisasi, Masker Medis, *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF), Serat Nano

ABSTRACT

SARS-CoV-2 has caused global public health problems since 2020. Wearing a mask is the action that has the most significant benefit in minimizing the spread of the Covid-19 virus. So we need masks that are made using affordable materials, one of which is using polymer. This study aims to characterize Polyvinylidene Fluoride (PVDF) nanoscale membranes using the electrospinning method for standard medical masks. SEM analysis showed an increase in the average fiber diameter from 172 nm to 812 nm with an average slit diameter of 318-656 nm. The results of the tensile/mechanical tests showed an increase in compressive strength from 3.61 MPa to 6.00 MPa and strain from 4.20% - 8.11%. The results of the FTIR analysis confirmed the existence of a number of distinct phases that predominated in each sample, with a strong characteristic phase being the typical β phase. Also, the XRD results showed a decrease in polymer crystallinity from 58.45% down to 52.67% in a semi-crystalline condition. The results of the research that has been done show that increasing the concentration affects the physico-chemical characteristics of the fiber. The results of this study meet the standards for application into medical masks, with a standard mask diameter of 0.1-10 μm with a tensile strength of 4-28%. So that PVDF nanofibers can be promoted for standard medical masks.

Keywords: Physico-Chemistry, Characterization, Medical Masks, *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF), Nano Fibers

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

SARS-CoV-2 atau Covid-19 telah menyebabkan banyak sekali perubahan diberbagai sektor, terutama dibidang kesehatan. Virus ini telah menyebabkan permasalahan kesehatan masyarakat global sejak tahun 2020 (Y. Yang et al., 2020). Virus SARS-CoV-2 ini dapat menyebabkan berbagai penyakit berbahaya mulai dari pneumonia berat, akut cedera miokard, dan kerusakan kronis pada sistem kardiovaskular dengan tingkat kematian berkisar antara 3% - 5% (X. Yang et al., 2020). Pernyataan tersebut didukung oleh data laporan *World Health Organization* (WHO) tahun 2022, yang mana pada tanggal 05 Juni 2022 sudah ada 532 juta orang yang terpapar virus ini, serta menyebabkan lebih dari 6,3 Juta kematian yang dilaporkan oleh 215 negara di seluruh dunia (WHO, 2022). Di Indonesia sendiri penyebaran virus ini pada tanggal 05 Juni 2022, ada sebanyak 6,03 Juta masyarakat yang telah terpapar virus ini dengan kasus kematian sebanyak 157 ribu orang (WHO, 2022). Banyaknya kasus yang terinfeksi, disebabkan karena virus ini memiliki kemampuan penularan dari manusia ke manusia yang kuat (Feng et al., 2020) terutama melalui inhalasi atau kontak dengan droplet yang terinfeksi (S. Li et al., 2010). *World Health Organization* (WHO) dengan sigap menganjurkan beberapa peraturan terbaru untuk menekankan pentingnya protokol kesehatan dalam membantu menghambat penyebaran virus Covid-19, mulai dari menghindari kerumunan, menjaga jarak, mencuci tangan, serta yang paling utama yaitu memakai masker (WHO, 2020).

Memakai masker merupakan tindakan yang memiliki manfaat paling signifikan guna meminimalisir penyebaran virus (S. Li et al., 2010). Selain dapat mengurangi penyebaran virus, penggunaan masker juga dapat digunakan dalam membantu manusia terhindar dari bahaya polusi udara, mencegah penyakit berbahaya yang dapat ditularkan melalui udara, mencegah efek negatif dari sinar matahari, serta masih banyak lagi kegunaan lainnya (Atmojo et al., 2020). Masker komersial saat ini, menggunakan *melt-blown* kain non-anyaman *polypropylene* (PP) sebagai lapisan filter, dirancang untuk digunakan selama beberapa jam, namun

hanya dapat digunakan sekali pakai (Kara, 2021). Sebagai pelindung masker orang dari infeksi virus, penyebaran penyakit, serta polusi udara, penggunaan masker mengalami lonjakan yang besar, mencapai miliaran masker wajah setiap hari di dunia, yang menyebabkan terjadinya kelangkaan masker. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut diperlukan sebuah masker fungsional, seperti: masker yang dapat digunakan kembali atau masker anti-virus, yang diharapkan akan dapat menyelesaikan dilema kekurangan masker. Pengembangan masker medis baru akan membantu kita mengatasi situasi seperti yang disebutkan sebelumnya. Salah satu pengembangan yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan aplikasi serat *ultrafine*.

Serat *ultrafine* merupakan serat yang memiliki diameter dalam skala nanometer, yang mana serat ini sangat dihargai dalam aplikasi penyaringan udara karena luas permukaannya yang tinggi dan ukuran pori antar serat yang kecil (Poudyal et al., 2018). Serat *ultrafine* adalah serat alami yang cocok untuk masker dan tekstil pelindung, karena permeabilitas udara yang tinggi diinginkan untuk meningkatkan kenyamanan pengguna (Weng & Xie, 2015). Polimer *Polypropylene* banyak digunakan untuk masker saat ini karena memiliki diameter serat sebesar 0,5-10 um (Gahan, 2015). Diameter serat menggunakan polimer tersebut dalam masker yang ada saat ini kurang efektif karena ukurannya masih relatif besar (Borkow et al., 2010). *Electrospun* serah nano yang memiliki diameter serat <0,3 um menjanjikan untuk dijadikan sebagai solusi yang dapat diaplikasikan sebagai filter masker. Serat nano memiliki kemampuan untuk dapat menghalangi virus, bakteri, dan partikel kecil lainnya dengan memanfaatkan diameter serat berukuran nano yang dimilikinya. Sehingga melihat hal tersebut peneliti melakukan eksperimen terkait pembuatan masker *nanofiber* khususnya masker *nanofiber* komposit *Polyvinylidene Fluoride*.

Polyvinylidene Fluoride (PVDF) dipilih dalam penelitian ini, dikarenakan telah dilakukan kajian literatur oleh Azizah (2021) yang berhasil mengkaji literatur terkait pengaplikasian nanopartikel Tio₂ pada masker, yang mana dalam kajiannya dinyatakan bahwa *nanofiber Polyvinylidene Fluoride* mempunyai kemampuan setara *melt-blown* dalam menghalangi virus (Azizah, 2021). Penelitian tersebut juga menyatakan bahwa masker *nanofiber* dari *Polyvinylidene Fluoride* lebih nyaman

digunakan dalam periode waktu yang lama, jika dibandingkan masker dengan filter *melt-blown* (Azizah, 2021). Selain itu alasan lainnya dikarenakan PVDF memiliki kemampuan menghantarkan muatan listrik pada permukaan *Nanofiber* yang baik (X. Li et al., 2018). Polimer ini juga memiliki fase *amorf* memberikan fleksibilitas membran dan fase kristal yang diinginkan serta memberikan stabilitas termal (hingga 135°C dalam penggunaan berkesinambungan) (Jang et al., 2015). Pertahanan kimia PVDF yang kuat juga membuatnya sangat unggul dan berguna di dalam aplikasi seperti distilasi membran (Liao et al., 2013), mikrofilter (Akduman, 2019; Yalcinkaya et al., 2017), filter udara (Kang & Kang, 2018), konduktif listrik serat nano (Koduru et al., 2017; Wu et al., 2018), dan sebagainya.

Beberapa laporan penelitian sebelumnya telah berhasil mengembangkan komposit PVDF. Studi Bello et al (2019) yang mensintesis PVDF dengan karet alami, memperoleh diameter serat rata-rata serat sebesar 450nm-620nm (Bello et al., 2019). Kemudian Teng et al (2020) melaporkan hasil *mechanical properties composite PVDF/Zein Nanofibers* yang menunjukkan ketahanan mekanik sebesar 7,28MPa (Teng et al., 2020). Baru-baru ini studi Chowdhury et al (2021), juga melaporkan bahwa fleksibilitas komposit $Fe_3O_4/PVDF$ *nanofiber*, Menunjukkan fleksibilitas yang tinggi dimana hasil *mechanical properties* modulus nya sebesar 0,11-0,70, serta nilai DSC menunjukkan *the degree of crystallinity of the nanofibers* sebesar 13,82%-25,14% (Chowdhury et al., 2021). Serta masih banyak lagi *studies* sebelumnya yang telah berhasil mengkarakterisasi polimer PVDF yang disintesis dengan polimer lain baik itu alami dan sintesis (Abazari et al., 2020; Cheon et al., 2018; Garg et al., 2020; Shetty et al., 2020; Yuksek, 2020; J. Zhang et al., 2020; M. Zhang et al., 2022). Namun masih sedikit yang melaporkan sifat fisika-kimia dari PVDF yang terdiri Morfologi, Kuat Tarik, XRD, and FTIR terkhusus untuk masker medis.

Pada penelitian ini peneliti telah berhasil menganalisis Morfologi dan struktur Kristal *nanofibers* dengan teknik *scanning electron microscope* (SEM), Kuat Tarik, *X-Ray Diffraction* (XRD), dan transformasi Fourier dari spektrofotometer inframerah (FT-IR) *nanofibers*. Pengaruh peningkatan konsentrasi PVDF *nanofiber* setiap sampel terhadap morfologi, interaksi molekul, perubahan struktur, dan kekuatan tarik *nanofiber* telah dievaluasi, sebelum nantinya

masuk ke tahap pengembangan menjadi masker medis. Berdasarkan uraian tersebut peneliti melakukan penelitian dengan judul **Analisis Karakteristik Fisika-Kimia Membran Serat Nano *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) untuk Masker Medis.**

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu: Bagaimana analisis karakterisasi fisika-kimia membran serat nano *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) untuk masker medis yang standar?

1.3 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah analisis karakterisasi fisika-kimia mulai dari hasil SEM, XRD, FTIR, dan Kuat Tarik membran serat nano *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) untuk masker medis yang standar.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis karakterisasi fisika-kimia membran serat nano *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) untuk masker yang standar.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan ini nantinya diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak, yang mana diantaranya sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Bagi peneliti diharapkan dapat menambah pengetahuan pengetahuan peneliti lebih dalam lagi terkait nanoteknologi khususnya penerapan nanoteknologi dalam pembuatan serat nano dari *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) untuk masker menggunakan elektrospinning.

2. Bagi Institusi

Bagi institusi dapat dijadikan acuan penelitian oleh instansi lain, sehingga institusi peneliti yaitu Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Sriwijaya dapat lebih dikenal. Tidak hanya itu diharapkan

penelitian ini dapat bermanfaat bagi institusi sebagai acuan pembelajaran di mata kuliah fisika lanjut.

3. Bagi Sosial

Memberikan informasi terkait inovasi pembuatan serat nano dari *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) untuk masker, dengan harapan dapat dikembangkan lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abazari, M. F., Soleimanifar, F., Amini Faskhodi, M., Mansour, R. N., Amini Mahabadi, J., Sadeghi, S., Hassannia, H., Saburi, E., Enderami, S. E., Khani, M. M., & Zare Karizi, S. (2020). Improved osteogenic differentiation of human induced pluripotent stem cells cultured on polyvinylidene fluoride/collagen/platelet-rich plasma composite nanofibers. *Journal of Cellular Physiology*. <https://doi.org/10.1002/jcp.29029>
- Abbasipour, M., Khajavi, R., Yousefi, A. A., Yazdanshenas, M. E., & Razaghian, F. (2017). The piezoelectric response of electrospun PVDF nanofibers with graphene oxide, graphene, and halloysite nanofillers: a comparative study. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(21), 15942–15952. <https://doi.org/10.1007/s10854-017-7491-4>
- Abdullah, I. Y., Yahaya, M., Jumali, M. H. H., & Shanshool, H. M. (2014). Effect of annealing process on the phase formation in Poly(vinylidene fluoride) thin films. *AIP Conference Proceedings*, 1614, 147–151. <https://doi.org/10.1063/1.4895187>
- Agyemang, F. O., Li, F., Momade, F. W. Y., & Kim, H. (2016). Effect of poly(ethylene oxide) and water on electrospun poly(vinylidene fluoride) nanofibers with enhanced mechanical properties as pre-filter for oil-in-water filtration. *Materials Chemistry and Physics*, 182, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.07.025>
- Akduman, Ç. (2019). Mikrofiltrasyon için elektrolif çekim yöntemi ile üretilmiş PVDF nanolifli membranlar: Gözenek boyutu ve kalınlığının membran performansına etkisi. *European Journal of Science and Technology*, 6(16), 247–255. <https://doi.org/10.31590/ejosat.556748>
- Almafie, M. R., Marlina, L., Riyanto, R., Jauhari, J., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. (2022). Dielectric Properties and Flexibility of Polyacrylonitrile/Graphene Oxide Composite Nanofibers. *ACS Omega*, 7(37), 33087–33096. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03144>
- Almafie, M. R., Nawawi, Z., Jauhari, J., & Sriyanti, I. (2020). Electrospun of Poly (vinyl alcohol)/Potassium hydroxide (PVA/KOH) nanofiber composites using

- the electrospinning method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 850(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/850/1/012051>
- Aruan, N. M., Sriyanti, I., Edikresnha, D., Suciati, T., Munir, M. M., & Khairurrijal, K. (2017). Polyvinyl Alcohol/Soursop Leaves Extract Composite Nanofibers Synthesized Using Electrospinning Technique and their Potential as Antibacterial Wound Dressing. *Procedia Engineering*, 170, 31–35. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.006>
- Atmojo, Iswahyuni, Rejo, Setyorini, Puspitasary, Ernawati, & Mubarok. (2020). Penggunaan masker dalam pencegahan dan penanganan covid-19: rasionalitas, efektivitas, dan isu terkini. *Avicenna: Journal of Health Research*, 3(2).
- Azizah, N. . (2021). *Kajian Literatur Nanopartikel Tio2 Sebagai Lapisan Yang Dapat Diaplikasikan Pada Masker Nanofiber*. Gajah Mada.
- Bello, J. R. S., Pajarito, B. B., & Perez, J. V. D. (2019). Effect of modified natural rubber on morphology, chemical structure, and crystallinity of electrospun polyvinylidene difluoride nanofibers. *Materials Science Forum*, 950 MSF, 128–132. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.950.128>
- Borkow, G., Zhou, S. S., Page, T., & Gabbay, J. (2010). *A Novel Anti-Influenza Copper Oxide Containing Respiratory Face Mask*. 5(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011295>
- Buckner, C. A., Lafrenie, R. M., Dénommée, J. A., Caswell, J. M., Want, D. A., Gan, G. G., Leong, Y. C., Bee, P. C., Chin, E., Teh, A. K. H., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., Masuelli, M., Korrapati, S., Kurra, P., ... Mathijssen, R. H. J. (2016). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % . *Intech*, 11(tourism), 13. <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- Bunaciu, A. A., & Aboul-enein, H. Y. (2015). *X-Ray Diffraction : Instrumentation and Applications Critical Reviews in Analytical Chemistry X-Ray Diffraction : Instrumentation and Applications*. May. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>

- Cai, X., Huang, X., Zheng, Z., Xu, J., Tang, X., & Lei, T. (2017). Effect of Polyaniline (Emeraldine Base) Addition on α to β Phase Transformation in Electrospun PVDF Fibers. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*. <https://doi.org/10.1080/00222348.2016.1270730>
- Cai, X., Lei, T., Sun, D., & Lin, L. (2017). A critical analysis of the α , β and γ phases in poly(vinylidene fluoride) using FTIR. *RSC Advances*, 7(25), 15382–15389. <https://doi.org/10.1039/c7ra01267e>
- Cheon, S., Kang, H., Kim, H., Son, Y., Lee, J. Y., Shin, H. J., Kim, S. W., & Cho, J. H. (2018). High-Performance Triboelectric Nanogenerators Based on Electrospun Polyvinylidene Fluoride–Silver Nanowire Composite Nanofibers. *Advanced Functional Materials*. <https://doi.org/10.1002/adfm.201703778>
- Choi, S., Lee, H. M., & Kim, H. S. (2019). High performance and moisture stable humidity sensors based on polyvinylidene fluoride nanofibers by improving electric conductivity. *Polymer Engineering and Science*, 59(2), 304–310. <https://doi.org/10.1002/pen.24905>
- Chowdhury, T., D'Souza, N., & Berman, D. (2021). Electrospun Fe₃O₄-PVDF Nanofiber Composite Mats for Cryogenic Magnetic Sensor Applications. *Textiles*, 1(2), 227–238. <https://doi.org/10.3390/textiles1020011>
- Darmawan, M., & Yennie, Y. (2016). *Karakteristik Serat Nano Komposit Kitosan-Polivinil Alkohol (Pva) Dari Cangkang Rajungan Melalui Proses Electrospinning Production of Chitosan-Polyvinyl Alcohol (PVA) Composite Nanofiber by Electrospinning Method*. 213–222.
- Edikresnha, D., Suciati, T., Munir, M. M., & Khairurrijal, K. (2019). Polyvinylpyrrolidone/cellulose acetate electrospun composite nanofibres loaded by glycerine and garlic extract with: In vitro antibacterial activity and release behaviour test. *RSC Advances*, 9(45), 26351–26363. <https://doi.org/10.1039/c9ra04072b>
- Feng, S., Shen, C., Xia, N., Song, W., Fan, M., & Cowling, B. J. (2020). Comment Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic. *The Lancet Respiratory*, 2(20), 2019–2020. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30134-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30134-X)
- Fiqry, R., & Kuswanto, H. (2017). *Struktur Kristal Dan Komposisi Kimia Preparasi*

- Dengan Metode Bridgman. 2(April), 75–82.
- Gahan. (2015). *Fifteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances*.
- Garg, T., Annapureddy, V., Sekhar, K. C., Jeong, D. Y., Dabra, N., & Hundal, J. S. (2020). Modulation in polymer properties in PVDF/BCZT composites with ceramic content and their energy density capabilities. *Polymer Composites*, 41(12), 5305–5316. <https://doi.org/10.1002/pc.25795>
- Gee, S., Johnson, B., & Smith, A. L. (2018). Optimizing electrospinning parameters for piezoelectric PVDF nanofiber membranes. *Journal of Membrane Science*, 563, 804–812. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.06.050>
- Handika Dany Rahmayanti, Rahmawati, E. S. dan M. A. (2018). Kajian Struktur Serat dan Porositas Masker Udara Handika. *Jurnal Fisika*, 8(2), 68–77.
- Hulupi, M. (2018). *Chimica et Natura Acta*. 6(3), 101–105.
- Iftikhar, Tan, H., & Zhao, Y. (2018). Enriching β -carotene from fatty acid esters mixture of palm oil using supercritical CO₂ in the silica-packed column. *Journal of CO₂ Utilization*, 26(April), 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2018.04.028>
- Jang, W., Yun, J., Jeon, K., & Byun, H. (2015). PVdF/graphene oxide hybrid membranes via electrospinning for water treatment applications. *RSC Advances*, 5(58), 46711–46717. <https://doi.org/10.1039/c5ra04439a>
- Jauhari, J., Almafie, M. R., Marlina, L., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. (2021). Physicochemical properties and performance of graphene oxide/polyacrylonitrile composite fibers as supercapacitor electrode materials. *RSC Advances*, 11(19), 11233–11243. <https://doi.org/10.1039/d0ra10257a>
- Jauhari, J., Suharli, A. J., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. (2021). Synthesis and Characteristics of Polyacrylonitrile (Pan) Nanofiber Membrane Using Electrospinning Method. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 56(4), 698–703.
- Jauhari, J., Wiranata, S., Rahma, A., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. (2019). Polyvinylpyrrolidone/cellulose acetate nanofibers synthesized using electrospinning method and their characteristics. *Materials Research Express*, 6(6), 0–6. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab0b11>

- Kang, D. H., & Kang, H. W. (2018). Advanced electrospinning using circle electrodes for freestanding PVDF nanofiber film fabrication. *Applied Surface Science*, 455(May), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.05.211>
- Kara, Y. (2021). *A review of processing strategies to generate microfiber mats for filtration applications*. <https://doi.org/10.1177/15280837211019488>
- Ke, G., Jin, X., & Hu, H. (2020). Electrospun polyvinylidene fluoride/polyacrylonitrile composite fibers: fabrication and characterization. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*, 29(1), 37–46. <https://doi.org/10.1007/s13726-019-00773-9>
- Kim, H. S., & Park, I. K. (2018). Enhanced output power from triboelectric nanogenerators based on electrospun Eu-doped polyvinylidene fluoride nanofibers. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2018.02.045>
- Kim, Y. J., Ahn, C. H., Lee, M. B., & Choi, M. S. (2011). Characteristics of electrospun PVDF/SiO₂ composite nanofiber membranes as polymer electrolyte. *Materials Chemistry and Physics*, 127(1–2), 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.01.046>
- Koduru, H. K., Marino, L., Scarpelli, F., Petrov, A. G., Marinov, Y. G., Hadjichristov, G. B., Iliev, M. T., & Scaramuzza, N. (2017). Structural and dielectric properties of NaIO₄ – Complexed PEO/PVP blended solid polymer electrolytes. *Current Applied Physics*, 17(11), 1518–1531. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2017.07.012>
- Lahann, J. (2010). Science and Technology of Polymer Nanofibers. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 211(12), 1387–1387. <https://doi.org/10.1002/macp.201000211>
- Li, S., Liu, L., Zhu, J., Zou, L., Li, M., & Cong, Y. (2010). *Characterization and Genome Sequencing of a Novel Coliphage Isolated from Engineered Escherichia coli*. 211–220. <https://doi.org/10.1159/000299063>
- Li, X., Wang, C., Huang, X., Zhang, T., Wang, X., Min, M., Wang, L., Huang, H., & Hsiao, B. S. (2018). Anionic Surfactant-Triggered Steiner Geometrical Poly(vinylidene fluoride) Nanofiber/Nanonet Air Filter for Efficient Particulate Matter Removal. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(49),

42891–42904. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b16564>

- Li, X., Yuan, L., Liu, R., He, H., Hao, J., Lu, Y., Wang, Y., Liang, G., Yuan, G., & Guo, Z. (2021). Engineering Textile Electrode and Bacterial Cellulose Nanofiber Reinforced Hydrogel Electrolyte to Enable High-Performance Flexible All-Solid-State Supercapacitors. *Advanced Energy Materials*, *11*(12), 1–11. <https://doi.org/10.1002/aenm.202003010>
- Liao, Y., Wang, R., Tian, M., Qiu, C., & Fane, A. G. (2013). Fabrication of polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber membranes by electro-spinning for direct contact membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, *425–426*, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.09.023>
- Liu, X., Kuang, X., Xu, S., & Wang, X. (2017). High-sensitivity piezoresponse force microscopy studies of single polyvinylidene fluoride nanofibers. *Materials Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.12.066>
- Liu, Y., Wang, X., Li, N., Wang, X., Shi, L., Wu, E., Wang, R., Shan, M., & Zhuang, X. (2020). UV-crosslinked Solution Blown PVDF Nanofiber Mats for Protective Applications. *Fibers and Polymers*, *21*(3), 489–497. <https://doi.org/10.1007/s12221-020-9666-5>
- Mahato, P. K., Seal, A., Garain, S., & Sen, S. (2015). Effect of fabrication technique on the crystalline phase and electrical properties of PVDF films. *Materials Science- Poland*, *33*(1), 157–162. <https://doi.org/10.1515/msp-2015-0020>
- Mahdavi Varposhti, A., Yousefzadeh, M., Kowsari, E., & Latifi, M. (2020). Enhancement of β -Phase Crystalline Structure and Piezoelectric Properties of Flexible PVDF/Ionic Liquid Surfactant Composite Nanofibers for Potential Application in Sensing and Self-Powering. In *Macromolecular Materials and Engineering* (Vol. 305, Issue 3). <https://doi.org/10.1002/mame.201900796>
- Marinelli, F., & Faraldo-Gómez, J. D. (2015). Minimally-Biased Metadynamics Method to Sample Conformational Ensembles Compatible with Experimental Measurements. *Biophysical Journal*, *108*(2), 158a-159a. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2014.11.873>
- Naga Kumar, C., Prabhakar, M. N., & Song, J. il. (2021). Synthesis of vinyl ester resin-carrying PVDF green nanofibers for self-healing applications. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78706-3>

- Nishiyama, T., Sumihara, T., Sasaki, Y., Sato, E., Yamato, M., & Horibe, H. (2016). Crystalline structure control of poly(vinylidene fluoride) films with the antisolvent addition method. *Polymer Journal*, *48*(10), 1035–1038. <https://doi.org/10.1038/pj.2016.62>
- Niu, H., Zhou, H., & Wang, H. (2019). Electrospinning: an advanced nanofiber production technology. In *Energy Harvesting Properties of Electrospun Nanofibers*. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-2005-4ch1>
- Ogbuoji, E. A., Stephens, L., Haycraft, A., Wooldridge, E., & Escobar, I. C. (2022). Non-Solvent Induced Phase Separation (NIPS) for Fabricating High Filtration Efficiency (FE) Polymeric Membranes for Face Mask and Air Filtration Applications. *Membranes*, *12*(7). <https://doi.org/10.3390/membranes12070637>
- Parangusan, H., Ponnamma, D., & Almaadeed, M. A. A. (2018). Investigation on the effect of γ -irradiation on the dielectric and piezoelectric properties of stretchable PVDF/Fe-ZnO nanocomposites for self-powering devices. *Soft Matter*, *14*(43), 8803–8813. <https://doi.org/10.1039/c8sm01655k>
- Poudyal, A., Beckermann, G. W., Chand, N. A., Hosie, I. C., Blake, A., & Kannan, B. (n.d.). *Electrospun Nanofibre Filter Media : New Emergent Technologies and Market Perspectives*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78163-1>
- Purnawati, D., Nugraheni, A. D., Shalihah, H., & Laraswati, L. (2017). Pembuatan Nanofiber Polivinil Alkohol (PVA) Dengan Metode Electrospinning Sebagai Masker Debu Vulkanik. *Jurnal Fisika Indonesia*, *21*(1), 24. <https://doi.org/10.22146/jfi.38656>
- Pusporini, P., Edikresnha, D., Sriyanti, I., Suciati, T., Munir, M. M., & Khairurrijal, K. (2018). Electrospun polyvinylpyrrolidone (PVP)/green tea extract composite nanofiber mats and their antioxidant activities. *Materials Research Express*, *5*(5). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aac1e6>
- Rahma, A., Munir, M. M., Khairurrijal, Prasetyo, A., Suendo, V., & Rachmawati, H. (2016). Intermolecular Interactions and the Release Pattern of Electrospun Curcumin-Polyvinyl(pyrrolidone) Fiber. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, *39*(2), 163–173. <https://doi.org/10.1248/bpb.b15-00391>
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W.-E., Lim, T.-C., & Ma, Z. (2010). An

- Introduction to Electrospinning and Nanofibers. In *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*. <https://doi.org/10.1142/9789812567611>
- Saha, S., Yauvana, V., Chakraborty, S., & Sanyal, D. (2019). Synthesis and characterization of polyvinylidene-fluoride (PVDF) nanofiber for application as piezoelectric force sensor. *Materials Today: Proceedings*, *18*, 1450–1458. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.613>
- Sanyal, A., & Sinha-Ray, S. (2021). Ultrafine pvdf nanofibers for filtration of air-borne particulate matters: A comprehensive review. *Polymers*, *13*(11). <https://doi.org/10.3390/polym13111864>
- Shehata, N., Nair, R., Boualayan, R., Kandas, I., Masrani, A., Elnabawy, E., Omran, N., Gamal, M., & Hassanin, A. H. (2022). Stretchable nanofibers of polyvinylidene fluoride (PVDF)/thermoplastic polyurethane (TPU) nanocomposite to support piezoelectric response via mechanical elasticity. *Scientific Reports*, *12*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11465-5>
- Shepelin, N. A., Glushenkov, A. M., Lussini, V. C., Fox, P. J., Dicoski, G. W., Shapter, J. G., & Ellis, A. V. (2019). New developments in composites, copolymer technologies and processing techniques for flexible fluoropolymer piezoelectric generators for efficient energy harvesting. *Energy and Environmental Science*, *12*(4), 1143–1176. <https://doi.org/10.1039/c8ee03006e>
- Shetty, S., Mahendran, A., & Anandhan, S. (2020). Development of a new flexible nanogenerator from electrospun nanofabric based on PVDF/talc nanosheet composites. *Soft Matter*, *16*(24), 5679–5688. <https://doi.org/10.1039/d0sm00341g>
- Sriyanti, I., Almafie, M. R., Nugraha, Y. P., Idjan, M. K. N. A., & Jauhari, J. (2021). The morphology of polyvinylpyrrolidone nanofibers containing Anredera cordifolia leaves. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, *10*(2), 179–189. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i2.8820>
- Sriyanti, I., Edikresnha, D., Munir, M. M., & Rachmawati, H. (2017). *Electrospun Polyvinylpyrrolidone (PVP) Nanofiber Mats Loaded by Garcinia mangostana L . Extracts*. *880*, 11–14. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.880.11>

- Sriyanti, I., Edikresnha, D., Rahma, A., Munir, M. M., Rachmawati, H., & Khairurrijal, K. (2017). Correlation between Structures and Antioxidant Activities of Polyvinylpyrrolidone/ Garcinia mangostana L. Extract Composite Nanofiber Mats Prepared Using Electrospinning. *Journal of Nanomaterials*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9687896>
- Sriyanti, I., Marlina, L., Fudholi, A., Marsela, S., & Jauhari, J. (2021). Physicochemical properties and in vitro evaluation studies of polyvinylpyrrolidone/cellulose acetate composite nanofibres loaded with Chromolaena odorata (L) King extract. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 333–342. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.083>
- Tan, Z., Wang, X., Fu, C., Chen, C., & Ran, X. (2018). Effect of electron beam irradiation on structural and thermal properties of gamma poly (vinylidene fluoride) (γ -PVDF) films. *Radiation Physics and Chemistry*, 144, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.10.018>
- Teng, D., Wahid, A., & Zeng, Y. (2020). Zein/PVDF micro/nanofibers with improved mechanical property for oil adsorption. *Polymer*, 188(November 2019), 122118. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.122118>
- Varposhti, A. M., Yousefzadeh, M., Kowsari, E., & Latifi, M. (2020). Enhancement of β -Phase Crystalline Structure and Piezoelectric Properties of Flexible PVDF/Ionic Liquid Surfactant Composite Nanofibers for Potential Application in Sensing and Self-Powering. *Macromolecular Materials and Engineering*, 305(3), 1900796. <https://doi.org/10.1002/mame.201900796>
- Waresindo, W. X., Luthfianti, H. R., Edikresnha, D., Suciati, T., Noor, F. A., & Khairurrijal, K. (2021). A freeze-thaw PVA hydrogel loaded with guava leaf extract: physical and antibacterial properties. *RSC Advances*, 11(48), 30156–30171. <https://doi.org/10.1039/d1ra04092h>
- Weng, & Xie. (2015). Smart electrospun nanofibers for controlled drug release: recent advances and new perspectives. *Current Pharmaceutical Design*, 21(5), 1944–1959.
- WHO, W. H. O. (2020). *Coronavirus Disease (COVID-19) Outbreak China*. Online. <https://www.who.int/emergencies/>

diseases/novelcoronavirus2019?gclid=EAIaIQobChMI_Pry04Sn6gIVnIBQB
h3ILwlpEAYASAAEgJ_2vD_BwEat

- WHO, W. H. O. (2022). *Statistics of Coronavirus Disease (COVID-19)*. Online. <https://covid19.who.int/>
- Wu, C. M., Chou, M. H., & Zeng, W. Y. (2018). Piezoelectric response of aligned electrospun polyvinylidene fluoride/carbon nanotube nanofibrous membranes. *Nanomaterials*, 8(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nano8060420>
- Yalcinkaya, F., Siekierka, A., & Bryjak, M. (2017). Surface modification of electrospun nanofibrous membranes for oily wastewater separation. *RSC Advances*, 7(89), 56704–56712. <https://doi.org/10.1039/c7ra11904f>
- Yang, X., Yu, Y., Xu, J., Shu, H., Xia, J., Liu, H., Wu, Y., Zhang, L., Yu, Z., Fang, M., Yu, T., & Wang, Y. (2020). Articles Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan , China : a single-centered , retrospective , observational study. *The Lancet Respiratory*, 2600(20), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30079-5](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30079-5)
- Yang, Y., Peng, F., Wang, R., Guan, K., Jiang, T., Xu, G., Sun, J., & Chang, C. (2020). The deadly coronaviruses : The 2003 SARS pandemic and the 2020 novel coronavirus epidemic in China. *Journal of Autoimmunity*, February, 102434. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102434>
- Yousry, Y. M., Yao, K., Chen, S., Liew, W. H., & Ramakrishna, S. (2018). Mechanisms for Enhancing Polarization Orientation and Piezoelectric Parameters of PVDF Nanofibers. *Advanced Electronic Materials*, 4(6), 1–8. <https://doi.org/10.1002/aelm.201700562>
- Yukse, M. (2020). Electromagnetic wave shielding and mechanical properties of vapor-grown carbon nanofiber/polyvinylidene fluoride composite fibers. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. <https://doi.org/10.1177/1558925020985959>
- Zaarour, B., Zhu, L., Huang, C., & Jin, X. (2019). Enhanced piezoelectric properties of randomly oriented and aligned electrospun PVDF fibers by regulating the surface morphology. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(6), 1–8. <https://doi.org/10.1002/app.47049>
- Zhang, J., Wang, H., Blanloeuil, P., Li, G., Sha, Z., Wang, D., Lei, W., Boyer, C.,

- Yu, Y., Tian, R., & Wang, C. H. (2020). Enhancing the triboelectricity of stretchable electrospun piezoelectric polyvinylidene fluoride/boron nitride nanosheets composite nanofibers. *Composites Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100535>
- Zhang, M., Song, W., Tang, Y., Xu, X., Huang, Y., & Yu, D. (2022). Polymer-Based Nanofiber–Nanoparticle Hybrids and Their Medical Applications. *Polymers*, *14*(2). <https://doi.org/10.3390/polym14020351>
- Zhang, W., Shi, Z., Zhang, F., Liu, X., Jin, J., & Jiang, L. (2013). *Superhydrophobic and Superoleophilic PVDF Membranes for Effective Separation of Water-in-Oil Emulsions with High Flux*. 2071–2076. <https://doi.org/10.1002/adma.201204520>
- Zhao, Y., Yang, W., Zhou, Y., Chen, Y., Cao, X., Yang, Y., Xu, J., & Jiang, Y. (2016). Effect of crystalline phase on the dielectric and energy storage properties of poly(vinylidene fluoride). *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, *27*(7), 7280–7286. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-4695-y>
- Zhou, Z., & Wu, X. F. (2015). Electrospinning superhydrophobic-superoleophilic fibrous PVDF membranes for high-efficiency water-oil separation. *Materials Letters*, *160*, 423–427. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.08.003>
- Zhu, H. (2021). Interfacial preparation of ferroelectric polymer nanostructures for electronic applications. *Polymer Journal*, *53*(8), 877–886. <https://doi.org/10.1038/s41428-021-00491-1>
- Zhu, Y., Jiang, P., Zhang, Z., & Huang, X. (2017). Dielectric phenomena and electrical energy storage of poly(vinylidene fluoride) based high-k polymers. *Chinese Chemical Letters*, *28*(11), 2027–2035. <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2017.08.053>