

Yulianto Agung Rezeki - Dewanto Harjunowibowo
Peni Indrayudha - Mohammad Alauhdin
Indah Karunia Fitri - Lia Dwi Setyaningsih
Fatoni Udaneni



ELECTROSPINNING DAN ELECTROSPRAY

TEKNIK PABRIKASI NANOFIBER DAN NANOPARTIKEL



ELECTROSPINNING DAN ELECTROSPRAY:
TEKNIK PABRIKASI NANOFIBER DAN NANOPARTIKEL

Yulianto Agung Rezeki
Dewanto Harjunowibowo
Peni Indrayudha
Mohammad Alauddin
Indah Karunia Fitri
Lia Dwi Setyaningsih
Fatoni Udaneni



Tahta Media Group

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

ELECTROSPINNING DAN ELECTROSPRAY: TEKNIK PABRIKASI NANOFIBER DAN NANOPARTIKEL

Penulis:

Yulianto Agung Rezeki - Dewanto Harjunowibowo
Peni Indrayudha - Mohammad Alauhdin - Indah Karunia Fitri
Lia Dwi Setyaningsih - Fatoni Udaneni

Desain Cover:

Tahta Media

Editor:

Tahta Media

Proofreader:

Tahta Media

Ukuran:

ix, 56 , Uk: 14,8 x 21 cm

ISBN: 978-623-8070-05-3

Cetakan Pertama:

November 2022

Hak Cipta 2022, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2022 by Tahta Media Group

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT TAHTA MEDIA GROUP
(Grup Penerbitan CV TAHTA MEDIA GROUP)
Anggota IKAPI (216/JTE/2021)

KATA PENGANTAR

Nanomaterial menjadi pembahasan yang sangat menarik akhir-akhir ini. Nanomaterial adalah material atau bahan yang ukurannya dalam orde nanometer yaitu 10^{-9} meter. Satu nanometer dapat diartikan setara dengan 10 atom hidrogen atau 5 atom silikon yang sejajar dalam satu garis. Suatu bahan dapat memiliki sifat fisika dan kimia yang berbeda dari bentuk *bulk*-nya pada skala nanometer. Contohnya adalah kaitannya dengan efek kuantum yang dapat muncul pada ukuran kristal dalam skala nanometer yang menyebabkan titik lebur yang lebih rendah (dapat sebesar $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) dari bentuk *bulk*-nya. Ada lagi sifat nanomaterial lain yaitu peningkatan rasio permukaan dan volume yang cukup besar pada proses nanoisasi sehingga menimbulkan efek yang menonjol pada kinerja material tersebut.

Buku ini membahas metode pabrikan nanomaterial yaitu *electrospinning* untuk memproduksi material dimensi-1 yaitu nanofiber dan *electrospray* untuk memproduksi material dimensi-0 yaitu nanopartikel. Metode tersebut memiliki banyak sekali keunggulan. Dalam buku ini dibahas beberapa keunggulan tersebut dan juga parameter-parameter apa sajakah yang dapat mempengaruhi proses-proses pembentukan nanomaterial pada metode tersebut. Dalam buku ini juga memuat beberapa informasi yang berkaitan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang telah memanfaatkan *electrospinning* dan *electrospray* untuk memproduksi nanomaterial yang dapat dimanfaatkan pada aplikasi biomedis, salah satunya adalah pengobatan kanker.

Penulis mengharapkan buku ini dapat memberikan informasi kepada pembaca untuk dapat mengetahui metode pabrikan nanomaterial, baik nanofiber maupun nanopartikel yang dapat dimanfaatkan untuk beberapa aplikasi. Selain itu, bagi peneliti dan akademisi, buku ini dapat menjadi sebuah pegangan untuk melakukan eksperimen karena berisi

tentang parameter-parameter yang dapat dimodifikasi sehingga menghasilkan ukuran dan morfologi nanomaterial yang dikehendaki sesuai dengan tujuan dibuatnya. Selanjutnya, diharapkan melalui buku ini peneliti juga dapat lebih termotivasi untuk mencari ide-ide dan kebaruan dalam bidang nanomaterial khususnya nanofiber dan nanopartikel.

Penulis mengharapkan masukan yang membangun untuk informasi yang tertuang dalam buku ini. Segala komentar, kritik, dan saran yang membangun dapat dikirimkan melalui email para penulis yang informasinya dapat dengan mudah diperoleh di internet.

Dengan hormat,
Atas nama para penulis,

Dr. Yulianto Agung Rezeki

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi	vi
Daftar Tabel.....	viii
Daftar Gambar	ix
ELECTROSPINNING DAN PARAMETER LARUTAN YANG BERPENGARUH TERHADAP PEMBENTUKAN NANOFIBER	1
I. Pendahuluan.....	1
II. Electrospinning	2
III. Parameter Larutan.....	3
A. Konsentrasi polimer.....	5
B. Volatilitas	7
C. Viskositas	7
D. Konduktivitas	8
E. Tegangan permukaan	11
IV. Kesimpulan	12
V. Daftar Pustaka.....	13
PENGARUH PARAMETER PROSES DAN PARAMETER LINGKUNGAN PADA TEKNIK ELECTROSPINNING	19
I. Pendahuluan.....	19
II. Parameter Proses.....	19
A. Tegangan Tinggi	19
B. Jarak Ujung Jarum ke Kolektor	21
C. Laju Alir Larutan	24
III. Parameter Lingkungan.....	25
A. Suhu atau temperatur.....	25
B. Kelembaban udara	25
VI. Kesimpulan.....	27

VII. Daftar Pustaka.....	28
NANOPARTIKEL KITOSAN SEBAGAI PEMBAWA OBAT PADA PENGOBATAN KANKER	33
I. Pendahuluan.....	33
II. Nanopartikel kitosan.....	35
III. Electrospray	38
IV. Pengobatan Kanker.....	39
V. Kesimpulan.....	43
VI. Daftar Pustaka.....	45
Biodata Penulis.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Efek umum dari parameter electrospinning pada electrospinnability dan morfologi serat [26]	4
Tabel 1.2 Karakteristik larutan PS dan elektrsopun serat PS yang dihasilkan [41]	10
Tabel 3.1 Perkembangan Penelitian Nanopartikel Kitosan	37
Tabel 3.2 Pengobatan Kanker Menggunakan Kitosan.....	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1.	Skema Elektrosinning	3
Gambar 1. 2.	Gambar SEM dari membran CA elektrospon dan film cor yang dibuat dari larutan CA dengan berbagai konsentrasi: (a) 8%; (b) 9%; (c) 10%; (d) 11%; (e) 12%; and (f) 13% [22]	6
Gambar 1. 3.	Diameter nanofiber CA yang dihasilkan pada berbagai konsentrasi [22].....	7
Gambar 1. 4.	Perubahan morfologi eletrospon nanofiber polietilen oksida (PEO) berdasarkan viskositas: (a–d) diagram dan (e–h) mikrograf SEM [11,37,38])	9
Gambar 2. 1.	Hubungan antara pemberian tegangan tinggi terhadap diameter nanofiber [12].....	21
Gambar 2. 2.	Contoh serat manik-manik phthalic anhydride diamine (FDA-TrMP) pada 5 and 7.5% (w/v). Jarak ujung kolektor dan laju alir adalah 15 cm dan 0,25 mL/jam [16]	22
Gambar 2. 3.	Hubungan antara jarak jarum ke kolektor dan diameter serat [12]	23
Gambar 3. 1.	Deasetilasi kitin menjadi kitosan	36
Gambar 3. 2.	Skema Eksperimental Zeleny, J (1914)	38

ELECTROSPINNING DAN PARAMETER LARUTAN YANG BERPENGARUH TERHADAP PEMBENTUKAN NANOFIBER

I. PENDAHULUAN

Electrospinning adalah salah satu teknik yang paling sering digunakan dalam memproduksi nanofiber dengan diameter dari nanometer hingga mikrometer dengan memanfaatkan gaya listrik menggunakan larutan polimer [1]. Teknik electrospinning menghasilkan nanofiber menggunakan larutan polimer dan nanofiber yang dihasilkan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi [2] dengan rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi. Keuntungan lain dari teknik ini adalah kemudahan penggunaannya. Teknik electrospinning memiliki banyak keunggulan dibandingkan metode lain karena kecepatan produksi yang tinggi, biaya rendah, dan kenyamanan.

Elektrospun nanofiber dalam dekade terakhir telah menerima banyak perhatian, terutama dalam berbagai aplikasi seperti pembalut luka [3–5], sensor [6], penghantar obat [7,8], penyaringan dan membran [9], dan sebagainya. Karena elektrospun nanofiber memiliki fitur yang menjanjikan seperti rasio volume, porositas yang dapat diatur, dan struktur pori tiga dimensi (3D) yang saling berhubungan [10].

Pembuatan material berskala nano menggunakan proses electrospinning dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter. Parameter ini dibagi menjadi parameter larutan, parameter proses, dan parameter lingkungan [11]. Parameter larutan meliputi volatilitas, konsentrasi polimer, viskositas larutan, konduktivitas larutan, dan tegangan permukaan larutan [12,13]. Tegangan tinggi, jarak ujung ke kolektor, dan laju aliran termasuk dalam parameter proses. Suhu dan kelembaban yang

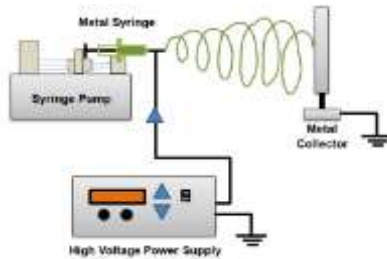
merupakan parameter lingkungan juga mempengaruhi proses electrospinning.

Dengan memvariasikan parameter electrospinning, electrospinning dapat menghasilkan morfologi serat yang berbeda [14]. Morfologi yang berbeda juga dapat dihasilkan dengan berbagai kondisi electrospinning [15]. Berbagai jenis morfologi dan struktur elektrospun nanofiber yang dihasilkan antara lain serat pita datar [16], serat berpori [17], serat bengkok [18,19], serat garland [20], and serat manik-manik [21]. Dalam bab ini akan dibahas pengaruh parameter electrospinning pada pabrikasi nanofiber yang cocok untuk berbagai aplikasi.

II. ELECTROSPINNING

Electrospinning adalah metode yang cocok untuk fabrikasi serat berdiameter skala nanometer atau nanofiber dari larutan atau lelehan polimer, membentuk material dengan sifat yang sangat baik, termasuk rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi dan rasio aspek relatif terhadap bahan konvensional lainnya [22]. Karena electrospinning dapat membuat serat dengan diameter yang konsisten dari bahan organik dan anorganik, ini dianggap sebagai metode yang paling efektif untuk memproduksi serat [23].

Berdasarkan penelitian Haider dkk. (2018), perangkat electrospinning dasar (ditunjukkan pada *Gambar 1. 1*) terutama terdiri dari suntikan yang diisi dengan larutan polimer, jarum logam, catu daya tegangan tinggi, dan kolektor logam (berbagai bentuk) [11].



Gambar 1. 1. Skema Elektrosinning

Electrospinning dimulai ketika muatan memasuki larutan polimer melalui jarum logam, menyebabkan ketidakstabilan larutan polimer karena induksi muatan pada tetesan polimer. Dengan bertambahnya medan listrik, tetesan bola berubah menjadi kerucut [11]. Taylor mempelajari semprotan (jet) yang berasal dari tetesan larutan polimer. Penyempitan bentuk titik air mata ini disebut dengan Taylor cone [24]. Ujung kerucut ditarik ke kolektor logam dan kemudian dikumpulkan. Gerak pecah larutan polimer menuju kolektor logam menyebabkan rantai polimer dalam larutan meregang dan meluncur melewati satu sama lain, menghasilkan nanofiber berdiameter kecil [11].

Berbagai parameter dapat mempengaruhi nanofiber yang dihasilkan menggunakan proses electrospinning. Buku ini menjelaskan pengaruh parameter larutan, parameter proses, dan parameter lingkungan dalam pembentukan nanofiber berdiameter kecil yang optimal dan bebas manik.

III. PARAMETER LARUTAN

Parameter larutan adalah variabel pertama yang mempengaruhi proses electrospinning serta morfologi dan struktur elektrospon nanofiber (lihat *Tabel 1. 1*). Parameter-parameter ini, termasuk berat molekul, viskositas, konsentrasi polimer, jenis pelarut, tegangan permukaan, dan konduktivitas listrik, secara langsung mempengaruhi dope pemintalan itu sendiri [25].

Tabel 1. 1 menyediakan data kerangka kerja umum untuk mendefinisikan hubungan antara parameter electrospinning dan serat yang dihasilkan. Karakteristik yang berbeda dikembangkan berdasarkan peralatan electrospinning dan polimer yang digunakan [26].

Tabel 1. 1. Efek umum dari parameter electrospinning pada electrospinnability dan morfologi serat [26]

Parameter	Efek Umum
Konsentrasi Polimer	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ukuran manik bertambah dengan konsentrasi yang lebih rendah, sedangkan konsentrasi yang lebih tinggi bisa menjadi terlalu kental. 2. Saat kandungan polimer meningkat, diameter serat meningkat.
Volatilitas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biasanya, pelarut yang sesuai diperlukan untuk melarutkan polimer sepenuhnya 2. Volatilitas mempengaruhi apakah electrospinning kering atau basah 3. Penyumbatan jarum dapat disebabkan oleh pelarut yang sangat mudah menguap (seperti aseton)
Berat Molekul	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mendukung viskositas dan ikatan rantai dengan cara yang positif 2. Polimer linier memfasilitasi electrospinning dan belitan molekul
Viskositas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Viskositas tinggi menghambat electrospinning, sementara viskositas rendah menyebabkan manik-manik 2. Viskositas mengungkapkan keterikatan molekul dan kemampuan electrospinnabilitas
Tegangan Permukaan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peningkatan tegangan permukaan menghasilkan lebih banyak manik-manik

Parameter	Efek Umum
Konduktivitas	1. Konduktivitas yang terlalu tinggi menyebabkan ketidakstabilan jet dan penurunan kualitas serat

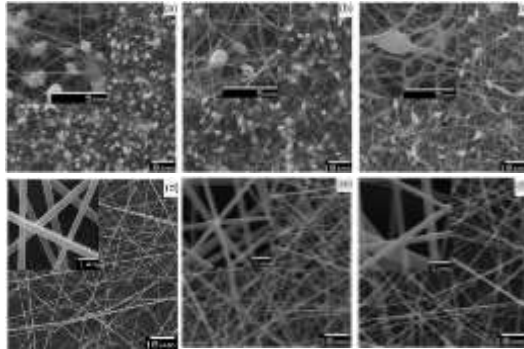
A. Konsentrasi polimer

Konsentrasi polimer dalam larutan electrospinning secara signifikan mempengaruhi pembentukan serat seragam dan tanpa manik-manik [27]. Perubahan konsentrasi larutan polimer mengakibatkan perubahan morfologi mendadak [28]. Membuat serat membutuhkan konsentrasi polimer yang sesuai, biasanya dinyatakan sebagai persentase [29]. Konsentrasi minimum masing-masing polimer bervariasi sesuai dengan karakteristiknya, dengan laporan penelitian terbaru berkisar antara 5% hingga lebih dari 40% [30].

Untuk setiap polimer, konsentrasi tertentu tidak dapat ditentukan. Jika konsentrasi polimer tidak mencukupi, jet akan pecah dan manik-manik akan terbentuk [31]. Peningkatan konsentrasi larutan ini akan mempengaruhi parameter larutan lainnya, sehingga mempengaruhi serat yang dihasilkan. Jika konsentrasi polimer terlalu drastis berkurang, material yang terbentuk berupa partikel [29]. Pada konsentrasi rendah, elektrospun nanofiber lebih sulit untuk dikeringkan dan lebih sulit untuk dibentuk [28].

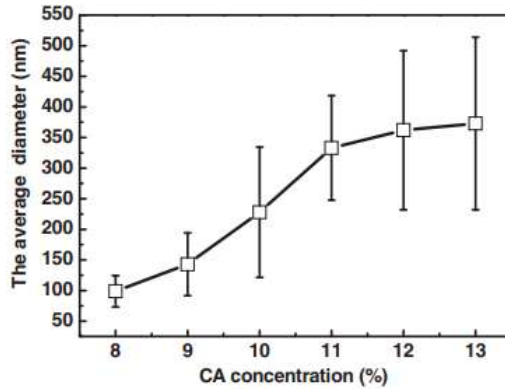
Dalam sebuah studi oleh Wu dkk. (2014), Gambar 1. 2 2 (a)–(f) menunjukkan gambar SEM nanoserat elektrospun selulosa asetat (CA) yang dihasilkan dari larutan CA dengan berbagai konsentrasi. Electrospinning pada konsentrasi rendah (8-10%) menghasilkan nanofiber yang mengandung manik-manik (*Gambar 1. 2 (a)–(c)*).

Selanjutnya, seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 1. 2 (d)–(f)*, peningkatan konsentrasi CA, jumlah manik-manik dalam nanofiber menurun dengan meningkatnya ukuran dan jarak dari bola. Selama waktu itu, manik-manik secara bertahap berubah bentuk dari bentuk yang hampir bulat menjadi bentuk seperti gelendong.



Gambar 1. 2. Gambar SEM dari membran CA elektrospun dan film cor yang dibuat dari larutan CA dengan berbagai konsentrasi: (a) 8%; (b) 9%; (c) 10%; (d) 11%; (e) 12%; and (f) 13% [22]

Peningkatan diameter partikel rata-rata berhubungan dengan peningkatan konsentrasi [32,33]. Ketika konsentrasi CA meningkat, begitu pula diameter nanofiber, tetapi keseragamannya menurun. *Gambar 1. 3* menunjukkan diameter rata-rata nanofiber meningkat dari 333 nm menjadi 373 nm, dengan konsentrasi CA dalam kisaran 11 hingga 13% (w/w). Semakin tinggi konsentrasi CA, semakin besar diameter rata-rata nanofiber CA dan error bar-nya. Ini menunjukkan bahwa nanofiber CA yang tidak seragam diproduksi pada konsentrasi tinggi [22].



Gambar 1. 3. Diameter nanofiber CA yang dihasilkan pada berbagai konsentrasi [22]

B. Volatilitas

Salah satu hal terpenting dalam memproduksi nanofiber halus dan manik-manik electrospun adalah pilihan pelarut. Volatilitas menentukan apakah electrospinning kering atau basah. Volatilitas yang rendah mempengaruhi pembentukan morfologi serat sehingga sulit untuk mengontrol proses electrospinning.

Namun, volatilitas yang tinggi juga merusak elektrospinnabilitas larutan polimer [34]. Menurut sebuah penelitian yang dilakukan oleh Zaarour dkk. (2020), menggunakan pelarut volatilitas tinggi dapat menyebabkan polimer mengeras dengan cepat, menciptakan permukaan berpori dan kasar [35]. Karena volatilitas tinggi, serat lebih berpori diproduksi [36]. Oleh karena itu, diperlukan volatilitas larutan yang tepat untuk mendapatkan morfologi serat yang baik.

C. Viskositas

Viskositas adalah salah satu variabel yang paling efektif untuk mengontrol morfologi serat [28]. Viskositas ini menunjukkan sifat

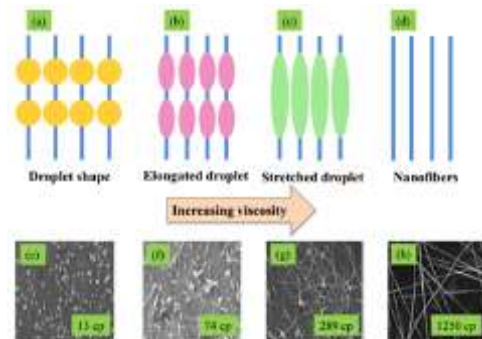
pengikatan molekul polimer dalam electrospinning [26]. Jika viskositas rendah, morfologi serat menjadi bermanik-manik, tetapi jika viskositas tinggi, electrospinning dapat dihambat dan manik-manik tidak dapat terbentuk. Viskositas larutan dapat meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan. Peningkatan konsentrasi akan menyebabkan kenaikan viskositas, meningkatkan ikatan antara rantai polimer [11].

Seperti yang digambarkan dalam **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.** (a-h), Morfologi serat berubah sering dengan perubahan viskositas larutan. Morfologi berubah dari tetesan bulat dengan viskositas rendah menjadi tetesan memanjang atau elips menjadi serat halus dengan viskositas yang sesuai. *Gambar 1. 4* (e-h) adalah serat poli(etilen oksida) yang masing-masing gambar menunjukkan nilai viskositasnya (berwarna hijau).

Gambar 1. 4 (a) memperlihatkan tetesan polimer dan serat dengan manik-manik bulat. Saat viskositas meningkat, bentuk manik-manik bergeser dari bulat ke seperti spindel, meningkatkan jarak rata-rata di antara spindel pada sera. Kemudian seterusnya dari kiri ke kanan hingga serat seragam tanpa manik-manik diperoleh [37].

D. Konduktivitas

Parameter penting lainnya adalah konduktivitas listrik. Konduktivitas serta konsentrasi larutan berdampak pada pembentukan jet yang stabil [39]. Konduktivitas listrik merupakan salah satu persyaratan mendasar untuk electrospinning karena bergantung pada gaya elektromagnetik untuk menarik bahan [30]. Konduktivitas yang terlalu tinggi menyebabkan ketidakstabilan jet dan menurunkan kualitas serat [26]. Larutan dengan konduktivitas antara 10^{-11} to 10^{-1} Sm^{-1} menghasilkan mode jet kerucut yang stabil [40].



Gambar 1. 4. Perubahan morfologi eletrospun nanofiber polietilen oksida (PEO) berdasarkan viskositas: (a–d) diagram dan (e–h) mikrograf SEM [11,37,38])

Saat menggunakan konsentrasi polimer rendah, konduktivitas larutan merupakan faktor penting dalam pengembangan serat bebas manik [41]. Salah satu faktor kunci dalam proses electrospinning adalah konduktivitas larutan karena lebih banyak muatan dapat diangkut pada konduktivitas larutan yang lebih besar. Sebaliknya, larutan polimer yang kental diregangkan oleh tolakan muatan pada permukaannya.

Pelarut dengan konduktivitas yang lebih tinggi sering digunakan untuk membuat larutan polimer, atau penambahan garam ke dalam larutan sebagai peningkat konduktivitas. Karena larutan polimer diregangkan di bawah medan listrik yang kuat, peningkatan konduktivitas mengarah pada pembentukan serat yang bebas manik, seragam, dan lebih tipis [42].

Dengan memasukkan garam yang sesuai ke dalam larutan, konduktivitas dapat diatur. Larutan yang mengandung garam dapat meningkatkan konduktivitas larutan. Garam memiliki kelarutan

yang tinggi dalam cairan polar seperti air. Namun demikian, aplikasi yang berlebihan dapat menyebabkan serat menahan air [30].

Dalam penelitian Uyar dan Besenbacher (2008), penambahan garam tetrabutylamonium bromida (TBAB) hampir tidak mengubah viskositas larutan, tetapi meningkatkan konduktivitas larutan dengan sangat drastis [41]. Studi mereka juga menunjukkan bahwa konduktivitas larutan mempengaruhi morfologi nanofiber polistirena (PS). Nanofiber yang diproduksi dengan larutan prekursor dari jenis pelarut yang berbeda (menyebabkan perbedaan konduktivitas), menghasilkan pembentukan kecenderungan morfologi nanofiber yang berbeda (*Tabel 1. 2*) [41].

Tabel 1. 2. Karakteristik larutan PS dan elektrospon serat PS yang dihasilkan [41]

Grade DMF	% PS (w/v)	Morfologi serat	Viskositas (cP)	Konduktivitas ($\mu S/cm$)
Fluka, 98%	0	-	-	0,5
Fluka, 98%	10	Nanofiber dengan banyak manik	$21,2 \pm 0,1$	0,5
Fluka, 98%	15	Nanofiber dengan manik	$55,3 \pm 0,2$	0,4
Fluka, 98%	20	Milrofiber dengan manik	$122,8 \pm 0,6$	0,4

Fluka, 98%	25	Mikrofiber dengan sedikit manik	336,3±3,5	0,4
Fluka, 98%	30	Hanya mikrofiber	604	0,4
Aldrich, 99%	0	-	-	15,9
Aldrich, 99%	10	Nanofiber dengan sedikit manik	21,2±0,1	10,1
Aldrich, 99%	15	Nanofibers dengan sangat sedikit manik	60,0±0,7	8,6
Aldrich, 99%	20	Hanya mikrofiber	139,07±0,7	7,3

Pada larutan PS dengan pelarut DMF Fluka 98% (konduktivitas = $0.4 \mu S/cm$) terbentuk serat tanpa manik ketika konsentrasi PS 30% w/v, sedangkan larutan PS dengan DMF Aldrich 99% (konduktivitas = $7.3 \mu S/cm$) membentuk serat tanpa manik-manik pada konsentrasi PS sebesar 20% w/v.

Konduktivitas larutan yang lebih tinggi menghasilkan serat tanpa manik-manik dari konsentrasi polimer yang lebih rendah dengan viskositas larutan (menurut *Tabel 1. 2*) tidak berkontribusi pada kasus ini [41].

E. Tegangan permukaan

Tegangan permukaan juga memainkan pengaruh yang signifikan dalam menentukan kisaran konsentrasi elektrospun nanofiber yang kontinu [43]. Larutan electrospinning dapat

mengalami peningkatan tegangan permukaan karena interaksi polimer-polimer atau polimer-pelarut [44]. Semakin tinggi tegangan permukaan dalam larutan maka akan terbentuk serat dengan manik yang besar [26]. Dengan menurunkan tegangan permukaan, serat dapat diproduksi tanpa manik-manik. Menambahkan surfaktan ke dalam larutan mengurangi tegangan permukaan [30].

IV. KESIMPULAN

Electrospinning adalah proses pembuatan nanofiber dengan memberikan muatan listrik pada larutan polimer sehingga terbentuk nanofiber pada kolektor logam. Beberapa parameter mempengaruhi morfologi nanofiber yang terbentuk dari proses electrospinning. Semakin kental atau semakin besar konsentrasi suatu larutan, semakin seragam serat yang terbentuk.

Untuk mendapatkan morfologi serat yang baik diperlukan volatilitas larutan yang sesuai. Ketika viskositas larutan meningkat, baik diameter manik-manik dan jarak di antara manik-manik meningkat. Bentuk manik-manik juga berubah dari bulat menjadi seperti gelendong. Konduktivitas yang terlalu tinggi menyebabkan ketidakstabilan jet dan penurunan kualitas serat. Kemudian, serat dapat diproduksi tanpa manik-manik dengan tegangan permukaan rendah.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sas I, Gorga RE, Joines JA, Thoney KA. Literature review on superhydrophobic self-cleaning surfaces produced by electrospinning. *J Polym Sci Part B Polym Phys* 2012;50:824–45. <https://doi.org/10.1002/POLB.23070>.
- [2] Bozkaya O, Arat E, Gün Gök Z, Yiğitoğlu M, Vargel İ. Production and characterization of hybrid nanofiber wound dressing containing *Centella asiatica* coated silver nanoparticles by mutual electrospinning method. *Eur Polym J* 2022;166. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111023>.
- [3] Aruan NM, Sriyanti I, Edikresnha D, Suciati T, Munir MM, Khairurrijal K. Polyvinyl Alcohol/Soursop Leaves Extract Composite Nanofibers Synthesized Using Electrospinning Technique and their Potential as Antibacterial Wound Dressing. *Procedia Eng* 2017;170:31–5. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.006>.
- [4] Hosseini SM, Abdouss M, Mazinani S, Soltanabadi A, Kalae M. Modified nanofiber containing chitosan and graphene oxide-magnetite nanoparticles as effective materials for smart wound dressing. *Compos Part B Eng* 2022;231:109557. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109557>.
- [5] Rezvani Ghomi E, Khosravi F, Neisiany RE, Shakiba M, Zare M, Lakshminarayanan R, et al. Advances in electrospinning of aligned nanofiber scaffolds used for wound dressings. *Curr Opin Biomed Eng* 2022;22:100393. <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2022.100393>.
- [6] Wang X, Drew C, Lee SH, Senecal KJ, Kumar J, Samuelson LA. Electrospun Nanofibrous Membranes for Highly Sensitive Optical Sensors. *Nano Lett* 2002;2:1273–5. <https://doi.org/10.1021/nl020216u>.
- [7] Hu X, Liu S, Zhou G, Huang Y, Xie Z, Jing X. Electrospinning

- of polymeric nanofibers for drug delivery applications. *J Control Release* 2014;185:12–21. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.04.018>.
- [8] Vass P, Szabó E, Domokos A, Hirsch E, Galata D, Farkas B, et al. Scale-up of electrospinning technology: Applications in the pharmaceutical industry. *Wiley Interdiscip Rev Nanomedicine Nanobiotechnology* 2020;12:1–24. <https://doi.org/10.1002/wnan.1611>.
- [9] Shirazi MMA, Kargari A, Ramakrishna S, Doyle J, Rajendrian M, Ramesh Babu P. Electrospun membranes for desalination and water/wastewater treatment: A comprehensive review. *J Membr Sci Res* 2017;3:209–27. <https://doi.org/10.22079/jmsr.2016.22349>.
- [10] Ranjbari E, Bazgir S, Shirazi MMA. Needleless electrospinning of poly(acrylic acid) superabsorbent: Fabrication, characterization and swelling behavior. *Polym Test* 2020;84:106403. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106403>.
- [11] Haider A, Haider S, Kang IK. A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arab J Chem* 2018;11:1165–88. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.11.015>.
- [12] Prahasti G, Edikresnha D, Rezeki YA, Munir MM, Khairurrijal K. The Synthesis and Characterization of Composite Electrospun Fibers of Polyvinylpyrrolidone and Shell Extract of Melinjo (*Gnetum gnemon* L.). *Mater Today Proc* 2019;13:187–92. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.212>.
- [13] Zulfi A, Rezeki YA, Edikresnha D, Munir MM, Khairurrijal K. Synthesis of Fibers and Particles from Polyvinyl Chloride (PVC) Waste Using Electrospinning. *IOP Conf Ser Mater Sci*

- Eng 2018;367. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/367/1/012014>.
- [14] Ahmed FE, Lalia BS, Hashaikeh R. A review on electrospinning for membrane fabrication: Challenges and applications. *Desalination* 2015;356:15–30. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.09.033>.
- [15] Casper CL, Stephens JS, Tassi NG, Chase DB, Rabolt JF. Controlling surface morphology of electrospun polystyrene fibers: Effect of humidity and molecular weight in the electrospinning process. *Macromolecules* 2004;37:573–8. <https://doi.org/10.1021/ma0351975>.
- [16] Koombhongse S, Liu W, Reneker DH. Flat polymer ribbons and other shapes by electrospinning. *J Polym Sci Part B Polym Phys* 2001;39. <https://doi.org/10.1002/polb.10015>.
- [17] McCann JT, Marquez M, Xia Y. Highly porous fibers by electrospinning into a cryogenic liquid. *J Am Chem Soc* 2006;128:1436–7. <https://doi.org/10.1021/ja056810y>.
- [18] Canejo JP, Borges JP, Godinho MH, Brogueira P, Teixeira PIC, Terentjev EM. Helical twisting of electrospun liquid crystalline cellulose micro- and nanofibers. *Adv Mater* 2008;20:4821–5. <https://doi.org/10.1002/adma.200801008>.
- [19] Han T, Reneker DH, Yarin AL. Buckling of jets in electrospinning. *Polymer (Guildf)* 2007;48:6064–76. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.08.002>.
- [20] Reneker DH, Kataphinan W, Theron A, Zussman E, Yarin AL. Nanofiber garlands of polycaprolactone by electrospinning. *Polymer (Guildf)* 2002;43:6785–94. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00595-5](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00595-5).
- [21] Fong H, Chun I, Reneker DH. Beaded nanofibers formed during electrospinning. *Polymer (Guildf)* 1999;40:4585–92.
- [22] Wu S, Qin X, Li M. The structure and properties of cellulose

- acetate materials: A comparative study on electrospun membranes and casted films. *J Ind Text* 2014;44. <https://doi.org/10.1177/1528083713477443>.
- [23] Rezeki YA, Wahyuni N, Munir MM, Khairurrijal K. Synthesis of polyvinylpyrrolidone/mangosteen pericarp extract (MPE) fibered particles using electrospray. *J Phys Conf Ser* 2019;1282:012033. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1282/1/012033>.
- [24] Hentihu MFR, Sholahuddin I. Fabrikasi Serat Nano Berbasis Polimer Menggunakan Teknologi Electrospinning. *J ROTOR* 2015;8:8–11.
- [25] Wu S, Dong T, Li Y, Sun M, Qi Y, Liu J, et al. State-of-the-art review of advanced electrospun nanofiber yarn-based textiles for biomedical applications. *Appl Mater Today* 2022;27. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2022.101473>.
- [26] Angel N, Li S, Yan F, Kong L. Recent advances in electrospinning of nanofibers from bio-based carbohydrate polymers and their applications. *Trends Food Sci Technol* 2022;120:308–24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.003>.
- [27] Zaarour B, Alhinnawi MF. A comprehensive review on branched nanofibers: Preparations, strategies, and applications. *J Ind Text* 2022;51:1S-35S. <https://doi.org/10.1177/15280837221083031>.
- [28] Zong X, Kim K, Fang D, Ran S, Hsiao BS, Chu B. Structure and process relationship of electrospun bioabsorbable nanofiber membranes. *Polymer (Guildf)* 2002;43:4403–12.
- [29] Hajikhani M, Lin M. A review on designing nanofibers with high porous and rough surface via electrospinning technology for rapid detection of food quality and safety attributes. *Trends Food Sci Technol* 2022;128:118–28. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.003>.

- [30] Hajikhani M, Emam-Djomeh Z, Askari G. Fabrication and characterization of mucoadhesive bioplastic patch via coaxial polylactic acid (PLA) based electrospun nanofibers with antimicrobial and wound healing application. *Int J Biol Macromol* 2021;172. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.051>.
- [31] Zaitoon A, Lim LT. Effect of poly(ethylene oxide) on the electrospinning behavior and characteristics of ethyl cellulose composite fibers. *Materialia* 2020;10. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2020.100649>.
- [32] Mustikasari D, Rezeki YA, Munir MM, Rachmawati H, Khairurrijal K. Turmeric extract-loaded polyvinylpyrrolidone spherical submicron particles produced using electrohydrodynamic atomization: their physico-chemical properties and antioxidant activity. *Mater Res Express* 2019;6:085415. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab272a>.
- [33] Rezeki YA, Hapidin DA, Rachmawati H, Munir MM, Khairurrijal K. Formation of electrospayed composite nanoparticles from polyvinylpyrrolidone/mangosteen pericarp extract. *Adv Powder Technol* 2020.
- [34] Lasprilla-Botero J, Álvarez-Láinez M, Lagaron JM. The influence of electrospinning parameters and solvent selection on the morphology and diameter of polyimide nanofibers. *Mater Today Commun* 2018;14. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.12.003>.
- [35] Zaarour B, Zhu L, Jin X. A Review on the Secondary Surface Morphology of Electrospun Nanofibers: Formation Mechanisms, Characterizations, and Applications. *ChemistrySelect* 2020;5. <https://doi.org/10.1002/slct.201903981>.
- [36] Wang X, Ding B, Sun G, Wang M, Yu J. Electro-

- spinning/netting: A strategy for the fabrication of three-dimensional polymer nano-fiber/nets. *Prog Mater Sci* 2013;58:1173–243.
- [37] Luzio A, Canesi EV, Bertarelli C, Caironi M. Electrospun polymer fibers for electronic applications. *Materials (Basel)* 2014;7. <https://doi.org/10.3390/ma7020906>.
- [38] Zander NE. Hierarchically structured electrospun fibers. *Polymers (Basel)* 2013;5. <https://doi.org/10.3390/polym5010019>.
- [39] Haider S, Al-Zeghayer Y, Ahmed Ali FA, Haider A, Mahmood A, Al-Masry WA, et al. Highly aligned narrow diameter chitosan electrospun nanofibers. *J Polym Res* 2013;20. <https://doi.org/10.1007/s10965-013-0105-9>.
- [40] Smith DPH. *Electrohydrodynamic Atomization* 1986;1:527–35.
- [41] Uyar T, Besenbacher F. Electrospinning of uniform polystyrene fibers: The effect of solvent conductivity. *Polymer (Guildf)* 2008;49:5336–43. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2008.09.025>.
- [42] Rafizadeh M, Fallahi D, Mohammadi N, Vahidi B. Effects of feed rate and solution conductivity on jet current and fiber diameter in electrospinning of polyacrylonitrile solutions. *E-Polymers* 2009;1–8. <https://doi.org/10.1515/epoly.2009.9.1.1250>.
- [43] Deitzel JM, Kleinmeyer J, Harris D, Beck Tan NC. The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer (Guildf)* 2001;42. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00250-0](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00250-0).
- [44] Ewaldz E, Brettmann B. *Molecular Interactions in Electrospinning: From Polymer Mixtures to Supramolecular Assemblies*. *ACS Appl Polym Mater* 2019;1. <https://doi.org/10.1021/acsapm.8b00073>.

PENGARUH PARAMETER PROSES DAN PARAMETER LINGKUNGAN PADA TEKNIK ELECTROSPINNING

I. PENDAHULUAN

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai teknik electrospinning dan parameter larutan sebagai parameter yang sangat penting pada proses pembentukan nanomaterial menggunakan teknik electrospinning. Selain parameter tersebut, terdapat parameter lain yaitu parameter proses dan juga parameter lingkungan [1].

Tegangan tinggi, jarak ujung jarum ke kolektor, dan laju aliran termasuk dalam parameter proses, sedangkan suhu dan kelembaban yang merupakan parameter lingkungan yang keduanya mempengaruhi proses electrospinning. Pada bab ini akan dijelaskan pengaruh masing-masing parameter tersebut secara jelas dan terperinci.

II. PARAMETER PROSES

Parameter proses pada teknik electrospinning terdiri dari tegangan tinggi, jarak ujung jarum terhadap kolektor, dan laju aliran larutan prekursor. Pengaruh masing-masing parameter tersebut dijelaskan secara detail pada subbab berikut.

A. Tegangan Tinggi

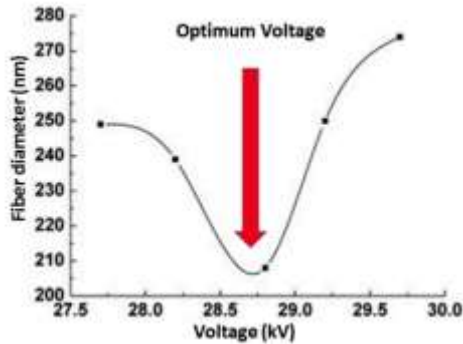
Dalam banyak penelitian, atau lebih umum, meningkatkan tegangan tinggi pada proses electrospinning akan mengurangi diameter dan panjang serat [2–5]. Penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk. (2022) menemukan bahwa pada tegangan tinggi, agregat serat sangat teratur, lengkap, dan seragam [6]. Dalam penelitian lain, Wang dkk. (2022) menemukan bahwa diameter serat akan berkurang sebagai dampak ketika tegangan yang diberikan ditingkatkan [7].

Suplai tegangan tinggi mengubah tetesan bola menjadi kerucut Taylor, membentuk nanofiber sempurna pada tegangan kritis [1,8]. Permukaan di mana kerucut Taylor dan jet serat terbentuk akan berubah bentuk ketika tegangan yang diberikan meningkat. Pada nilai tegangan yang lebih rendah, kerucut Taylor terbentuk di ujung tetesan yang menggantung. Volume tetesan menurun dengan meningkatnya tegangan yang diberikan sampai terbentuk kerucut Taylor di ujung kapiler. Hal ini terkait dengan peningkatan cacat manik antara elektrospon nanofiber [9].

Manik-manik terbentuk ketika tegangan yang diberikan meningkat melampaui nilai kritis [10]. Tegangan yang diperlukan harus diberikan untuk memulai pembentukan jet selama electrospinning. Tegangan permukaan, konduktivitas, dan viskositas adalah beberapa faktor larutan yang secara signifikan mempengaruhi tegangan ambang ini.

Tingkat ketidakstabilan cambuk meningkat ketika tegangan yang diberikan naik di atas ambang awal jet. Akibatnya, nanofiber yang dihasilkan mungkin memiliki kekurangan seperti serat bermanik-manik, datar, berbentuk pita atau tidak rata [11].

Namun, serat akan retak jika tegangan tinggi meningkat karena medan listrik yang tinggi [7]. Sistem polimer/pelarut tertentu memiliki kisaran kekuatan medan listrik yang optimal karena serat manik-manik akan terbentuk ketika medan listrik terlalu lemah atau terlalu kuat. Hal tersebut berbeda antara larutan satu dengan larutan lainnya, bergantung pada jenis larutan polimer.



Gambar 2. 1. Hubungan antara pemberian tegangan tinggi terhadap diameter nanofiber [12]

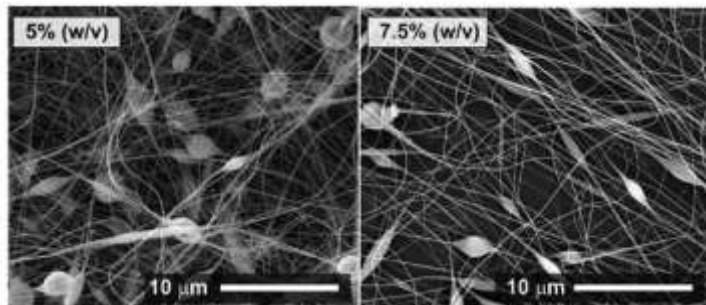
Gambar 2. 1 menunjukkan bahwa diameter serat berkurang dan bertambah dengan tegangan yang diberikan [12]. Peningkatan tegangan larutan konduktif menciptakan jalur berkas yang kompleks yang dapat menyebabkan serat menyatu dan terjerat [13].

B. Jarak Ujung Jarum ke Kolektor

Jarak antara jarum dan kolektor dapat mempengaruhi morfologi nanofiber yang dihasilkan karena jarak ini akan mempengaruhi laju evaporasi, interval ketidakstabilan larutan yang terlontar, dan waktu deposisi [1]. Menjaga jarak ini tetap kecil akan membentuk nanofiber dengan diameter besar, tetapi semakin besar jaraknya, semakin kecil diameter nanofiber yang dihasilkan [14]. Hal yang sama diamati dalam penelitian oleh Mazoochi dkk. (2012) bahwa manik-manik terbentuk jika jaraknya terlalu kecil.

Gambar 2. 2 menunjukkan contoh serat bermanik-manik. Sebagai dampak dari peningkatan jarak antara ujung jarum dan kolektor adalah peningkatan medan listrik, peningkatan medan listrik ini akan menyebabkan pembentukan manik-manik pada

nanofiber [15]. Intensitas medan listrik juga meningkat karena jarak antara pemintal dan kolektor menjadi lebih dekat [11]. Wang dkk. (2022) menemukan hal yang sedikit berbeda, ketika jarak diperbesar diameter serat tidak berubah secara signifikan, tetapi munculnya serat manik-manik diamati ketika jarak terlalu dekat [7].



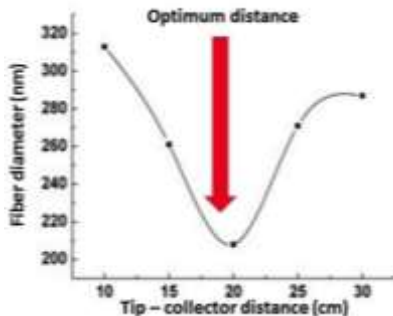
Gambar 2. 2. Contoh serat manik-manik phthalic anhydride diamine (FDA-TrMP) pada 5 and 7.5% (w/v). Jarak ujung kolektor dan laju alir adalah 15 cm dan 0,25 mL/jam [16]

Misalkan jarak dari ujung jarum ke pengumpul logam terlalu pendek, pelarut tidak akan memiliki cukup waktu untuk menjalani proses penguapan untuk menghasilkan struktur mat dari nanofiber yang saling bertautan [17]. Ketika jaraknya terlalu pendek sebagai akibat dari periode peregangan yang lebih pendek sebelum pengendapan pada pelat, maka diameternya akan meningkat.

Selama proses electrospinning, jet hanya bisa memanjang dan menjadi lebih tipis saat terbang dan dalam bentuk cair. Karena tolakan muatan antara ion dalam larutan dan gaya tarik bersih menuju kolektor, serat berdiameter kecil dapat diregangkan dan akhirnya disintesis [18].

Merujuk pada penelitian Ibrahim dan Klingner (2020) menunjukkan bahwa diameter nanofiber semakin mengecil seiring

dengan bertambahnya jarak dari ujung jarum ke kolektor hingga mencapai nilai optimum [12].



Gambar 2. 3. Hubungan antara jarak jarum ke kolektor dan diameter serat [12]

Seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 2. 3*, ini sama seperti ketika kita menaikkan tegangan yang diberikan. Ketika tegangan konstan diberikan pada proses electrospinning, kuat medan listrik berbanding terbalik dengan jarak [19]. Namun, jika jarak antara jarum ke kolektor meningkat melampaui tingkat tertentu, kekuatan medan listrik akan melemah secara signifikan, sedangkan diameter serat akan meningkat. Medan elektromagnetik terganggu dan serat tidak mau terbentuk di permukaan kolektor pada jarak yang jauh [20].

Dalam beberapa penelitian, needleless electrospinning telah digunakan untuk menggantikan jarum dengan drum berputar yang berinteraksi langsung dengan larutan [21]. Alhasil, sebagian besar kekurangan proses electrospinning dengan jarum seperti penyumbatan jarum dapat diatasi dengan menggunakan needleless electrospinning.

C. Laju Alir Larutan

Laju alir mempengaruhi rendemen serat yang dihasilkan. Jika laju aliran terlalu rendah, larutan dalam pemintal akan memadat sehingga menyebabkan fluks yang tidak mencukupi dan tidak ada pembentukan kerucut Taylor [22]. Laju aliran tinggi menghasilkan serat manik-manik karena waktu pengeringan yang cukup tidak tersedia sebelum mencapai kolektor [12,23].

Hasil serupa diperoleh dalam penelitian yang dilakukan oleh Kailasa dkk. (2021), peningkatan laju alir menyebabkan terbentuknya butiran pada serat karena laju alir yang tinggi dapat mencegah jet drying selama penerbangan antara jarum ke kolektor [19]. Peningkatan laju alir juga meningkatkan ukuran pori dan diameter serat [24,25]. Namun, penelitian Schubert (2019) menemukan hal yang berbeda, yang menunjukkan bahwa diameter serat relatif konstan pada kisaran 10 kali aliran [26].

Larutan polimer umumnya memiliki waktu yang cukup untuk terpolarisasi pada laju aliran yang lebih rendah [27]. Pada nilai laju alir yang tinggi, tetesan yang lebih besar akan terbentuk sehingga diameter serat rata-rata dan ukuran manik meningkat. Karena laju aliran yang lebih tinggi dari optimal mungkin tidak memberikan larutan umpan cukup waktu untuk terisi penuh sebelum menghasilkan kerucut Taylor, tetesan mungkin terbentuk setelah tersembur dari pemintal [11]. Laju aliran yang tinggi menyebabkan ujung jarum mengeluarkan banyak larutan, yang memperpanjang proses pengeringan [28]. Dalam hal ini, pelarut sisa dapat menyebabkan serat saling menempel dan membentuk jaring, bukan serat.

III. PARAMETER LINGKUNGAN

Parameter lingkungan pada teknik electrospinning meliputi suhu dan kelembaban udara. Berikut adalah penjelasan pengaruh masing-masing parameter tersebut.

A. Suhu atau temperatur

Parameter suhu dan kelembaban membantu mengatur laju penguapan pelarut. Temperatur mempengaruhi viskositas dan dimensi serat, temperatur yang lebih tinggi akan menurunkan viskositas larutan sehingga menyebabkan regangan yang lebih tinggi pada proses dan membuat serat menjadi lebih tipis [29,30]. Hubungan antara viskositas dan suhu berbanding terbalik.

Temperatur yang lebih tinggi berarti viskositas yang lebih rendah dan penguapan pelarut yang lebih efisien. Ini mengikuti sebuah studi oleh Shepa dkk. (2021) bahwa peningkatan suhu meningkatkan konduktivitas, menurunkan viskositas larutan dan tegangan permukaan, dan secara signifikan mempengaruhi diameter serat yang terbentuk [31,32].

Temperatur yang lebih tinggi memberikan molekul dalam larutan lebih banyak energi, mengurangi tegangan permukaan dan viskositas serta meningkatkan konduktivitas listrik [11]. Konduktivitas listrik harus meningkat karena mobilitas ion dalam larutan meningkat seiring dengan penurunan viskositas [20]. Akibatnya, gaya listrik yang lebih rendah digunakan selama pemintalan, menciptakan serat dengan diameter yang lebih kecil.

B. Kelembaban udara

Peningkatan kelembaban selama proses electrospinning umumnya menyebabkan peningkatan diameter serat. Kelembaban yang lebih tinggi membuat serat lebih besar dan lebih kasar, peningkatan kelembaban lebih lanjut akan membuat permukaan nanofiber lebih berpori [24,31]. Selain itu, penelitian Ghorani dan

Tucker menunjukkan bahwa peningkatan kelembaban dapat mempengaruhi ukuran pori dan distribusi ukuran pori serat [32]. Kelembaban mempengaruhi laju penguapan pelarut.

Dengan kata lain, ketika kelembaban udara di sekitarnya meningkat, laju penguapan pelarut menurun, memungkinkan periode pemanjangan jet dan produksi serat yang lebih lama [11]. Kelembaban yang tinggi dapat mengganggu karena dapat mengakibatkan obstruksi pemintal, pembentukan serat yang lebih tebal, pengendapan serat yang tidak jelas pada kolektor, dan cacat serat. Porositas juga meningkat dengan meningkatnya kelembaban [29].

Ibrahim dan Klinger menyatakan bahwa kelembaban yang sangat rendah dapat menyebabkan pelarut yang mudah menguap cepat menguap, menyebabkan masalah pada proses electrospinning, antara lain penyumbatan ujung jarum dapat melepaskan elektrospun nanofiber pada kelembaban tinggi [12]. Kelembaban dapat mengentalkan dan menipiskan nanofiber, tergantung dari sifat kimia polimer yang diungakan selama proses tersebut [30]. Nanofiber yang dihasilkan pada kelembaban rendah akan menghasilkan nanofiber yang lebih tipis dari nanofiber yang diproduksi pada kelembaban tinggi [33].

Kelembaban juga mempengaruhi sifat mekanik serat yang dihasilkan. Menurut penelitian oleh Huang dkk. (2015), tikar elektrospun nanofiber sangat berpori tetapi umumnya memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah [24]. Tergantung pada kekuatan serat individu dan hubungan antar serat, kekuatan tarik dan modulus biasanya digunakan untuk menggambarkan kualitas mekanik.

IV. KESIMPULAN

Parameter proses pada teknik electrospinning terdiri dari tegangan tinggi, jarak ujung jarum terhadap kolektor, dan laju aliran larutan prekursor. Bertambahnya tegangan yang diberikan memberikan ukuran nanofiber yang lebih kecil. Jarak antara jarum dan kolektor dapat mempengaruhi morfologi nanofiber yang dihasilkan karena jarak ini akan mempengaruhi laju evaporasi, interval ketidakstabilan larutan yang terlontar, dan waktu deposisi. Pada jarak yang lebih pendek, nanofiber yang dihasilkan akan lebih besar dan cenderung memiliki manik-manik pada morfologinya. Laju aliran tinggi menghasilkan serat manik-manik karena waktu pengeringan yang cukup tidak tersedia sebelum mencapai kolektor. Peningkatan laju aliran juga menyebabkan peningkatan ukuran pori dan diameter nanofiber.

Parameter suhu dan kelembaban membantu mengatur laju penguapan pelarut. Temperatur mempengaruhi viskositas dan dimensi serat, temperatur yang lebih tinggi akan menurunkan viskositas larutan sehingga menyebabkan regangan yang lebih tinggi pada proses dan membuat serat menjadi lebih tipis. Peningkatan kelembaban selama proses electrospinning umumnya menyebabkan peningkatan diameter serat. Kelembaban yang lebih tinggi membuat serat lebih besar dan lebih kasar, peningkatan kelembaban lebih lanjut akan membuat permukaan nanofiber lebih berpori. Kelembaban juga mempengaruhi sifat mekanik serat yang dihasilkan yaitu nanofiber sangat berpori dikarenakan kelembaban yang tinggi memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haider A, Haider S, Kang IK. A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arab J Chem* 2018;11:1165–88. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.11.015>.
- [2] Rodríguez-Tobías H, Morales G, Grande D. Comprehensive review on electrospinning techniques as versatile approaches toward antimicrobial biopolymeric composite fibers. *Mater Sci Eng C* 2019;101:306–22. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.099>.
- [3] Angel N, Guo L, Yan F, Wang H, Kong L. Effect of processing parameters on the electrospinning of cellulose acetate studied by response surface methodology. *J Agric Food Res* 2020;2:100015. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100015>.
- [4] Zhou H, Shi Z, Wan X, Fang H, Yu DG, Chen X, et al. The relationships between process parameters and polymeric nanofibers fabricated using a modified coaxial electrospinning. *Nanomaterials* 2019;9. <https://doi.org/10.3390/nano9060843>.
- [5] Angel N, Li S, Yan F, Kong L. Recent advances in electrospinning of nanofibers from bio-based carbohydrate polymers and their applications. *Trends Food Sci Technol* 2022;120:308–24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.003>.
- [6] Wang H, Zhang Y, Niu H, Wu L, He X, Xu T, et al. An electrospinning–electrospraying technique for connecting electrospun fibers to enhance the thermal conductivity of boron nitride/polymer composite films. *Compos Part B Eng* 2022;230:109505. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109505>.
- [7] Wang K, Zhao K, Meng Q, Li X, Bai Q, Jiao H, et al. Preparation of zirconium carbide nanofibers by electrospinning

- of pure zirconium-containing polymer. *Ceram Int* 2022;1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.05.226>.
- [8] Huan S, Liu G, Han G, Cheng W, Fu Z, Wu Q, et al. Effect of experimental parameters on morphological, mechanical and hydrophobic properties of electrospun polystyrene fibers. *Materials* (Basel) 2015;8:2718–34. <https://doi.org/10.3390/ma8052718>.
- [9] Sill TJ, von Recum HA. Electrospinning: Applications in drug delivery and tissue engineering. *Biomaterials* 2008;29:1989–2006. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.01.011>.
- [10] Matabola KP, Moutloali RM. The influence of electrospinning parameters on the morphology and diameter of poly(vinylidene fluoride) nanofibers- Effect of sodium chloride. *J Mater Sci* 2013;48:5475–82. <https://doi.org/10.1007/s10853-013-7341-6>.
- [11] Tan SM, Teoh XY, Le Hwang J, Khong ZP, Sejare R, Almashhadani AQ, et al. Electrospinning and its potential in fabricating pharmaceutical dosage form. *J Drug Deliv Sci Technol* 2022;76:103761. <https://doi.org/10.1016/J.JDDST.2022.103761>.
- [12] Ibrahim HM, Klingner A. A review on electrospun polymeric nanofibers: Production parameters and potential applications. *Polym Test* 2020;90:106647. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106647>.
- [13] Bozkaya O, Arat E, Gün Gök Z, Yiğitoğlu M, Vargel İ. Production and characterization of hybrid nanofiber wound dressing containing *Centella asiatica* coated silver nanoparticles by mutual electrospinning method. *Eur Polym J* 2022;166. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111023>.
- [14] Gómez-Tejedor JA, Overberghe N Van, Rico P, Ribelles JLG. Assessment of the parameters influencing the fiber characteristics of electrospun poly(ethyl methacrylate)

- membranes. *Eur Polym J* 2011;47:119–29. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.10.034>.
- [15] Mazoochi T, Hamadian M, Ahmadi M, Jabbari V. Investigation on the morphological characteristics of nanofibrous membrane as electrospun in the different processing parameters. *Int J Ind Chem* 2012;3:1–8. <https://doi.org/10.1186/2228-5547-3-2>.
- [16] Topuz F, Abdulhamid MA, Holtz T, Szekely G. Nanofiber engineering of microporous polyimides through electrospinning: Influence of electrospinning parameters and salt addition. *Mater Des* 2021;198. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109280>.
- [17] Dejob L, Toury B, Tadier S, Grémillard L, Gaillard C, Salles V. Electrospinning of in situ synthesized silica-based and calcium phosphate bioceramics for applications in bone tissue engineering: A review. *Acta Biomater* 2021;123:123–53. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.032>.
- [18] Fakhri MA, Khan J, Mariatti M, Ain Abdul Hamid Z, Marsilla KIK, Vilay V, et al. The influence of working distance, stirring and electrospinning time on fibre forming properties of electrospun polylactic acid for facemask layer application. *Mater Today Proc* 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.507>.
- [19] Kailasa S, Reddy MSB, Maurya MR, Rani BG, Rao KV, Sadasivuni KK. Electrospun Nanofibers: Materials, Synthesis Parameters, and Their Role in Sensing Applications. *Macromol Mater Eng* 2021;306:1–36. <https://doi.org/10.1002/mame.202100410>.
- [20] Hajikhani M, Lin M. A review on designing nanofibers with high porous and rough surface via electrospinning technology for rapid detection of food quality and safety attributes. *Trends*

- Food Sci Technol 2022;128:118–28.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.003>.
- [21] Ranjbari E, Bazgir S, Shirazi MMA. Needleless electrospinning of poly(acrylic acid) superabsorbent: Fabrication, characterization and swelling behavior. *Polym Test* 2020;84:106403.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106403>.
- [22] Sandri G, Rossi S, Bonferoni MC, Caramella C, Ferrari F. Electrospinning Technologies in Wound Dressing Applications. *Ther Dressings Wound Heal Appl* 2020:315–36.
<https://doi.org/10.1002/9781119433316.ch14>.
- [23] Bhardwaj N, Kundu SC. Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnol Adv* 2010;28:325–47.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.01.004>.
- [24] Huang L, Bui NN, Manickam SS, McCutcheon JR. Controlling electrospun nanofiber morphology and mechanical properties using humidity. *J Polym Sci Part B Polym Phys* 2011;49:1734–44.
<https://doi.org/10.1002/polb.22371>.
- [25] Xue J, Wu T, Dai Y, Xia Y. Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications. *Chem Rev* 2019;119:5298–415.
- [26] Schubert DW. Revealing Novel Power Laws and Quantization in Electrospinning Considering Jet Splitting—Toward Predicting Fiber Diameter and Its Distribution. *Macromol Theory Simulations* 2019;28:1–9.
<https://doi.org/10.1002/mats.201900006>.
- [27] Li Z, Wang C. Effects of Working Parameters on Electrospinning. *SpringerBriefs Mater* 2013:15–28.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-36427-3_2.
- [28] Zargham S, Bazgir S, Tavakoli A, Rashidi AS, Damerchely R. The effect of flow rate on morphology and deposition area of

- electrospun nylon 6 nanofiber. *J Eng Fiber Fabr* 2012;7:42–9. <https://doi.org/10.1177/155892501200700414>.
- [29] Luraghi A, Peri F, Moroni L. Electrospinning for drug delivery applications: A review. *J Control Release* 2021;334:463–84. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.03.033>.
- [30] De Vrieze S, Van Camp T, Nelvig A, Hagström B, Westbroek P, De Clerck K. The effect of temperature and humidity on electrospinning. *J Mater Sci* 2009;44:1357–62. <https://doi.org/10.1007/s10853-008-3010-6>.
- [31] Shepa I, Mudra E, Dusza J. Electrospinning through the prism of time. *Mater Today Chem* 2021;21:100543. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2021.100543>.
- [32] Ghorani B, Tucker N. Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology. *Food Hydrocoll* 2015;51:227–40. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.024>.
- [33] Bavatharani C, Muthusankar E, Wabaidur SM, Allothman ZA, Alsheetan KM, AL-Anazy M mana, et al. Electrospinning technique for production of polyaniline nanocomposites/nanofibres for multi-functional applications: A review. *Synth Met* 2021;271:116609. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2020.116609>.

NANOPARTIKEL KITOSAN SEBAGAI PEMBAWA OBAT PADA PENGOBATAN KANKER

I. PENDAHULUAN

Nanopartikel adalah partikel koloid berukuran 1-100 nanometer [1], dan terdiri dari berbagai produk biodegradable, polimer, lipid, logam, dan senyawa lain [2], serta bahan seperti protein, polisakarida, dan polimer sintetik [3]. Mayoritas nanopartikel berbasis polimer tidak larut dalam air panas, pelarut organik, atau gaya geser yang signifikan, yang dapat membahayakan stabilitas obat. Polimer sintesis dan alami dapat dimanfaatkan untuk membuat nanopartikel [4].

Nanopartikel dengan bahan dasar logam seperti perak, titanium oksida, dan seng oksida dapat digunakan sebagai antivirus dimana ukuran, bentuk, porositas, potensi zeta, modifikasi permukaan, dan stabilitas dalam kondisi psikologis tertentu sangat mempengaruhi efektivitas nanopartikel sebagai antivirus [5].

Pembuatan nanopartikel yang sesuai dengan kebutuhan dapat mengurangi berbagai keterbatasan dalam pengobatan konvensional [6]. Nanopartikel digunakan sebagai pelindung (perak, emas, tembaga, titanium oksida, dan kitosan) atau pembawa (kitosan, silika, lipid padat, dan hidroksida ganda berlapis) senyawa aktif (insektisida, fungisida, herbisida, dan interferensi RNA) untuk melindungi tanaman dari bakteri, jamur, virus, dan serangga [7].

Keuntungan lain dari nanopartikel adalah sistem pengiriman seperti sintesis yang mudah, kemudahan fungsionalisasi [8], dan kemampuannya yang fleksibel untuk disesuaikan dengan aplikasi yang diinginkan [9]. Selain untuk obat, nanopartikel juga dapat digunakan sebagai penghambat oksidasi aspal untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan aspal [10].

Penemuan nanopartikel dalam bidang teknik dan kesehatan dapat digunakan sebagai sarana diagnosis dan penghantaran obat [11]. Salem dkk. (2023) telah menyatakan bahwa beberapa nanopartikel baru-baru ini telah dipublikasikan di berbagai publikasi, termasuk CS-NP, NP berlapis polimer, Ag-NPs, Cu-NPs, Au-NPs, Ni-NPs, Pt-NPs, CuO-NPs, ZnO-NPs, Pd-NPs, Si-NPs, FeO-NPs, ZrO₂-NPs, dan TiO₂-NPs termasuk di antara NP logam, oksida logam, dan dioksida [12].

Setiap nanopartikel memiliki karakteristik yang berbeda (ukuran, bentuk, dan morfologi) yang dapat mempengaruhi aplikasi dan fabrikasi nanopartikel itu sendiri yang dapat melalui proses sintesis kimia dan fisika [13,14]. Studi sebelumnya telah menunjukkan kemampuan nanopartikel gadolinium silikat sebagai agen pencitraan MRI dan pembawa pengiriman obat dengan enkapsulasi obat anti kanker [15].

Studi lain menggambarkan nanopartikel yang terbuat dari kitosan yang dilapisi dengan bovine serum albumin (BSA) yang diisi dengan NELL-1 untuk menstabilkan mikrosfer BSA, menghasilkan pelepasan NELL-1 yang lebih lambat dan bioaktivitas NELL-1 yang lebih baik [16].

Dan dkk. (2022) telah mendemonstrasikan nanopartikel berbasis Fe₃O₄ yang dilapisi polietilen glikol dengan doksorubisin sebagai obat pembawa untuk terapi tumor, dimana hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nanopartikel berbentuk cincin (nanoring) dan tabung (nanotube) memiliki kinerja penghantaran dan pelepasan obat yang lebih baik dari nanospheres [17].

Nanopartikel sangat baik digunakan dalam pengobatan kanker karena dapat mendistribusikan obat secara lokal ke sumber tumor tanpa efek samping selama proses penghantaran obat [18]. Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Mohammed dkk. (2017), ditemukan bahwa nanopartikel kitosan dapat secara efektif menghantarkan obat pada tempat tertentu dengan menahan obat secara lokal sehingga memungkinkan waktu yang lama untuk penyerapan obat [19].

Fungsi nanopartikel itu sendiri dapat dimanfaatkan dalam pengobatan kanker dengan penggunaan yang tepat. Hal ini dikarenakan penggunaan kitosan dalam metode fabrikasi nanopartikel. Pada artikel review kali ini, penulis mencoba mengulas nanopartikel kitosan sebagai pembawa obat dengan menggunakan teknik electrospray.

Diantara sekian banyak proses atomisasi, proses sintesis nanopartikel yang menarik perhatian dan saat ini sedang dipelajari adalah spray combustion, proses ini terbagi menjadi beberapa proses seperti fuel injection, atomization, droplet dispersion, evaporasi, fuel-air mixing, dan combustion [20].

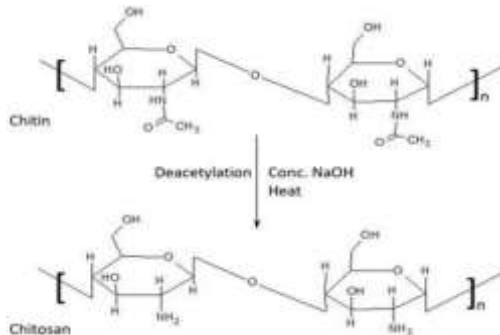
Estaca, (2012) menyatakan bahwa teknik elektrohidrodinamik atomisasi (EHDA) atau electrospray memberikan keuntungan dalam sintesis nanopartikel seperti efisiensi enkapsulasi yang tinggi dan tidak memerlukan pemisahan untuk menghilangkan partikel dari pelarut [21].

Selain itu, teknik electrospray juga memungkinkan terbentuknya partikel dengan diameter yang bervariasi dengan distribusi ukuran yang seragam. Penelitian ini juga akan membahas tentang nanopartikel kitosan sebagai pembawa obat menggunakan metode electrospray yang diterapkan dalam pengobatan kanker.

II. NANOPARTIKEL KITOSAN

Kitosan adalah turunan paling penting dari kitin, diproduksi dengan menghilangkan bagian asetat kitin seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 3. 1 [19].



Gambar 3. 1. Deasetilasi kitin menjadi kitosan

Kitosan adalah polisakarida yang berasal dari tumbuhan yang dibuat melalui ikatan glikosidik. Kitosan dapat hadir dalam berbagai mikroba ragi dan jamur [22]. Kitosan bersifat biodegradable dan prosesnya dapat dipercepat oleh enzim atau katalis kimia. Kitosan dapat digunakan sebagai nanopartikel sebagai pembawa obat karena sifatnya yang biodegradable ini. Dalam situasi ini, enkapsulasi obat atau komponen farmasi aktif lainnya merupakan faktor penting dalam penghantaran obat [23].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Dou dkk. (2019), nanopartikel asam poli-laktida-co-glikolida kitosan memiliki nilai kapasitas beban $0,98 \pm 0,04\%$ dan efisiensi enkapsulasi $62,46 \pm 3,43\%$ [23]. Pada penelitian lain, efektivitas enkapsulasi kuersetin dari nanopartikel kitosan tripolifosfat adalah $48,7 \pm 0,4\%$, sedangkan efisiensi enkapsulasi nanopartikel kitosan lainnya berkisar antara 92,5 hingga 98,3% [24]. Polimer yang dapat terurai secara hayati dapat digunakan sebagai pembawa obat dan sangat berhasil dalam mengurangi efek samping pada tubuh [25].

Kitosan membentuk senyawa dengan lendir bermuatan negatif melalui ikatan ionik atau hidrogen serta interaksi hidrofobik [19]. Sifat adhesi kitosan akan meningkat di lingkungan netral dan asam. Semakin

tinggi berat molekul dan semakin besar derajat destilasi kitosan maka semakin kuat dan besar daya rekatnya [26].

Lebih lanjut, kitosan memiliki dampak antikanker dengan meningkatkan fungsi kekebalan tubuh dan dapat bekerja langsung pada sel tumor untuk mengganggu metabolisme sel, menurunkan perkembangan sel, dan menginduksi apoptosis sel [27].

Sistem penghantaran obat nanopartikel juga harus memenuhi persyaratan berikut: pembuatan nanopartikel kitosan sebagai pembawa obat haruslah mudah, terjangkau, dan dapat ditingkatkan; tidak memerlukan panas atau pelarut organik untuk persiapan; stabil saat diberikan; tidak beracun; reproduksi dapat dimodifikasi; dan bekerja dengan berbagai macam obat. Pada artikel ini, nanopartikel kitosan dibahas sebagai pembawa obat. Tabel 3. 1 menunjukkan beberapa penelitian tentang nanopartikel kitosan sebagai pembawa obat.

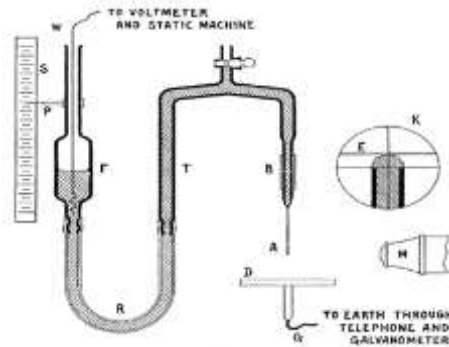
Tabel 3. 1. Perkembangan Penelitian Nanopartikel Kitosan

No.	Bahan	Metode	Ref.
1.	Glycol Chitosan (HGC)	Hidrofobik	[28]
2.	Nanopartikel kitosan bermuatan paclitaxel	Metode crosslinking penguapan pelarut dan emulsifikasi	[29]

Nanopartikel kitosan merupakan salah satu pilihan untuk pembawa obat dalam pengobatan kanker karena efisiensi enkapsulasinya yang tinggi dan produksinya yang sederhana. Nanomaterials dapat dibuat menggunakan berbagai teknik, termasuk electrospray, sol gel, gelasi ionik, dan banyak lagi.

III. ELECTROSPRAY

Electrospray adalah teknik atomisasi yang populer karena kemudahan persiapan dan banyaknya faktor yang dapat dimodifikasi untuk mencapai sifat partikel yang diinginkan. Suatu larutan dapat diatomisasi dengan gaya listrik menggunakan teknik electrospray [30]. Mekanisme electrospray diadaptasi dari penelitian Zeleny (1914), yang pengaturan instrumennya digambarkan pada Gambar 2 [31].



Gambar 3. 2. Skema Eksperimental Zeleny, J (1914)

Gambar 3. 2 menunjukkan upaya pertama Zeleny untuk mengukur debit listrik dan intensitas pada permukaan larutan. Karena efisiensi dan kesederhanaannya dalam pembuatan atom, semprotan listrik juga dikenal sebagai atomisasi elektrohodinamik [32]. Atomisasi elektrohodinamik (EHDA) adalah proses yang menggunakan tegangan tinggi untuk mengatomisasi cairan meninggalkan nosel logam menjadi tetesan kecil [33]. Menurut Vishlagi dkk. (2012), electrospray adalah teknik untuk mendispersikan cairan menjadi tetesan kecil dengan menggunakan medan listrik tinggi (tetesan) [34].

Menurut penelitian sebelumnya, Ramakrishna dan Sreedar (2013) menjelaskan bahwa ide dasar di balik electrospray adalah menggunakan tegangan tinggi untuk mendorong nanopartikel polimer keluar dari jarum suntik [25]. Teknik ini mudah digunakan dan dapat membuat

nanopartikel dengan distribusi ukuran yang homogen dengan merendam larutan prekursor logam dalam larutan reduksi [34].

Estaca dkk. (2012) menyatakan bahwa electrospray memiliki banyak keuntungan dalam sintesis nanopartikel, seperti peningkatan efisiensi enkapsulasi dan penghapusan kebutuhan pemisahan ulang untuk menghilangkan partikel yang dihasilkan dengan pelarut [21].

Teknik electrospray juga memiliki keuntungan sebagai berikut: manajemen parameter operasi sederhana; ukuran partikel yang kecil dan seragam; pemisahan cepat dan prosedur satu langkah; dapat digunakan untuk produksi massal; dapat diperluas [35].

Selain keuntungan yang disebutkan sebelumnya, kelemahan dari teknik ini adalah bahwa tegangan yang terkait dengan kondisi operasinya (seperti suhu selama pengeringan dan tegangan geser di nosel) dapat menyebabkan beberapa makromolekul terdegradasi [36]. Mustikasari dkk. (2019) menyatakan bahwa diameter rata-rata nanopartikel yang dibuat dengan teknik electrospray akan meningkat seiring dengan penurunan konduktivitas, tegangan permukaan, dan viskositas larutan prekursor [37].

Dalam sintesis nanopartikel menggunakan teknik electrospray, dibutuhkan polimer yang dapat membawa bahan aktif [38]. Salah satu bahan aktif yang memiliki antioksidan tinggi dapat ditemukan pada tumbuhan.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tanaman tropis seperti manggis mengandung antioksidan yang tinggi pada kulit buahnya, namun sifat antioksidan ini sulit dimanfaatkan karena sifatnya yang sulit larut dalam air, namun potensi bahan aktifnya dapat ditingkatkan dengan mengubahnya menjadi nanopartikel [39].

IV. PENGOBATAN KANKER

Penyakit tidak menular yang menginfeksi banyak orang dan merupakan salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia. Ketika

DNA sel normal rusak, mutasi genetik yang dapat mengarah pada pembentukan sel kanker juga dapat terjadi. Kemoterapi adalah salah satu pengobatan kanker yang sejauh ini telah diteliti untuk membantu membasmi sel kanker [40]. Kelelahan dan ketidaknyamanan adalah efek samping yang umum dari pengobatan kanker pada tiap individu [41]. Para peneliti telah melakukan berbagai penyesuaian terapi untuk membasmi sel kanker dengan memanfaatkan bahan sintesis hijau yang tidak berbahaya bagi tubuh manusia.

Menurut Ma dkk. (2020), kitosan dan biguanidine merupakan polimer alam yang digunakan untuk melindungi inti partikel nano Fe_3O_4 [42]. Ukuran nanopartikel penting untuk efektivitasnya sebagai pengobatan anti-kanker; semakin kecil partikel, semakin baik mereka dapat menembus sel. Radikal bebas dapat menyebabkan sel DNA dan RNA manusia berubah menjadi sel kanker, tetapi juga dapat dinetralkan oleh antioksidan yang ditemukan dalam elemen seperti Ag dan Fe [42]. Ginjal akan menyaring partikel kurang dari 10 nm, tetapi karena ukurannya yang relatif besar, partikel yang lebih besar dari 100 nm tidak akan dapat berdifusi kembali dari hati ke aliran darah [43].

Penelitian terkait telah dilakukan untuk mengidentifikasi nanocarrier kitosan dalam pemberantasan sel kanker. Diungkapkan bahwa ketika kitosan digabungkan dengan MSN-APTES dan glutaraldehid digunakan sebagai pengikat silang, hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan potensial zeta pada selimut kitosan dengan konsentrasi 1,5 mg dan 3 mg, akan tetapi terdapat pada saat cross-linker tidak digunakan. Penghubung potensial-zeta menunjukkan bahwa hanya sedikit kitosan yang tersisa setelah operasi pencucian [43]. Tabel 3. 2 menunjukkan beberapa penelitian tentang pengobatan kanker menggunakan nanopartikel.

Tabel 3. 2. Pengobatan Kanker Menggunakan Kitosan

No.	Bahan	Jenis Kanker	Ref.
1.	DOX (hidrofilik) dan kurkumin (hidrofobik)	Kanker kolorektal.	[44]
2.	Fluorouracil (5FU)	Cancer	[45]
3.	MSN-APTES- Chitosan	Kanker Payudara	[43]
4.	Nanopartikel CG memuat Chitosan/ Alginate	Adenokarsinoma kolorektal epitel manusia (Caco-2), karsinoma hepatoseluler manusia (HepG ₂) dan sel kanker payudara manusia (MDA-MB- 231) (ATCC)	[46]
5.	DOX: PEGylated, PLGA	Kanker prostat, tumor	[47]
6.	3 β -acetoxy- 17oxa-17a- homoandrost- 5-en-16-one (A) 3 β -hydroxy- 17oxa-17a-	Kanker payudara, kanker paru-paru	[48]

No.	Bahan	Jenis Kanker	Ref.
	homoandrost-5-en-16-one (B)		
7.	Material magnetik Fe ₃ O ₄ -poly (N-isopropylacrylamide) (PNIPAAm) dengan kitosan	Antikanker, jaringan kanker	[49]
8.	DOX-NPs/DCCA	tumor	[50]

Kitosan digunakan dalam pengobatan kanker dalam aplikasi yang lebih luas daripada hanya sebagai pembawa obat. Sorasitthiyankarn dkk. (2018) menggunakan kitosan sebagai pembungkus nanopartikel untuk memastikan stabilitas alginat dan mengatur proses enkapsulasi diglutarat kurkumin [46]. Padahal kapasitas antioksidan yang tinggi dari kurkumin sendiri membantu membasmi sel kanker. Target utama dalam terapi kanker berbasis nanopartikel adalah nukleus, yang berfungsi sebagai sel nukleus dan berfungsi untuk menghentikan pertumbuhan sel lebih lanjut.

Seikh dkk. (2022) membuktikan bahwa digunakan peptida HIV-TaT, yang memiliki kemampuan untuk menginternalisasi nanopartikel dan muatan lain ke dalam inti, kemudian melapisinya pada misel modifikasi kitosan berbasis poli(N-3-carbobenzyloxy-lysine) (CPL).

Studi lain menggunakan nanopartikel kitosan yang dicampur dengan estrogen terkonjugasi dengan doxorubicin (dox-es-CS-es-NP), dimana konjugasi berperan dalam mengikat reseptor estrogen pada inti kanker

payudara, dan kemudian ketika nanopartikel keluar, doxorubicin menginstruksikan mereka untuk memasuki nukleus melalui reseptor estrogen [51].

V. KESIMPULAN

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan potensi nanopartikel sebagai alternatif pengobatan kanker yang tidak membebani tubuh. Ukuran nanopartikel yang kecil memudahkan untuk menjangkau inti kanker sehingga pengobatan dapat berjalan lebih efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk morfologi nanopartikel memberikan efektivitas dalam membawa atau menempatkan obat pada permukaannya. Saat ini, para ilmuwan modern lebih tertarik untuk membuat nanopartikel yang larut atau tidak berbahaya bagi tubuh manusia. Dan potensi penggunaan nanopartikel ini jatuh pada polimer alami yang berasal dari tumbuhan atau hewan.

Kitosan yang merupakan keluarga dari kelompok polisakarida yang dapat ditemukan pada tumbuhan dan mikroorganisme serta khamir dan jamur, umumnya digunakan sebagai polimer alami untuk membuat nanopartikel. Keunggulan kitosan yang tidak beracun bagi tubuh dan mudah larut ditambah dengan kemampuannya sebagai antioksidan yang dapat melawan kanker membuatnya banyak diteliti sebagai bahan baku utama dan pelapis nanopartikel sebagai kontrol produksi obat-obatan yang dibawa.

Penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan kemampuan nanopartikel kitosan sebagai pembawa obat untuk pengobatan kanker telah teruji dan menjanjikan dalam dunia medis. Pembuatan nanopartikel kitosan dengan metode yang mudah dan murah seperti electrospray masih sedikit diteliti jika dibandingkan dengan pembuatan dengan menggunakan metode kimia atau penambahan zat lain.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membuat drug carrier dengan nanopartikel kitosan sebagai media utamanya. Dan pembuatan

nanopartikel kitosan untuk penghantaran obat yang mudah dan murah dengan menggunakan teknik elektropray perlu diteliti dan dikembangkan lebih lanjut untuk mengurangi kerugian yang akan timbul.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdassah M. Nanopartikel dengan gelasi ionik. *J Farmaka* 2017;15:45–52.
- [2] Medina C, Santos-Martinez MJ, Radomski A, Corrigan OI, Radomski MW. Nanoparticles: Pharmacological and toxicological significance. *Br J Pharmacol* 2007;150:552–8. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0707130>.
- [3] Mohanraj VJ, Chen Y. Nanoparticles - A review. *Trop J Pharm Res* 2007;5:561–73. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v5i1.14634>.
- [4] Tiyaboonchai W. Chitosan Nanoparticles : A Promising System for Drug Delivery. *Naresuan Univ J* 2003;11:51–66.
- [5] Alavi M, Kamarasu P, Julian D, Moore MD. Metal and metal oxide-based antiviral nanoparticles : Properties , mechanisms of action , and applications. *Adv Colloid Interface Sci* 2022;306:102726. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102726>.
- [6] Chatterjee M, Jaiswal N, Hens A, Mahata N, Chanda N. Development of 6-Thioguanine conjugated PLGA nanoparticles through thioester bond formation: Benefits of electrospray mediated drug encapsulation and sustained release in cancer therapeutic applications. *Mater Sci Eng C* 2020;114. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111029>.
- [7] Worrall EA, Hamid A, Mody KT, Mitter N, Pappu HR. Nanotechnology for plant disease management. *Agronomy* 2018;8:1–24. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120285>.
- [8] Hermawan H, Ramdan D, P. Djuansjah JR. Metals for Biomedical Applications. *Biomed Eng - From Theory to Appl* 2011. <https://doi.org/10.5772/19033>.
- [9] Martinelli C, Pucci C, Ciofani G. Nanostructured carriers as innovative tools for cancer diagnosis and therapy. *APL Bioeng* 2019;3. <https://doi.org/10.1063/1.5079943>.
- [10] Karnati SR, Oldham D, Fini EH, Zhang L. Surface

- functionalization of silica nanoparticles with swine manure-derived bio-binder to enhance bitumen performance in road pavement. *Constr Build Mater* 2021;266:121000. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121000>.
- [11] Singh P, Pandit S, Mokkaapati VRSS, Garg A, Ravikumar V, Mijakovic I. Gold nanoparticles in diagnostics and therapeutics for human cancer. *Int J Mol Sci* 2018;19. <https://doi.org/10.3390/ijms19071979>.
- [12] Salem SS, Hammad EN, Mohamed AA, El-Dougdoug W. A Comprehensive Review of Nanomaterials: Types, Synthesis, Characterization, and Applications. *Biointerface Res Appl Chem* 2023;13. <https://doi.org/10.33263/BRIAC131.041>.
- [13] Velsankar K, Venkatesan A, Muthumari P, Suganya S, Mohandoss S, Sudhahar S. Green inspired synthesis of ZnO nanoparticles and its characterizations with biofilm, antioxidant, anti-inflammatory, and anti-diabetic activities. *J Mol Struct* 2022;1255. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.132420>.
- [14] Velsankar K, Parvathy G, Sankaranarayanan K, Mohandoss S, Sudhahar S. Green synthesis of silver oxide nanoparticles using *Panicum miliaceum* grains extract for biological applications. *Adv Powder Technol* 2022;33:103645. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2022.103645>.
- [15] Jin JH, Um H, Oh JH, Huh Y, Jung Y, Kim D. Gadolinium silicate-coated porous silicon nanoparticles as an MRI contrast agent and drug delivery carrier. *Mater Chem Phys* 2022;287:126345. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126345>.
- [16] Song H, Zhang Y, Zhang Z, Xiong S, Ma X, Li Y. Hydroxyapatite/nell-1 nanoparticles electrospun fibers for osteoinduction in bone tissue engineering application. *Int J*

Nanomedicine 2021;16:4321–32.
<https://doi.org/10.2147/IJN.S309567>.

- [17] Da X, Li R, Li X, Lu Y, Gu F, Liu Y. Synthesis and characterization of PEG coated hollow Fe₃O₄ magnetic nanoparticles as a drug carrier. *Mater Lett* 2022;309:131357. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.131357>.
- [18] Dawidczyk CM, Kim C, Park JH, Russell LM, Lee KH, Pomper MG, et al. State-of-the-art in design rules for drug delivery platforms: Lessons learned from FDA-approved nanomedicines. *J Control Release* 2014;187:133–44. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.05.036>.
- [19] Mohammed MA, Syeda JTM, Wasan KM, Wasan EK. An overview of chitosan nanoparticles and its application in non-parenteral drug delivery. *Pharmaceutics* 2017;9. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics9040053>.
- [20] Luo K, Shao C, Chai M, Fan J. Level set method for atomization and evaporation simulations. *Prog Energy Combust Sci* 2019;73:65–94. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2019.03.001>.
- [21] Gomez-Estaca J, Balaguer MP, Gavara R, Hernandez-Munoz P. Formation of zein nanoparticles by electrohydrodynamic atomization: Effect of the main processing variables and suitability for encapsulating the food coloring and active ingredient curcumin. *Food Hydrocoll* 2012;28:82–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.11.013>.
- [22] Winarti L. Review Artikel: PENGGUNAAN FORMULASI NANOPARTIKEL KITOSAN SEBAGAI SISTEM PENGHANTARAN GEN NON VIRAL UNTUK TERAPI GEN. *Stomatognatic* 2011;8:142–50.
- [23] Dou T, Wang J, Han C, Shao X, Zhang J, Lu W. Cellular uptake and transport characteristics of chitosan modified nanoparticles in Caco-2 cell monolayers. *Int J Biol Macromol* 2019;138:791–

9. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.168>.
- [24] Kim ES, Kim DY, Lee JS, Lee HG. Quercetin delivery characteristics of chitosan nanoparticles prepared with different molecular weight polyanion cross-linkers. *Carbohydr Polym* 2021;267:118157.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118157>.
- [25] Ramakrishna S, Sreedar R. Electrosprayed nanoparticles for drug delivery and pharmaceutical applications. *Biomatter* 2013;3:e24281 1-12.
- [26] Dudhani AR, Kosaraju SL. Bioadhesive chitosan nanoparticles: Preparation and characterization. *Carbohydr Polym* 2010;81:243–51.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.02.026>.
- [27] Wang JJ, Zeng ZW, Xiao RZ, Xie T, Zhou GL, Zhan XR, et al. Recent advances of chitosan nanoparticles as drug carriers. *Int J Nanomedicine* 2011;6:765–74.
<https://doi.org/10.2147/ijn.s17296>.
- [28] Kim JH, Kim YS, Park K, Kang E, Lee S, Nam HY, et al. Self-assembled glycol chitosan nanoparticles for the sustained and prolonged delivery of antiangiogenic small peptide drugs in cancer therapy. *Biomaterials* 2008;29:1920–30.
<https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2007.12.038>.
- [29] Li F, Li J, Wen X, Zhou S, Tong X, Su P, et al. Anti-tumor activity of paclitaxel-loaded chitosan nanoparticles: An in vitro study. *Mater Sci Eng C* 2009;29:2392–7.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2009.07.001>.
- [30] Chen N, Gan Y, Luo Y, Jiang Z. A review on the technology development and fundamental research of electrospray combustion of liquid fuel at small-scale. *Fuel Process Technol* 2022;234:107342.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107342>.

- [31] John Zeleny BY. THE THE ELECTRICAL DISCHARGE FROM LIQUID POINTS, AND A HYDROSTATIC METHOD OF MEASURING THE ELECTRIC INTENSITY AT THEIR SURFACES. '. vol. 1. n.d.
- [32] Vatanpour V, Kose-Mutlu B, Koyuncu I. Electrospaying technique in fabrication of separation membranes: A review. *Desalination* 2022;533:115765. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115765>.
- [33] Abyadeh M, Sadroddiny E, Ebrahimi A, Esmaeili F, Landi FS, Amani A. Electrospayed chitosan nanoparticles: facile and efficient approach for bacterial transformation. *Int Nano Lett* 2017;7:291–5. <https://doi.org/10.1007/s40089-017-0224-0>.
- [34] Barzegar Vishlaghi M, Farzalipour Tabriz M, Mohammad Moradi O. Electrohydrodynamic atomization (EHDA) assisted wet chemical synthesis of nickel nanoparticles. *Mater Res Bull* 2012;47:1666–9. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.03.055>.
- [35] Jaworek A. Micro- and nanoparticle production by electrospaying. *Powder Technol* 2007;176:18–35.
- [36] Yurteri CU, Hartman RPA, Marijnissen JCM. Producing Pharmaceutical particles via Electrospaying with an emphasis on nano and nano structured particles - A review. *KONA Powder Part J* 2010;28:91–115. <https://doi.org/10.14356/kona.2010010>.
- [37] Mustikasari D, Rezeki YA, Munir MM, Rachmawati H, Khairurrijal K. Turmeric extract-loaded polyvinylpyrrolidone spherical submicron particles produced using electrohydrodynamic atomization: their physico-chemical properties and antioxidant activity. *Mater Res Express* 2019;6:085415. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab272a>.
- [38] Rezeki YA, Wahyuni N, Munir MM, Khairurrijal K. Synthesis

- of polyvinylpyrrolidone/mangosteen pericarp extract (MPE) fibered particles using electrospray. *J Phys Conf Ser* 2019;1282:012033. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1282/1/012033>.
- [39] Rezeki YA, Hapidin DA, Rachmawati H, Munir MM, Khairurrijal K. Formation of electrosprayed composite nanoparticles from polyvinylpyrrolidone/mangosteen pericarp extract. *Adv Powder Technol* 2020.
- [40] Shan L, Gao G, Wang W, Tang W, Wang Z, Yang Z, et al. Self-assembled green tea polyphenol-based coordination nanomaterials to improve chemotherapy efficacy by inhibition of carbonyl reductase 1. *Biomaterials* 2019;210:62–9. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.04.032>.
- [41] Stark LL, Toftagen C, Visovsky C, McMillan SC. The symptom experience of patients with cancer. *J Hosp Palliat Nurs* 2012;14:61–70. <https://doi.org/10.1097/NJH.0b013e318236de5c>.
- [42] Ma D, Han T, Karimian M, Abbasi N, Ghaneialvar H, Zangeneh A. Immobilized Ag NPs on chitosan-biguanidine coated magnetic nanoparticles for synthesis of propargylamines and treatment of human lung cancer. *Int J Biol Macromol* 2020;165:767–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.193>.
- [43] Shakeran Z, Keyhanfar M, Varshosaz J, Sutherland DS. Biodegradable nanocarriers based on chitosan-modified mesoporous silica nanoparticles for delivery of methotrexate for application in breast cancer treatment. *Mater Sci Eng C* 2021;118:111526. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111526>.
- [44] Sood A, Gupta A, Bharadwaj R, Ranganath P, Silverman N, Agrawal G. Biodegradable disulfide crosslinked chitosan /

- stearic acid nanoparticles for dual drug delivery for colorectal cancer. *Carbohydr Polym* 2022;294:119833. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119833>.
- [45] Yang HC, Hon MH. The effect of the molecular weight of chitosan nanoparticles and its application on drug delivery. *Microchem J* 2009;92:87–91. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.02.001>.
- [46] Sorasitthyanukarn FN, Muangnoi C, Ratnatilaka Na Bhuket P, Rojsitthisak P, Rojsitthisak P. Chitosan/alginate nanoparticles as a promising approach for oral delivery of curcumin diglutamic acid for cancer treatment. *Mater Sci Eng C* 2018;93:178–90. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.07.069>.
- [47] Huang SJ, Wang TH, Chou YH, Wang HMD, Hsu TC, Yow J Le, et al. Hybrid PEGylated chitosan/PLGA nanoparticles designed as pH-responsive vehicles to promote intracellular drug delivery and cancer chemotherapy. *Int J Biol Macromol* 2022;210:565–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.209>.
- [48] Lin P, Zhang W, Chen D, Yang Y, Sun T, Chen H, et al. Journal of Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 2022;112680. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112680>.
- [49] Moradi S, Najjar R, Hamishehkar H, Lotfi A. Triple-responsive drug nanocarrier: Magnetic core-shell nanoparticles of Fe₃O₄@poly(N-isopropylacrylamide)-grafted-chitosan, synthesis and in vitro cytotoxicity evaluation against human lung and breast cancer cells. *J Drug Deliv Sci Technol* 2022;72:103426. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103426>.
- [50] Chen Q, Jia C, Xu Y, Jiang Z, Hu T, Li C, et al. Dual-pH responsive chitosan nanoparticles for improving in vivo drugs delivery and chemoresistance in breast cancer. *Carbohydr Polym* 2022;290:119518.

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119518>.

- [51] Sheikh A, Md S, Alhakamy NA, Kesharwani P. Recent development of aptamer conjugated chitosan nanoparticles as cancer therapeutics. *Int J Pharm* 2022;620:121751. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.121751>.

BIODATA PENULIS



Yulianto Agung Rezeki, lahir di Boyolali dan menyelesaikan studi S1 di Pendidikan Fisika UNS. Dia menyelesaikan studi S2 dan S3 di Fisika ITB melalui program PMDSU dengan topik pabrikasi nanomaterial bahan alam untuk *drug delivery*. Saat ini dia adalah dosen di Universitas Sebelas Maret. Beberapa artikel ilmiah telah berhasil dia tulis dan dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi.



Dewanto Harjunowibowo, dilahirkan di Yogyakarta serta menempuh studi S1 dan S2 di Fisika MIPA UGM. Studi doktoralnya diselesaikan di Architecture and Built Environment Department, University of Nottingham, United Kingdom dengan spesialisasi *Sustainable Energy Technologies*. Semasa sekolah di UK, Dewanto meneliti tentang *greenhouse* dan teknologi berkelanjutan untuk mengatur *microclimate* dari *greenhouse*. Dia merupakan Dosen di Universitas Sebelas Maret dan telah menghasilkan beberapa publikasi internasional terakreditasi, serta menjadi reviewer di sejumlah jurnal tersebut.



Peni Indrayudha, lahir di Batang. Menamatkan S1 dan Profesi Apoteker di Farmasi UGM, kemudian melanjutkan S2 Bioteknologi di Sekolah Pasca Sarjana UGM. Mendapatkan beasiswa BPPLN untuk menempuh S3 di School of Pharmacy, The University of Nottingham, UK. Saat ini aktif mengajar di Fakultas Farmasi UMS. Baik di program S1, Apoteker maupun S2. Peni aktif di beberapa penelitian seperti antibakteri, antikanker, isolasi protein dan sedang merintis riset halal. Peni yang sekaligus Ketua Pusat Studi Halal UMS ini telah mempublikasikan beberapa hasil penelitiannya di jurnal bereputasi.



Mohammad Alauhdin lahir di Pekalongan, Jawa Tengah. Pendidikan formal diselesaikannya di kota kelahiran hingga jenjang SMA. Setelah itu, gelar Sarjana Sains (S.Si) diperolehnya dari Jurusan Kimia Universitas Gadjah Mada (2004). Magister Sains bidang ilmu kimia (M.Si) diselesaikan di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2008 dan pendidikan strata 3 (Ph.D) diselesaikannya di School of Chemistry The University of Nottingham, Inggris pada tahun 2017. Sejak 2005 sampai sekarang (2022), dia mengajar di Jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang. Selain mengajar, aktivitas riset dalam topik pengembangan dan validasi metode analisis, sintesis polimer dan nanopartikel logam serta aplikasinya juga dilakukan.



Indah Karunia Fitri, dilahirkan di Wonogiri pada 29 Desember 2000. Setelah menyelesaikan pendidikannya di salah satu sekolah menengah atas di Wonogiri, dia melanjutkan langkahnya ke Universitas Sebelas Maret dengan program studi Pendidikan Fisika. Anak yang gemar cerita fiksi ini mencoba memasuki dunia baru dengan memulai riset pada bidang fisika material menjelang masa akhir studinya. Dengan bimbingan dosen pembimbingnya saat ini sedang menyelesaikan penelitian untuk skripsi dengan tema pembuatan nanofiber dari ekstrak bahan alam untuk aplikasi obat oral.



Lia Dwi Setyaningsih lahir di Boyolali pada tanggal 10 Januari 2001. Menempuh pendidikan dasar di SD N Drajudan, pendidikan menengah pertama di SMP N 1 Boyolali, pendidikan menengah atas di SMA N 1 Boyolali. Saat ini merupakan mahasiswa di Universitas Sebelas Maret program studi Pendidikan Fisika. Ditahun terakhir kuliahnya, ia sedang menggeluti kesenangan barunya yaitu bidang fisika material. Bersama dengan dosen pembimbingnya saat ini sedang melakukan penelitian untuk skripsi dengan tema nanofiber dari ekstrak bahan alam untuk aplikasi pembalut luka.



Fatoni Udaneni, dilahirkan di Boyolali pada 6 Maret 2001. Pendidikan terakhirnya diselesaikan di SMA Negeri 3 Boyolali. Anak lelaki dari tiga bersaudara ini tengah menempuh pendidikan S1 pada program studi Pendidikan Fisika UNS. Dia merupakan mahasiswa angkatan 2019 yang memiliki minat terhadap alam. Di tahun terakhirnya kuliah dia mencoba hal baru dengan memasuki dunia fisika material. Dibarengi dengan dosen pembimbingnya ia mencoba mengeksplorasi dan mencoba hal – hal baru di luar lingkup pendidikan yang biasa ditemuinya. Saat ini Fatoni tengah menyelesaikan skripsinya dengan tema nanopartikel dengan sifat biodegradable dari bahan alam.

Buku ini membahas metode pabrikasi nanomaterial yaitu electrospinning untuk memproduksi material dimensi-1 yaitu nanofiber dan electro spray untuk memproduksi material dimensi-0 yaitu nanopartikel. Metode tersebut memiliki banyak sekali keunggulan. Dalam buku ini dibahas beberapa keunggulan tersebut dan juga parameter-parameter apa sajakah yang dapat mempengaruhi proses-proses pembentukan nanomaterial pada metode tersebut. Dalam buku ini juga memuat beberapa informasi yang berkaitan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang telah memanfaatkan electrospinning dan electro spray untuk memabrikasi nanomaterial yang dapat dimanfaatkan pada aplikasi biomedis, salah satunya adalah pengobatan kanker.



CV. Tahta Media Group
Surakarta, Jawa Tengah
Web : www.tahtamedia.com
Ig : tahtamedia group
Telp/WA : +62 813 5346 4169

ISBN 978-623-8070-06-3 (PDF)

