

SERAT NANO (NANOFIBER) MULTIFUNGSI UNTUK MENDUKUNG KELESTARIAN LINGKUNGAN

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU MATERIAL
BIDANG NANOMATERIAL DAN NANOTEKNOLOGI
KEPAKARAN NANOFIBER KOMPOSIT



OLEH:
MUHAMAD NASIR

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**SERAT NANO (*NANOFIBER*)
MULTIFUNGSI UNTUK MENDUKUNG
KELESTARIAN LINGKUNGAN**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU MATERIAL
BIDANG NANOMATERIAL DAN NANOTEKNOLOGI
KEPAKARAN NANOFIBER KOMPOSIT**

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



SERAT NANO (NANOFIBER) MULTIFUNGSI UNTUK MENDUKUNG KELESTARIAN LINGKUNGAN

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
ILMU MATERIAL
BIDANG NANOMATERIAL DAN NANOTEKNOLOGI
KEPAKARAN NANOFIBER KOMPOSIT**

**OLEH:
MUHAMAD NASIR**

Reviewer:

Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani
Prof. Ir. Wimpie Agoeng Nugroho Aspar, MSCE., Ph.D.
Prof. Dr. Rike Yudianti
Prof. Dr. Setyo Purwanto, M.Eng.
Prof. Dr. Syukri Arief, M.Sc.

Penerbit BRIN

© 2024 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Serat Nano (*Nanofiber*) Multifungsi untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan/Muhamad Nasir–Jakarta: Penerbit BRIN, 2024.

x + 104 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-6303-44-8 (*E-book*)

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Nanomaterial | 2. Serat nano (<i>nanofiber</i>) multifungsi |
| 3. <i>Electrospinning</i> | 4. Kelestarian lingkungan |

620.118

<i>Copy Editor</i>	: Sarah Fairuz
<i>Proofreader</i>	: Donna Ayu Savanti & Martinus Helmiawan
Penata Isi	: Donna Ayu Savanti
Desainer Sampul	: Donna Ayu Savanti

Edisi pertama : November 2024



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B. J. Habibie, Jl. M. H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN	7
II. PERKEMBANGAN IPTEK SERAT NANO MULTIFUNGSI.....	13
A. Perkembangan Nanomaterial	13
B. Serat Nano Multifungsi	15
C. Komposit Serat Nano.....	17
D. Proses <i>Electrospinning</i>	19
III. PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SERAT NANO MULTIFUNGSI UNTUK MENDUKUNG KELESTARIAN LINGKUNGAN.....	23
A. Riset Serat Nano untuk Kesehatan dan Bioteknologi	25
B. Riset Serat Nano untuk Produksi Energi Bersih	26
C. Riset Serat Nano untuk Analisis dan Sensor	31
D. Riset Serat Nano untuk Lingkungan.....	34
IV. PELUANG DAN STRATEGI PEMANFAATAN KOMPOSIT SERAT NANO MULTIFUNGSI	47
A. Peluang dan Strategi Pengembangan Serat Nano Multifungsi	47
B. Peluang dan Strategi Pengembangan Proses Produksi Serat Nano Multifungsi	54
V. KESIMPULAN.....	55
VI. PENUTUP.....	57
VII. UCAPAN TERIMA KASIH	59

DAFTAR PUSTAKA..... 63

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH..... 79

DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Nanomaterial Berdasarkan Dimensi	14
Gambar 2.2	Morfologi Serat Nano yang Diamati dengan SEM	17
Gambar 2.3	<i>Milestone</i> Perkembangan Riset dan Inovasi Serat Nano dan <i>Electrospinning</i>	20
Gambar 2.4	Skema Proses <i>Electrospinning</i> dan Peralatan <i>Electrospinning</i> yang Telah Dikembangkan	21
Gambar 3.1	Morfologi SEM	26
Gambar 3.2	Prototipe Bentuk Lembaran dan Morfologi Serat Nano Separator	28
Gambar 3.3	Kestabilan Termal Serat Nanoseparator SiO ₂ /cPVDF Diukur dengan DSC dan TGA.....	29
Gambar 3.4	Pengaruh Penambahan Serat Nano <i>Chitin</i> Terhadap <i>Shrinkage</i> Serat Nano PVA pada Nanoseparator Baterai Litium Ion	30
Gambar 3.5	Prototipe dan Morfologi Komposit Serat Nano	32
Gambar 3.6	Analisis Partikulat dengan Membran Serat Nano	33
Gambar 3.7	Mekanisme Pemurnian Air dengan Membran Serat Nano....	35
Gambar 3.8	Morfologi Membran Serat Nano	35
Gambar 3.9	Morfologi dan Hasil Pengolahan Air Menggunakan Nanofiber Membran	36
Gambar 3.10	Mekanisme kerja masker nano dalam pemurnian udara tercemar dan efektivitas penggunaan masker nano untuk mencegah masuknya komponen pencemar udara ke dalam sistem pernapasan manusia.....	39
Gambar 3.11	Nanostruktur dan Pengujian Masker Nano	40
Gambar 3.12	Kinerja Masker Nano CuO/CB/cPVDF Serat Nano Terhadap <i>Particulate Matter</i> (PM)	40
Gambar 3.13	Nanostruktur Serat Nano	42

Gambar 3.14	Pendaran dari CPD dan Komposit Serat Nano CPD/PVA Berbasis Polimer Nilon Daur Ulang (r-nylon).....	44
Gambar 3.15	Bahan Baku Nilon Daur Ulang yang Sudah Dimurnikan untuk Membuat Serat Nano dan Morfologi Serat Nano r-nylon Komposit	45
Gambar 3.16	Konsep Ekonomi Sirkular (<i>Circular Economy</i>)	45
Gambar 4.1	Proses Daur Ulang Polimer Menjadi Serat Nano Fungsional.....	51
Gambar 4.2	Peluang Potensi Riset dan Pengembangan Serat Nano	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Pengaruh Kandungan Nanosilika dalam Serat Nano Komposit Terhadap Kestabilan Termal dalam Lingkungan Nitrogen dan Oksigen.....	29
Tabel 3.1	Hasil Uji Masker Nano di Laboratorium Internasional Sesuai dengan Standar Masker Medis.....	41

BIODATA RINGKAS



Muhamad Nasir lahir di Bukittinggi, pada 30 Desember 1971 sebagai anak kelima dari enam bersaudara dengan orang tua Bapak Darakutni (alm.) dan Ibu Fatimah (almh.). Ia menikah dengan Reni Halida, S. S. dan dikaruniai empat orang anak, yaitu Muhammad Ariby Abdul Aziz, Muhammad Ikram Shalahuddin, Sarah Hilma Rumaisha, dan Muhammad Faqih Asyarief.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 67/M Tahun 2020 tanggal 10 November 2020, ia diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) terhitung mulai tanggal (TMT) 10 November 2020 dan diperbarui dengan Keppres Nomor 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022 sebagai peneliti di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) TMT 1 Oktober 2021.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 246/I/HK/2024 tanggal 8 November 2024, ia didaulat untuk melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Ia bersekolah di Sekolah Dasar Negeri 1 Candung dan lulus pada tahun 1985, Sekolah Menengah Pertama Negeri Simpang Candung lulus pada tahun 1988, dan Sekolah Menengah Atas

Negeri 1 Bukittinggi lulus pada tahun 1991. Ia memperoleh gelar Sarjana Kimia dari Universitas Andalas pada tahun 1995, gelar Magister Kimia dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2000, dan gelar Doktor bidang nanomaterial dan nanoteknologi dari Tokyo Institute of Technology pada tahun 2007, serta menempuh pendidikan *postdoctoral* di bidang nanomaterial di Kyoto Institute of Technology dan lulus pada tahun 2009.

Ia mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Lanjut di Pusbindiklat LIPI (2015) dan Pelatihan Reviewer di BRIN (2022).

Ia mulai bekerja di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) sejak tahun 1998 hingga 2021. Selanjutnya, setelah penggabungan LIPI dengan lembaga-lembaga lain menjadi BRIN, ia bekerja di BRIN sejak 2021.

Jabatan fungsional yang diembannya diawali sebagai Peneliti Ahli Pertama golongan III/b pada tahun 2005. Selanjutnya, Peneliti Ahli Muda golongan III/b pada tahun 2005, Peneliti Ahli Madya golongan III/d pada tahun 2014, dan memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d di bidang nanomaterial pada tahun 2020.

Ia telah menghasilkan publikasi sebanyak 88 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain, dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 77 KTI ditulis dalam bahasa Inggris dan 11 KTI dalam bahasa asing lainnya, serta menghasilkan 23 paten.

Ia ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, di antaranya sebagai pembimbing skripsi (S-1) di Universitas Andalas, Universitas Padjadjaran, Universitas Jenderal Achmad Yani, Universitas Garut, Universitas Airlangga, dan Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung; pembimbing tesis (S-2) di Universitas Andalas, Universitas Padjadjaran, dan Institut Teknologi Bandung; pembimbing disertasi (S-3) di Institut Pertanian Bogor, Institut Teknologi Bandung, dan Universitas Indonesia; serta penguji disertasi (S-3) pada Institut Teknologi Bandung.

Selain itu, ia juga aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota Fiber Society (2008–2009), Himpunan Polimer Indonesia (2013–2014), Himpunan Kimiawan Indonesia (1997–2000), Himpunan Peneliti Indonesia (2019–2021), dan Himpunan Periset Indonesia (2021–sekarang).

Ia telah menerima berbagai tanda penghargaan, baik tingkat nasional maupun internasional, antara lain JICA Scholarship (2003), Monbusho Scholarship (2004), Satyalancana Karya Satya 20 Tahun (2018), dan Satyalancana Wira Karya (2021) dari Presiden Republik Indonesia.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“SERAT NANO (*NANOFIBER*) MULTIFUNGSI UNTUK
MENDUKUNG KELESTARIAN LINGKUNGAN”

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* perkembangan, peluang, dan tantangan serat nano (*nanofiber*) multifungsi untuk mendukung kelestarian lingkungan yang dibuat dari bahan sintentik, bahan semi-sintetik, dan bahan alami dengan proses *electrospinning*. Serat nano multifungsi ini berhasil dipelajari

secara mendalam, diciptakan, dan dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi dalam mengatasi permasalahan di bidang energi, air, kesehatan, analisis, sensor, serta lingkungan.

Invensi terkait serat nano multifungsi dan pemanfaatannya dalam bidang tersebut diharapkan dapat berkontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berdampak pada peningkatan daya saing bangsa.

I. PENDAHULUAN

Integrasi ilmu pengetahuan, teknologi, dan agama sangat penting dalam membangun peradaban manusia (*human civilization*) yang berkualitas tinggi dan lingkungan yang lestari. Kualitas hidup manusia berkaitan dengan beberapa aspek strategis, di antaranya energi, air, kesehatan, dan lingkungan menjadi modal dasar terbentuknya kelestarian lingkungan. Pada kenyataannya, selama 100 tahun terakhir, manusia telah berusaha mencapai kesejahteraan hidup tanpa mempertimbangkan keseimbangan ekologis dengan melakukan eksploitasi yang berlebihan dan penggunaan teknologi konvensional yang tidak ramah lingkungan.

Penggunaan bahan bakar fosil secara masif menyebabkan pencemaran udara, air, dan tanah yang berbahaya bagi lingkungan (Judkins et al., 1993). Bahkan, pada tahun 2023, emisi gas CO₂ telah mencapai 37,4 miliar ton. Sementara itu, pemenuhan kebutuhan manusia terus mendorong meningkatnya aktivitas industri dan pembangunan pabrik (Perera, 2018; Wang, 2023) yang mengakibatkan terjadinya pencemaran air dan udara yang berakibat fatal pada kesehatan manusia.

Pencemaran air menyebabkan manusia kesulitan untuk mendapatkan air bersih dan air minum. Begitu pula dengan pencemaran udara. Menurut data WHO, pencemaran udara menyebabkan sekitar 7 juta orang meninggal setiap tahun (WHO Links 7, 2018). Pemenuhan kebutuhan lahan untuk pemukiman

dan perkebunan telah mendorong makin banyaknya alih fungsi lahan yang menyebabkan penurunan jumlah hutan dan biodiversitas hayati di dalamnya (Giam, 2017). Penggunaan plastik yang tidak terkendali menghasilkan 400 juta ton limbah plastik setiap tahun dan telah menyebabkan pencemaran air, laut, tanah, dan udara oleh partikel mikroplastik dan nanoplastik (Lampitt et al., 2023). Selain memberikan dampak buruk terhadap lingkungan, fenomena ini menyebabkan penurunan kualitas hidup dan kesehatan manusia.

Nanosains dan nanoteknologi menjadi sebuah wadah pengembangan teknologi dalam peningkatan kesejahteraan manusia sebagai upaya mencari solusi dari isu strategis terkait energi, air, kesehatan, dan lingkungan. Telah banyak dilakukan pengembangan riset nanoteknologi untuk mengatasi masalah energi (Nagar & Pradeep, 2020; Nasir et al., 2020; Nasir et al., 2019; Talebian et al., 2021), lingkungan (Indriyati et al., 2021; 2022; 2024; Jin et al., 2019; Mai et al., 2010; Mauter & Elimelech, 2008), dan kesehatan (Abdillah et al., 2023).

Keunggulan nanoteknologi yang telah dihasilkan mendukung terciptanya kelestarian lingkungan. Beberapa tahun ke depan diperkirakan nanoteknologi akan menjadi bagian integral dan memainkan peran yang sangat signifikan dalam kehidupan manusia (Pokrajac et al., 2021; Wang et al., 2014).

Serat nano (*nanofiber*) adalah material yang dikembangkan melalui nanoteknologi untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dengan tetap mendukung kelestarian lingkungan. Riset tentang serat nano berkembang sangat pesat seiring dengan meningkatnya perkembangan riset nanomaterial dan nanoteknologi (Xue et al.,

2019). Serat nano didefinisikan sebagai serat dengan diameter kurang dari 100 nm. Sebagian ahli juga mendefinisikan serat nano sebagai serat dengan ukuran di bawah 1000 nm (1 μm) (Kamble et al., 2017). Serat nano menjadi topik penelitian yang banyak dikaji dalam dunia nanoteknologi. Struktur dari serat nano, meliputi kristalinitas, fasa kristal, morfologi, dan ukuran akan memberikan pengaruh sifat, fungsi, dan kinerjanya.

Secara umum, serat nano multifungsi dapat disintesis dari beberapa material sintetis, seperti PVDF, PVA, dan PCL, maupun bahan alami, seperti *chitin* dan selulosa (Silva et al., 2010; Naghdi et al., 2020; Nasir et al., 2005; Wicaksono et al., 2013; Xiao et al., 2018; Xue et al., 2019). Modifikasi struktur serat nano dilakukan secara kimiawi dan fungsionalisasi dengan nanomaterial lainnya, seperti nanopartikel. Kombinasi serat nano dengan komponen lain akan membentuk komposit serat nano multifungsi yang potensial dan menawarkan aplikasi yang lebih luas dalam berbagai bidang (Kim et al., 2021; Zhuang et al., 2010). *Electrospinning* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membuat serat nano, melalui proses yang sederhana, mudah, dan murah untuk memproduksi serat nano dengan sifat unggul dalam skala laboratorium dan industri (Li et al., 2021; Nasir & Apriani, 2017b; Nasir & Kotaki, 2009).

Serat nano memiliki potensi multifungsi yang besar untuk dikembangkan dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti energi, air, kesehatan, dan lingkungan (Lou et al., 2020). Untuk mengatasi permasalahan energi, air, kesehatan, dan lingkungan tersebut, telah dilakukan pengembangan riset dan inovasi

dengan menggunakan serat nano dan komposit serat nano untuk menggantikan teknologi dan produk konvensional secara sistematis. Berbagai hasil riset dan inovasi terkait serat nano dan komposisinya telah dihasilkan dalam bentuk publikasi internasional, paten terdaftar, dan paten dikabulkan, serta beberapa prototipe produk dengan Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) 5. Beberapa pencapaian diperoleh secara signifikan dalam penelitian serta pengembangan serat nano dan komposit serat nano di berbagai bidang, termasuk kesehatan, energi, dan lingkungan yang mendukung kelestarian alam.

Pada bidang kesehatan, berbagai produk riset dan inovasi serat nano dan komposit serat nano telah diciptakan, seperti serat nano *dragon blood*/PCL dan serat nanonilon untuk *wound dressing* dan komposit serat nano PVA/ZnO/graphene (Nasir, Sugatri, Indriyati et al., 2019). Adapun riset dan inovasi untuk mengatasi permasalahan air bersih dilakukan melalui pengembangan serat nano CB/PVDF, TiO₂/graphene/cPVDF, dan TiO₂/nilon (Nasir et al., 2023).

Pada bidang energi, riset dan inovasi difokuskan pada pengembangan energi bersih yang berpengaruh pada pengurangan emisi CO₂. Salah satunya adalah nanoseparator untuk baterai litium yang diciptakan dari serat nano komposit berbasis bahan sintetis, yaitu SiO₂/PVDF dan SiO₂/ZrO₂/cPVDF (Nasir, Puspa Asri et al., 2020). Selain itu, material komposit berbasis bahan alam juga berhasil diciptakan, seperti nanoselulosa dan serat nano *chitin* untuk kemudian dikembangkan menjadi komposit *chitin*/selulosa asetat dan ZrO₂/*chitin*/PVA untuk aplikasi separator baterai litium. Adapun upaya untuk mengatasi permasalahan pencemaran udara,

yaitu dengan menciptakan serat nano CuO/CB/cPVDF untuk nanomasker dan MOF/cPVDF untuk penangkapan gas CO₂ (Nasir et al., 2020; Nasir et al., 2019; Sugatri, 2022).

Pada bidang lingkungan, riset dan inovasi untuk analisis polutan pada lingkungan dilakukan dengan menciptakan serat nano cPVDF, polisulfon, CB/cPVDF, dan SnO₂/graphene/cPVDF (Nasir, Rahmawati et al., 2019). Untuk mendukung kelestarian lingkungan, limbah polimer didaur ulang dan diubah menjadi serat nano fungsional, seperti TiO₂/r-nylon dan CuO/graphene/r-nylon. Serat nano hasil daur ulang limbah polimer ini kemudian difungsikan untuk berbagai keperluan, seperti penyaring air dan udara (Adam et al., 2013; Indriyati et al., 2019; Nasir et al., 2006, 2023; Nasir, Sugatri et al., 2018).

Riset dan inovasi dalam pengembangan komposit serat nano fungsional diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan kualitas hidup manusia dengan tetap menjaga kelestarian lingkungan. Pengembangan serat nano yang inovatif ini bertujuan untuk menciptakan teknologi yang tidak hanya memberikan manfaat bagi manusia, tetapi juga menjaga keseimbangan ekologis bumi. Pada akhirnya, pengembangan dan penerapan serat nano yang tepat akan memberikan manfaat di berbagai bidang kehidupan dan berperan besar dalam meningkatkan kualitas manusia dengan tetap menjaga keseimbangan dan kelestarian lingkungan.

Naskah orasi ini akan dijabarkan secara komprehensif. Bab II menjelaskan perkembangan serat nano multifungsi, Bab III menjelaskan perkembangan riset serat nano multifungsi untuk

mendukung kelestarian lingkungan, Bab IV menjelaskan peluang dan tantangan pemanfaatan serat nano multifungsi, Bab V berisi kesimpulan dari penjelasan yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya, dan Bab VI sebagai ucapan terima kasih.

II. PERKEMBANGAN IPTEK SERAT NANO MULTIFUNGSI

Pada bab ini, akan dijelaskan perkembangan nanomaterial, serat nano multifungsi, komposit serat nano, dan *electrospinning* sebagai salah satu proses yang digunakan untuk memproduksi serat nano.

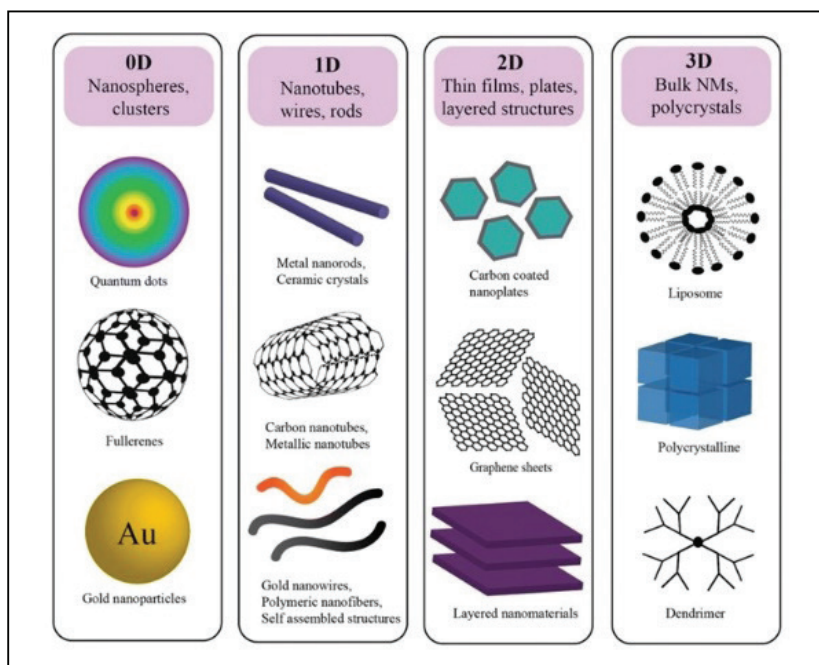
A. Perkembangan Nanomaterial

Dalam sejarah peradaban manusia, nanoteknologi sudah diterapkan sejak zaman Romawi dan masa keemasan Islam, terutama dalam berbagai aplikasi, seperti cat, keramik, dan pembuatan pedang (Schaming & Remita, 2015). Namun, pemahaman tentang nanomaterial masih terbatas dan menunjukkan pemahaman intuitif dari sifat-sifat material pada skala nano.

Perkembangan signifikan di bidang nanoteknologi terjadi pada abad ke-20 melalui penemuan mikroskop elektron yang memberikan kemungkinan untuk mengamati dan mempelajari nanomaterial secara lebih mendalam (Andrian et al., 2021; Aziz et al., 2018; Richman & Hutchison, 2009). Sejak saat itu, penelitian dan pengembangan di bidang nanosains dan nanoteknologi terus berkembang pesat hingga masa kini serta membawa dampak besar pada berbagai aspek kehidupan manusia.

Menurut komisi Eropa, nanomaterial adalah bahan alami atau sintetis yang mengandung partikel dalam keadaan tidak

terikat (bebas), agregat, atau aglomerasi, di mana 50% dari jumlah partikel tersebut memiliki ukuran yang terdistribusi dalam rentang 1–100 nm (European Commission, 2015). Berdasarkan dimensinya, nanomaterial dibagi menjadi 0D seperti nanopartikel, 1D seperti serat nano, 2D seperti grafen, dan 3D seperti liposom. Contoh nanomaterial yang dikelompokkan berdasarkan dimensinya ditunjukkan pada Gambar 2.1. Nanostruktur dari nanomaterial, seperti kristalinitas, fasa kristal, komposisi, dan morfologi sangat berpengaruh pada sifat dan fungsi nanomaterial.



Sumber: Mas-Ballesté et al. (2011)

Gambar 2.1 Klasifikasi Nanomaterial Berdasarkan Dimensi

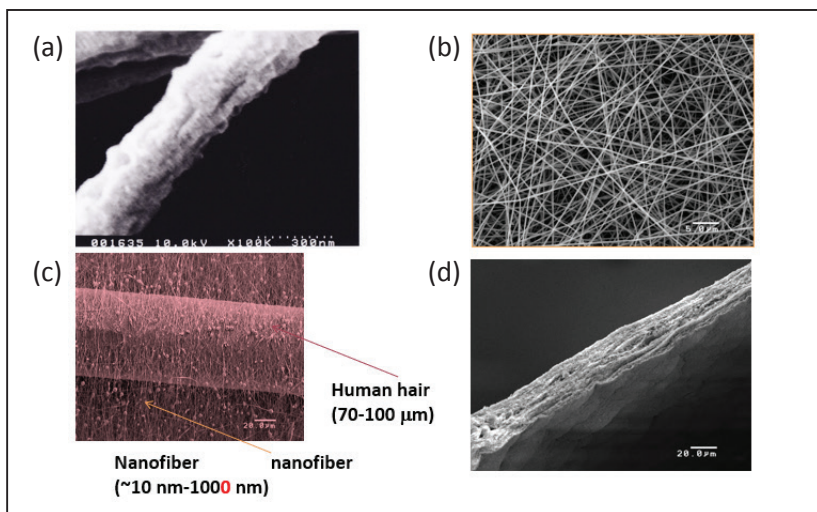
Teknik penciptaan dan modifikasi nanomaterial dikenal dengan istilah 'nanoteknologi'. Nanoteknologi didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan desain, produksi, karakterisasi, aplikasi material, perangkat, dan sistem pada skala nanometer (lebih kecil dari 100 nm) (Kagan et al., 2016; Mas-Ballesté et al., 2011). Beberapa contoh nanoteknologi adalah pemanfaatan nanopartikel TiO_2 untuk cat; nanopartikel SnO_2 untuk sensor; nanopartikel Ag dan CuO untuk bahan antibakteri; dan serat nano untuk nanomasker, pembalut luka (*wound dressing*), dan pemurnian air (Majd et al., 2016; Al-Kattan et al., 2014; Labanni et al., 2023; Khairunissa, 2016; Nasir & Apriani, 2017a; Nasir, Sugatri, Ardeniswan et al., 2019; Wang et al., 2013; Yang et al., 2017).

B. Serat Nano Multifungsi

Serat nano adalah serat dengan ukuran diameter kurang dari 100 nm. Serat nano dihasilkan dengan menggunakan bahan polimer alam, polimer semi-sintetik, dan polimer sintetik melalui proses *electrospinning*. Morfologi serat nano dan gambaran ukurannya ditunjukkan pada Gambar 2.2. Berdasarkan morfologi susunannya, serat nano dibagi menjadi serat nano acak (*random*) dan serat nano lurus (*aligned*) (Nasir & Kotaki, 2011). Keunggulan utama dari serat nano terletak pada luas permukaan spesifiknya yang tinggi, bobotnya yang ringan, serta fleksibilitasnya. Kombinasi keunggulan ini menjadikan serat nano sebagai pilihan tepat untuk meningkatkan sifat zat aktif komponen lain untuk berbagai aplikasi, termasuk pada bidang kesehatan, teknologi energi, lingkungan, serta *smart textile* (Xue et al., 2019).

Perkembangan serat nano diawali dari satu komponen polimer, seperti PVA, PVDF, atau nilon dengan fungsi spesifik (Nasir et al., 2005). Seiring dengan kemajuan teknologi dan isu strategis yang dihadapi hingga saat ini, baik mengenai energi, air, kesehatan, maupun lingkungan, mendorong pengembangan inovasi serat nano yang terdiri atas multikomponen yang menyatukan dua sifat berbeda untuk menghasilkan serat nano dengan sifat unggul. Hal ini mengakibatkan aplikasi serat nano yang makin beragam dengan sifat yang makin kompleks. Penggabungan beberapa komponen serat nano dengan sifat spesifik memungkinkan efek sinergi untuk membentuk serat nano lanjutan multifungsi (*multifunctional advanced nanofiber*), misalnya sebuah serat nano dengan sifat piezoelektrik, antibakteri, sekaligus kemampuan adsorpsi yang baik.

Pembuatan serat nano polimer dilakukan dengan cara melarutkan polimer dalam pelarutnya, kemudian diproses dengan peralatan *electrospinning*. Kesesuaian antara pelarut dan zat terlarut menjadi penting pada pembuatan serat nano. Sebagai contoh, pembuatan serat nano piezoelektrik PVDF yang dibuat dengan melarutkan padatan polimer PVDF dalam pelarut N,N-DMAc, serat nano selulosa asetat dibuat dengan melarutkan polimer dalam pelarut N,N-DMAc, serat nano PVA dibuat dengan menggunakan pelarut air, serat nano multifungsi ZnO/Grafen/PVA dibuat dengan menggunakan pelarut air, dan serat nano multifungsi CuO/CB/cPVDF dibuat dengan melarutkan polimer cPVDF, CB, dan CuO ke dalam pelarut N,N-DMAc (Danno et al., 2008; Nasir, Sugatri, Indriyati et al., 2019; Nasir et al., 2006; Risdian et al., 2015; Satriawan, Khotib et al., 2022).



Keterangan: (a) Bentuk Permukaan Satu Serat Nano; (b) Permukaan Lembaran Serat Nano Membran; (c) Serat Nano Dibandingkan dengan Rambut Manusia; (d) Penampang Lintang Serat Nano Membran Komposit Serat Nano

Sumber: Nasir, Saksono et al. (2020)

Gambar 2.2 Morfologi Serat Nano yang Diamati dengan SEM

C. Komposit Serat Nano

Perkembangan riset dan pengembangan serat nano di seluruh dunia mengalami peningkatan yang signifikan sejak awal tahun 2000-an. Pemanfaatan komposit serat nano menjadi kunci dalam pengembangan serat nano multifungsi di mana dilakukan kombinasi polimer dengan polimer, logam, logam oksida, dan nanokarbon, seperti *carbon black*, *carbon nanotube*, *graphene*, dan *carbon dot* (Danno et al., 2009; Zulfikar et al., 2019; Nasir, Sugatri et al., 2018; Nasir et al., 2023; Nasir & Apriani, 2017a; Nasir, Sugatri, Ardeniswan et al., 2019; Zulfi et al., 2023). Kombinasi berbagai komponen ini memberikan pengaruh yang nyata dan signifikan

terhadap peningkatan sifat dan fungsi dari komposit serat nano yang dihasilkan.

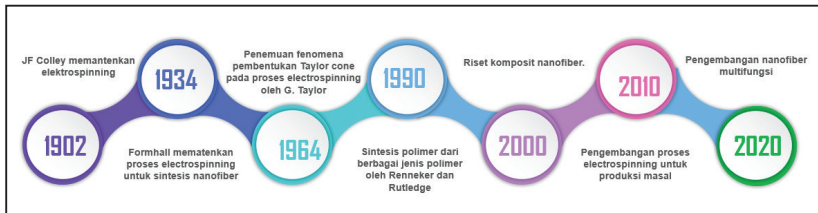
Berbagai sistem komposit serat nano telah berhasil diciptakan, dikembangkan, dipublikasikan, dan dipatenkan. Salah satu komposit serat nano ini adalah serat nano polimer-polimer sintetik, seperti serat nano PVDF/PMMA, PVDF/PVP, PVA/PEO-*Colocasia esculenta flour*, dan serat nano *chitosan*/PVDF (Danno et al., 2009; Nasir et al., 2007; 2009; Wardhani et al., 2019; Zulfikar, Afrianingsih, Bahri et al., 2018; Zulfikar, Bahri et al., 2018). Perkembangan hasil riset menunjukkan bahwa beberapa jenis komposit serat nano dengan sistem polimer-nanopartikel yang telah diciptakan dan dipublikasikan, meliputi serat nano grafen/cPVDF, CB/cPVDF, ZrO_2 /cPVDF, CNT/polisulfon, Ag/*chitosan*/gelatin, dan TiO_2 /nilon (Nasir & Apriani, 2018) terus berkembang. Seiring dengan perkembangan teknologi, material berbasis bahan alam juga digunakan sebagai komponen serat nano, seperti serat nano *chitin*, selulosa, dan nanokristalin selulosa juga berhasil dibuat lalu dikompositkan ke dalam serat nano polimer untuk menghasilkan serat nano komposit SiO_2 /selulosa asetat dan serat nano *chitin*/PVA (Nasir et al., 2017; Nasir, Adni, Chaldun et al., 2019; Wicaksono et al., 2013). Perkembangan menunjukkan bahwa polimer serat nano dan komposit serat nano berbasis polimer dapat diproses lebih lanjut menjadi karbon serat nano dan komposit serat nano karbon, seperti karbonisasi serat nano PAN menjadi serat nano karbon, serat nano CuAc/PAN menjadi serat nano CuO/karbon, dan serat nano CuAc/ZnAc/PAN menjadi serat nano komposit CuO/ZnO karbon (Nasir & Sugatri, 2020).

Selain itu, kekayaan alam—terutama biodiversitas hayati Indonesia—juga menjadi sebuah potensi strategis untuk dieksplorasi dan digabungkan ke dalam sistem komposit serat nano multifungsi. Dengan terus mengembangkan serat nano multikomponen yang lebih canggih, diharapkan dapat dihasilkan solusi yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam menghadapi berbagai tantangan masa depan.

D. Proses *Electrospinning*

Seiring dengan perkembangan teknologi, pembuatan serat mengalami kemajuan yang pesat. Pembuatan serat diawali dengan metode *spinning* dan *melt spinning* yang menghasilkan serat berukuran mikrometer. Perkembangan nanosains dan nanoteknologi mendorong pengembangan serat nano yang membutuhkan metode spesifik. *Electrospinning* merupakan salah satu metode berbasis nanoteknologi yang digunakan untuk membuat serat nano dengan proses yang sederhana, mudah, dan ekonomis dan mempunyai sifat dan kinerja serat nano yang unggul. Proses *electrospinning* pertama kali ditemukan dan dikembangkan oleh J.F. Cooley (1902), Zeleny (1914), dan Formhal (1931). Untuk pertama kalinya pada tahun 1938, serat nano yang dibuat dengan metode *electrospinning* diujikan untuk aplikasi sebagai filter udara. Pada tahun 1964, Geoffrey Taylor menemukan dan menjelaskan fenomena *Taylor Cone* pada proses *electrospinning*. Pada tahun 1995, Reneker dan Rutlege mengembangkan berbagai macam serat nano dari berbagai macam polimer. Pada tahun 2000-an, proses *electrospinning* digunakan untuk membuat serat nano komposit.

Perkembangan proses *electrospinning* untuk tujuan produksi massal dimulai pada tahun 2010 dengan dikembangkannya *electrospinning nozzle* dan multi-*nozzle* (Guo et al., 2022; Xue et al., 2019). Perkembangan dan kemajuan dalam bidang nanomaterial dan instrumen pendukung, seperti mikroskop elektron telah mengakselerasi pertumbuhan riset tentang *electrospinning*. Jumlah riset dan publikasi tentang *electrospinning* terus meningkat. *Milestone* penting dalam lini masa riset dan inovasi terkait serat nano dan *electrospinning* ditunjukkan pada Gambar 2.3.

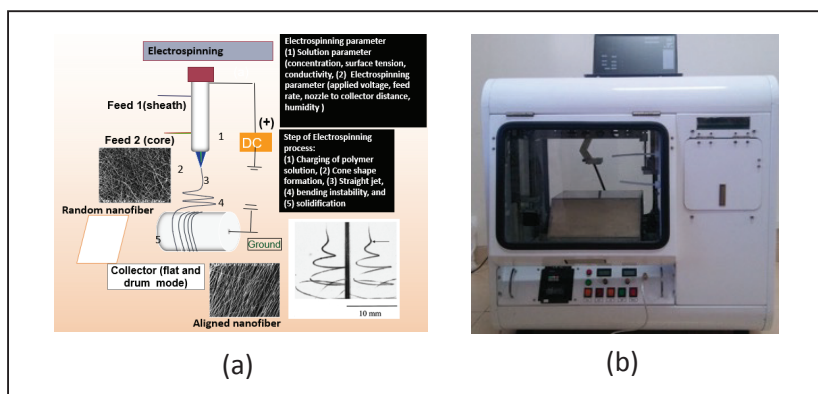


Sumber: Xue et al. (2019)

Gambar 2.3 Milestone Perkembangan Riset dan Inovasi Serat Nano dan *Electrospinning*

Proses pembuatan serat nano dengan *electrospinning* mempunyai dua parameter utama, yaitu parameter internal dan eksternal. Parameter internal *electrospinning*, meliputi tegangan, laju alir larutan, jarak kolektor dengan *nozzle*, konsentrasi larutan, viskositas larutan, konduktivitas larutan, komposisi larutan, dan berat molekul polimer yang digunakan. Parameter eksternal *electrospinning*, meliputi kelembapan udara dan suhu. Parameter internal dan eksternal *electrospinning* sangat memengaruhi morfologi dan karakteristik serat nano yang terbentuk. Karakteristik serat nano dianalisis menggunakan *scanning*

electron microscopy, *transmission electron microscopy*, *fourier transform infra red*, dan *X-Ray diffraction* (Nasir et al., 2007; Nasir, Shofyani et al., 2019; Nasir, Rahmawati, Ardeniswan et al., 2019). Untuk mencapai pemahaman yang mendalam terkait proses *electrospinning* dan mekanisme pembentukan serat nano, maka diciptakan alat *electrospinning* generasi baru dengan sistem *human machine interface* (HMI) yang menghubungkan mesin *electrospinning* dengan sistem komputer sehingga proses pembuatan serat nano menjadi lebih mudah dan dapat dikontrol. Gambar 2.4 memperlihatkan skema proses *electrospinning* dan peralatan *electrospinning* yang telah dikembangkan.



Keterangan: (a) Prinsip Proses *Electrospinning*; (b) Prototipe Mesin *Electrospinning* untuk Produksi Serat Nano dan Serat Nano Komposit

Sumber: Nasir, Saksono et al. (2020)

Gambar 2.4 Skema Proses *Electrospinning* dan Peralatan *Electrospinning* yang Telah Dikembangkan

Pada umumnya, alat *electrospinning* sederhana menggunakan satu *nozzle* yang menghantarkan satu jenis larutan polimer untuk membentuk serat nano atau serat nano komposit. Saat ini dan pada masa yang akan datang, *nozzle* terbaru yang lebih kompleks sedang dikembangkan untuk memungkinkan modifikasi struktur, sifat, dan performa serat nano dan serat nano komposit. *Sheath/core nozzle* merupakan salah satu pengembangan *nozzle* sederhana di mana melalui penggunaan *nozzle* ini akan dihasilkan serat nano komposit dengan morfologi yang unik berdasarkan sifat yang ditargetkan. Selain itu, untuk mendukung produksi massal serat nano, digunakan pula sistem multi-*nozzle* (Guo et al., 2022; Li et al., 2021; Nasir et al., 2006). Modifikasi *nozzle* dalam menciptakan material serat nano maju masih memiliki ruang eksplorasi dan pengkajian yang luas. Potensi ini memungkinkan pengembangan serat nano yang lebih jauh ke depannya.

III. PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SERAT NANO MULTIFUNGSI UNTUK Mendukung KELESTARIAN LINGKUNGAN

Penelitian dan pengembangan serat nano dapat didesain dengan pendekatan kimia dan fisika. Fungsionalisasi disesuaikan dengan aplikasi dan tujuan penggunaannya melalui proses *electro-spinning*. Fungsionalisasi dapat dicapai dengan memodifikasi kimia dari polimer pembentuk serat nano dan pembuatan komposit serat nano. Pada komposit serat nano, sifat dan fungsinya sangat dipengaruhi oleh komponen penyusunnya. Proses pembuatan dan fungsionalisasi komposit serat nano dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pencampuran praproses dan pencampuran pascaproses.

Pada pencampuran praproses, komponen dicampurkan pada saat penyiapan larutan bahan prekursor polimer yang terdiri dari dua atau lebih polimer atau nanopartikel, yaitu polimer cPVDF/PMMA, PVDF/PVP, campuran polimer dengan nanopartikel Cu dan Ag, campuran dengan metal oksida, seperti nanopartikel CuO, TiO₂, dan ZnO, campuran dengan nanokarbon, seperti CNT, *graphene*, *nano carbon black*, dan *carbon dot*, campuran dengan bahan biologis, seperti enzim, bakteri, dan virus, serta campuran dengan bahan kimia bioaktif, seperti ekstrak tanaman obat. Contoh serat nano komposit dari pencampuran pra-proses ini adalah serat nano CB/cPVDF, serat nano TiO₂/cPVDF, serat nano TiO₂/nilon,

serat nano CuO/CB/cPVDF, serat nano SiO₂/selulosa asetat, dan serat nano *dragon blood*/PCL (Danno et al., 2009; Nasir, Sri et al., 2018; Nasir et al., 2007; Sativa et al., 2020).

Adapun pada pencampuran pascaproses, serat nano yang telah terbentuk kemudian dimodifikasi. Contohnya, pelapisan atau *coating* serat nano PVDF dengan *chitosan*/SiO₂ menjadi serat nano komposit *chitosan*/SiO₂/PVDF yang mempunyai sifat antibakteri dan pirolisis serat nano CuAc/PAN menjadi serat nano komposit karbon CuO/PAN. Fungsionalisasi dan modifikasi akan memberikan perubahan karakteristik, performa, dan spesifikasi aplikasi serat nano (Danno et al., 2009; Indriyati et al., 2021; 2022; Nasir, Asri et al., 2020; Nasir et al., 2007; 2009; Nasir, Sugatri et al., 2018; Nasir & Sugatri, 2020; Nasir, Rahmawati, Ardeniswan et al., 2019).

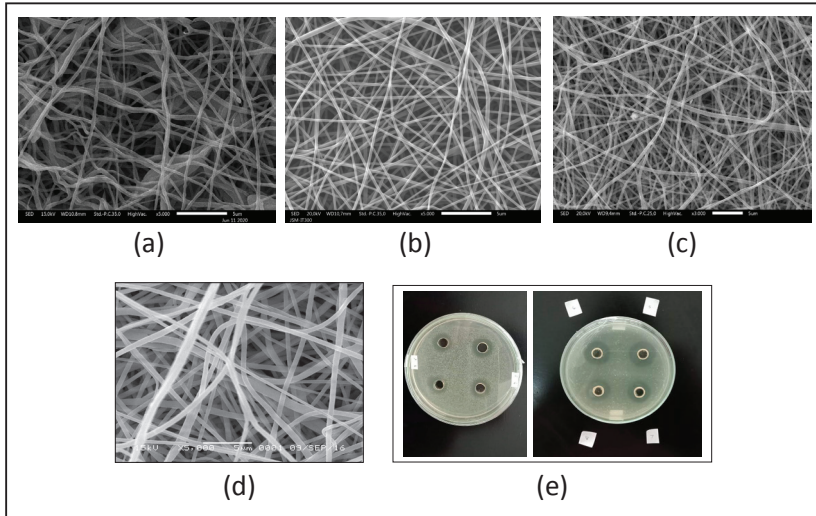
Fungsionalisasi serat nano yang dihasilkan melalui proses *electrospinning* telah membuka ruang dalam berbagai aspek kajian, mengakselerasi pengembangan, dan meningkatkan penerapan serat nano dan serat nano komposit di beragam sektor, seperti bidang kesehatan, farmasi, energi (baterai litium dan *fuel cell*), analisis dan keamanan (partikulat dan bahan kimia), lingkungan (air dan udara), serta teknologi pakaian cerdas. Pengembangan proses dan peralatan mesin *electrospinning* terus dilakukan sehingga memudahkan pembuatan serat nano di laboratorium. Pengembangan teknologi produksi serat nano secara massal dalam skala industri perlu dilakukan melalui peningkatan efisiensi dalam proses *electrospinning*.

A. Riset Serat Nano untuk Kesehatan dan Bioteknologi

Pada bidang kesehatan, penggunaan obat-obatan dengan metode konvensional menghadapi beberapa tantangan. Salah satunya adalah efikasi yang kurang optimal dengan proses penyembuhan yang lama dan menimbulkan efek samping tertentu. Kemajuan pengembangan teknologi farmasi kemudian memperkenalkan sistem penghantaran obat (*drug delivery system*) yang menawarkan penggunaan obat-obatan secara efektif dan efisien pada target sehingga menghasilkan efikasi yang optimal dalam waktu yang lebih singkat dengan efek samping yang rendah. Melalui nanoteknologi, serat nano diteliti dan dikembangkan sebagai salah satu material *drug delivery system* sebagai matriks pembawa bahan aktif obat, misalnya ibuprofen dan serat nano ceftriaxone/selulosa asetat (Satriawan, Khotib et al., 2022).

Selain itu, beberapa serat nano fungsional ramah lingkungan yang telah diciptakan dan dikembangkan untuk aplikasi kesehatan, di antaranya serat nano *dragon blood*/PCL, serat nano *chitosan*/Ag/SiO₂/cPVDF, dan serat nano levan/PVA yang efektif sebagai penutup luka (*wound dressing*), serta serat nano *catechin*/selulosa asetat, serat nano *gelatin*/selulosa asetat, serat nano Ag/selulosa asetat, dan serat nano *carbon quantum dot*/PVA yang efektif sebagai material penyembuh luka (*wound healing*) (Abdillah et al., 2023; Nasir & Apriani, 2017b; Nasir, Rahmawati, Ardeniswan et al., 2019; Nasir, Sugatri, & Agustini, 2019; Satriawan, Khotib et al., 2022; Wardhani et al., 2019). Selain dapat menyembuhkan luka, komposit serat nano ini juga dapat menginduksi pembentukan atau regenerasi sel baru. Gambar 3.1 menunjukkan morfologi komposit

serat nano yang disintesis untuk aplikasi penyembuh luka, serta kemampuan sifat antibakterinya terhadap bakteri *E. coli* dan *S. aureus*.



Keterangan: (a) Serat Nano *Dragon Blood*/PCL; (b) Serat Nano *Carbon Quantum Dot*/PVA; (c) Serat Nano Levant-1bl-bk1/PVA; d) Serat Nano *Chitosan*/Ag/SiO₂/cPVDF; (e) Aktivitas Antibakteri dari Serat Nano *Chitosan*/Ag/SiO₂/cPVDF

Sumber: Abdillah et al. (2023); Nasir et al. (2023); Nasir, Sugatri, & Agustini (2019)

Gambar 3.1 Morfologi SEM

B. Riset Serat Nano untuk Produksi Energi Bersih

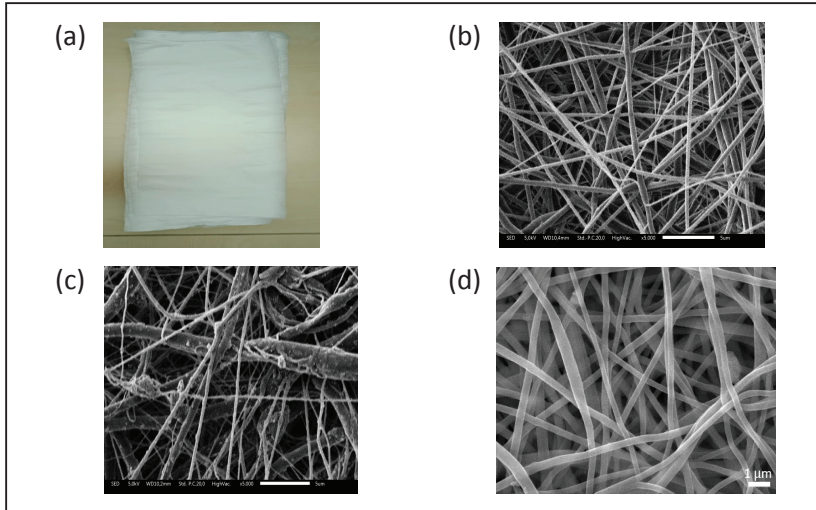
Penggunaan energi konvensional berbasis fosil (minyak bumi dan batubara) menyebabkan pencemaran lingkungan karena menghasilkan gas emisi (CO₂, NO_x, SO_x), bahan kimia berbahaya (merkuri, Pb), dan *particulate matter* (PM). Energi bersih dan terbarukan (*renewable energy*) menjadi prioritas energi masa depan untuk

diproduksi dan digunakan demi memenuhi kebutuhan energi dunia tanpa memberi dampak terhadap pemanasan global dan perubahan iklim (Chen et al., 2020; Cséfalvay & T. Horváth, 2018; Hartweg, 2017). Baterai ion litium sebagai media penyimpan energi berperan penting dalam penyediaan energi bersih dan digunakan di berbagai macam perangkat elektronik, termasuk mobil listrik. (Erickson et al., 2014; Manthiram, 2017).

Permasalahan utama dari separator konvensional dalam baterai ion litium berbahan PE/PP adalah kestabilan termal dan kinerja yang rendah (Arora & Zhang, 2004; Chen et al., 2019; Zhang et al., 2012). Separator berfungsi sebagai pemisah anoda dan katoda dan media pembawa ion yang sangat memengaruhi kinerja dan keamanan dari baterai. Separator yang baik mempunyai dimensi dan kestabilan termal, mekanik, dan kimia yang baik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sifat dan struktur separator akan memengaruhi kinerja baterai, seperti umur, keamanan, dan kerapatan energi (Hao et al., 2016; He et al., 2015; Wang et al., 2015).

Sebagai separator, serat nano menawarkan beberapa kelebihan, di antaranya konduktivitas ionik, sifat mekanik, dan fleksibilitas yang tinggi. Riset dan pengembangan nanoseparator berbasis serat nano dan serat nano komposit untuk baterai ion litium berhasil diciptakan dari bahan serat nano PVDF, serat nano PVDF kopolimer, serat nano komposit PVDF kopolimer, serat nano komposit SiO_2 /selulosa asetat, serat nano komposit SiO_2 /cPVDF, serat nano komposit SiO_2 /ZrO₂/cPVDF, serat nano komposit SiO_2 -TiO₂/PVDF, dan serat nano komposit Zr(SiO₂)₄/cPVDF (Nasir et al., 2006; 2015; 2017; Nasir, Asri et al., 2020; Nasir, Rahmawati,

Ardeniswan et al., 2019; Nasir, Sugatri et al., 2018). Gambar 3.2 menunjukkan bentuk prototipe lembaran dan morfologi dari serat nano komposit untuk aplikasi separator baterai.

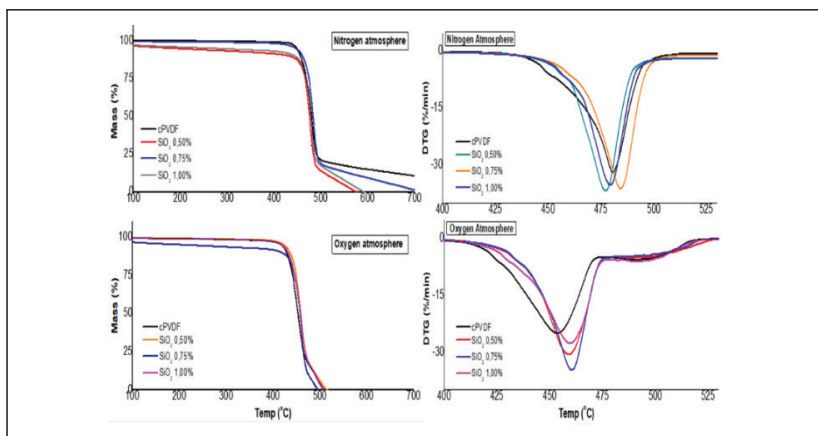


Keterangan: (a) Prototipe lembaran serat nanoseparator; (b) Morfologi serat nano SiO_2/PVDF ; (c) Morfologi serat nano $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2/\text{cPVDF}$; dan (d) Morfologi serat nano $\text{Si}(\text{ZrO}_2)_4/\text{chitin}/\text{PVA}$.

Sumber: Nasir, Asri et al. (2020)

Gambar 3.2 Prototipe Bentuk Lembaran dan Morfologi Serat Nano Separator

Nanoseparator baterai ion litium dari bahan alam juga telah dikembangkan, seperti komposit serat nano *chitin*/PVA dan *chitin*/selulosa asetat (Hikam et al., 2024). Serat nano *chitin* di dalam komposit serat nano dapat meningkatkan konduktivitas listrik dan kinerja separator. Gambar 3.3 menunjukkan hasil analisis DSC dan TGA komposit serat nano di mana penggabungan *chitin* dan nanoselulosa ke dalam struktur serat nano dapat meningkatkan kestabilan termalnya.



Sumber: Nasir, Asri et al. (2020)

Gambar 3.3 Kestabilan Termal Serat Nanoseparator $\text{SiO}_2/\text{cPVDF}$ Diukur dengan DSC dan TGA

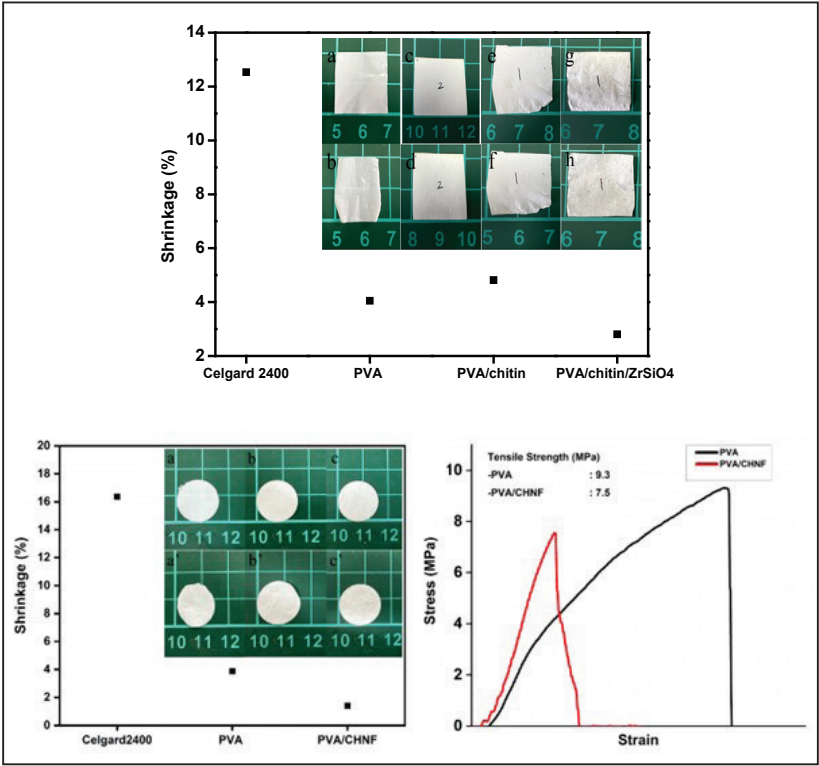
Penambahan nanosilika ke dalam sistem komposit serat nano cPVDF separator berhasil meningkatkan kestabilan termal dari serat nano, baik dalam kondisi lingkungan gas N_2 maupun O_2 , seperti terlihat pada Tabel 3.1. Peningkatan kestabilan dari nanoseparator ini sangat penting dalam meningkatkan keamanan dari separator litium ion baterai (Nasir, Asri et al., 2020).

Tabel 3.1 Pengaruh Kandungan Nanosilika dalam Serat Nano Komposit Terhadap Kestabilan Termal dalam Lingkungan Nitrogen dan Oksigen

Serat Nano	Kandungan Nanosilika (%)	$T_{\text{degradasi}} (\text{N}_2)$ (dalam °C)	$T_{\text{degradasi}} (\text{O}_2)$ (dalam °C)
cPVDF	0	480	420
$\text{SiO}_2/\text{cPVDF}$	0,5	477	440
$\text{SiO}_2/\text{cPVDF}$	0,75	484	470
$\text{SiO}_2/\text{cPVDF}$	1,0	479	475

Sumber: Nasir, Asri et al. (2020)

Selanjutnya, dikembangkan nanoseparator yang ramah lingkungan berbasis serat nano PVA/chitin dan PVA/chitin/ $\text{Zr}(\text{SiO}_4)_3$ sebagaimana terlihat pada Gambar 3.4.



Keterangan: (a) PVA/chitin/ ZrSiO_4 ; (b) PVA/chitin

Sumber: Hikam et al. (2024)

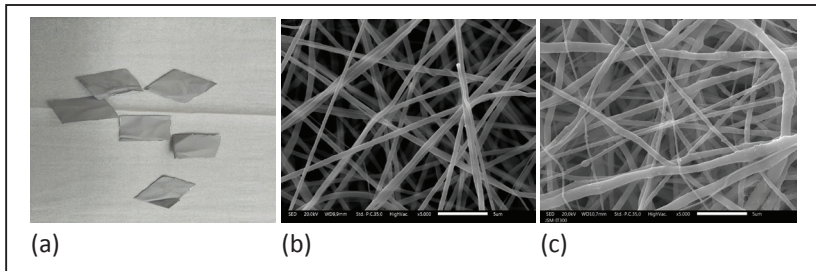
Gambar 3.4 Pengaruh Penambahan Serat Nano Chitin Terhadap Shrinkage Serat Nano PVA pada Nanoseparator Baterai Litium Ion

C. Riset Serat Nano untuk Analisis dan Sensor

Serat nano mempunyai banyak keunggulan, salah satunya luas permukaan spesifik yang tinggi (Danno et al., 2008; Nasir et al., 2006). Karakteristik ini sangat potensial dan menunjang dalam pengembangan analisis dan sensor. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sensor yang berbasis serat nano memberikan kinerja yang sangat baik (Deng et al., 2019; Hashemi et al., 2019; Park et al., 2016; Wang et al., 2013). Serat nano telah dikembangkan untuk aplikasi sensor dan pendeteksi polutan berbahaya di udara berupa gas dan *volatile organic compound* (VOC), seperti toluen, xylen, dan benzena, serta *particulate matter* (PM).

Beberapa serat nano dan serat nano komposit yang telah diciptakan dan dikembangkan adalah serat nano PVDF kopolimer, serat nano komposit *carbon quantum dot*/PVA, serat nano komposit cPVDF/RGO, serat nano komposit SnO_2 /graphene/cPVDF, serat nano komposit ZnO /graphene/PVA, dan serat nano CB/PVDF kopolimer. Gambar 3.5 menunjukkan prototipe dan morfologi dari serat nano SnO_2 /graphene/cPVDF dan serat nano CB/cPVDF untuk aplikasi sensor (Nasir, Adni, & Primadona, 2019; Nasir, Sugatri, Ardeniswan et al., 2019).

Komposit serat nano *carbon black* (CB)/PVDF kopolimer dikembangkan dan digunakan untuk analisis *volatile organic compound*, seperti xylen dan toluena pada udara tercemar di area stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU). CB/cPVDF serat nano komposit digunakan untuk menyerap senyawa BTX (*benzene*, *toluene*, dan *xylene*). Senyawa BTX ini diekstrak



Keterangan: (a) Prototipe Serat CB/cPVDF; (b) Morfologi SnO₂/graphene/cPVDF; (c) Morfologi CB/cPVDF

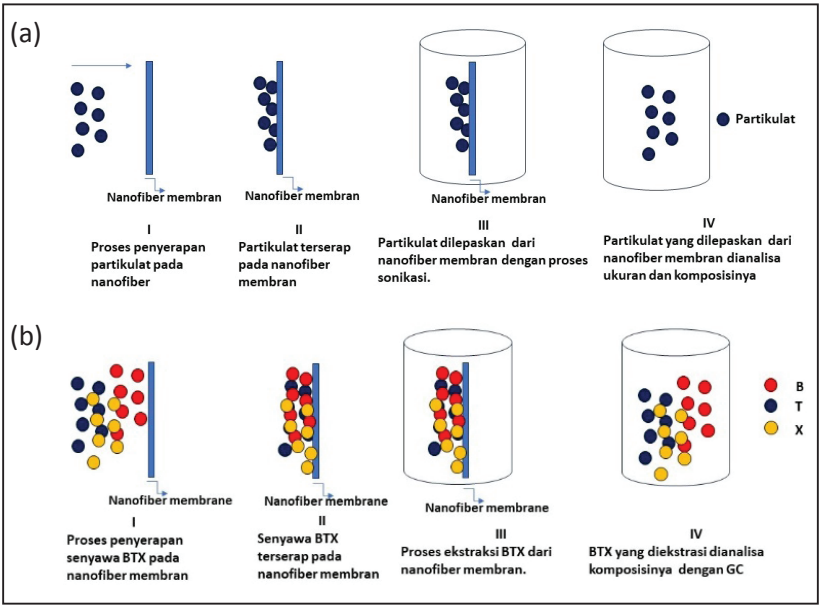
Sumber: Nasir, Rahmawati, Ardeniswan et al. (2019)

Gambar 3.5 Prototipe dan Morfologi Komposit Serat Nano

kemudian dianalisis dan diquantifikasi menggunakan GC-MS, seperti terlihat pada Gambar 3.6. Informasi tentang kandungan senyawa berbahaya ini sangat penting untuk mendukung upaya keselamatan di lingkungan SPBU, baik bagi pekerja maupun masyarakat sebagai pengguna layanan (Nasir, Sugatri et al., 2018; Sugatri et al., 2018; Nasir & Rahmawati, 2023).

Serat nano PVDF kopolimer digunakan untuk analisis *particulate matter* (PM) pencemar udara terbuka pada area yang banyak terpapar gas buangan kendaraan bermotor, seperti terminal bus dan area parkir. Partikulat yang teradsorbsi pada serat nano diekstrak kemudian ditentukan ukuran partikel menggunakan *particle size analyzer* (PSA) dan komposisi kimianya dengan *atomic absorption spectroscopy* (AAS). Hasil analisis PSA menunjukkan bahwa partikel pencemar udara berukuran nanometer sampai mikrometer sedangkan hasil analisis partikulat dengan AAS menunjukkan komposisi kimia dari partikulat pencemar udara

(Nasir & Rahmawati, 2023). Informasi ukuran partikel dan komposisi kimia pencemar udara sangat penting dalam mempelajari tingkat pencemaran udara dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat, serta menunjang rekomendasi upaya penanganan polusi udara (Ganguly & Sengupta, 2024).



Keterangan: (a) Prinsip dan Mekanisme Analisis Partikulat; (b) *Volatile Organic Compound* (VOC) di Udara Menggunakan Membran Serat Nano.

Sumber: Nasir & Rahmawati (2023)

Gambar 3.6 Analisis Partikulat dengan Membran Serat Nano

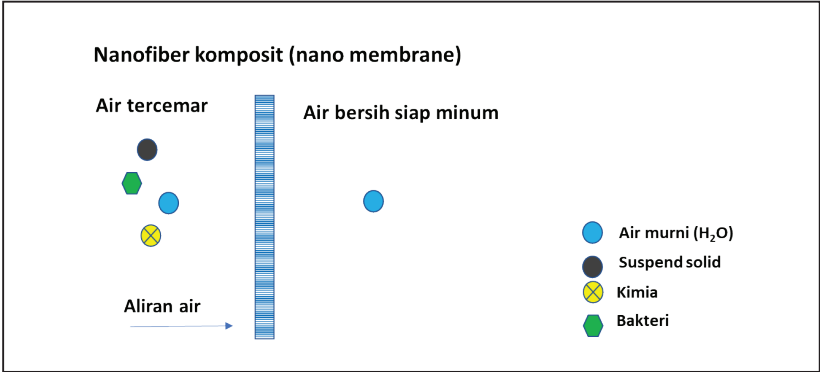
D. Riset Serat Nano untuk Lingkungan

1. Riset Serat Nano untuk Pengolahan Air dan Air Limbah

Serat nano sangat potensial untuk dikembangkan guna mengatasi permasalahan air yang mengandung bahan-bahan pencemar berupa ion logam, bahan organik, nanomaterial, dan bakteri. Pada penelitian ini, telah dikembangkan berbagai macam serat nano sebagai adsorben untuk penyerapan bahan kimia pencemar air dan sebagai membran untuk filtrasi air. Serat nano membran dengan berbagai keunikan fungsi telah berhasil diciptakan untuk tujuan pengolahan air dan air limbah (*water treatment* dan *waste water treatment*), seperti serat nano PVDF, serat nano PMMA, serat nano PMMA/PVDF, serat nano *graphene*/cPVDF, serat nano fotokalis *graphene*/TiO₂/cPVDF, serat nano fotokatalis TiO₂/r-nylon, serat nano CB/cPVDF, serat nano PVA/CB/CuO/Fe₂O₃/*chitin*, serat nano zeolit/PMMA, serat nano PAA/SiO₂, serat nano MIP, dan serat nano PVDF-HFP/MgO yang dikembangkan untuk aplikasi pengolahan air (Suryandari et al., 2019; Handayani et al., 2023; Rinovian et al., 2022; Zulfikar, Afrianingsih, & Nasir, 2017; Zulfikar, Bahri et al., 2018, Zulfikar, Bahri, & Nasir, 2017; Zulfikar et al., 2020).

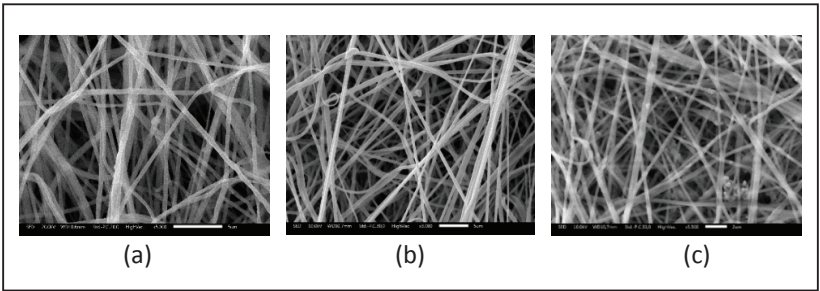
Komposit serat nano fotokatalis TiO₂/r-nylon dibuat dan digunakan untuk mendegradasi zat warna, seperti metilen biru. Serat nano PVDF/TiO₂/ZnO/Co digunakan untuk degradasi asam humat (Sativa et al., 2020). Komposit serat nano *poly* (acrylic acid)/SiO₂ dan *poly* (acrylic acid)/SiO₂ terfungsionalisasi digunakan untuk menghilangkan zat warna metilen biru (Zulfikar et al., 2020). Komposit serat nano TiO₂/*graphene*/

cPVDF digunakan untuk purifikasi air minum. Komposit serat nano *graphene*/cPVDF digunakan untuk purifikasi air laut dengan tujuan proses purifikasi garam NaCl. Gambar 3.7 memperlihatkan mekanisme permurnian air laut menggunakan membran serat nano dan Gambar 3.8 menunjukkan morfologi dari komposit serat nano TiO_2 /*graphene*/cPVDF.



Sumber: Nasir et al. (2024)

Gambar 3.7 Mekanisme Pemurnian Air dengan Membran Serat Nano

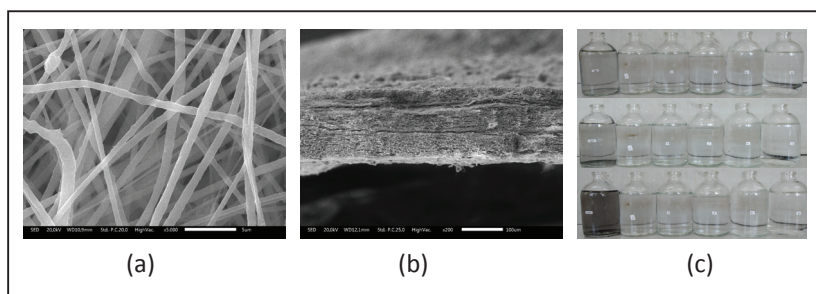


Keterangan: (a) CB/cPVDF; (b) TiO_2 /*graphene*/cPVDF; (c) PVA/CB/CuO/ Fe_2O_3 /*chitin*

Sumber: Nasir, Sugatri et al. (2018); Nasir, Sugatri, Ardeniswan et al. (2019)

Gambar 3.8 Morfologi Membran Serat Nano

Komposit serat nano CB/cPVDF digunakan untuk pengolahan air yang mengandung nanopartikulat, seperti ZnO, TiO₂, CB, dan nanopartikel lainnya. Komposit serat nano zeolit/PMMA diteliti untuk penyerapan dan *recovery* logam-logam berat. Nanokomposit zeolit/PMMA secara efektif dapat menyerap logam kadmium yang ada dalam limbah cair. Komposit serat nano PVDF-HFP/MgO digunakan untuk penyerapan senyawa arsenik dalam air (Rinovian et al., 2022). Serat nano MIP digunakan untuk penyerapan DEHP, yakni limbah dari industri polimer (Handayani et al., 2023). Membran komposit serat nano CB/cPVDF berhasil dikembangkan untuk pemurnian air yang terkontaminasi dengan nanomaterial dan padatan terlarut, seperti pada air Sungai Citarum sebagaimana terlihat pada gambar 3.9 (Nasir et al., 2024).



Keterangan: (a) Morfologi CB/cPVDF; (b) Morfologi Penampang CB/cPVDF; dan (c) Hasil Pengolahan Air yang Terkontaminasi Nanopartikel

Sumber: Nasir et al. (2024)

Gambar 3.9 Morfologi dan Hasil Pengolahan Air Menggunakan Nanofiber Membran

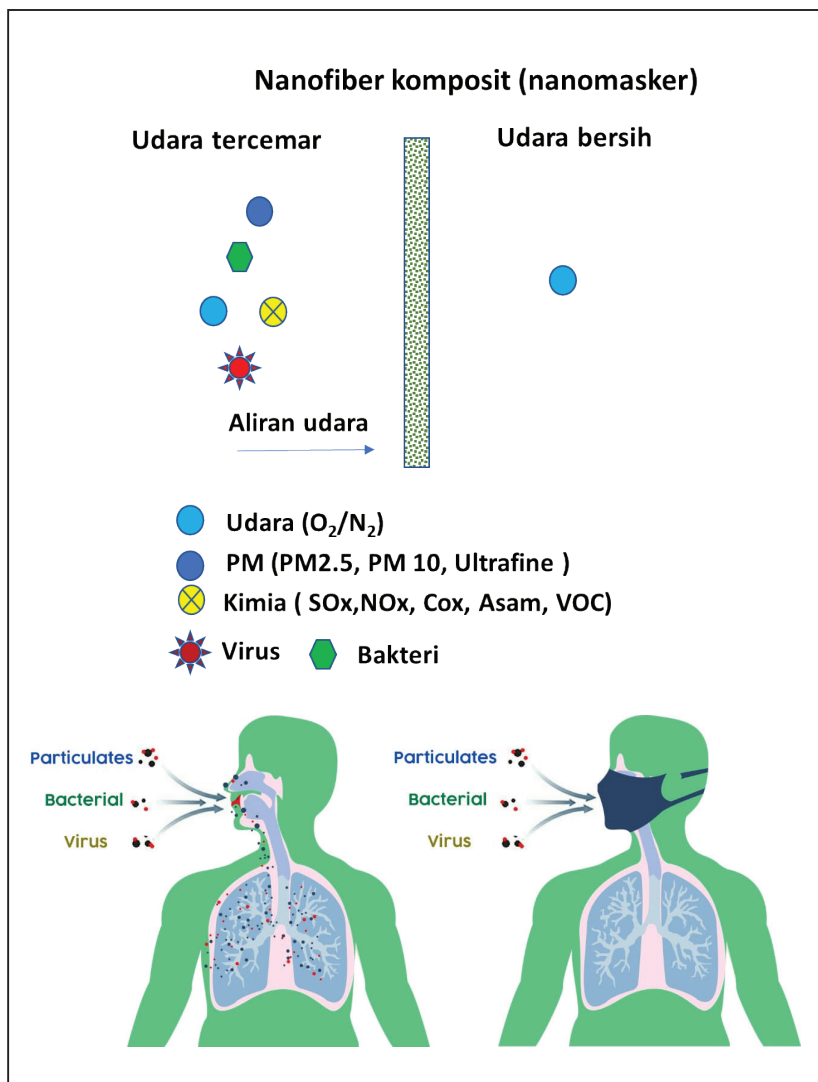
1. Riset Serat Nano untuk Pengolahan Udara Tercemar dan Masker Nano Kesehatan

Berdasarkan data WHO, pencemaran udara merupakan penyebab satu dari sembilan kematian di dunia. Komponen pencemar udara adalah bahan kimia, *particulate matter* (PM), dan mikroorganisme (bakteri dan virus). Membran serat nano merupakan bahan yang dapat digunakan sebagai filter yang efektif dalam menyaring udara yang tercemar yang mengandung partikulat, mikroorganisme (virus dan bakteri), dan bahan kimia (asam, gas, dan *volatile organic compound* [VOC]) (Khayan et al., 2019; Lu et al., 2021). Pada penelitian ini, telah dilakukan pengembangan serat nano untuk mengatasi pencemaran udara, seperti cPVDF, serat nano CB/cPVDF, serat nano CB/CuO/cPVDF, komposit serat nano $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CuO}/\text{chitin}/\text{PVA}$, serat nano selulosa/kurkumin, dan komposit serat nano MOF/cPVDF dengan tujuan pengolahan udara dan masker nano kesehatan (Nasir, Rihlatul et al., 2019; Nasir, Sugatri, Asri et al., 2018; Nasir, Sugatri, Agustini, 2019; Nasir, Sugatri, Ardeniswan et al., 2019; Nasir, Sugatri, Indriyati et al., 2019; Sugatri, 2022; Satriawan, Nasir et al., 2022).

Fungsionalisasi *carbon black* (CB) dan CuO dengan cPVDF digunakan untuk membuat komposit serat nano CuO/CB/cPVDF sebagai filtrasi udara yang dapat digunakan pada masker nano. Nanostruktur dan morfologi dari serat nano dikontrol untuk mencapai kinerja optimal dari masker nano (Nasir, Sugatri, Ardeniswan et al., 2019). Masker nano didesain sedemikian rupa di mana CB berfungsi untuk menyerap bahan kimia

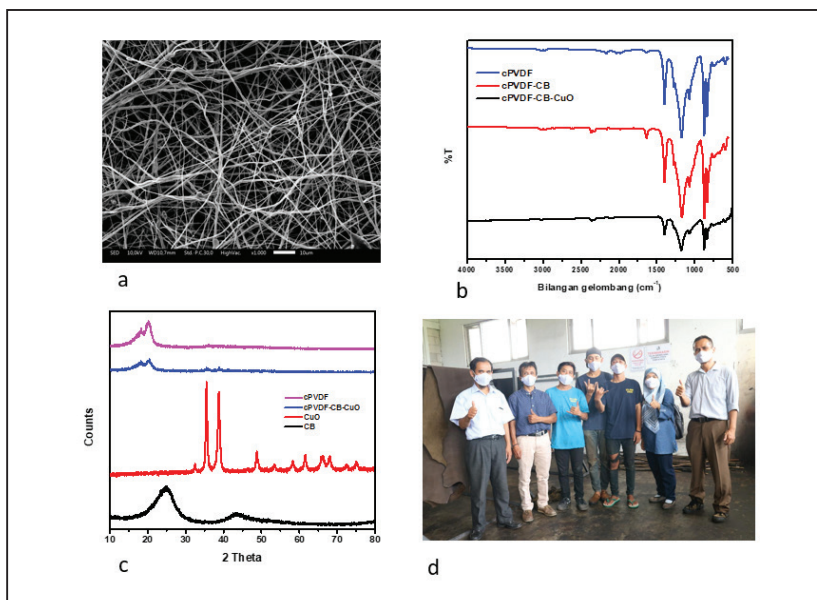
berbahaya, CuO berfungsi untuk membunuh virus dan bakteri, dan cPVDF dengan nanostruktur fase beta (β -phase) sebagai matrik serat nano yang bersifat elektrostatis untuk memudahkan dan meningkatkan kinerja filter masker nano dalam menangkap partikel di udara.

Mekanisme kerja masker nano dalam pemurnian udara tercemar ditunjukkan pada Gambar 3.10. Adapun Gambar 3.11 menunjukkan morfologi dan struktur dari CuO/CB/cPVDF sebagai bahan masker nano. Masker nano CuO/CB/cPVDF sudah diuji pada laboratorium berstandar internasional dengan hasil memenuhi standar masker medis, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.12 dan Tabel 3.2. Adapun hasil uji efisiensi kolektif kinerja nanomasker CuO/CB/cPVDF serat nano terhadap *particulate matter* (PM) ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Sumber: Nasir, Saksono et al. (2020)

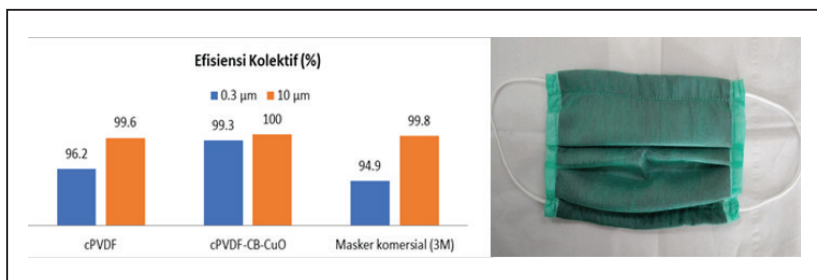
Gambar 3.10 Mekanisme kerja masker nano dalam pemurnian udara tercemar dan efektivitas penggunaan masker nano untuk mencegah masuknya komponen pencemar udara ke dalam sistem pernapasan manusia.



Keterangan: (a) SEM Morfologi Serat Nano; (b) Spektrum FTIR Serat Nano CuO/CB/cPVDf; (c) Difraktogram XRD Serat Nano CuO/CB/cPVDf; (d) Uji Coba Pemakaian Nanomasker di Industri Pengecatan

Sumber: Nasir, Saksono et al. (2020)

Gambar 3.11 Nanostruktur dan Pengujian Masker Nano



Sumber: Nasir, Saksono et al. (2020); Nasir, Sugatri, Ardeniswan et al. (2019)

Gambar 3.12 Kinerja Masker Nano CuO/CB/cPVDf Serat Nano Terhadap *Particulate Matter* (PM)

Tabel 3.1 Hasil Uji Masker Nano di Laboratorium Internasional Sesuai dengan Standar Masker Medis

<i>Test</i>	<i>Test Result</i>	<i>Test Method</i>
<i>Bacterial Filtration Efficiency (BFE) (%)</i>	> 99,9	EN 14683:2019 Annex B
<i>Submicron Particulate Filtration Efficiency (0.1 mm PSL)</i>	99,88	ASTM F2100-2019 9.3, ASTM F2299-2017, Flow rate: 28.0 (L/min)
<i>Air Exchange Pressure (mm H₂O/cm²)</i>	>20	ASTM F2100-2019 9.2, EN 1463:2019 Annex C
<i>Flammability</i>	IBE	ASTM F2100-2121 9.5, CPSC 16 CFR 1610-2008
<i>Synthetic Blood penetration, Pressure 120 mmHg (16.0 kPa)</i>	<i>Not seen</i>	EN 14683:2019, ISO 22609: 2004
<i>Microbial Cleanliness (cfu/g)</i>	11,1	EN 14683:2019, EN ISO 11737-1:2018

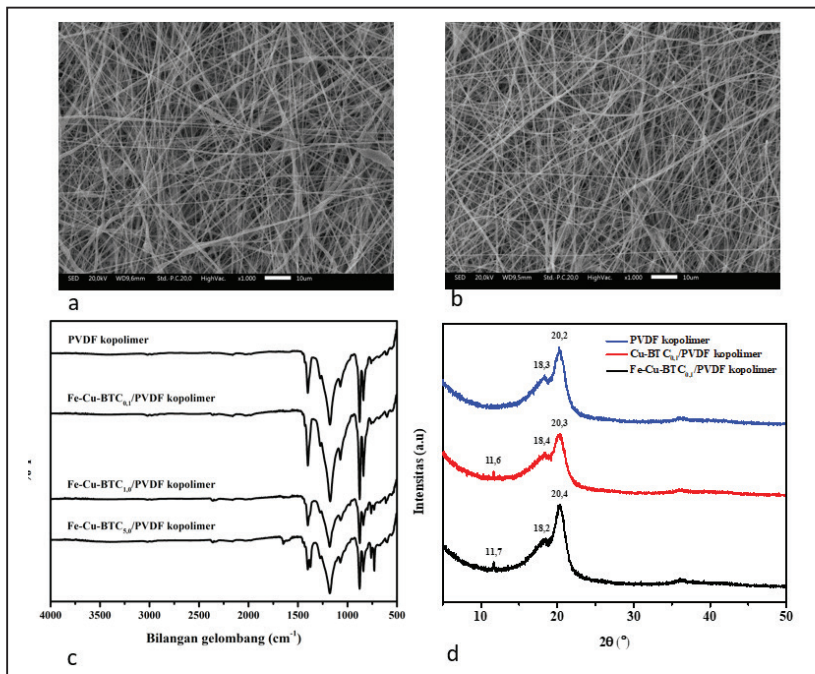
Sumber: Nasir, Saksono et al. (2020)

Hasil riset dan invensi masker nano yang telah dilakukan ini berpotensi untuk menangani isu penyakit ISPA yang disebabkan oleh udara kotor yang terhirup oleh sistem pernafasan (Nasir, Saksono et al., 2020).

2. Riset Serat Nano untuk Penghilangan CO₂ (CO₂ Removal)

CO₂ adalah salah satu gas emisi penyumbang pemanasan global dan perubahan iklim terbesar. Untuk mengatasi permasalahan ini, dilakukan riset serat nano fungsional berbasis *metal organic framework* (MOF), yakni serat nano Cu-BTC/cPVDF dan Fe-Cu-BTC/cPVDF. Untuk mendapatkan penyerapan gas CO₂

yang optimum, maka dilakukan modifikasi serta pengontrolan struktur dan morfologi serat nano. cPVDF dalam komposit serat nano mempunyai fasa kristal beta yang dominan. Serat nano Cu-BTC/cPVDF dan Fe-Cu-BTC/cPVDF mempunyai kemampuan penyerapan terhadap gas CO_2 masing-masing sebesar 24,3 mmol/g dan 20,7 mmol/g (Sugatri, 2022). Gambaran morfologi dari serat nano Cu-BTC/cPVDF dan Fe-Cu-BTC/cPVDF ditunjukkan pada Gambar 3.13.



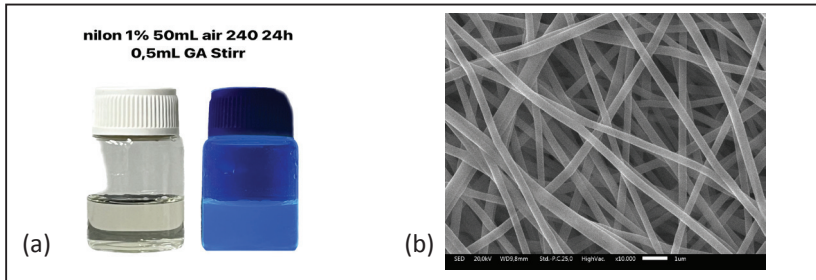
Keterangan: (a) Morfologi Cu-BTC/cPVDF; (b) Morfologi Fe-Cu-BTC/cPVDF; (c) Difraktogram XRD; (d) Spektrum FTIR

Sumber: Sugatri (2022)

Gambar 3.13 Nanostruktur Serat Nano

Buku ini tidak diperjualbelikan.

digunakan sebagai bahan baku untuk membuat serat nano dan komposit serat nano dengan proses *electrospinning*.

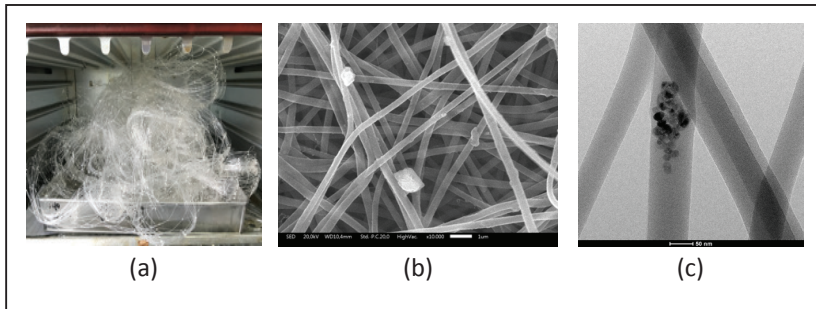


Keterangan: (a) *Carbonized Polymer Dot* (CPD) dari Limbah Nilon; (b) Morfologi Serat Nano CPD/PVA

Sumber: Islamy & Nasir (2023)

Gambar 3.14 Pendaran dari CPD dan Komposit Serat Nano CPD/PVA Berbasis Polymer Nilon Daur Ulang (r-nilon)

Beberapa contoh serat nano yang berhasil diciptakan dan dipatenkan, yaitu serat nano r-nilon dan komposit serat nano r-nilon (komposit serat nano TiO_2 /r-nilon, komposit serat nano TiO_2 /graphene/r-nilon, komposit serat nano CuO /graphene/r-nilon, dan komposit serat nano CuO /CB/r-nilon (Nasir et al., 2023). Gambar 3.15 menunjukkan hasil purifikasi limbah jaring nylon yang akan digunakan untuk membuat serat nylon dan morfologi komposit serat nano TiO_2 /r-nilon yang diamati dengan SEM dan TEM. Komposit serat nano TiO_2 /r-nilon dapat digunakan sebagai pendegradasi zat warna dalam air dan sebagai filter udara. Serat nano r-nilon komposit yang diciptakan ini berpotensi digunakan untuk berbagai macam aplikasi, di antaranya filter air, filter udara, dan pasif sampling pencemar udara.

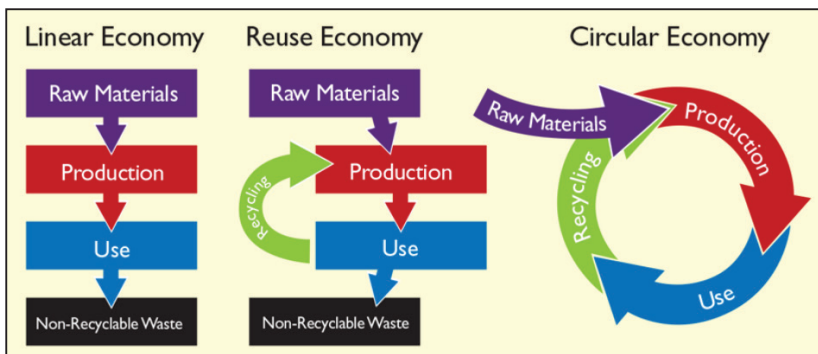


Keterangan: Diamati dengan menggunakan (a) bahan serat nylon yang sudah dimurnikan; (b) SEM serat r-nylon; dan (c) TEM serat r-nylon.

Sumber: Nasir et al. (2023)

Gambar 3.15 Bahan Baku Nylon Daur Ulang yang Sudah Dimurnikan untuk Membuat Serat Nano dan Morfologi Serat Nano r-nylon Komposit

Penemuan dan pemanfaatan limbah nylon sangat penting dalam mengurangi pencemaran lingkungan, menghasilkan produk dengan nilai ekonomis, dan mendukung konsep ekonomi sirkular untuk nylon (Collias et al., 2021; Nasir et al., 2023). Gambar 3.16 memperlihatkan konsep ekonomi sirkular (New Developments, 2020).



Sumber: Matur (2020)

Gambar 3.16 Konsep Ekonomi Sirkular (*Circular Economy*)

IV. PELUANG DAN STRATEGI PEMANFAATAN KOMPOSIT SERAT NANO MULTIFUNGSI

A. Peluang dan Strategi Pengembangan Serat Nano Multifungsi

Peluang dan potensi penelitian dan pengembangan serat nano dalam berbagai bidang, seperti energi bersih, kesehatan, bioteknologi, air, analisis dan sensor, lingkungan, dan daur ulang limbah polimer menawarkan prospek yang cerah dan sesuai dengan kebijakan pemerintah melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2018 tentang Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) Tahun 2017–2045 (Lembaran Negara Republik Indonesia Peraturan Presiden Republik Indonesia, 2018; Nasir et al., 2023; Nasir, Asri et al., 2019). Terbukanya peluang ini menunjukkan harapan untuk menyelesaikan beragam tantangan global yang dihadapi melalui pendekatan nanoteknologi, khususnya pembuatan dan pengembangan serat nano.

Pada bidang kesehatan dan bioteknologi, peluang penelitian dan invensi dalam bidang serat nano menjanjikan potensi yang luar biasa. Indonesia dengan kekayaan biodiversitas hayati yang melimpah menawarkan sumber daya polimer alami yang dapat dijadikan bahan baku serat nano ramah lingkungan (von Rintelen et al., 2017). Berbagai jenis *natural products* yang mengandung sejumlah senyawa aktif dengan beragam sifat dan

fungsi, seperti menyembuh luka (*wound dressing*), antikanker, dan obat-obatan memiliki peluang untuk dikompositkan ke dalam struktur serat nano. Peluang ini tecermin dari tingginya angka kebutuhan material kesehatan di pasar, misalnya produksi dan penjualan bahan *wound dressing* di pasar global pada tahun 2023 mencapai USD 14,3 juta dan Asia tercatat sebagai area dengan pertumbuhan tercepat (Wound Dressing Market, 2024). Melalui pemanfaatan keanekaragaman bahan alam Indonesia, pengembangan *wound dressing* dengan sifat untuk aplikasi spesifik sangat potensial untuk dilakukan. Dengan teknik sintesis dan pemilihan bahan yang tepat, *wound dressing* berbasis serat nano sangat mungkin diproduksi untuk penyembuhan luka pada penderita diabetes, luka bakar, dan luka pascaoperasi.

Komposit serat nano fungsional ini memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Meskipun demikian, peningkatan efisiensi pengompositan serat nano dengan *natural product* harus mempertimbangkan kestabilan nanokomposit serta biokompatibilitasnya yang mencakup kemampuan untuk berinteraksi dengan sel hidup. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang sistematis dan menyeluruh terkait pembuatan komposit serat nano dengan senyawa aktif bahan alam dan potensi aplikasinya. Keberhasilan dalam pengembangan serat nano untuk keperluan kesehatan ini berpotensi memberikan dampak ekonomis positif bagi Indonesia dengan mengurangi ketergantungan pada impor obat-obatan serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan taraf hidup secara keseluruhan.

Penelitian dan invensi serat nano dalam konteks energi bersih dan penyimpanan energi menunjukkan permintaan yang sangat tinggi (Nasir et al., 2015). Hal ini terutama disebabkan oleh meningkatnya permintaan akan penyimpanan energi sekunder, seperti baterai litium yang menjadi kunci dalam industri konsumen dan mobil listrik. Kebijakan pemerintah dalam penggunaan mobil listrik untuk menekan emisi gas CO₂ turut memicu meningkatnya kebutuhan baterai ion litium. Permintaan akan baterai diperkirakan akan terus meningkat di masa depan, sementara tantangan utama yang dihadapi dalam pengembangannya adalah menciptakan baterai litium yang aman dengan kapasitas penyimpanan yang besar. Pengembangan komponen baterai litium, seperti baterai separator dan anoda yang berbasis serat nano yang ramah lingkungan menjadi peluang sekaligus tantangan untuk riset ke depannya (Nasir, Asri et al., 2019). Pengembangan serat nano *triboelectric generator* juga sangat menjanjikan sebagai pembangkit energi bersih yang dapat digunakan untuk *wearable device* dan kebutuhan energi lainnya.

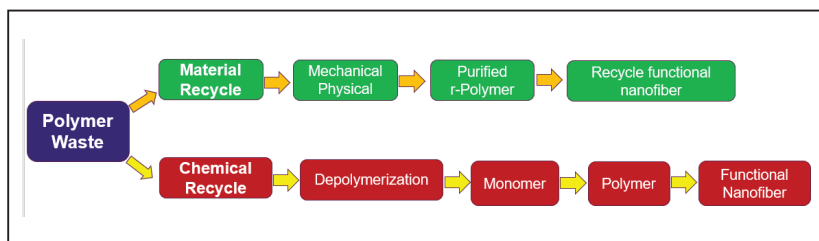
Pembuatan dan rekayasa komposit serat nano untuk keperluan analisis dan sensor mengalami perkembangan yang pesat. Pada awalnya, penelitian lebih banyak difokuskan pada analisis dan deteksi bahan kimia pencemar di lingkungan, meliputi air, tanah, dan udara. Selanjutnya, potensi pengembangan serat nano akan makin meluas dengan pengintegrasian dalam perangkat *wearable* yang multifungsi di masa depan.

Perkembangan yang pesat juga ditemukan pada riset serat nano untuk aplikasi lingkungan, seperti pengolahan air limbah dan produksi air bersih dan air minum. Penggunaan serat nano dioptimalisasikan, baik sebagai adsorben maupun membran, untuk pengolahan air (Zulfikar, Afrianingsih et al., 2017). Dengan fungsionalisasi ini, penelitian serat nano diproyeksikan mampu ikut serta dalam mengatasi permasalahan krisis air bersih di daerah bencana, daerah kering, rawa, dan laut, serta daerah yang jauh dari jangkauan listrik. Untuk mengoptimalkan upaya ini, rekayasa sistem komposit serat nano perlu dilakukan, di antaranya sifat hidrofilik dan hidrofobik, sifat listrik, adsorpsi, kestabilan, serta sifat-sifat lainnya.

Riset serat nano untuk mengatasi permasalahan pencemaran udara yang disebabkan oleh partikulat, gas dan bahan kimia berbahaya, serta mikroorganisme perlu terus dikembangkan, terutama serat nano multifungsi yang bisa mengatasi pencemar serentak. Selain itu, pengembangan serat nano fungsional dengan kemampuan mereduksi polutan udara spesifik, seperti bakteri patogen, NO_2 , benzena, dan polutan lainnya, juga perlu dikembangkan. Pembuatan dan pengembangan nanomasker multifungsi adalah contoh keberhasilan dalam fungsionalisasi serat nano untuk melakukan *treatment* terhadap udara yang mengandung pencemar multikomponen sekaligus (partikulat, gas/bahan kimia berbahaya, dan mikroorganisme, seperti virus dan bakteri) (Nasir, Saksono et al., 2020).

Meningkatnya jumlah sampah polimer/plastik dari tahun ke tahun juga menjadi salah satu masalah penting untuk diatasi.

Perlu dilakukan penelitian dan pengembangan penggunaan plastik sebagai bahan baku nanomaterial fungsional. Sebagai pe-
modelan, telah dilakukan pengembangan serat nano fungsional dari nilon daur ulang untuk berbagai macam aplikasi, seperti pengolahan air dan udara. Langkah selanjutnya, perlu dilakukan kajian terhadap sistem komposisi dari serat nano fungsional berbasis limbah sehingga bisa dimanfaatkan secara optimal untuk berbagai aplikasi. Penggunaan plastik/polimer daur ulang akan ikut berkontribusi dalam mengurangi dampak perubahan iklim melalui penurunan produksi CO₂ (Collias et al., 2021). Selain itu, melalui pendekatan kimiawi, limbah polimer dapat diuraikan menjadi komponen penyusunnya untuk kemudian digunakan lagi secara *bottom up* sebagai bahan pembuatan nanomaterial fungsional yang lain. Proses daur ulang dengan dua metode ini diilustrasikan pada Gambar 4.1. Pendekatan daur ulang material dan daur ulang kimiawi ini dapat menjadi upaya pengembangan nanomaterial ramah lingkungan demi terciptanya keberlanjutan dan ekonomi sirkular.



Sumber: Digambar ulang dari Collias et al. (2021)

Gambar 4.1 Proses Daur Ulang Polimer Menjadi Serat Nano Fungsional

Keberhasilan pengembangan serat nano sangat ditentukan oleh aspek fundamental saintifik dan strategi penerapannya. Pengembangan riset dari serat nano ke depan perlu melibatkan kecerdasan buatan (*artificial intelligence* [AI]) dan pemanfaatan *internet of things* (IoT) (How to Integrate, 2024). Integrasi antara produk serat nano dengan AI akan menghasilkan perangkat pintar dengan fungsi tertentu dalam berbagai bidang, seperti alat kesehatan, kendaraan, penyimpan energi, dan pendeteksi pintar. Selanjutnya, pengintegrasian perangkat pintar dengan IoT didukung dengan akses terhadap data raya (*big data*) akan sangat memungkinkan untuk mengembangkan sebuah unit canggih terotomatisasi yang memadukan input, proses, dan *output* sekaligus. Hal ini akan memberikan dampak signifikan, seperti efektivitas dan efisiensi untuk memenuhi kebutuhan berbagai bidang, termasuk riset itu sendiri (Ganguly & Sengupta, 2024).

Dengan melihat peluang pengembangan serat nano dan potensi Indonesia di masa depan, sebuah konsorsium nasional serat nano yang melibatkan sektor pemerintahan, lembaga riset, perguruan tinggi, industri, dan NGO perlu dibentuk. Peran pemerintah sangat penting, terutama dalam penyusunan kebijakan terkait riset dan pemanfaatan produk hasil riset. Pembentukan konsorsium serat nano sangat strategis, terutama sebagai ruang untuk melahirkan ide dari berbagai pakar multi-disiplin demi pemanfaatan serat nano di bidang kesehatan, energi, lingkungan, analisis, dan daur ulang limbah polimer. Selain itu, melalui konsorsium, fokus riset dan akselerasi hilirisasi hasil riset dapat dipertajam melalui integrasi sektor industri sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Gambar 4.2 memperlihatkan

skema potensi pengembangan serat nano lebih jauh di masa depan dengan berbagai aplikasi.

Pengembangan konsorsium serat nano yang terintegrasi di berbagai bidang dan pendekatan tersebut diharapkan akan memberikan kontribusi signifikan bagi Indonesia dalam persaingan global terkait pengembangan serat nano. Hal ini akan tecermin dalam produksi karya tulis ilmiah global, perlindungan hak kekayaan intelektual, dan penciptaan produk inovatif. Di dalam negeri, kesuksesan dalam menerapkan hasil riset serat nano ini diharapkan akan mendorong pertumbuhan industri berbasis serat nano, meningkatkan perekonomian Indonesia, serta mendukung upaya pelestarian lingkungan.



Gambar 4.2 Peluang Potensi Riset dan Pengembangan Serat Nano

B. Peluang dan Strategi Pengembangan Proses Produksi Serat Nano Multifungsi

Keberhasilan riset serat nano dan aplikasinya memberikan tantangan tersendiri dalam proses produksi. Pengembangan proses *electrospinning* untuk skala laboratorium yang berbasiskan AI dan IoT perlu terus dilakukan. Adapun untuk mendukung proses produksi serat nano skala massal, perlu dikembangkan sistem *electrospinning* multi-nozzle (How to Integrate, 2024).

Keberhasilan dalam pengembangan proses *electrospinning* dari skala laboratorium ke skala produksi/industri, serta kajian tekno-ekonomi perlu dikembangkan dengan melibatkan praktisi industri, saintis, dan teknokrat dari berbagai disiplin ilmu. Strategi dan peluang tersebut perlu dukungan dari pemerintah, baik dalam bentuk kebijakan maupun pendanaan riset. Pengembangan serat nano di kancah global juga menunjukkan kompetisi yang kuat antara negara-negara maju dan berkembang. Dengan demikian, pembentukan konsorsium serat nano Indonesia perlu dilakukan untuk mendapat dukungan penuh dari pemerintah dalam pengembangan dan proses produksinya. Kesigapan dalam mengintegrasikan riset serat nano dengan pemanfaatan sumber daya dan potensi di Indonesia dapat membawa Indonesia maju dan bersaing dalam persaingan global terkait perkembangan riset dan ilmu pengetahuan dunia.

V. KESIMPULAN

Riset dan inovasi serat nano multifungsi berhasil dibuat dengan merekayasa nanostruktur dan komposisinya. Serat nano dibuat dari bahan polimer sintetik, biopolimer, nanokarbon, nanopartikel logam, dan nanopartikel logam oksida.

Serat nano dan komposit serat nano berbasis bahan alam dan sintetik sangat berpotensi dan berperan penting dalam peningkatan kualitas hidup manusia dengan tetap mempertahankan kelestarian lingkungan di masa depan. *Electrospinning* adalah teknologi kunci (*key technology*) dalam pengembangan serat nano dan komposit serat nano. Temuan penting dalam penelitian ini terkait keunikan, nanostruktur, komposisi, sifat, dan fungsi dari serat nano dan komposit serat nano yang dibuat dari bahan sintetik dan bahan alam melalui proses *electrospinning*. Serat nano ini berpotensi digunakan dalam berbagai bidang, di antaranya biomedis (bioteknologi, kedokteran, obat-obatan), tekstil, energi (serat nano separator untuk baterai ion litium dan *fuel cell*), lingkungan (nanomasker, filtrasi udara, dan filtrasi air), teknologi pemisahan di industri, keamanan, dan *smart fashion*.

Dalam konteks masa depan riset dan inovasi, serat nano diperkirakan terus berkembang, terutama dengan pemanfaatan sumber daya alam dan biodiversitas Indonesia. Pemanfaatan *internet of things* (IoT) dan *artificial intelligence* (AI) akan

mempercepat perkembangan riset serat nano dan pengembangan aplikasinya serta proses produksinya.

Beberapa tantangan dan permasalahan manusia di masa depan akan dapat diselesaikan dengan penelitian dan pengembangan serat nano multifungsi yang cerdas dan ramah lingkungan serta menerapkannya untuk bidang energi, kesehatan berbasis biodiversitas Indonesia, analisis dan lingkungan, serta *wearable device*. Selain memenuhi kebutuhan masyarakat, pengembangan nanoteknologi yang tepat akan memberi sumbangsih pada keseimbangan ekologis demi keberlanjutan lingkungan.

Integrasi dan akselerasi riset dilakukan dengan kolaborasi riset berbagai pihak terkait (litbangjirap multidisiplin, pemerintah, dan industri) melalui pembentukan konsorsium dan pemanfaatan AI dan IoT secara optimal. Hasil riset berupa publikasi jurnal ilmiah, hak kekayaan intelektual (HKI), dan produk riset diharapkan dapat dirasakan dan berdampak bagi kemajuan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat, kemajuan ilmu pengetahuan, percepatan pertumbuhan ekonomi nasional, dan peningkatan daya saing bangsa dengan tetap mempertahankan kelestarian lingkungan.

VI. PENUTUP

Serat nano mempunyai nilai sangat strategis dalam pandangan sains, teknologi, dan ekonomi. Pengembangan serat nano multifungsi akan bergerak menjadi *intelligent* serat nano multifungsi di berbagai bidang, seperti bidang biomedis (bio-teknologi, kedokteran, obat-obatan), tekstil, energi, lingkungan (filtrasi air dan udara), teknologi pemisahan di industri, keamanan, dan *smart fashion* di masa depan. Riset serat nano diperkirakan akan terus berkembang dengan memanfaatkan sumber daya alam, biodiversitas Indonesia, dan limbah daur ulang. Pemanfaatan *internet of things* (IoT) dan *artificial intelligence* (AI) akan mempercepat perkembangan riset serat nano serta pengembangan aplikasi dan proses produksinya. Kebijakan dan penelitian untuk mendaur ulang serat nano yang sudah dipakai perlu dikembangkan lebih jauh sehingga mendukung kebijakan ekonomi sirkular.

Untuk akselerasi riset dan hilirisasi riset serat nano, saya merekomendasikan pemerintah untuk membangun ekosistem konsorsium riset tematik yang mewadahi para peneliti, akademisi, industri, dan pemerintah sehingga terjadi kolaborasi yang efektif dan efisien serta mempermudah terwujudnya kolaborasi internasional.

Dengan adanya ekosistem riset serat nano yang dibangun pemerintah, diharapkan dapat dihasilkan riset berupa publikasi

karya tulis ilmiah yang berkualitas dan hak kekayaan intelektual (HKI) yang dimanfaatkan oleh industri. Tidak hanya itu, produk riset dapat digunakan oleh masyarakat dan berdampak bagi kemajuan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat, kemajuan ilmu pengetahuan, percepatan pertumbuhan ekonomi nasional, dan peningkatan daya saing bangsa, serta mendukung kelestarian lingkungan.

VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucapkan syukur ke hadirat Allah Swt. dan dengan izin-Nya, saya dapat menyampaikan orasi ini. Terima kasih saya sampaikan kepada Presiden Republik Indonesia atas penetapan diri saya menjadi Peneliti Ahli Utama setelah selama ini menjalani karier sebagai peneliti.

Pertama-tama, saya ingin menyampaikan puji syukur kepada Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua. Terima kasih saya sampaikan kepada Presiden Republik Indonesia menjabat, Jenderal TNI (Purn.) Prabowo Subianto dan Presiden RI terdahulu, Ir. H. Joko Widodo, atas penetapan sebagai Peneliti Ahli Utama di Badan Riset dan Inovasi Nasional; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko; dan Wakil Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, ST., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN. Eng. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Gadis Sri Haryani serta Sekretaris Majelis Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D. Tidak lupa, saya mengucapkan terima kasih kepada tim penelaah naskah orasi, yaitu Prof. Dr. Rieke Yudianti, MSc., Prof. Dr. Setyo Purwanto, M.Eng., dan Prof. Dr. Syukri Arief, M.Sc.; Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.IP., M.A.; Kepala BOSDM-BRIN, Ratih Retno Wulandari,

S.Sos., M.Si; serta seluruh pihak terlibat dalam pelaksanaan pengukuhan Profesor Riset.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Theresia Sita Kusuma, M.Sc. (Universitas Andalas), Prof. Dr. Cynthia L. Radiman (Institut Teknologi Bandung), Prof. Dr. Akihiko Tanioka (Tokyo Institut of Technology), Prof. Dr. Masaya Kotaki (Kyoto Institute of Technology), dan seluruh guru yang sudah mendidik dan membimbing dalam agama serta ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang nanosains dan nanoteknologi.

Terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Rustamsyah (Alm.) dan Prof. Sumanto Imam Khasani (Alm.) yang sudah membimbing dalam penelitian di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

Terima kasih saya sampaikan kepada Kepala Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Dr. Andes Hamuraby Rozak; Kepala Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Dr. Ario Betha Juanssilfero, M.Sc.; teman-teman di Kelompok Riset Nanoteknologi Lingkungan dan alumni; Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Dr. Desak Galuh, Dr. Fitri Dara, Dr. Monna Rozana, Swasmi P, Ph.D, Leonard Fitri Wijaya, Ph.D, Nida Sopiah, M.Si., Dr. Arniati Labanni, Elsy Rachimi Chaldun, MT, Yanuar setiadi, M.Sc., Merita, M.Sc., Dr. Nurrahmi Handayani, Putri Putih Puspa Asri, M.T., Rana Ida Sugatri, M.Si., Rihlatul Adni, S.Si., Triannisa Rahmawati, M.Si., dan Asnan Rinovian, M.Si..

Terima kasih saya sampaikan kepada kolega dan kolaborator riset, Prof. Dr. Hidetoshi Matsumoto (Tokyo Institute of Technology), Prof. Dr. Muhamad Ali Zulfikar (ITB), Prof. Dr. Rukman Hertandi (ITB), Dr. Aep Fatah (ITB), Prof. Bambang Sunendar (ITB), Dr. Lia (ITB), Prof. Iman Rahayu (Unpad), Dr. Juliandri (Unpad), Prof. Safni (Unand), Prof. Syukri Arief (Unand), Prof. Dr. Saiful (USK), Prof. Rahmi (USK), Dr. Febriani (USK), dan Dr. Ervin Triwulandari (UIN Walisongo).

Terima kasih dan semoga Allah selalu merahmati dan memberkahi orang tua saya, Bapak Darakutni (Alm.) dan Ibu Fatimah (Almh.); saudara saya, Nurhasniwitti, Nazimuddin, Nurhayani, Zuldarnis, dan Ismail; istri saya tercinta, Reni Halida, S.S. yang selalu setia mendampingi dalam suka dan duka; serta anak-anak tercinta, Muhammad Ariby Abdul Aziz, Muhammad Ikram Shalahuddin, Sarah Hilma Rumaisha, dan Muhammad Faqih Asysyarief.

Terakhir, terima kasih saya sampaikan kepada panitia penyelenggara Orasi Pengukuhan Profesor Riset dan seluruh undangan sehingga acara ini dapat terselenggara dengan baik, lancar, dan penuh hikmat. Dengan mengucapkan alhamdulillah, saya akhiri orasi ilmiah ini. Terima kasih atas perhatian para hadirin semua dan mohon maaf atas kekurangan dan kekhilafan dalam menyampaikan orasi ilmiah ini.

Wa billaahittaufiq wal hidaayah.

Wassalaamualaikum wa rahmatullaahi wa barakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, B. F., **Nasir, M.**, Mozef, T., & Hertadi, R. (2023). Fabrication of physically crosslink Levan-lsbl-bk1/PVA electrospun nanofiber. *European Polymer Journal*, 195, 112237. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2023.112237>
- Adam, D. H., Suyani, H., **Nasir, M.**, Safni, S., & Nugraha, W. C. (2013). Adsorpsi Cu^{2+} menggunakan nanofiber polisulfon-FeOOH yang disintesis dengan metode elektrospinning. *Jurnal Litbang Industri*, 3(2), 101–108.
- Al-Kattan, A., Wichser, A., Zuin, S., Arroyo, Y., Golanski, L., Ulrich, A., & Nowack, B. (2014). Behavior of TiO_2 released from nano- TiO_2 -containing paint and comparison to pristine nano- TiO_2 . *Environmental Science & Technology*, 48(12), 6710–6718. <https://doi.org/10.1021/es5006219>
- An, Y., Kajiwar, T., Padermshoke, A., Van Nguyen, T., Feng, S., Mokudai, H., Masaki, T., Takigawa, M., Van Nguyen, T., Masunaga, H., Sasaki, S., & Takahara, A. (2023). Environmental degradation of nylon, poly(ethylene terephthalate) (PET), and poly(vinylidene fluoride) (PVDF) fishing line fibers. *ACS Applied Polymer Materials*, 5(6), 4427–4436. <https://doi.org/10.1021/acsapm.3c00552>
- Andrian, T., Delcanale, P., Pujals, S., & Albertazzi, L. (2021). Correlating super-resolution microscopy and transmission electron microscopy reveals multiparametric heterogeneity in nanoparticles. *Nano Letters*, 21(12), 5360–5368. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.1c01666>
- Arora, P., & Zhang, Z. J. (2004). Battery separators. *Chemical Reviews*, 104(10), 4419–4462. <https://doi.org/10.1021/cr020738u>

- Aziz, A., Tiwale, N., Hodge, S. A., Attwood, S. J., Divitini, G., & Welland, M. E. (2018). Core-shell electrospun polycrystalline ZnO nanofibers for ultra-sensitive NO₂ gas sensing. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(50), 43817–43823. https://doi.org/10.1021/ACSAMI.8B17149/SUPPL_FILE/AM8B17149_SI_001.PDF
- Chen, G., Li, Y., Bick, M., & Chen, J. (2020). Smart textiles for electricity generation. *Chemical Reviews*, 120(8), 3668–3720. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00821>
- Chen, Q., Zuo, X., Liang, H., Zhu, T., Zhong, Y., Liu, J., & Nan, J. (2019). A heat-resistant poly (oxyphenylene benzimidazole)/ethyl cellulose blended polymer membrane for highly safe lithium-ion batteries. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(1), 637–645. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b17374>
- Collias, D. I., James, M. I., & Layman, J. M. (2021). Introduction - circular economy of polymers and recycling technologies. In *ACS Symposium Series* (Vol. 1391, pp. 1–21). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2021-1391.ch001>
- Cséfalvay, E., & T. Horváth, I. (2018). Sustainability assessment of renewable energy in the United States, Canada, the European Union, China, and the Russian Federation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(7), 8868–8874. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01213>
- Danno, T., Matsumoto, H., **Nasir, M.**, Minagawa, M., Horibe, H., & Tanioka, A. (2009). PVDF/PMMA composite nanofiber fabricated by electrospray deposition: Crystallization of PVDF induced by solvent extraction of PMMA component. *Journal of Applied Polymer Science*, 112(4). <https://doi.org/10.1002/app.29644>
- Danno, T., Matsumoto, H., **Nasir, M.**, Shimizu, S., Minagawa, M., Kawaguchi, J., Horibe, H., & Tanioka, A. (2008). Fine structure of PVDF nanofiber fabricated by electrospray deposition. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 46(6). <https://doi.org/10.1002/polb.21391>

- Deng, W., Yang, T., Jin, L., Yan, C., Huang, H., Chu, X., Wang, Z., Xiong, D., Tian, G., Gao, Y., Zhang, H., & Yang, W. (2019). Cowpea-structured PVDF/ZnO nanofibers based flexible self-powered piezoelectric bending motion sensor towards remote control of gestures. *Nano Energy*, 55, 516–525. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.10.049>
- Erickson, E. M., Ghanty, C., & Aurbach, D. (2014). New Horizons for Conventional Lithium Ion Battery Technology. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 5(19), 3313–3324. <https://doi.org/10.1021/jz501387m>
- European Commission. (2015). *Definition - nanomaterials - environment - european commission*. http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/definition_en.htm
- Ganguly, S., & Sengupta, J. (2024). Graphene-based nanotechnology in the internet of things: A mini review. In *Discover Nano* (Vol. 19, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s11671-024-04054-0>
- Giam, X. (2017). Global biodiversity loss from tropical deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(23), 5775–5777. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706264114>
- Guo, Y., Wang, X., Shen, Y., Dong, K., Shen, L., & Alzabal, A. A. (2022). Research progress, models and simulation of electrospinning technology: a review. *Journal of Materials Science*, 57(1), 58–104. <https://doi.org/10.1007/S10853-021-06575-W/FIGURES/20>
- Handayani, N., Setiadi, Y., Sativa, S. O., Pinandita, A., Serunting, M. A., Triadhi, U., **Nasir, M.**, & Zulfikar, M. A. (2023). Tailored nanofibrous molecularly imprinted polymers for selective removal of di(2-ethylhexyl) phthalate: A computer-aided design and synthesis approach. *Journal of Water Process Engineering*, 55, 104112. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2023.104112>

- Hao, X., Zhu, J., Jiang, X., Wu, H., Qiao, J., Sun, W., Wang, Z., & Sun, K. (2016). Ultrastrong polyoxazole nanofiber membranes for dendrite-proof and heat-resistant battery separators. *Nano Letters*, 16(5), 2981–2987. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5b05133>
- Hartweg, B. (2017). Global implementation of renewable energy. In *ACS Symposium Series*. <https://doi.org/10.1021/bk-2017-1254.ch007>
- Hashemi, M. M., Nikfarjam, A., Hajghassem, H., & Salehifar, N. (2019). Hierarchical dense array of ZnO nanowires spatially grown on ZnO/TiO₂ nanofibers and their ultraviolet activated gas sensing properties. *The Journal of Physical Chemistry C*, 124(1), 322–335. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b07207>
- He, M., Zhang, X., Jiang, K., Wang, J., & Wang, Y. (2015). Pure inorganic separator for lithium ion batteries. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(1), 738–742. <https://doi.org/10.1021/am507145h>
- Hikam, M., Asri, P. P. P., Hamid, F. H., **Nasir, M.**, Sumboja, A., & Asri, L. A. T. W. (2024). Electrospun polyvinyl alcohol/chitin nanofiber membrane as a sustainable lithium ion battery separator. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* (Submitted).
- How to Integrate Nanotechnology with the Internet of Things (IoT)? (2024). <https://www.appliedtechnologyreview.com/news/how-to-integrate-nanotechnology-with-the-internet-of-things-iot-nwid-1381.html>
- Indriyati, Dara, F., Primadona, I., & **Nasir, M.** (2019). *Metode pembuatan nanofiber antibakteri berbasis polisulfon dan produk yang dihasilkannya* (Patent P00201910794).
- Indriyati, Munir, M. M., **Nasir, M.**, & Iskandar, F. (2022). Effect of post-treatment drying processes on the optical and photothermal properties of carbon nanodots derived via microwave-assisted method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1017(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1017/1/012009>

- Indriyati, Primadona, I., Permatasari, F. A., Irham, M. A., **Nasir, M.**, & Iskandar, F. (2021). Recent advances and rational design strategies of carbon dots towards highly efficient solar evaporation. *Nanoscale*, 13(16), 7523–7532. <https://doi.org/10.1039/D1NR00023C>
- Indriyati, Ramadhani, D. F. S., Permatasari, F. A., Munir, M. M., **Nasir, M.**, & Iskandar, F. (2024). Flexible Photothermal Membrane Based on PVA/Carbon Dot Hydrogel Films for High-Performance Interfacial Solar Evaporation. *ACS Applied Polymer Materials*, 6(11), 6726–6736. <https://doi.org/10.1021/acsapm.4c00996>
- Islamy R. T., & **Nasir, M.** (Pembimbing). (2023). *Sintesis carbonized polymer dots dari limbah jaring ikan dengan metode hydrothermal treatment* (Report).
- Jin, X., Li, Y., Li, W., Zheng, Y., Fan, Z., Han, X., Wang, W., Lin, T., & Zhu, Z. (2019). Nanomaterial design for efficient solar-driven steam generation. *ACS Applied Energy Materials*, 2(9), 6112–6126. https://doi.org/10.1021/ACSAEM.9B00934/ASSET/IMAGES/MEDIUM/AE9B00934_0011.GIF
- Judkins, R. R., Fulkerson, W., & Sanghvi, M. K. (1993). The dilemma of fossil fuel use and global climate change. *Energy and Fuels*, 7(1), 14–22. https://doi.org/10.1021/EF00037A004/ASSET/EF00037A004.FP.PNG_V03
- Kagan, C. R., Fernandez, L. E., Gogotsi, Y., Hammond, P. T., Hersam, M. C., Nel, A. E., Penner, R. M., Willson, C. G., & Weiss, P. S. (2016). Nano day: Celebrating the next decade of nanoscience and nanotechnology. *ACS Nano*, 10(10), 9093–9103. <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b06655>
- Kamble, P., Sadarani, B., Majumdar, A., & Bhullar, S. (2017). Nanofiber based drug delivery systems for skin: A promising therapeutic approach. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 41, 124–133. <https://doi.org/10.1016/J.JDDST.2017.07.003>

- Khairunissa, M. (2016). *Sintesis dan karakterisasi komposit nanofiber selulosa asetat–nanopartikel perak sebagai aplikasi wound dressing*. Universitas Airlangga.
- Khayan, K., Anwar, T., Wardoyo, S., & Puspita, W. L. (2019). Active carbon respiratory masks as the adsorbent of toxic gases in ambient air. *Journal of Toxicology*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5283971>
- Kim, M., Kim, S., Seong, Y. C., Yang, K. H., & Choi, H. (2021). Multiwalled carbon nanotube buckypaper/polyacrylonitrile nanofiber composite membranes for electromagnetic interference shielding. *ACS Applied Nano Materials*, 4(1), 729–738. https://doi.org/10.1021/ACSANM.0C03040/SUPPL_FILE/AN0C03040_SI_001.PDF
- Labbani, A., Arief, S., & Nasir, M. (2023). Research progress and prospect of copper oxide nanoparticles with controllable nanostructure, morphology, and function via green synthesis. *Materials Today Sustainability*, 24, 100526.
- Lampitt, R. S., Fletcher, S., Cole, M., Kloker, A., Krause, S., O'Hara, F., Ryde, P., Saha, M., Voronkova, A., & Whyte, A. (2023). Stakeholder alliances are essential to reduce the scourge of plastic pollution. In *Nature Communications* (Vol. 14, Issue 1). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38613-3>
- Lembaran Negara Republik Indonesia Peraturan Presiden Republik Indonesia. (2018). www.peraturan.go.id
- Li, Y., Zhu, J., Cheng, H., Li, G., Cho, H., Jiang, M., Gao, Q., & Zhang, X. (2021). Developments of advanced electrospinning techniques: A critical review. *Advanced Materials Technologies*, 6(11), 1–29. <https://doi.org/10.1002/admt.202100410>
- Lou, L., Osemwegie, O., & S. Ramkumar, S. (2020). Functional nanofibers and their applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(13), 5439–5455. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b07066>

- Lu, T., Cui, J., Qu, Q., Wang, Y., Zhang, J., Xiong, R., Ma, W., & Huang, C. (2021). Multistructured electrospun nanofibers for air filtration: A review. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 13(20), 23293–23313. doi: 10.1021/acsami.1c06520
- Mai, L., Xu, L., Han, C., Xu, X., Luo, Y., Zhao, S., & Zhao, Y. (2010). Electrospun ultralong hierarchical vanadium oxide nanowires with high performance for lithium ion batteries. *Nano Letters*, 10(11), 4750–4755. <https://doi.org/10.1021/nl103343w>
- Majd, S. A., Rabbani Khorasgani, M., Moshtaghian, S. J., Talebi, A., & Khezri, M. (2016). Application of Chitosan/PVA Nano fiber as a potential wound dressing for streptozotocin-induced diabetic rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 1162–1168. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.035>
- Manthiram, A. (2017). An outlook on lithium ion battery technology. *ACS Central Science*, 3(10), 1063–1069. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.7b00288>
- Mas-Ballesté, R., Gómez-Navarro, C., Gómez-Herrero, J., & Zamora, F. (2011). 2D materials: To graphene and beyond. *Nanoscale*, 3(1), 20–30. <https://doi.org/10.1039/c0nr00323a>
- Mathur, K. (2020, May). *New developments in fibers*. Yarns & Fabrics
- Mauter, M. S., & Elimelech, M. (2008). Environmental applications of carbon-based nanomaterials. *Environmental Science and Technology*, 42(16), 5843–5859. <https://doi.org/10.1021/es8006904>
- Nagar, A., & Pradeep, T. (2020). Clean water through nanotechnology: Needs, gaps, and fulfillment. *ACS Nano*, 14(6), 6420–6435. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b01730>
- Naghdi, T., Golmohammadi, H., Yousefi, H., Hosseini-fard, M., Kostiv, U., Horák, D., & Merkoçi, A. (2020). Chitin nanofiber paper toward optical (bio)sensing applications. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 12(13), 15538–15552. DOI: 10.1021/acsami.9b23487

- Nasir, M., & Apriani, D. (2017a).** Synthesis and property of Ag (NP)/ catechin/gelatin nanofiber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 293(1), 12004.
- Nasir, M., & Apriani, D. (2017b).** Synthesis of Catechin-Gelatin Nanofiber by Electrospinning. *Materials Science Forum*, 887, 96–99. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.887.96>
- Nasir, M., & Apriani, D. (2018).** Synthesis and Property of Ag(NP)/ catechin/Gelatin Nanofiber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 293(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/293/1/012004>
- Nasir, M., & Sugatri, R. I. (2020).** Preparation and Structures of Carbon-Copper Oxide Nanofibers from Electrospun Polyacrylonitrile Composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 924(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/924/1/012019>
- Nasir, M., & Kotaki, M. (2009).** Fabrication of aligned piezoelectric nanofiber by electrospinning. *International Journal of Nanoscience*, 8(3), 231–235. <https://doi.org/10.1142/S0219581X090006092>
- Nasir, M., & Rahmawati, A. T. (2023).** *Nanofiber sebagai penyerap volatile organic compound (VOC) diudara dan metodenya* (patent, submitted).
- Nasir, M., & Rahmawati, T. (2023).** *Nanofiber sebagai passive sampling partikulat diudara dan metodenya* (Patent, submitted).
- Nasir, M., Adni, R., & Primadona, I. D. (2019).** *Metode pembuatan nanofiber komposit polivinil alkohol-kuantum karbon dot dan produk yang dihasilkannya* (Patent P00201906447).
- Nasir, M., Adni, R., Chaldun, E, R., Dara, F., & Syampurwadi, A. (2019).** *Nanoviber komposit polivinil alkohol-carbon black-Fe₂O₃-CuO-Kitin* (Patent P00201910957).

- Nasir, M.,** Asri, P. P. P., Prihandoko, B., Subhan, A., & Sugatri, R. I. (2019). *Metode pembuatan nanofiber kopolimer tiga lapis dan karakteristik produk yang dihasilkannya untuk aplikasi separator baterai* (Nomor Paten P00201910959).
- Nasir, M.,** Asri, P. P. P., & Sugatri, R. I. (2020). Electrospun SiO₂/PVDF copolymer composite nanofiber: Effect of SiO₂ content on nanostructure, morphology, and thermal property. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1), 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012060>
- Nasir, M.,** Handayani, N., & Aji, E. S. (2024). *Komposit nanofiber copoliviniliden fluoride mengandung carbon black untuk membran filtrasi air (submitted)*.
- Nasir, M.,** Juliandri, & Prihandoko, B. (2015). Fabrication of SiO₂-TiO₂/PVDF copolymer nanofiber composite by electrospinning process. *Procedia Chemistry*, 16, 184–189. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.034>
- Nasir, M.,** Matsumoto, H., Danno, T., Minagawa, M., Irisawa, T., Shioya, M., & Tanioka, A. (2006). Control of diameter, morphology, and structure of PVDF nanofiber fabricated by electrospray deposition. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 44(5), 779–786. <https://doi.org/10.1002/POLB.20737>
- Nasir, M.,** Matsumoto, H., Minagawa, M., Tanioka, A., & Danno, T. (2005). Control of diameter, morphology and structure of PVDF nanofiber fabricated by Electro spray deposition (ESD). *Polymer Preprints, Japan*, 54(2).
- Nasir, M.,** Matsumoto, H., Minagawa, M., Tanioka, A., Danno, T., & Horibe, H. (2007). Preparation of porous PVDF nanofiber from PVDF/PVP blend by electrospray deposition. *Polymer Journal*, 39(10). <https://doi.org/10.1295/polymj.PJ2007037>

- Nasir, M.**, Matsumoto, H., Minagawa, M., Tanioka, A., Danno, T., & Horibe, H. (2009). Preparation of PVDF/PMMA blend nanofibers by electrospray deposition: Effects of blending ratio and humidity. *Polymer Journal*, 41(5), 402–406. <https://doi.org/10.1295/polymj.PJ2008171>
- Nasir, M.**, Pudjiraharti, S., Ardeniswan, Dara, F., Rahmawati, T., Primadona, I., & Chaldun, E. R. (2018). *Metode Pembuatan Nanofiber PVDF-HFP Komposit*.
- Nasir, M.**, Rahmawati, T., Ardeniswan, Dara, F., & Andayani, D. G. S. (2019). *Metode pembuatan nanofiber kopolimer PVDF/Rgo/SnO₂ secara langsung dan pelapisan serta produk yang dihasilkan* (Nomor Paten P00201906449).
- Nasir, M.**, Rahmawati, T., Pudjiraharti, S., Ardeniswan; Dara, F., Primadona, I., & Chaldun, E. R. (2019). *Metode pembuatan nanofiber kopolimer PVDF/RGO dalam n,n-dimetilasetamida dan produk yang dihasilkan*.
- Nasir, M.**, Rihlatul, A., Chaldun, E. R., Dara, F., & Syampurwadi, A. (2019). *Nanofiber komposit polivinil alkohol-carbon black-Fe₂O₃-CuO-kitin*. (Nomor Paten P00201910957).
- Nasir, M.**, Rinovian, A., Chaldun, E. R., & Rozana, M. (2023). *Metode pembuatan nanofiber nilon/TiO₂ untuk fotodegradasi senyawa organik dan produk yang dihasilkannya* (Nomor Paten P00202309789).
- Nasir, M.**, Saksono, B., Aini, Y. H., Dara, F., Risdian, C., Rozana, M., Eriska, H., Munawar, S. S., Satoto, R., Sugatri, R. I., & Adni, R. (2020). *Pembuatan nanomasker untuk proteksi udara tercemar* (Report).
- Nasir, M.**, Shofyani, A., Sugatri, R. I., & Ratnasari, P. (2019). *Pembuatan komposit nanokaolin/Fe₂O₃ menggunakan radiasi gelombang mikro dan produk yang dihasilkannya* (P00201905992 (IDP000078892)).

- Nasir, M.**, Subhan, A., Prihandoko, B., & Lestariningsih, T. (2017). Nanostructure and property of electrospun sio₂-cellulose acetate nanofiber composite by electrospinning. *Energy Procedia*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.133>
- Nasir, M.**, Sugatri, R. I., & Agustini, D. M. (2019). Surface modification of PVDF copolymer nanofiber by chitosan/Ag (NP)/nanosilica composite. *International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*, 225–230.
- Nasir, M.**, Sugatri, R. I., Asri, P. P. P., Dara, F., & Ardeniswan. (2018). Nanostructure and surface characteristic of electrospun carbon black/PVDF copolymer nanocomposite. *Epitoanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 70(6), 209–213. <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2018.36>
- Nasir, M.**, Sugatri, R. I., Ardeniswan, & Indriyati. (2019). *Komposisi dan metode pembuatan membran filter berbasis karbon aktif komposit termodifikasi elektrospon nanofiber* (Nomor Paten P00201910958).
- Nasir, M.**, Sugatri, R. I., Indriyati, Chaldun, E. R. (2019). *Metode pembuatan nanofiber pva/zno/grafena komposit dan produk yang dihasilkan* (Nomor Paten P00201906825). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual. https://www.dgip.go.id/uploads/berita_resmi/file/6b5b98bf1080a4e3092646fd1bc14a8d.pdf
- Nasir, M.**, Tjandrawati, Labbani, A., & Adni, R. (2023). *Metode pembuatan nanofiber komposit polikaprolakton dragons blood dan produk yang dihasilkan* (patents, submitted).
- New Developments in Fibers, Yarns & Fabrics | Textile World. (n.d.). Retrieved 28 March 2024, from <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2020/05/new-developments-in-fibers-yarns-fabrics/>

- Park, S.H., Lee, H. B., Yeon, S. M., Park, J., & Lee, N. K. (2016). Flexible and stretchable piezoelectric sensor with thickness-tunable configuration of electrospun nanofiber mat and elastomeric substrates. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(37), 24773–24781. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b07833>
- Perera, F. (2018). Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: Solutions exist. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 15, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/ijerph15010016>
- Pokrajac, L., Abbas, A., Chrzanowski, W., Dias, G. M., Eggleton, B. J., Maguire, S., Maine, E., Malloy, T., Nathwani, J., Nazar, L., Sips, A., Sone, J., Van Den Berg, A., Weiss, P. S., & Mitra, S. (2021). Nanotechnology for a sustainable future: Addressing global challenges with the international network4sustainable nanotechnology. *ACS Nano*, 15(12), 18608–18623. <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c10919>
- Richman, E. K., & Hutchison, J. E. (2009). The nanomaterial characterization bottleneck. *ACS Publications*, 3(9), 2441–2446.
- Rinovian, A., **Nasir, M.** P. S. D. fitri; A. M. Z. M. A. N. R. Moch. S. (2022). *Metode pembuatan nanofiber komposit pvdf-hfp/mgo dan produk yang dihasilkannya serta aplikasinya sebagai adsorben arsenik.*
- Risdian, C., Nasir, M., Rahma, A., & Rachmawati, H. (2015). The influence of formula and process on physical properties and the release profile of PVA/BSA nanofibers formed by electrospinning technique. *Journal of Nano Research*, 31, 103–116.
- Sativa, S. O., Zulfikar, M. A., Suryandari, E. T., & **Nasir, M.** (2020). *The activity of PVDF-TiO₂/ZnO/CoO nanofiber photocatalyst for degradation of humic acid solution.*

- Satriawan, N. E., Khotib, J., **Nasir, M.**, & Zaidan, A. H. (2022). Fabrication and characterization of ibuprofen and ceftriaxone loaded electrospun cellulose acetate nanofiber layers as a model of targeted drug delivery system. *ALCHEMY: Journal of Chemistry*, 10(2), 84–91. <https://doi.org/10.18860/AL.V10I2.15502>
- Satriawan, N. E., **Nasir, M.**, & Ilhami, F. B. (2022). Synthesis and characterization of cellulose–curcumin nanofiber as a biomaterial mask. *Walisongo Journal of Chemistry*, 5(1), 67–74.
- Schaming, D., & Remita, H. (2015). Nanotechnology: from the ancient time to nowadays. *Foundations of Chemistry*, 17(3), 187–205. <https://doi.org/10.1007/s10698-015-9235-y>
- Silva, M. L. A. D., Martins, A., Costa-Pinto, A. R., Costa, P., Faria, S., Gomes, M., Reis, R. L., & Neves, N. M. (2010). Cartilage tissue engineering using electrospun PCL nanofiber meshes and MSCs. *Biomacromolecules*, 11(12), 3228–3236. doi: 10.1021/bm100476r.
- Sugatri, R. I. (2022). *Synthesis and characterization of nanofiber composite Fe-CuBTC/PVDF copolymer and its potensial as CO₂ gas adsorbent*. ITB.
- Sugatri, R. I., Wirasadewa, Y. C., Saputro, K. E., Muslih, E. Y., Ikono, R., & **Nasir, M.** (2018). Recycled carbon black from waste of tire industry: thermal study. *Microsystem Technologies*, 24(1). <https://doi.org/10.1007/s00542-017-3397-6>
- Suryandari, E. T., Mukti, R. R., & **Nasir, M.** (2019). Preparation and characterization of poly (methyl methacrylate) (PMMA) fibers by electrospinning. In *Key Engineering Materials* (Vol. 811).
- Talebian, S., Rodrigues, T., Das Neves, J., Sarmiento, B., Langer, R., & Conde, J. (2021). Facts and figures on materials science and nanotechnology progress and investment. *ACS Nano*, 15(10), 15940–15952. doi: 10.1021/acsnano.1c03992
- Rintelen, K., Arida, E., & Häuser, C. (2017). A review of biodiversity-related issues and challenges in megadiverse Indonesia and other Southeast Asian countries. *Research Ideas and Outcomes*, 3. <https://doi.org/10.3897/rio.3.e20860>

- Wang, Q. (2023). *Reexamining the impact of foreign direct investment on carbon emissions: does per capita GDP matter?* 2023, 1–18. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01895-5>
- Wang, Z., Guo, F., Chen, C., Shi, L., Yuan, S., Sun, L., & Zhu, J. (2015). Self-assembly of PEI/SiO₂ on polyethylene separators for li-ion batteries with enhanced rate capability. *ACS Applied Materials & Interfaces* 2015, 7(5), 3314–3322
- Wang, X., Li, Z., Shi, J., & Yu, Y. (2014). One-dimensional titanium dioxide nanomaterials: Nanowires, nanorods, and nanobelts. *Chemical Reviews*, 114(19), 9346–9384. <https://doi.org/10.1021/cr400633s>
- Wang, Z., Li, Z., Jiang, T., Xu, X., & Wang, C. (2013). Ultrasensitive hydrogen sensor based on Pd⁰-Loaded SnO₂ electrospun nanofibers at room temperature. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5(6), 2013–2021. <https://doi.org/10.1021/am3028553>
- Wardhani, R. A. K., Asri, L., **Nasir, M.**, & Purwasasmita, B. S. (2019). Preparation of chitosan-polyethylene oxide-Colocasia esculenta flour nanofibers using electrospinning method. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology (JMEST)*, 3(1), 1–7.
- WHO links 7 million deaths to particulate pollution.* (n.d.). Retrieved 28 March 2024, from <https://airqualitynews.com/health/who-links-7-million-deaths-to-particulate-pollution/>
- Wicaksono, R., Syamsu, K., Yuliasih, I., & **Nasir, M.** (2013). *Cellulose nanofibers from cassava bagasse: Characterization and application on tapioca-film.* www.iiste.org
- Wound Dressing Market Size, Share & Trends Report, 2030.* (n.d.). Retrieved 26 February 2024, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wound-dressing-market>

- Xiao, M., Chery, J., & W. Frey, M. (2018). Functionalization of Electrospun Poly(vinyl alcohol) (PVA) Nanofiber Membranes for Selective Chemical Capture. *ACS Applied Nano Materials*, 1(2), 722–729. <https://doi.org/10.1021/acsnm.7b00180>
- Xue, J., Wu, T., Dai, Y., & Xia, Y. (2019). Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications. *Chemical Reviews*, 119(8), 5298–5415. doi: 10.1021/acs.chemrev.8b00593
- Yang, A., Cai, L., Zhang, R., Wang, J., Hsu, P.-C., Wang, H., Zhou, G., Xu, J., & Cui, Y. (2017). Thermal management in nanofiber-based face mask. *Nano Letters*, 17(6), 3506–3510. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.7b00579>
- Zhang, J., Liu, Z., Kong, Q., Zhang, C., Pang, S., Yue, L., Wang, X., Yao, J., & Cui, G. (2012). Renewable and superior thermal-resistant cellulose-based composite nonwoven as lithium-ion battery separator. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5(1), 128–134. <https://doi.org/10.1021/am302290n>
- Zhuang, X., Cheng, B., Kang, W., & Xu, X. (2010). Electrospun chitosan/gelatin nanofibers containing silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 524–527. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.085>
- Zulfi, A., Hartati, S., Nur'aini, S., Noviyanto, A., & **Nasir, M.** (2023). Electrospun nanofibers from waste polyvinyl chloride loaded silver and titanium dioxide for water treatment applications. *ACS Omega*, 8(26), 23622–23632. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01632>
- Zulfikar, M. A., Afrianingsih, I., & **Nasir, M.** (2017). Kinetics adsorption of humic acid from water onto PVDF nanofiber. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 8(3), 175–178.

- Zulfikar, M. A., Bahri, A., & **Nasir, M.** (2017). *Adsorption of humic acid from aqueous solution onto PMMA nanofiber: Kinetics study.*
- Zulfikar, M. A., Bahri, A., & **Nasir, M.** (2018). Study of humic acid adsorption equilibrium on dual nanofiber PMMA/PVDF. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, 3(1), 13–18.
- Zulfikar, M. A., Afrianingsih, I., Bahri, A., **Nasir, M.**, Alni, A., & Setiyanto, H. (2018). Removal of humic acid from aqueous solution using dual PMMA/PVDF composite nanofiber: kinetics study. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1), 12202.
- Zulfikar, M. A., Afrianingsih, I., **Nasir, M.**, & Alni, A. (2018). Effect of processing parameters on the morphology of PVDF electrospun nanofiber. *Journal of Physics: Conference Series*, 987(1), 12011.
- Zulfikar, M. A., Afrianingsih, I., **Nasir, M.**, & Handayani, N. (2017). Fabrication of a nanofiber membrane functionalized with molecularly imprinted polymers for humic acid removal from peat water. *Desalination and Water Treatment*, 97, 203–212.
- Zulfikar, M. A., Bahri, A., Setiyanto, H., & **Nasir, M.** (2017). Adsorption of methyl orange from aqueous solution onto PMMA nanofiber: Kinetics study. *AIP Conference Proceedings*, 1858. <https://doi.org/10.1063/1.4989945>
- Zulfikar, M. A., Irnamera, D., & **Nasir, M.** (2019). Kinetics of humic acids photodegradation in aqueous solution using TiO₂/ ZnO/Co composite photocatalyst. *Materials Science Forum*, 962, 117–121.
- Zulfikar, M. A., Maulina, D., **Nasir, M.**, Handayani, N., & Handajani, M. (2020). Removal of methylene blue from aqueous solution using poly (acrylic acid)/SiO₂ and functionalized poly (acrylic acid)/SiO₂ composite nanofibers. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100381.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Jurnal Internasional

1. Indriyati, Ramadhani, D. F. S., Permatasari, F. A., Munir, M. M., **Nasir, M.**, & Iskandar, F. (2024). Flexible Photothermal Membrane Based on PVA/Carbon Dot Hydrogel Films for High-Performance Interfacial Solar Evaporation. *ACS Applied Polymer Materials*.
2. Handayani, N., Setiadi, Y., Sativa, S. O., Pinandita, A., Serunting, M. A., Triadhi, U., **Nasir, M.**, & Zulfikar, M. A. (2023). Tailored nanofibrous molecularly imprinted polymers for selective removal of di(2-ethylhexyl) phthalate: A computer-aided design and synthesis approach. *Journal of Water Process Engineering*, 55, 104112.
3. Labanni, A., **Nasir, M.**, & Arief, S. (2023). Research progress and prospect of copper oxide nanoparticles with controllable nanostructure, morphology, and function via green synthesis. *Materials Today Sustainability*, 24, 100526.
4. Zulfi A, Hartati S, Nur'aini S, Noviyanto A, **Nasir M**. Electrospun Nanofibers from Waste Polyvinyl Chloride Loaded Silver and Titanium Dioxide for Water Treatment Applications. *ACS Omega*, 2023;8(26): 23622–23632
5. Rijal MS, **Nasir M**, Purwasasmita BS, Asri LATW. Cellulose Nanocrystals-Microfibrils Biocomposite with Improved Membrane Performance. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2023: 100326
6. Khoerunnisa F, Sihombing M, Nurhayati M, Dara F, Triadi HA, **Nasir M**, et al. Poly(ether sulfone)-based ultrafiltration membranes using chitosan/ammonium chloride to enhance permeability and antifouling properties. *Polym J*. 2022;54(4):525–37.

7. Sativa SO, Zulfikar MA, Suryandari ET, **Nasir M**. Effect of Composite Composition in Nanofiber for Degradation of Humic Acid Solution. In: Advanced Materials Research. Trans Tech Publications Ltd; 2021. p. 87–92.
8. Primadona I, Permatasari FA, Irham MA, **Nasir M**, Iskandar F. Recent advances and rational design strategies of carbon dots towards highly efficient solar evaporation. *Nanoscale*. 2021;13(16):7523–32.
9. Khoerunnisa F, Kulsum C, Dara F, Nurhayati M, Nashrah N, Fatimah S, **Nasir M**, Toughened chitosan-based composite membranes with antibiofouling and antibacterial properties via incorporation of benzalkonium chloride. *RSC Adv*. 2021;11(27):16814–22.
10. Khoerunnisa F, Nurhayati M, Dara F, Rizki R, **Nasir M**, Aziz HA, et al. Physicochemical properties of TPP-crosslinked chitosan nanoparticles as potential antibacterial agents. *Fibers Polym*. 2021;22(11):2954–64.
11. Khoerunnisa F, Yolanda YD, Nurhayati M, Zahra F, **Nasir M**, Opaprakasit P, et al. Ultrasonic Synthesis of Nanochitosan and Its Size Effects on Turbidity Removal and Dealkalization in Wastewater Treatment. *Inventions*. 2021;6(4):98.
12. Saepudin E, **Nasir M**. The Effect of Extrusion Voltage and Flowrate to the Viability and Survivability of Probiotic *L. casei* Encapsulated in Alginate-Chitosan. *Asian J Appl Sci*. 2021;9(3).
13. Saepudin E, **Nasir M**. Microencapsulation of Probiotic *Lactobacillus casei* based on Alginate and Chitosan Materials. *Asian J Appl Sci*. 2021;9(2).
14. Saepudin E, **Nasir M**. The Effect of Alginate, Chitosan, and Nano Chitin as Encapsulation Materials of *L. casei* Probiotic Bacteria:. *Asian J Appl Sci*. 2021;9(3).
15. Zulfikar MA, Maulina D, **Nasir M**, Handayani N, Handayani M. Removal of methylene blue from aqueous solution using poly (acrylic acid)/SiO₂ and functionalized poly (acrylic acid)/SiO₂ composite nanofibers. *Environ Nanotechnology, Monit Manag*. 2020;14:100381.

16. Sativa SO, Zulfikar MA, Suryandari ET, **Nasir M**. The Activity of PVDF-TiO₂/ZnO/CoO Nanofiber Photocatalyst for Degradation of Humic Acid Solution. 2020;
17. Zulfikar MA, Maulina D, **Nasir M**, Alni A, Zunita M, Zen IS, et al. Poly (acrylic acid)/SiO₂ composite nanofiber functionalized with mercapto groups for the removal of humic acid from aqueous solution. *Desalin Water Treat.* 2019;141:115–23.
18. 18. Juliandri, Rukiah, **Nasir M**, Rubianto A. Lubis AN. Synthesis and Characterization of Sulfonated PVDF TiO₂-Natural Zeolite Nanocomposites Membrane. *Key Eng Mater.* 2019;811.
19. E.T. Suryandari R.R. Mukti and **M. Nasir MAZ**. Preparation and Characterization of Poly(Methyl Methacrylate) (PMMA) Fibers by Electrospinning. In: *Key Engineering Materials*. 2019.
20. M.A. Zulfikar H. Setiyanto and **Muhamad Nasir DM**. Adsorption of Humic Acid from Aqueous Solution onto PAA Nanofiber: Thermodynamic Study. *Key Eng Mater.* 2019;811.
21. **Muhamad Nasir**, Muhammad Ali Zulfikar DI. Kinetics of Humic Acids Photodegradation in Aqueous Solution Using TiO₂/ ZnO/ Co Composite Photocatalyst. In: *Materials Science Forum*. 2019.
22. Wardhani RAK, Asri L, **Nasir M**, Purwasasmita BS. Preparation of chitosan-polyethylene oxide-Colocasia esculenta flour nanofibers using electrospinning method. *J Mech Eng Sci Technol.* 2019;3(1):1–7.
23. Juliandri J, Rukiah R, Ernawati EE, Handika RS, **Nasir M**. Nanocomposite sulfonated PVDF-TiO₂ membranes as a potential alternative for nafion. *World Sci News.* 2018;107:150–9.
24. **Nasir M**, Sugatri RI, Asri P, Putih P, Dara F. Nanostructure and Surface Characteristic of Electrospun Carbon Black/PVDF Copolymer Nanocomposite. *Ep Silic Based Compos Mater.* 2018;70(6).
25. Juliandri J, Rukiah R, Ernawati EE, Silitonga MPR, **Nasir M**. Synthesis and characterization of nanocomposite sulfonated PVDF membrane. *World Sci News.* 2018;105:218–24.

26. Zulfikar MA, Afrianingsih I, **Nasir M**. Kinetics Adsorption of Humic Acid from Water onto PVDF Nanofiber. *Int J Chem Eng Appl*. 2017;8(3):175–8.
27. Zulfikar MA, Bahri A, **Nasir M**. Adsorption of Humic Acid from Aqueous Solution onto PMMA Nanofiber: Kinetics Study. 2017;
28. Zulfikar MA, Afrianingsih I, **Nasir M**, Handayani N. Fabrication of a nanofiber membrane functionalized with molecularly imprinted polymers for humic acid removal from peat water. *Desalin Water Treat*. 2017;97:203–12.
29. Suryandari ET, Zulfikar MA, **Nasir M**. Kinetics Study of Cd^{2+} and Zn^{2+} Metal Ion Adsorption Using Zeolite 4A. *J Nat Sci Math Res*. 2017;3(2):258–61.
30. Risdian C, **Nasir M**, Rahma A, Rachmawati H. The influence of formula and process on physical properties and the release profile of PVA/BSA nanofibers formed by electrospinning technique. In: *Journal of Nano Research*. Trans Tech Publications Ltd; 2015. p. 103–16.
31. Risdian C, Rachmawati H, **Nasir M**. Preparation of Electrospun Poly (Vinyl Alcohol) Nanofibers for Ultrafast Release of Protein. *Res Dev Nanotechnol Indones*. 2014;1(3):91–4.
32. Wicaksono R, Syamsu K, Yuliasih I, **Nasir M**, Street K. Cellulose nanofibers from cassava bagasse: Characterization and application on tapioca-film. *Cellulose*. 2013;3(13):79–87.
33. Kurniawan D, Adhi P, **Nasir M**. Design and development of a control system for nanofiber electrospinning. *J Mechatronics, Electr Power, Veh Technol*. 2013;4(2):65–74.
34. **Nasir M**, Matsumoto H, Minagawa M, Tanioka A, Danno T, Horibe H. Preparation of PVDF/PMMA blend nanofibers by electrospray deposition: effects of blending ratio and humidity. *Polym J*. 2009;41(5):402–6.
35. **Muhamad Nasir** and Masaya Kotaki, Fabrication of Aligned Piezoelectric Nanofiber by Electrospinning, *International Journal of Nanosciences* , *Int. J. Nanosci*. 08, 231 (2009)

36. Danno T, Matsumoto H, **Nasir M**, Shimizu S, Minagawa M, Kawaguchi J, et al. Fine structure of PVDF nanofiber fabricated by electrospray deposition Part B Polymer physics. 2008;
37. **Nasir M**, Matsumoto H, Minagawa M, Tanioka A, Danno T, Horibe H. Formation of β -phase crystalline structure of PVDF nanofiber by electrospray deposition: Additive effect of ionic fluorinated surfactant. Polym J. 2007;39(7):670–4.
38. **Nasir M**, Matsumoto H, Minagawa M, Tanioka A, Danno T, Horibe H. Porous Material: Process Technology and applications Porous Material: Process Technology and applications, 1998. Polym J. 2007;39(10):1060–4.
39. **Nasir M**, Matsumoto H, Minagawa M, Tanioka A, Danno T, Horibe H. the series of the natural science and engineering the series of the natural science and engineering 41, 77, 2001. Polym J. 2007;39(10):1060–4.
40. **Nasir M**, Matsumoto H, Minagawa M, Tanioka A, Danno T, Horibe H. J. Biomed. Nanotechnol. J. Biomed. Nanotechnol. 1, 115, 2006. Polym J. 2007;39(7):670–4.
41. **Muhamad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto Tetsuya Danno Mie Minagawa Toshihira Irisawa Masatoshi Shioya, Akihiko Tanioka, Control of diameter, morphology, and structure of PVDF nanofiber fabricated by electrospray deposition. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics 2006, 44, (5), 779-786
42. **Muhamad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto, Mie Minagawa, Akihiko Tanioka, Tetsuya Danno, and Hideo Horibe, Formation of β -phase crystalline structure of PVDF nanofiber by electrospray deposition: additive effect of ionic fluorinated surfactant
43. **Muhamad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto, Mie Minagawa, Akihiko Tanioka, Tetsuya Danno, and Hideo Horibe, Preparation of porous PVDF nanofiber by electrospray deposition, Polymer Journal 2007, 39, 1060-1064
44. **Muhamad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto¹, Mie Minagawa¹, Akihiko Tanioka¹, Tetsuya Danno² and Hideo Horibe, Preparation of PVDF/PMMA Blend Nanofibers by Electrospray Deposition: Effects of Blending Ratio and Humidity, Polymer Journal (2009) 41, 402–406

45. **Muhamad Nasir** and Masaya Kotaki, Fabrication of Aligned Piezoelectric Nanofiber by Electrospinning, International Journal of Nanosciences , Int. J. Nanosci. 08, 231 (2009)
46. Zulfikar MA, Bahri A, **Nasir M.** Study of Humic Acid Adsorption Equilibrium on Dual Nanofiber PMMA/PVDF. JKPK (Jurnal Kim dan Pendidik Kim. 3(1):13–8.

Jurnal Nasional (Bahasa Inggris)

47. Satriawan NE, **Nasir M**, Ilhami FB. Synthesis and Characterization of Cellulose–Curcumin Nanofiber as a Biomaterial Mask. Walisongo J Chem. 2022;5(1):67–74.
48. Marniza E, **Nasir M.** Effect of bentonite as filler in composite membrane performance polyvinylidene fluoride (pvdf)-polymethylmethacrylate (PMMA). J Nat. 2018;18(1):26–31.

Jurnal Nasional (Bahasa Indonesia)

49. Djaenudin D, Budianto E, Saepudin E, **Nasir M.** Ekstraksi kitosan dari cangkang rajungan pada lama dan pengulangan perendaman yang berbeda. J Teknol Perikan dan Kelaut. 2019;10(1):49–59.
50. **Nasir M.** Pengaruh Waktu High Energy Milling Terhadap Karakteristik Nanokaolin Capkala Asal Kalimantan Barat. Eksakta Berk Ilm Bid MIPA (E-ISSN 2549-7464). 2017;18(02):200–9.
51. Sari Y, **Nasir M**, Risdian C, Syukri S. Sintesis Dan Karakterisasi Nanofiber Komposit Zn-PVDF Kopolimer. J Kim Terap Indones. 2014;16(1):49–52.
52. Adam DH, Suyani H, **Nasir M**, Safni S, Nugraha WC. Adsorpsi Cu^{2+} Menggunakan Nanofiber Polisulfon-FeOOH Yang Disintesis Dengan Metode *Electrospinning*. J Litbang Ind. 2013;3(2):101–8.
53. **Nasir M**, Risdian C, Syarifuddin L. Sintesis Dan Karakterisasi Perak Nanopartikel bakterial Selulosa Bionanofiber Nanokomposit. J Kim Terap Indones. 2012;14(1).

54. **Nasir M.** Sifat daya serap air dan stabilitas penyerapan air hidrogel polimer komposit. *J Kim Terap Indones.* 2010;12(2).
55. **Nasir M.** Synthesis and Characterization of Conductive Composite Nanofiber. *Indones J Appl Chem.* 15(1):106973.

Prosiding Internasional

56. Fadila WR, Selah A, **Nasir M.** Pengaruh Heat Treatment Pada Sifat Kristal, Listrik Dan Optik Nanokomposit ZNo/PVA. *eProceedings Eng.* 2022;9(3).
57. Rafli AM, Handayani IP, **Nasir M.** Sifat Optoelektronik Ws2 Yang Dimodifikasi Dengan Metode Eksfoliasi Fase Cair. *eProceedings Eng.* 2021;8(1).
58. Primadona I, Hardian A, Indriyati, Isnaeni, Dara F, Endah ES, **Nasir M.**, et al. Green synthesis of silver@ carbon dots nanocomposites for enhancing the antimicrobial activity. In: *AIP Conference Proceedings.* AIP Publishing LLC; 2021. p. 40002.
59. Khoerunnisa F, Nurhayati M, Hiqmah RN, Hendrawan H, Dara F, Aziz HA, **Nasir M.**, et al. Effect of pH, temperature, and electrolytes on swelling and release behaviors of PVA/AAm/GO based hydrogel composites. In: *AIP Conference Proceedings.* AIP Publishing LLC; 2021. p. 20025.
60. **Muhamad Nasir** PPPA and RIS. Electrospun SiO₂/PVDF copolymer composite nanofiber: effect of SiO₂ content on nanostructure, morphology, and thermal property. In: *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 426 012060. IOP; 2020. p. 12060.
61. Budianto E, Saepudin E, **Nasir M.** The encapsulation of *Lactobacillus casei* probiotic bacteria based on sodium alginate and chitosan. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* IOP Publishing; 2020. p. 12043.
62. Primadona I, Dara F, Syampurwadi A, **Nasir M.** Nanocomposites of polyvinylidene fluoride copolymer-functionalized carbon nanotubes prepared by electrospinning method. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* IOP Publishing; 2020. p. 12045.

63. Pratiwi AIW, Idzni F, Dara F, Nugraha WC, **Nasir M**, Syampurwadi A, et al. Determination and characterization of titanium in environmental waters and sludges. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2020. p. 12044.
64. **Nasir M**, Rahmawati T, Dara F, Andayani DGS. Synthesis and Characterization of Copolymer Poly (vinylidene fluoride)/ Graphene Nanofiber. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing; 2020. p. 12079.
65. **Nasir M**, Sugatri RI. Preparation and Structures of Carbon-Copper Oxide Nanofibers from Electrospun Polyacrylonitrile Composite. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing; 2020. p. 12019.
66. **Nasir M**, Rahmawati T, Dara F. Synthesis and characterization of biochar from crab shell by pyrolysis. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing; 2019. p. 12031.
67. **Nasir M**, Sugatri RI, Agustini DM. Surface Modification of PVDF Copolymer Nanofiber by Chitosan/Ag (NP)/Nanosilica Composite. In: International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering. Springer, Cham; 2019. p. 225–30.
68. **Nasir M**, Sugatri RI. Characteristic of nanoparticle-chitosan system: solution and thin film study. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2018. p. 12001.
69. Zulfikar MA, Afrianingsih I, **Nasir M**, Alni A. Effect of processing parameters on the morphology of PVDF electrospun nanofiber. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing; 2018. p. 12011.
70. Zulfikar MA, Afrianingsih I, Bahri A, **Nasir M**, Alni A, Setiyanto H. Removal of humic acid from aqueous solution using dual PMMA/PVDF composite nanofiber: kinetics study. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing; 2018. p. 12202.

71. **Nasir M**, Irnameria D, Zulfikar MA. Synthesis and characterization of novel TiO₂-ZnO-CoO nanocomposite photocatalyst for photodegradation of methylene blue dye. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2017. p. 12015.
72. **Nasir M**, Apriani D. Synthesis and property of Ag (NP)/catechin/gelatin nanofiber. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing; 2017. p. 12004.
73. **Nasir M**, Ansharullah RA. Synthesis of copper acetate/polyvinyl alcohol nanofiber composite by electrospinning. In: 2017 IEEE 7th International Conference Nanomaterials: Application & Properties (NAP). IEEE; 2017. p. 03NNSA15-1.
74. **Nasir M**, Matsumoto H, Minagawa M, Tanioka A, Danno T, Horibe H. INTC 2002: International Nonwovens Technical Conference (Joint INDA-TAPPI Conference), Atlanta, Georgia, September 24-26, 2002 INTC 2002: International Nonwovens Technical Conference (Joint INDA-TAPPI Conference), Atlanta, Georgia, September 24-26, 2002, 2002. Polym J. 2009;41(5):402-6.
75. **Muhamad Nasir**, Nanostructure and Morphology of Composite nanofiber by electrospinning, Nanotechnology Seminar: The application of nanotechnology in Textile, Bandung, Indonesia 2009
76. **Muhamad Nasir**, Toward Multifunction Nanofiber, 100 Doctor Nanotechnology Conference and Regional Advanced Material Conference, Indonesia 2008
77. **Muhamad Nasir et.al**, Fabrication of aligned piezoelectric nanofiber by Electrospinning, International Nanototechnology Conference 2008 (ICN08), Abudhabi, UEA, 2008
78. **Muhamad Nasir et.al**, Sheath/core piezoelectric composite nanofiber by electrospinning, The Fiber Conference, Canada 2008
79. **Muhammad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto, Tetsuya Danno, Hideo Horibe, Mie Minagawa, Akihiko Tanioka, The air filtration performance of PVDF nanofiber prepared by electrospray deposition, The Society of Fiber Science and Technology Japan, June 2007, Tokyo Japan

80. **Muhamad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto, Mie Minagawa, Tetsuya Danno, Hideo Horibe, Akihiko Tanioka, b-Phase PVDF Nanofiber Prepared by Electrospray Deposition with Ionic Fluorinated Surfactants as Additive, Tokyo Institute of Technology (TIT)-Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) Young Scientist Exchange Symposium, November 14, 2006
81. **Muhammad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto, Tetsuya Danno, Hideo Horibe, Mie Minagawa, Akihiko Tanioka, Design of porous PVDF nanofiber by electrospray deposition, The Society of Fiber Science and Technology Japan, June 2006, Tokyo, Japan.
82. **Muhamad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto, Mie Minagawa, Tetsuya Danno, Akihiko Tanioka, Control of Diameter, Morphology, and Structure of PVDF Nanofiber Fabricated by Electrospray Deposition, SPSJ Symposium, September 21, 2005, Yamagata, Japan
83. **Muhamad Nasir**, Formation of β -Phase PVDF Nanofiber by Electrospray Deposition, Tokyo Institute of Technology (TIT)-Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) Young Scientist Exchange Symposium, July, 2005, Tokyo, Japan
84. **Muhamad Nasir**, Hidetoshi Matsumoto, Mie Minagawa, Tetsuya Danno, Hideo Horibe and Akihiko Tanioka, Control of crystalline structure and diameter of PVDF nanofiber by electrospray deposition, The Society of Fiber Science and Technology Japan, september 19, 2005, Kanazawa, Japan

Prosiding Nasional

85. Fadila WR, Selah A, **Nasir M**. Pengaruh Heat Treatment Pada Sifat Kristal, Listrik Dan Optik Nanokomposit ZnO/PVA. eProceedings Eng. 2022;9(3).
86. Rafli AM, Handayani IP, **Nasir M**. Sifat Optoelektronik WS₂ Yang Dimodifikasi Dengan Metode Eksfoliasi Fase Cair. eProceedings Eng. 2021;8(1).
87. Khoiri M, Abrar A, **Nasir M**. Pengaruh Penambahan Tio₂ Terhadap Sifat Optik Dan Listrik Nanokomposit ZnO-PVA. eProceedings Eng. 2021;8(5).

88. Indratama AF, Prastika A, Ibrahim F, Khoiri M, Saglan SM, Fadila WR, **Nasir M**. Pengaruh waktu putar spin coating terhadap sifat listrik dan optik lapisan tipis nanokomposit PVA/ZnO. In: Seminar Nasional Fisika. 2021. p. 237–46.

Paten

89. **Muhamad Nasir**, Bambang Prihandoko, Achmad Subhan dan Titik Lestariningsih, (2017). *Metode Pembuatan Nanofiber Komposit Dan Produk Yang Dihasilkannya* (nomor permohonan paten P00201705846). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
90. **Muhamad Nasir**, Sri Pudjiraharti, Ardeniswan, Fitri Dara, Triannisa Rahmawati, Indah Primadona, Elsy Rahimi Chaldun, (2018). Metode Untuk Memproduksi Pirolisis Berbahan Baku Cangkang Kulit Rajungan Dan Produk Yang Dihasilkannya (nomor permohonan paten P00201806628). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
91. **Muhamad Nasir**, Sri Pudjiraharti, Ardeniswan, Fitri Dara, Rana Ida Sugatri, Putri Putih Puspa Asri, Rihlatul Adni, Indah Primadona, Elsy Rahimi Chaldun, (2018). Metode Pembuatan *Nanofiber* PVDF-HFP Komposit (nomor permohonan paten P00201806642). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
92. Desak Gede Sri Andayani, **Muhamad Nasir**, Sri Priatni, Lik Anah, Nuri Astrini Widayati, I Dewa Putu Hermida, Esin Mulyani, (2018). Nanoenkapsulasi Berbasis Buah Stroberi Sebagai Pangan Fungsional Dan Metode Pembuatannya (nomor permohonan paten P00201809597). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
93. **Muhamad Nasir**, Triannisa Rahmawati, Sri Pudjiraharti, Ardeniswan, Fitri Dara, Indah Primadona, Elsy Rahimi Chaldun (paten dikabulkan IDP000080494). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
94. Desak Gede Sri Andayani, Sri Priatni, **Muhamad Nasir**, Triannisa Rahmawati, Desak Gede Tirta Andini (2019). Komposisi Yogurt Kacang Kedelai Berbasis Ekstrak Etanol Buah-Buahan Tropis (nomor permohonan paten S00201904964). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

95. **Muhamad Nasir**, Anis Shofyani, Rana Ida Sugatri, Popon Ratnasari. Pembuatan komposit nanokaolin/ Fe_2O_3 , menggunakan radiasi gelombang mikro dan produk yang dihasilkannya (paten dikabulkan IDP000078892)
96. **Muhamad Nasir**, Rihlatul Adni, Indah Primadona; Djaenudin (2019). Metode Pembuatan *Nanofiber* Komposit Polivinil Alkohol-Kuantum Karbon Dot dan Produk Yang Dihasilkannya (nomor permohonan paten P00201906447). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
97. **Muhamad Nasir**, Triannisa Rahmawati, Ardeniswan, Fitri Dara, Desak Gede Sri Andayani (2019). Metode Pembuatan *Nanofiber* Kopolimer PVDF/RGO/ SnO_2 Secara Langsung dan Perlapisan Serta Produk yang Dihasilkan (nomor permohonan paten P00201906449). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
98. **Muhamad Nasir**, Rana Ida Sugatri, Indriyati, Elsy Rahimi Chaldun, M, (2019). Metode Pembuatan *Nanofiber* PVA/ ZnO /Grafena Komposit dan Produk Yang Dihasilkan (nomor permohonan paten P00201906825). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
99. Indah Primadona; Indriyati, **Muhamad Nasir**, Fitri Dara, Monna Rozana, Dedi, Arie Hardian, (2019). Sintesis Nanopartikel TiO_2 Fasa Anatase dan Rutil Menggunakan Ekstrak Limbah Kulit Mangga Sebagai Agen Penghidrolisis (nomor permohonan paten P00201910792). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
100. **Muhamad Nasir**, Triannisa Rahmawati, Desak Gede Sri Andayani, Indriyati, Fitri Dara, Indah Primadona, Elsy Rahimi Chaldun (2019). Metode Pembuatan Membran Nanokomposit Metal Oksida / Polimer dengan Teknik Inversi Fasa dan Produk yang dihasilkannya (nomor permohonan paten P00201910793). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
101. Indriyati, Fitri Dara, Indah Primadona, **Muhamad Nasir**, Metode Pembuatan *Nanofiber* Antibakteri Berbasis Polisulfon dan Produk yang dihasilkannya (nomor permohonan paten P00201910794). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

102. **Muhamad Nasir**, Rihlatul Adni, Elsy Rahimi Chaldun, Fitri Dara, Anung Syampurwadi (2019), *Nanofiber* Komposit Polivinil Alkohol-Carbon Black-Fe₂O₃-CuO-Kitin (nomor permohonan paten P00201910957). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
103. **Muhamad Nasir**, Rana Ida Sugatri, Ardeniswan, Indriyati (2019), Komposisi dan Metode Pembuatan Membran Filter Berbasis Karbon Aktif Komposit Termomodifikasi Elektrospun *Nanofiber* (nomor permohonan paten P00201910958). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
104. **Muhamad Nasir**, Putri Putih Puspa Asri, Bambang Prihandoko, Achmad Subhan, Rana Ida Sugatri (2019). Metode Pembuatan *Nanofiber* Kopolimer Tiga Lapis dan Karakteristik Produk yang dihasilkannya untuk Aplikasi Separator Baterai (nomor permohonan paten P00201910959). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
105. **Muhamad Nasir**, Triannisa Rahmawati, Desak Gede Sri Andayani, Monna Rozana, Rana Ida Sugatri (2019). Metode Pembuatan Membran *Nanofiber* Metal Oksida / Polimer dan Produk yang dihasilkannya (nomor permohonan paten P00201911789). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
106. Desak Gede Sri Andayani, Desak Gede Tirta Andini, Sri Priatni, Triannisa Rahmawati, Fitri Dara, Indriyati, Elsy Rahimi Chaldun, Monna Rozana, Anny Sulaswatty, Sasa Sofyan Munawar, **Muhamad Nasir**, Novik Nurhidayat (2019). Proses Pembuatan Nanoenkapsulan Berbasis Metabolit Sekunder Dan Produk Yang Dihasilkannya (nomor permohonan paten P00201911844). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
107. Fitri Dara, Indah Primadona, **Muhamad Nasir**, Indriyati, Fitri Khoerunnisa, Nurul Aeni Azhar, Marthini Sihombing (2019). Metode Pembuatan Membran Anti Bakteri Berbasis Selulosa Dan Produk Yang Dihasilkannya (nomor permohonan paten P00201911863). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

108. Asnan Rinovian, **Muhamad Nasir**, Swasmi Purwajanti, Fitri Dara, Singgih Prabowo, Muhammad Amin, Muhammad Ali Zulfikar, Nugraha, Moch. Saifur Rijal, (2022). Metode pembuatan *nanofiber* komposit PVDF-HFP/MgO dan produk yang dihasilkannya serta aplikasinya sebagai adsorben arsenik (nomor permohonan paten P00202215867). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
109. Asnan Rinovian, **Muhamad Nasir**, Merita, Swasmi Purwajanti, Sriyono, Muhammad Amin, Vic Reynaldi Lie, Muhamad Fauqi Al Azzami, Metode pembuatan nanokomposit geopolimer/MgO sebagai adsorben pencemar lingkungan serta produk yang dihasilkannya (nomor permohonan paten P00202215867). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
110. Merita, **Muhamad Nasir**, Asnan Rinovian, Akmal Zulfi M, Yanuar Setiadi, Sriyono (2023). Komposisi komposit serat nano PVA-Kitosan-Cu Asetat serta metode pembuatannya (nomor permohonan paten P00202308282). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.
111. **Muhamad Nasir**, Asnan Rinovian, Elsy Rahimi Chaldun, Monna Rozana (2023). Metode pembuatan *nanofiber* nilon/TiO₂ untuk fotodegradasi senyawa organik dan produk yang dihasilkannya (nomor permohonan paten P00202309789). Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	: Dr. Eng. Muhamad Nasir, M.Si.
Tempat/Tanggal Lahir	: Bukittinggi, 20 Desember 1971
Anak ke	: Lima dari Enam Bersaudara
Nama Bapak Kandung	: Darakutni (alm)
Nama Ibu Kandung	: Fatimah (alm)
Nama Istri	: Reni Halida, S.S.
Jumlah Anak	: 4 (empat) orang
Nama Anak	: 1. Muhammad Ariby Abdul Aziz 2. Muhammad Ikram Shalahuddin 3. Sarah Hilma Rumaisha 4. Muhammad Faqih Asysyarief
Nama Instansi	: Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, BRIN
Judul Orasi	: Serat Nano (<i>Nanofiber</i>) Multifungsi untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan

Ilmu : Material

Bidang : Nanomaterial

Kepakaran : Nanofiber Komposit

No. SK Pangkat Terakhir : Keppres No 17/K Tahun 2024, tanggal 5 Agustus 2014

No. Keppres Peneliti Utama : Keppres (LIPI) No 67/M Tahun 2020, tanggal 10 November 2020
Keppres (BRIN) No 3/M Tahun 2022, tanggal 19 Januari 2022

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SD Negeri 1 Candung	Bukittinggi	1985
2.	SMP	SMP Negeri Simpang Candung	Bukittinggi	1988
3.	SMA	SMA Negeri 1 Bukittinggi	Bukittinggi	1991
4.	S1	Juruan Kimia, Universitas Andalas	Padang	1995
5.	S2	Jurusan Kimia, Institut Teknologi Bandung	Bandung	2000
6.	S3	Jurusan Organik dan polimer Material, Tokyo Institute of Technology	Tokyo-Japan	2007

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pendidikan	Lamanya	Tahun	Tempat
1.	Postdoctoral, Kyoto Institute of Technology	2 tahun	2007–2009	Jepang
2	Pelatihan reviewer, BRIN	2 hari	2022	Indonesia

D. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Muda (Gol. III/b)	1 November
2.	Peneliti Madya (Gol. IV/a)	1 Januari
3.	Peneliti Utama (Gol. IV/d)	1 Oktober

E. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	0
2.	Penulis bersama Penulis lainnya	88
	Total	88

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Karya Tulis dalam bahasa Inggris	77
2.	Karya Tulis dalam bahasa Indonesia	11
	Total	88

No.	Kualifikasi Publikasi	Jumlah
1.	Paten	23
2.	Jurnal Internasional	46
3.	Jurnal Nasional	9
4.	Prosiding Internasional	29
5.	Prosiding Nasional	4

F. Pengalaman Karier Terkait Kepakaran

Periode	Tempat/Program	Jabatan dan Keterangan
2011–2013	Functionalization of nanofiber (Principal investigator : Project funded by Ministry of Research and Technology of Indonesia)	Principle Investigator
2014–2016	Word Package Coordinator of Nanofiber Separator in Lithium Ion Battery National Project (Ministry of Research and Technology)	WP Coordinator
2014–2020	Nanofiber for lithium ion battery separator (Principal investigator, Project funded by Indonesian Institute of Sciences, Ministry of Research and Technology of Indonesia)	Principle Investigator

Periode	Tempat/Program	Jabatan dan Keterangan
2017–2018	Pengembangan Teknologi Daur Ulang Limbah Carbon Black dari Industri Ban Sebagai Upaya Menuju Zero Waste Production, Development of Recycle Technology of Carbon Black from Tire Waste toward zero waste production) (Project funded by PPTI, Ministry of Research and Technology, Republic Indonesia)	Principle investigator
2017–2019	Pembuatan multilayer nanomasker sebagai proteksi system pernapasan dari udara tercemar, Synthesis of multilayer nanomasker for human protection from polluted Air (Insinas, Project Funded by Ministry of Research and Technology, Republic Indonesia)	Principle investigator
2020–2021	Pembuatan nanomasker untuk proteksi udara tercemar. Synthesis of nanomasker for human protection from air pollutant. Funding by LPDP	Principle investigator

Periode	Tempat/Program	Jabatan dan Keterangan
2022	Sifat dan simulasi nanofiber didalam berbagai kondisi lingkungan. Properties of nanofiber composite in various environmental condition Funding: Advance Material Program, BRIN	Principle of investigator
2023	MgO-PVDF-HFP Nanofiber Composite in incorporating waste base polymer for sustainable Carbon Dioxide Adsorption and separation in Natural Gas Processing and Environmental Remediation, ITB-Asahi Foundation	Anggota
2023-2025	Functionalization of Recycled Nylon into Nanofiber Composite for Advanced Toxic Air Pollutant Treatment), RIIM 4, BRIN	Principle investigator
2023-2024	Sintesis dan Fungsionalisasi Nanopartikel Hidroksiapatit (HA) dari Limbah Rajungan (<i>Portunus pelagicus</i>) untuk Pembuatan Biokompatibel Nanofiber Komposit Woundhealing, RIIM, BRIN	Anggota

G. Pembimbingan Mahasiswa

No.	Universitas/PT Tempat Membimbing	Nama yang Dibimbing	Tahun Membimbing
1	Pasca Sarjana S3 ITB	Indriati	2020-sekarang
2.	Pasca Sarjana S3 Universitas Indonesia	Djaenudin	2018-2022
3	Pasca Sarjana S3 ITB	Ervin Tri Suryandari	2016-2020
4.	Pasca Sarjana S3 IPB	Rumpoko Wicaksono	2011-2013
5	Pasca Sarjana S2 ITB	Asnan Rinovian	2021-Sekarang
6.	Pasca Sarjana S2 ITB	Putri Putih Puspa Asri	2020-2022
7.	Pasca Sarjana S2 ITB	Rana Ida Sugatri	2020-2022
8.	Pasca Sarjana S2 ITB	M. Saifur Rijal	2022
9.	Pasca Sarjana S2 ITB	Bagus Furqan Abdillah	2022
10	Pasca Sarjana S2 ITB	Dira Irnamera	2017
11	Pasca Sarjana S2 ITB	Revi Maylina Tanjung	2017
12	Pasca Sarjana S2 ITB	Irlin Afrianingsih	2017
13	Pasca S2 Universitas Airlangga	Novrynda Eko Satriawan	2016
14	Pasca Sarjana S2 ITB	Riesca A.K. Wardhani	2015

No.	Universitas/PT Tempat Membimbing	Nama yang Dibimbing	Tahun Membimbing
15	Pasca Sarjana S2 ITB	Chandra Risidian	2014
16	Pasca Sarjana S2 UNAND	Phyto gufra noval	2012
17	Pasca Sarjana S2 UNAND	Yelfira	2012
18	Pasca Sarjana S2 UNAND	Aryetti	2012
19	Pasca Sarjana S2 UNAND	Nola Y Kusuma	2012
20	Pasca Sarjana S2 UNAND	Ayu Azhari	2012

No.	Universitas/PT Tempat Membimbing	Nama yang Dibimbing	Tahun Membimbing
1.	Sarjana S1 Universitas Padjadjaran	Dinda Dede Nabila	2022
2.	Sarjana S1 Universitas Padjadjaran	Zahara Sundus Annajah	2022
3	Sarjana S1 Universitas Syiah Kuala	Fitti Nahsyura	2022
4	Sarjana S1 Universitas Syiah Kuala	Sri Mulyani	2022
5.	Sarjana S1 Universitas Padjajaran	Evyka Setya Aji	2022
6.	Sarjana S1 ITB	Muhammad Hikam	2022
7.	Sarjana S1 Universitas Telkom	Wan Rizti Fadila	2021

No.	Universitas/PT Tempat Membimbing	Nama yang Dibimbing	Tahun Membimbing
8.	Sarjana S1 Unjani	Rina Komala	2020
9.	Sarjana S1 UIN Sunan Gunung Djati Bandung	Sonia rezika afni	2020
10.	Sarjana S1 UIN Sunan Gunung Djati Bandung	Aby Rahmat Fadillah	2020
11.	Sarjana S1 UIN Sunan Gunung Djati Bandung	Hilman Hadi	2020
12.	Sarjana S1 Universitas Syiah Kuala	Meta Hermawan	2018
13.	Politeknik Negeri Bandung	Mita Okfiatri	2018
14.	Sarjana S1 Unjani	Wahyuni Sapri	2016
15.	Sarjana S1 Universitas tanjungpura	Popon Ratnasari	2016
16.	Sarjana S1 Universitas tanjungpura	Dwi Nur Fathan Islam	2016
17.	Sarjana S1 Unjani	Ummu Salamah	2011

No.	Universitas/PT Tempat Menguji	Nama yang Diuji	Tahun Menguji
1	Program Pascasarjana S3 Institut Teknologi Bandung	Khairul Umam	2024
2	Program Pascasarjana S3 Institut Teknologi Bandung	Sonny Widiarto	2020

No.	Universitas/PT Tempat Menguji	Nama yang Diuji	Tahun Menguji
3	Program Pascasarjana S3 Institut Teknologi Bandung	Phutri Milana	2019
4	Program Pascasarjana S3 Institut Teknologi Bandung	Edi Pamono	2019
5	Program Pascasarjana S3 Institut Teknologi Bandung	Khusna Widhyahrini	2017
6	Program Pascasarjana S3 Institut Teknologi Bandung	Erna Febriyanti	2017
7	Program Pascasarjana S3 Institut Teknologi Bandung	Nurrahmi Handayani	2012

H. Reviewer Majalah/Prosiding

No.	Jabatan	Majalah/Prosiding	Tahun
1	Peer Reviewer	Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics. Wiley Interscience	2007–2008
2.	Peer Reviewer	International Journal of Nanosciences (IJN)	2008
3.	Peer reviewer	Applied Polymer Sciences, Wiley Interscience	2010
4	Peer reviewer	The textile research Journal	2015–Sekarang

I. Pembicara Ilmiah

No.	Penulis, Judul	Kegiatan Ilmiah	Penyelenggara (Tempat, Waktu)
1.	Muhamad Nasir, Toward Multifunction Nanofiber	100 Doctor Nanotechnology Conference and Regional Advanced Material Conference, Indonesia 2008	Masyarakat Nanoteknologi Indonesia, Jakarta, 2008
2	Muhamad Nasir, Nanostructure and Morphology of Composite nanofiber by electrospinning, Nanotechnology	Seminar: The application of nanotechnology in Textile	Balai Besar Tekstil, Bandung, 2009
3	Muhamad Nasir, Electrospun Nanofiber for Nanomask Application	School of Nanofibers Applications and Technology	Amirkabir University of Technology Iran, 9th February 2022
4.	Muhamad Nasir, The Strategy to Develop Nanofiber Composite for Air Pollution Treatment	The Joint Conference on Research in Chemistry and Chemical Education	UPI dan HKI, Bandung 2022

J. Organisasi Profesi

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Himpunan Kimia Indonesia	1997–Sekarang
2.	Anggota	Fiber Society	2008
3.	Anggota	Himpenindo	2019–2021
4	Anggota	Himpunan Periset Indonesia	2021–sekarang

K. Tanda Penghargaan

No.	Pejabat/Instansi yang Memberikan	Nama/Jenis Penghargaan	Tahun
1	Presiden RI	Satyalancana Wira Karya Tahun	2021
2	Presiden RI	Satyalancana Karyasatya XX Tahun	2018
3	Presiden RI	Satyalancana Karyasatya XX Tahun	2010
4	Universitas Andalas	Lulusan Terbaik FMIPA	1995

Serat nano (*nanofiber*) adalah material yang dikembangkan melalui nanoteknologi untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dengan tetap mendukung kelestarian lingkungan. Serat nano menjadi topik penelitian yang banyak dikaji dalam dunia nanoteknologi. Dalam hal ini, *state of the art* perkembangan, peluang, dan tantangan serat nano multifungsi untuk mendukung kelestarian lingkungan yang dibuat dari bahan sintetik, bahan semi-sintetik, dan bahan alami diproduksi dengan proses *electrospinning*. Serat nano multifungsi ini berhasil dipelajari secara mendalam, diciptakan, dan dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi dalam mengatasi permasalahan di bidang energi, air, kesehatan, analisis, sensor, serta lingkungan.

Invensi terkait serat nano multifungsi dan pemanfaatannya dalam berbagai bidang tersebut diharapkan dapat berkontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berdampak pada peningkatan daya saing bangsa.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.1652



ISBN 978-602-6303-44-8



9 786026 303448