

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL DARI
PENGABUNGAN NANOKITOSAN-PLA DENGAN VARIASI
NANOSELULOSA**

(Skripsi)

Oleh

**Aidha Natasya Pramudhita
1957011020**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL DARI
PENGABUNGAN NANOKITOSAN-PLA DENGAN VARIASI
NANOSELULOSA**

Oleh

AIDHA NATASYA PRAMUDHITA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL DARI PENGgabUNGAN NANOKITOSAN-PLA DENGAN VARIASI NANOSELULOSA

Oleh

Aidha Natasya Pramudhita

Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi dari penggabungan nanopartikel kitosan-PLA dengan variasi nanoselulosa. Nanopartikel kitosan-PLA yang dimodifikasi dengan nanoselulosa telah disintesis melalui metode hidrolisis asam untuk nanoselulosa, gelasi ionik untuk nanopartikel kitosan-PLA, dan metode penggabungan sederhana. Metode hidrolisis asam dengan variasi penambahan asam sulfat (10, 20, dan 30 mL/gr) terhadap selulosa menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran partikel 229,8 nm, 488,7 nm, dan 361,3 nm. Karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa penambahan asam berpengaruh terhadap rendemen dan karakteristik nanoselulosa. Sintesis nanopartikel kitosan-PLA melalui metode gelasi ionik dengan penambahan Na-TPP menghasilkan nanopartikel kitosan-PLA dengan ukuran partikel sebesar 310,7 nm. Nanopartikel kitosan-PLA yang dihasilkan kemudian digabungkan dengan nanoselulosa dengan variasi 10 mL/gr dan dikarakterisasi menggunakan FTIR. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya interaksi antar gugus fungsi dari nanopartikel kitosan-PLA dan nanoselulosa. Penelitian ini menunjukkan bahwa nanopartikel kitosan-PLA yang dimodifikasi dengan nanoselulosa berpotensi untuk diterapkan dalam bidang biomedis dan farmasi, khususnya untuk penghantaran obat dan rekayasa jaringan.

Kata Kunci : Nanopartikel, Nanoselulosa, Kitosan-PLA, FTIR dan PSA

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NANOPARTICLES FROM THE COMBINATION OF NANOCHITOSAN-PLA WITH VARIATION OF NANOCELLULOSE

By

Aidha Natasya Pramudhita

A study was conducted to synthesize and characterize the incorporation of chitosan-PLA nanoparticles with variations of nanocellulose. Chitosan-PLA nanoparticles modified with nanocellulose have been synthesized through acid hydrolysis method for nanocellulose, ionic gelation for chitosan-PLA nanoparticles, and simple incorporation method. Acid hydrolysis method with variation of sulfuric acid addition (10, 20, and 30 mL/gr) to cellulose produced nanocellulose with particle size of 229,8 nm, 488,7 nm, and 361,3 nm. Characterization using XRD showed that the addition of acid affected the yield and characteristics of nanocellulose. Synthesis of chitosan-PLA nanoparticles through ionic gelation method with the addition of Na-TPP produced chitosan-PLA nanoparticles with a particle size of 310,7 nm. The resulting chitosan-PLA nanoparticles were then combined with nanocellulose with a variation of 10 mL/gr and characterized using FTIR. The results of FTIR analysis showed the interaction between functional groups of chitosan-PLA nanoparticles and nanocellulose. This study shows that chitosan-PLA nanoparticles modified with nanocellulose have the potential to be applied in biomedical and pharmaceutical fields, especially for drug delivery and tissue engineering.

Keywords: Nanoparticles, Nanocellulose, Chitosan-PLA, FTIR and PSA

Judul : SINTESIS DAN KARAKTERISASI
NANOPARTIKEL DARI PENGGABUNGAN
NANOKITOSAN-PLA DENGAN VARIASI
NANOSELULOSA

Nama : Aidha Natasya Pramudhita

Nomor Pokok Mahasiswa : 1957011020

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, S.Si., MT.
NIP. 197407052000031001

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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP. 197205302000032001

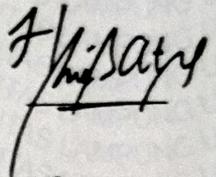
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

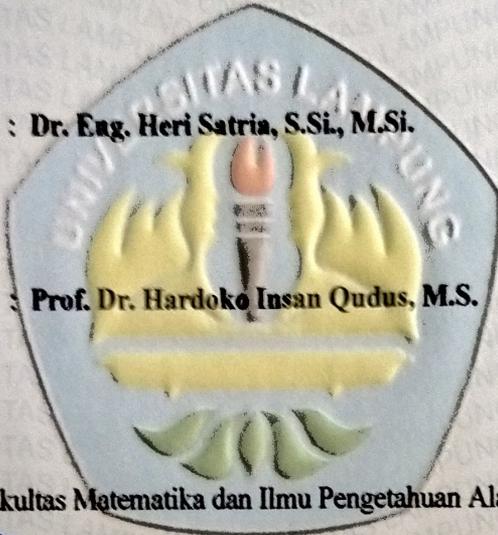
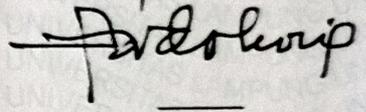
Ketua : Prof. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T



Sekretaris : Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.



Anggota : Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 3 Februari 2025

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Aidha Natasya Pramudhita
Nomor Pokok Mahasiswa : 1957011020
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel dari Penggabungan Nanokitosan-PLA dengan Variasi Nanoselulosa”** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil dan analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum melakukan publikasi. Demikia pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai mestinya.

Bandar Lampung, 3 Februari 2025

Menyatakan,



Aidha Natasya Pramudhita
1957011020

RIWAYAT HDUP



Penulis bernama Aidha Natasya Pramudhita, dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 22 Februari 2002 sebagai anak tunggal dari Bapak Muryono dan Ibu Yuli Krisgiyanti. Penulis bertempat tinggal di Desa Karang Anyar, Kecamatan Jatiagung, Kabupaten Lampung Selatan

Penulis mengawali jenjang pendidikan mulai dari Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 2 Jatimulyo Lampung Selatan tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP Al-Azhar 3 Bandar Lampung tahun 2016 dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) diselesaikan di SMK Farmasi Cendikia Farma Husada Bandar Lampung tahun 2019.

Tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Mandiri. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Organik dan Kimia Dasar serta aktif di Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) periode 2020. Penulis pernah melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dan penelitian di Laboratorium Kimia Organik dan Laboratorium Kimia Dasar. Pada awal tahun 2022, penulis pernah melakukan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Balinuraga, Kecamatan Way Panji, Kabupaten Lampung Selatan.

Penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Selulosa Menggunakan Metode Hidrolisis Asam dengan Variasi Penambahan Variasi Asam Sulfat (H_2SO_4) 64%” di Laboratorium Kimia Organik dan telah menyelesaikan penelitian dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel dari Penggabungan Nanokitosan-PLA dengan Variasi Nanoselulosa” di Laboratorium Kimia Organik dan Laboratorium

Kimia Dasar. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia dasar untuk Prodi Teknik Lingkungan Jurusan Teknik Sipil pada tahun 2023, asisten praktikum kimia dasar Jurusan Kimia pada tahun 2023 dan 2024, serta asisten praktikum kimia organik Jurusan Biologi pada tahun 2023.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirobbil Aalamin. Karya ini merupakan bentuk rasa syukur saya kepada *Allah Subhanahu wa ta'ala* karena telah memberikan nikmat karunia pertolongan yang tiada henti hingga saat ini.

Ku persembahkan karya tulis ini sebagai bentuk wujud bakti dan tanggung jawab kepada kedua orangtuaku:

Bapak Muryono dan Ibu Yuli Krisgiyanti

Yang tak pernah berhenti mendoakan, memberikan kasih sayang, nasihat, dukungan serta semangat dengan sepenuh hati dalam kesuksesanku.

Serta rasa hormat saya untuk,

Prof. Dr. Eng. Suripto Dwí Yuwono, S.Si., M.T.

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.

Terima kasih atas ilmu pengetahuan, pelajaran, kritik dan saran serta arahan bimbingan kepada saya.

Bapak dan Ibu dosen Kimia atas segala ilmu, nasihat dan arahan yang telah diberikan.

Seluruh sahabat dan teman-teman sejawat yang telah memberikan banyak dukungan dan bantuan serta kenangan baik.

-Almamater Tercinta Universitas Lampung-

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat *Allah Subhanahu wa ta'ala* Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini telah diselesaikan.

Skripsi yang berjudul "*Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel dari Penggabungan Nanokitosan-PLA dengan Variasi Nanoselulosa*" adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Kimia di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. *Allah Subhanahu wa ta'ala*.
2. Cinta pertama dan panutanku, Bapakku Muryono. Beliau adalah seorang buruh pabrik yang terpaksa harus terpisah dengan penulis supaya bisa menjadikan anak semata wayangnya ini menjadi seorang sarjana. Terima kasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih yang diberikan yang senantiasa membuat penulis tidak merasa kekurangan hal apapun dan memberikan yang terbaik hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai meraih gelar sarjana.
3. Pintu surgaku, Ibuku Yuli Krisgiyanti. Beliau memang tidak sempat merasakan pendidikan sampai bangku perkuliahan, namun beliau mampu mendidik penulis walau dari jarak jauh sekalipun. Terima kasih sebesar-besarnya penulis berikan kepada beliau atas segala bentuk dukungan, semangat dan motivasi serta do'a-do'a yang selalu mengiringi kemanapun langkah penulis. Terima kasih atas nasihat yang selalu diberikan meskipun terkadang pikiran kita tidak sejalan, terima kasih atas kesabaran dan kehebatanmu dalam menghadapi penulis yang keras kepala. Ibu adalah penguat dan pengingat yang paling ampuh.

4. Adik-adikku tercinta yang bernama Azizah Khoiru Nikmah dan Tjanggih Bimo Trengginas yang telah memberikan kebahagiaan, keceriaan, dan doa yang baik kepada penulis. Semoga kelak kalian akan menjadi adik-adik yang hebat, kuat, dan sehat serta selalu berada di jalan *Allah Subhanahu Wa Ta'ala*.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku pembimbing utama penulis yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, motivasi dan arahan dalam perjalanan skripsi penulis dari awal hingga akhir.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku dekan FMIPA sekaligus pembimbing kedua penulis yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, motivasi dan arahan dalam perjalanan skripsi penulis dari awal hingga akhir.
7. Bapak Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S. selaku penguji pada ujian skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi dan arahan dari awal proses seminar proposal sampai sidang komprehensif.
8. Bapak Diky Hidayat, M.Sc. selaku pembimbing akademik penulis yang telah memberikan dukungan semangat dan arahan.
9. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku ketua Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Lampung.
10. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, atass seluruh ilmu, pengalaman, dan arahan yang telah diberikan kepada penulis.
11. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
12. Seluruh keluarga besar penulis yang telah memberikan semangat, motivasi, dan doa kepada penulis.
13. Teman penelitian "*Lignocellulose Research '19*" Hernita Julianty dan Niko Hilal Fazri yang sudah berjuang bersama-sama dalam menyelesaikan penelitian ini.
14. Teman-teman seperjuangan "*Purbalingga*" Novita Darmastuti, Siti Solehati, Sinur Angelina Putri Nainggolan, Jihan Nabila Salsabila, Hernita Julianty yang telah kebersamai penulis semasa kuliah, terimakasih telah menerima penulis sebagai teman, mendengarkan keluh kesah dan memberikan dukungan kepada penulis.

15. Teman-teman angkatan “*Chemistry’19*”, terima kasih untuk kebersamaan dalam suka dan duka selama perkuliahan.
16. Adik-adikku Kimia Angkatan 20 yaitu Sri Pawitri dan Ida Purwati yang telah berjuang bersama menyelesaikan studi ini.
17. Sahabat-sahabatku *Friendship Till Jannah* 🦋 Della Tria Amanda, Denta Putri Febriana, Dyanita Utami, Annisa Abdillah Wijaya, Afifa Octiara, Siti Fatimah, dan Wulan Sari. Terima kasih atas segala motivasi, dukungan, pengalaman, waktu dan semangat serta canda tawa kepada penulis. Terima kasih elah mengajak penulis untuk terus dekat dengan *Allah* dan mengajak penulis untuk terus melakukan hal-hal positif. Terima kasih atas kebahagiaannya selama ini, tanpa kalian penulis tidak tahu akan menjadi pribadi seperti apa. Ucapan syukur yang teramat besar kepada *Allah* karena telah menghadirkan manusia-manusia yang sangat baik seperti kalian. *I Love You Guysss* ❤️.
18. Seseorang yang telah kebersamai penulis lebih dari 7 tahun bernama M. Putra Fauzi Pratama ❤️, seseorang yang sampai saat ini bersama penulis dan menjadi bagian dari perjalanan cinta penulis serta menjadi garda terdepan dalam situasi apapun. Terima kasih untuk seluruh kebahagiaan yang selalu diberikan saat proses penyusunan skripsi ini. Ternyata kehadiranmu di kehidupan penulis memberikan cukup motivasi untuk terus maju dan berproses menjadi pribadi yang jauh lebih baik. Semoga *Allah* selalu ada disetiap langkahmu dalam suka dan duka.
19. Terakhir, terima kasih kepada wanita sederhana yang memiliki keinginan tinggi namun terkadang sulit untuk dimengerti isi kepalanya, sang penulis skripsi ini yaitu diri saya sendiri, Aidha Natasya Pramudhita yang sekarang akrab dipanggil Aidha. Seorang anak tunggal yang berjalan menuju usia 23 tahun yang keras kepala dan egois namun terkadang sifatnya seperti anak kecil pada umumnya. Sudah banyak sekali pertanyaan serta cacian yang kamu terima selama menjalani hidup. Terima kasih telah hadir di dunia dan sudah bertahan sampai sejauh ini melewati banyaknya tantangan, rintangan dari alam semesta yang kamu pikul sendiri. Terima kasih sudah hebat, saya bangga dengan pencapaian yang telah diraih dalam hidupmu dan selalu

merayakan dirimu sendiri sampai detik ini, walau sering kali harapan tidak sesuai dengan ekspektasimu, namun harus tetap bersyukur. Terima kasih selalu mau berusaha, berkerjasama dan tidak lelah mencoba hal-hal positif, saya yakin dengan usaha, kebaikan-kebaikan dan do'a yang selalu kamu langitkan pasti *Allah* sudah mempunyai rencana dan memberikan pilihan yang tidak terduga yang pastinya terbaik untuk dirimu. Berbahagialah selalu dimanapun dan kapanpun kamu berada, Aidha. Rayakan selalu kehadiranmu, jadilah sinar dimanapun kamu menginjakkan kaki dan lakukan segala hal positif yang membuatmu tetap hidup. Semoga langkah kebaikan terus berada padamu dan semoga *Allah* selalu meridhoi setiap perbuatanmu dan selalu dalam lindungan-Nya. Aamiin.

Bandar Lampung, 3 Februari 2025

Penulis

Aidha Natasya Pramudhita

-MOTTO-

“Maka, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

[Q.S. Al-Insyirah 5-8]

“Ketika aku melibatkan Allah Subhanahu wa ta'ala dalam semua rencana dan keinginanmu dengan ikhlas dan yakin, maka aku percaya tidak ada yang tidak mungkin untuk diraih.”

“Ketika aku akan dilahirkan ke dunia, aku membahayakan nyawa ibu jadi tidak mungkin aku tidak berharga.”

“Orang lain tidak akan tahu dan peduli dengan strugglemu, yang mereka ingin tahu hanya bagian Success Storiesmu saja atau bahkan hanya ingin tahu bagian kegagalanmu. Berjuanglah untuk diri sendiri, walaupun tidak ada tepuk tangan dan apresiasi. Kelak kita akan sangat bangga di masa depan dengan apa yang telah diperjuangkan hari ini. Kamu hebat!! Tetap hidup untuk perjuangan ya Aidha Natasya Pramudhita! Kamu istimewa dan kamu berharga.”

[Aidha Natasya Pramudhita]

“Berbuat baiklah kepada siapapun karena kamu tidak akan tahu doa mana yang akan menembus langit untuk membantumu”

[Aidha Natasya Pramudhita]

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Nanopartikel	5
2.2. Kitosan	6
2.3. Poli Asam Laktat (PLA)	7
2.4. Selulosa	10
2.5. Nanoselulosa	13
2.6. Metode Sintesis Nanopartikel	14
2.6.1. Metode Gelasi Ionik	14
2.6.2. Hidrolisis Asam	15
2.7. Uji Analisis dan Karakterisasi	17
2.7.1. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	17
2.7.2. Spektrometer <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	19
2.7.3. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	21
III. METODE PENELITIAN	24
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.2. Alat dan Bahan	24
3.3. Prosedur Penelitian	25
3.3.1. Sintesis Nanoselulosa	25
3.3.2. Karakterisasi Nanoselulosa	25
3.3.3. Penggabungan Kitosan dengan PLA	25
3.3.4. Sintesis Nanopartikel Kitosan-PLA	26
3.3.5. Penggabungan Nanopartikel Kitosan-PLA dengan Nanoselulosa	26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Sintesis Nanoselulosa	28
4.2. Karakterisasi Nanoselulosa	31
4.3. Penggabungan Kitosan dengan PLA	34
4.4. Sintesis Nanopartikel Kitosan-PLA	34
4.5. Penggabungan Nanopartikel Kitosan-PLA dengan Nanoselulosa	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1. Kesimpulan	42
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	50

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perhitungan rendemen nanoselulosa	60
2. Perhitungan rendemen nanokitosan-PLA	61
3. Data bilangan gelombang spektrum FTIR dari PLA, kitosan, selulosa dan PLA/nanokitosan+nanoselulosa	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Kitin	6
2. Struktur Kitosan	7
3. Struktur kimia PLA	9
4. Struktur rantai selulosa	12
5. Skema alat FTIR	20
6. Hasil dari hidrolisis asam sampel selulosa (a) 10 mL/gr (NS ₁); (b) 20 mL/gr (NS ₂); dan (c) 30 mL/gr (NS ₃)	29
7. Proses sonikasi nanoselulosa	30
8. Hasil akhir dari sampel (a) NS ₁ ; (b) NS ₂ ; dan (c) NS ₃	31
9. Kurva hasil analisis menggunakan PSA dari (a) NS ₁ ; (b) NS ₂ ; dan (c) NS ₃	32
10. Hasil karakterisasi menggunakan XRD dari (a) NS ₁ ; (b) NS ₂ ; dan (c) NS ₃	33
11. Hasil akhir penggabungan kitosan dengan PLA	34
12. Hasil akhir sintesis nanopartikel kitosan-PLA	36
13. Kurva hasil analisis menggunakan PSA pada nanopartikel kitosan-PLA	36
14. Proses pengeringan dari penggabungan nanopartikel kitosan-PLA dengan nanoselulosa	38
15. Hasil akhir dari penggabungan nanokitosan-PLA dengan nanoselulosa	38
16. Spektrum hasil FTIR dari (a) PLA; (b) selulosa; (c) kitosan; dan (d) PLA/nanokitosan+nanoselulosa	39

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Nanopartikel telah menjadi fokus penelitian yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir karena sifat unik yang dimilikinya. Ukuran kecil, besar permukaan dan sifat reaktif yang tinggi membuat nanopartikel sangat menarik untuk berbagai aplikasi, termasuk dalam bidang farmasi, biomedis dan teknologi material. Salah satu jenis nanopartikel yang banyak diteliti adalah kombinasi antara nanokitosan dan *Poly Lactic Acid* (PLA) yang telah mengalami pengembangan untuk meningkatkan performa dan aplikasinya. Kitosan yang merupakan turunan dari kitin memiliki sifat biokompatibilitas, *biodegradable* dan kemampuan untuk membentuk gel yang menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi biomedis (Jayakumar *et al.*, 2010).

Nanokitosan yang diperoleh melalui proses deasetilasi kitin menunjukkan karakteristik yang menarik seperti aktivitas antimikroba dan kemampuan untuk mengikat zat aktif. Penggabungan nanokitosan dengan PLA yaitu polimer yang juga *biodegradable* dan berasal dari sumber terbarukan yang memberikan potensi untuk menghasilkan material yang lebih unggul dibandingkan dengan masing-masing komponen secara terpisah. PLA dikenal karena kekuatan mekaniknya yang baik dan kemudahan dalam proses pembentukan, tetapi memiliki kelemahan dalam hal ketahanan air dan kecepatan degradasi (Zhang *et al.*, 2020). Oleh karena itu, integritas nanokitosan dengan PLA dapat meningkatkan sifat mekanik dan fungsional material tersebut.

Salah satu inovasi terbaru dalam sintesis nanopartikel adalah penggunaan nanoselulosa. Nanoselulosa yang dihasilkan dari pemrosesan selulosa memiliki sifat mekanik yang sangat baik, serta kemampuan untuk meningkatkan stabilitas dan kekuatan material komposit. Nanoselulosa juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan sifat *barrier* dari material yang sangat penting dalam aplikasi kemasan dan farmasi (Fujisawa *et al.*, 2015). Dengan menggabungkan nanoselulosa dengan nanokitosan-PLA diharapkan dapat dihasilkan nanopartikel dengan sifat yang lebih baik, seperti kekuatan mekanik yang lebih tinggi, daya serap yang lebih baik, dan ketahanan terhadap air yang lebih baik.

Proses sintesis nanopartikel ini dapat dilakukan melalui berbagai metode, termasuk metode kimia, fisika dan biologi. Metode yang umum digunakan untuk sintesis nanopartikel termasuk pengendapan, metode sol-gel dan nanopresipitasi. Pemilihan metode sintesis yang tepat sangat penting untuk mendapatkan sifat yang diinginkan dari nanopartikel (Chakraborty *et al.*, 2014). Dalam penelitian ini, metode nanopresipitasi akan digunakan karena kemampuannya untuk menghasilkan nanopartikel dengan distribusi ukuran yang sempit dan kontrol yang lebih baik terhadap morfologi partikel.

Karakterisasi ini bertujuan untuk memahami sifat fisik dan kimia dari nanopartikel yang telah disintesis. Teknik karakterisasi yang umum digunakan antara lain mikroskopi elektron, difraksi sinar-X dan spektroskopi inframerah. Mikroskopi elektron dapat memberikan informasi tentang morfologi dan ukuran partikel, sementara difraksi sinar-X dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal dari nanopartikel (Yuan *et al.*, 2018). Analisis ini akan memberikan wawasan yang mendalam tentang sifat-sifat nanopartikel yang dihasilkan.

Dalam konteks aplikasi, nanopartikel yang dihasilkan dari penggabungan nanokitosan-PLA dan nanoselulosa memiliki potensi besar dalam aplikasi biomedis, seperti penghantaran obat dan rekayasa jaringan. Nanokitosan telah diketahui memiliki kemampuan untuk mengikat dan melepaskan obat

secara efektif, sedangkan PLA memberikan dukungan struktural yang diperlukan dalam aplikasi ini (Wang *et al.*, 2022). Dengan menambahkan nanoselulosa diharapkan nanopartikel ini dapat meningkatkan efisiensi penghantaran obat dan memberikan efek terapeutik yang lebih baik. Selain aplikasi biomedis, nanopartikel hasil sintesis ini juga dapat digunakan dalam bidang pengemasan. Material kemasan yang berbasis polimer *biodegradable* semakin dicari karena meningkatnya kesadaran akan masalah lingkungan. Dengan menggabungkan nanokitosan-PLA dan nanoselulosa diharapkan dapat dihasilkan material kemasan yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga memiliki ketahanan yang baik terhadap kelembapan dan oksigen, sehingga memperpanjang umur simpan produk (Azeredo *et al.*, 2020).

Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan untuk menyintesis dan mengkarakterisasi nanopartikel dari penggabungan nanokitosan-PLA dengan variasi nanoselulosa. Dengan memahami sifat dan karakteristik dari nanopartikel yang dihasilkan, diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan material yang lebih baik untuk berbagai aplikasi, khususnya dibidang biomedis dan farmasi. Penelitian ini diharapkan tidak hanya menambah wawasan ilmiah, tetapi juga memberikan solusi praktis untuk tantangan yang dihadapi dalam pengembangan material baru yang berkelanjutan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Memahami proses sintesis nanoselulosa menggunakan metode hidrolisis asam.
2. Memahami proses sintesis nanopartikel kitosan-PLA.
3. Memahami proses penggabungan nanokitosan-PLA dengan nanoselulosa.
4. Menganalisis hasil dari karakterisasi dengan menggunakan PSA dan FTIR.

1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi baru mengenai metode pembuatan nanopartikel kitosan-PLA yang divariasikan dengan nanoselulosa serta menjadi dasar untuk peneliti selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanopartikel

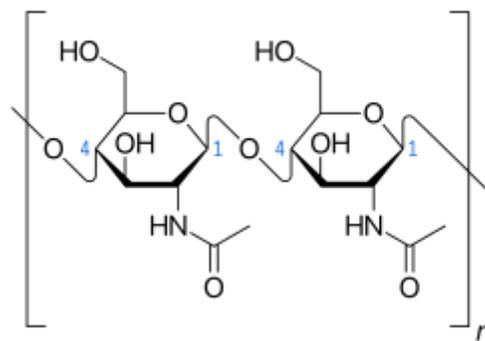
Nanopartikel adalah partikel dengan ukuran dalam rentang 1 hingga 100 nanometer. Nanopartikel memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda dibandingkan dengan material pada skala makro karena efek ukuran skala nano. Nanopartikel dapat terbuat dari berbagai material, termasuk logam, oksida, karbon, dan polimer serta memiliki aplikasi luas diberbagai bidang (Zhao *et al.*, 2021). Nanopartikel sering menunjukkan reaktivitas kimia yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk makro dari material yang sama. Ini disebabkan oleh rasio permukaan terhadap volume yang sangat tinggi yang meningkatkan kemampuan mereka untuk berinteraksi dengan molekul lain (Hernandez *et al.*, 2017). Nanopartikel memiliki sifat optik, magnetik dan mekanik yang unik. Misalnya, nanopartikel logam seperti emas dan perak dapat menunjukkan warna yang berbeda berdasarkan ukuran partikel, fenomena ini dikenal sebagai plasmonik permukaan (Jouyban *et al.*, 2020). Banyak nanopartikel memiliki biokompatibilitas yang tinggi dan dapat digunakan dalam aplikasi medis seperti penghantaran obat, pencitraan dan terapi (Gao *et al.*, 2018).

Nanopartikel digunakan dalam diagnostik dan terapi. Mereka dapat digunakan sebagai agen kontras dalam pencitraan medis, sebagai penghantaran obat untuk terapi target dan dalam pengembangan vaksin (Gao *et al.*, 2018). Selain itu, aplikasi nanopartikel bidang energi, dalam pengembangan sel surya, baterai dan katalis. Mereka dapat meningkatkan efisiensi konversi energi dan meningkatkan kapasitas penyimpanan energi (Khan *et al.*, 2019). Nanopartikel dapat digunakan dalam remediasi

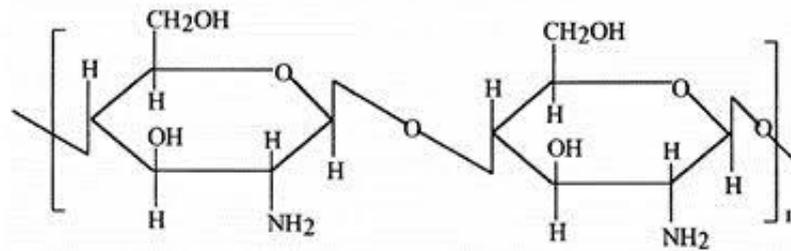
lingkungan untuk menghilangkan polutan dan kontaminan dari tanah dan air. Nanopartikel juga digunakan dalam sensor untuk deteksi polutan (Hernandez *et al.*, 2017). Terakhir, aplikasi nanopartikel bidang elektronik. Nanopartikel digunakan dalam pembuatan perangkat elektronik seperti sensor, transistor dan memori. Mereka dapat meningkatkan kinerja dan miniaturisasi perangkat elektronik (Jouyban *et al.*, 2020).

2.2. Kitosan

Kitosan (2-amino-2-deoksi-D-glukopiranos) adalah senyawa turunan dari kitin (N-asetil-2-amino-2-deoksi-D-glukopiranos) yang terdeasetilasi pada gugus nitrogennya. Kitin dan kitosan merupakan polimer linier (Kusumawati, 2009). Kitosan adalah polisakarida yang diperoleh dari deasetilasi kitin, komponen utama dalam cangkang krustasea. Kitosan telah menarik perhatian sebagai bahan biokompatibel dan *biodegradable* yang memiliki berbagai aplikasi di bidang kesehatan, lingkungan, dan industri (Rinaudo, 2021). Kitin umumnya diperoleh dari cangkang kepiting atau udang dan miselium jamur. Struktur kitin mirip dengan selulosa tetapi gugus hidroksil (-OH) pada atom karbon kedua dari selulosa digantikan oleh gugus asetamido (Kumar, 2009). Perbedaan struktur kitin dan kitosan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Kitin (Kumar, 2009)



Gambar 2. Struktur Kitosan (Kumar, 2009)

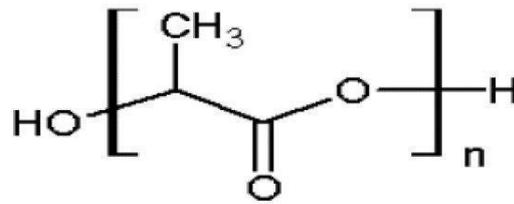
Kitosan diperoleh dari kitin melalui proses deasetilasi yang melibatkan penghilangan kelompok asetil dari kitin menggunakan basa kuat seperti natrium hidroksida. Modifikasi kimia dan fisik dari kitosan sering dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu. Proses deasetilasi merupakan proses penghilangan gugus asetil dari rantai molekul kitin. Proses deasetilasi kitin dilakukan menggunakan larutan NaOH pekat, yang bertujuan untuk memutuskan ikatan kovalen antara gugus asetil dengan nitrogen pada gugus asetamida kitin sehingga berubah menjadi gugus amina ($-NH_2$) pada kitosan. Proses ini menghasilkan kitosan dengan gugus amina ($-NH_2$) yang memiliki derajat kereaktifan kimia tinggi (Kim, 2004). Kitosan dapat dimodifikasi secara kimia dengan penambahan berbagai gugus fungsi untuk meningkatkan kelarutannya dalam pelarut tertentu atau untuk memperbaiki sifat-sifat lain seperti aktivitas antimikroba atau kemampuan untuk membentuk film (Arias, 2021).

2.3. Poli Asam Laktat (PLA)

Poli asam laktat (PLA) merupakan salah satu bioplastik yang paling banyak digunakan dan diteliti yang terbuat dari asam laktat hasil fermentasi bahan organik terbarukan seperti jagung dan tebu. PLA dikenal karena kemampuannya untuk terurai secara biologis dan berasal dari sumber daya terbarukan, menjadikannya alternatif yang menarik untuk plastik konvensional berbasis fosil. PLA adalah polimer *biodegradable* yang dihasilkan dari asam laktat, sebuah produk fermentasi gula dari sumber

biomassa terbarukan seperti jagung atau tebu. PLA telah menarik perhatian sebagai alternatif plastik berbasis fosil karena potensi keberlanjutannya dan sifat biodegradabilitasnya (Rasal, 2010).

Poli asam laktat (PLA) adalah polimer yang tersusun dari monomer asam laktat, senyawa organik dengan struktur kimia $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$. PLA dapat dibentuk melalui polimerisasi dua enantiomer asam laktat, yaitu L-asam laktat dan D-asam laktat, sehingga menghasilkan variasi struktur molekul yang berbeda, seperti isotaktik, sindotaktik atau ataktik, bergantung pada pengaturan stereokimia dari monomernya (Tsuji, 2005). Kombinasi L- dan D-isomer menghasilkan PLA bersifat amorf atau semi-kristalin, bergantung pada rasio dan distribusi enantiomer tersebut dalam rantai polimer (Garlotta, 2001). Metode pembentukan PLA yang paling umum adalah melalui polimerisasi pembukaan cincin (*ring-opening polymerization*) dari laktilida, dimer siklik yang terbentuk dari dehidrasi asam laktat. Proses ini sering melibatkan katalis seperti stannous octoate untuk menghasilkan polimer dengan berat molekul tinggi dan distribusi molekul yang seragam (Auras *et al.*, 2010). PLA memiliki rantai utama yang terdiri dari ikatan ester (-COO-) yang berulang, memberikan sifat mekanik dan termal khas seperti kekuatan tarik yang baik namun dengan kerapuhan tertentu. Sifat kristalinitas PLA yang sangat dipengaruhi oleh struktur stereokimia, mempengaruhi sifat termal dan mekaniknya, seperti suhu transisi kaca (T_g) sekitar 60°C dan suhu leleh (T_m) antara $170\text{-}180^\circ\text{C}$ (Avérous and Pollet, 2012). Struktur PLA yang teratur dengan dominasi L-isomer umumnya memiliki kristalinitas yang tinggi, memberikan sifat mekanik yang lebih baik tetapi menurunkan fleksibilitas. Sebaliknya, PLA dengan distribusi enantiomer yang acak cenderung amorf menghasilkan sifat yang lebih fleksibel tetapi kurang tahan terhadap panas (Vink *et al.*, 2003). Adapun struktur dari PLA dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kimia PLA

PLA menunjukkan beberapa sifat penting, termasuk kekuatan tarik yang baik dan transparansi tinggi. Namun, PLA juga memiliki kekurangan seperti kekuatan benturan yang rendah dan ketahanan suhu yang terbatas.

Penelitian terbaru telah berfokus pada modifikasi struktur PLA untuk meningkatkan sifat-sifat ini melalui penggunaan berbagai jenis aditif dan pengisi (Zhu, 2022). PLA sering kali memerlukan penguatan tambahan untuk memenuhi kebutuhan aplikasi tertentu. Studi oleh Kumar, (2018) menunjukkan bahwa penambahan nanomaterial seperti nanopartikel silika dapat meningkatkan kekuatan mekanis dan ketahanan termal PLA. PLA dapat terurai secara biologis di lingkungan yang sesuai, tetapi kecepatan terurai dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan (Cheng, 2017).

Proses produksi PLA melibatkan dua langkah utama yaitu fermentasi dan polimerisasi. Dalam proses fermentasi gula dari bahan baku terbarukan dikonveris menjadi asam laktat oleh mikroorganisme. Kemudian, asam laktat dipolimerisasi menjadi PLA melalui proses *ring-opening polymerization* (ROP) atau polikondensasi (Liu *et al.*, 2020).

PLA banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, dari mulai pembuatan kemasan hingga medis :

- PLA digunakan secara luas dalam kemasan makanan karena sifat biodegradabilitasnya dan kemampuan untuk menjaga keamanan dan kesegaran makanan (Nair *et al.*, 2021). Penelitian terbaru telah mengembangkan PLA dengan sifat penghalang yang lebih baik untuk aplikasi kemasan (Mao, 2023).

- PLA digunakan dalam pembuatan serat dan kain, menawarkan alternatif yang ramah lingkungan untuk serat sintetis (Shen *et al.*, 2022). Pengembangan serat PLA yang lebih kuat dan tahan lama merupakan fokus penelitian terkini.
- PLA digunakan untuk aplikasi medis seperti benang jahit dan *scaffold* untuk rekayasa jaringan. Penelitian terbaru berfokus pada meningkatkan kompatibilitas biologis dan kinerja material dalam aplikasi medis (Xu, 2023).

PLA sendiri pasti memiliki kelebihan dan kekurangan. Adapun kekurangan dari PLA adalah :

- PLA memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah dan ketahanan suhu yang lebih rendah dibandingkan plastik konvensional. Penelitian berlanjut untuk meningkatkan sifat ini dengan pegisian dan modifikasi (Kumar, 2018).
- Meskipun biaya produksi PLA menurun, biaya ini masih lebih tinggi dibandingkan plastik berbasis fosil (Zhao *et al.*, 2021).

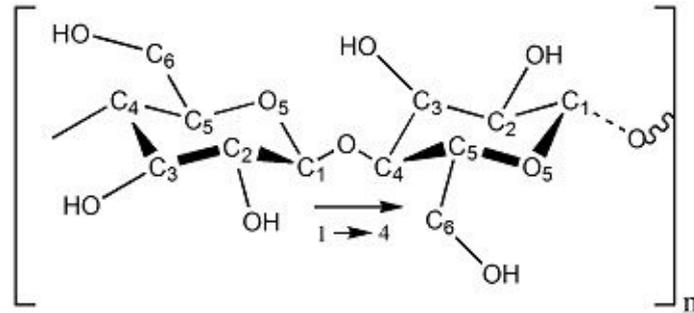
Sedangkan kelebihan dari PLA yaitu PLA dapat terurai di lingkungan kompos, mengurangi akumulasi limbah plastik (Cheng *et al.*, 2017). PLA terbuat dari bahan baku terbarukan, mengurangi ketergantungan pada bahan baku fosil (Liu *et al.*, 2020).

2.4. Selulosa

Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n adalah polisakarida kompleks yang merupakan komponen utama dari dinding sel tanaman. Selulosa terdiri dari unit-unit glukosa yang terhubung melalui ikatan $\beta(1-4)$ glikosidik. Struktur ini membentuk rantai panjang yang membentuk mikrofibril dalam dinding sel tanaman, memberikan kekuatan dan struktur yang diperlukan untuk integritas sel (Klemm, *et al.*, 2005). Selulosa adalah polimer linear yang tidak larut dalam air atau sebagian besar pelarut organik. Namun, selulosa dapat

mengalami modifikasi kimia untuk meningkatkan kelarutannya atau memberikan sifat khusus, seperti dalam pembuatan selulosa asetat (Peters, 2009). Selulosa biasanya ditemukan dalam bentuk serat yang membentuk jaringan mikrofibril di dinding sel tanaman. Dalam bentuk serbuk, selulosa berwarna putih dan tidak larut dalam air. Selulosa memiliki kemampuan untuk membentuk gel dan film ketika dimodifikasi secara kimiawi (Himmel, *et al.*, 2007). Selulosa adalah biokompatibel dan dapat terurai secara biologis, menjadikannya bahan yang ramah lingkungan dan berguna dalam berbagai aplikasi. Proses degradasi selulosa melibatkan mikroorganisme yang memproduksi enzim selulase untuk memecah polisakarida ini menjadi glukosa (Rogers, 2009).

Selulosa adalah polisakarida linear yang terdiri dari unit β -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik $\beta(1\rightarrow4)$. Setiap unit glukosa dalam rantai selulosa berputar 180° relatif terhadap tetangganya, membentuk struktur yang panjang dan tidak bercabang (Klemm *et al.*, 2005). Rantai panjang selulosa ini membentuk fibril mikrokristalin yang distabilkan oleh ikatan hidrogen intra- dan antar-molekul yang memberikan sifat mekanik yang kuat dan resistensi kimia yang tinggi (Habibi *et al.*, 2010). Selulosa memiliki struktur supramolekul yang kompleks, terdiri dari daerah kristalin yang teratur dan daerah amorf yang tidak teratur. Struktur kristalin memberikan kekuatan mekanik tinggi dan ketahanan terhadap degradasi, sedangkan daerah amorf lebih mudah diakses oleh air dan enzim, sehingga berperan penting dalam proses hidrolisis (Moon *et al.*, 2011). Bentuk kristalin selulosa yang paling umum adalah selulosa I yang terdiri dari dua alotrop yaitu selulosa I α (dominan pada alga dan bakteri) dan selulosa I β (dominan pada tumbuhan). Konversi termodinamika dapat mengubah selulosa I menjadi selulosa II yang lebih stabil secara termodinamik (Klemm *et al.*, 2005). Rantai selulosa yang terikat oleh ikatan hidrogen yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur rantai selulosa (Moon *et al.*, 2011).

Selulosa digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk pembuatan kertas dan tekstil. Selulosa juga digunakan dalam pembuatan bahan-bahan seperti selulosa asetat untuk film fotografi dan pelapis (Klemm, *et al.*, 2005). Dalam bidang medis, selulosa digunakan dalam pembuatan pembalut luka dan matriks untuk rekayasa jaringan. Selulosa dan turunannya, seperti kitosan dan selulosa asetat, digunakan dalam berbagai produk biomedis karena sifat biokompatibilitas dan biodegradabilitasnya (Rogers, 2009). Selulosa diproduksi secara alami oleh tanaman sebagai bagian dari struktur dinding sel mereka. Dalam industri, selulosa diekstraksi dari bahan tanaman seperti kayu, kapas atau serat tanaman lainnya. Proses ekstraksi melibatkan pemisahan selulosa dari komponen lain dalam dinding sel, seperti hemiselulosa dan lignin menggunakan berbagai metode kimia dan mekanis (Klemm, *et al.*, 2005). Selulosa memiliki banyak keunggulan termasuk ketersediannya yang melimpah, sifat biodegradabilitas dan biokompatibilitas. Selulosa juga memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan dapat dimodifikasi untuk berbagai aplikasi industri dan medis (Peters, 2009). Keterbatasan utama selulosa adalah kelarutannya yang rendah dalam pelarut organik yang membatasi penggunaannya dalam beberapa aplikasi. Selain itu, proses pemisahan selulosa dari bahan tanaman dapat melibatkan penggunaan bahan kimia yang berdampak pada lingkungan (Himmel, *et al.*, 2007).

2.5. Nanoselulosa

Nanoselulosa adalah material berbasis selulosa yang memiliki dimensi nanoskal yang biasanya dengan diameter kurang dari 100 nm yang diperoleh dari sumber alami seperti kayu, tanaman atau mikroorganisma.

Nanoselulosa terbagi menjadi tiga jenis utama, yaitu *cellulose nanocrystals* (CNC), *cellulose nanofibrils* (CNF) dan *bacterial nanocellulose* (BNC).

CNC memiliki struktur kristalin tinggi, sedangkan CNF memiliki campuran antara area kristalin dan amorf dan BNC dihasilkan oleh mikroorganism seperti *Acetobacter ylinum* dengan sifat yang sangat murni dan membentuk jaringan tiga dimensi. Struktur nanoselulosa terdiri dari unit β -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik $\beta(1\rightarrow4)$. Dalam CNC, struktur kristalin lebih dominan, sementara CNF lebih fleksibel dan dapat membentuk jaringan fibril yang lebih panjang. BNC memiliki struktur yang lebih teratur dan bebas dari lignin serta hemiselulosa. Selulosa ini memiliki gugus hidroksil pada permukaannya yang memungkinkan modifikasi kimia untuk aplikasi yang lebih beragam. Karakteristik utama dari nanoselulosa adalah kekuatan mekanik yang tinggi, ringan, transparan, serta *biodegradable* dan biokompatibel. CNC memiliki modulus elastisitas yang mendekati baja, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan material dengan kekuatan tinggi. Selain itu, nanoselulosa juga menunjukkan stabilitas termal yang baik dan kemampuan untuk membentuk suspensi yang stabil dalam air yang menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi dalam bidang bioteknologi dan material. Nanoselulosa juga dapat dimodifikasi untuk meningkatkan sifat permukaannya, seperti meningkatkan daya serap air atau kemampuan interaksi dengan bahan lain (Lin and Duffrense, 2014).

Penelitian sebelumnya banyak berfokus pada potensi nanoselulosa dalam berbagai aplikasi mulai dari komposit polimer yang lebih kuat dan ringan hingga penggunaan dalam industri biomedis. Klemm *et al.* (2011) dan Habibi *et al* (2010). Menyoroti potensi nanoselulosa dalam bidang pengemasan sebagai bahan pengisi dalam komposit dan dalam pembuatan

membran untuk fibrasi atau sensor. Sifat biokompatibel dari nanoselulosa memungkinkan penggunaannya dalam aplikasi medis seperti scaffold untuk rekayasa jaringan, pengiriman obat dan pembalut luka. Moon *et al* (2011) menekankan pentingnya nanoselulosa dalam aplikasi sebagai penguat dalam nanokomposit yang tidak hanya meningkatkan sifat mekanik tetapi juga ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem.

2.6. Metode Sintesis Nanopartikel

2.6.1. Metode Gelasi Ionik

Metode gelasi ionik adalah teknik yang semakin populer dalam sintesis hidrogel yang memiliki aplikasi luas diberbagai bidang, termasuk biomedis, farmasi dan industri makanan. Proses ini melibatkan interaksi antara polimer yang mengandung gugus fungsional dengan ion divalen atau multivalen yang menyebabkan pembentukan jaringan tiga dimensi (3D) melalui ikatan ionik (Peppas and Merrill, 2018). Gelasi ionik terjadi ketika polimer, seperti alginat atau kitosan, berinteraksi dengan larutan ion. Ion divalen seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan rantai polimer sehingga membentuk struktur gel yang stabil. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk konsentrasi polimer, jenis ion, pH larutan, suhu dan waktu pemrosesan. Kontrol terhadap parameter-parameter ini sangat penting untuk mendapatkan sifat gel yang diinginkan (Mihai *et al.*, 2020).

Salah satu aplikasi paling menonjol dari metode gelasi ionik adalah dalam sistem penghantaran obat. Hidrogel yang dihasilkan dapat berfungsi sebagai matriks untuk melepaskan obat secara bertahap yang memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap laju pelepasan dan meningkatkan bioavailabilitas obat. Contohnya, hidrogel berbasis alginat telah digunakan untuk penghantaran obat anti-kanker dan obat anti-inflamasi (Nafisi *et al.*, 2021). Di bidang biomedis, hidrogel yang dihasilkan melalui gelasi ionik

juga digunakan dalam rekayasa jaringan. Hidrogel berbabsis kitosan dan alginat telah menunjukkan potensi yang besar dalam regenerasi jaringan tulang dan kartilago. Keduanya memiliki biokompatibilitas yang baik dan mampu mendukung pertumbuhan sel. Selain itu, hidrogel ini dapat dimodifikasi untuk meningkatkan kemampuan mereka dalam menyerap dan melepaskan zat bioaktif (Vasilescu *et al.*, 2020). Dalam industri makanan, gelasi ionik juga berperan penting. Hidrogel yang terbuat dari pektin dan kalsium sering digunakan sebagai agen pengental dan stabilizer dalam produk makanan. Gelasi ionik membantu meningkatkan tekstur dan stabilitas produk serta memperpanjang umur simpan. Misalnya, penggunaan pektin dalam yogurt dapat memberikan tekstur yang lebih halus dan meningkatkan kualitas sensori produk (Rojas *et al.*, 2022).

Salah satu masalah utama adalah konsistensi yang reproduksibilitas produk gel yang dihasilkan. Variabilitas dalam sumber bahan baku dan kondisi proses dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik gel. Selain itu, interaksi antara polimer dan ion dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan yang mempengaruhi kestabilan gel. (Davis *et al.*, 2023). Tantangan lain adalah pengendalian laju pelepasan zat bioaktif dari hidrogel. Meskipun gelasi ionik memungkinkan kontrol atas struktur gel, pengaruhnya terhadap perilaku pelepasan zat bioaktif masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Penelitian tentang modifikasi kimia dan fisik polimer dapat membantu meningkatkan kemampuan kontrol ini (González *et al.*, 2019).

2.6.2. Hidrolisis Asam

Hidrolisis asam adalah proses kimia di mana senyawa terurai menjadi produk yang lebih sederhana melalui reaksi dengan air dengan bantuan asam sebagai katalis. Proses ini sangat penting dalam berbagai bidang, termasuk kimia analitik, biokimia dan industri makanan. Hidrolisis asam terjadi ketika asam protonasi molekul air, meningkatkan reaktivitas air dan memungkinkan terjadinya serangan nukleofilik pada senyawa target.

Sebagai contoh, dalam hidrolisis ester, proton dari asam membentuk ion alkoksida yang lebih reaktif sehingga memudahkan pemecahan ikatan ester menjadi asam karboksilat dan alkohol. Proses ini sangat bergantung pada pH larutan, di mana pH yang lebih rendah umumnya meningkatkan laju reaksi (Khan *et al.*, 2020).

Mekanisme hidrolisis asam dapat dibedakan menjadi dua tahap utama yaitu protonasi dan serangan nukleofilik. Pertama, senyawa target di protonasi oleh ion H^+ yang meningkatkan polaritas ikatan kimia. Selanjutnya, air bertindak sebagai nukleofil yang menyerang atom karbon yang terprotonasi sehingga memecah ikatan dan membentuk produk baru. Dalam kasus hidrolisis amida, mekanisme ini juga mencakup pembentukan intermedieat tetrahedral yang stabil yang kemudian terurai menjadi asam karboksilat dan amina. Pemahaman tentang mekanisme ini penting dalam pengembangan obat di mana reaksi hidrolisis dapat mempengaruhi stabilitas dan efektivitas senyawa (Friedman, 2021).

Hidrolisis asam sering dijumpai diberbagai aplikasi. Dalam industri makanan, hidrolisis asam digunakan dalam produksi sirup glukosa yang melibatkan hidrolisis opati yang dikatalisasi oleh asam. Proses ini menghasilkan glukosa yang memberikan rasa manis (Wang *et al.*, 2022). Selain itu, dalam sintesis organik hidrolisis asam sering digunakan untuk memecah senyawa kompleks menjadi komponen yang lebih sederhana, di mana asam sulfurik sering digunakan sebagai katalis untuk meningkatkan efisiensi reaksi. Hidrolisis asam juga berperan dalam pengolahan limbah, terutama untuk mempercepat pemecahan senyawa organik yang sulit terurai sehingga memudahkan pengolahan (Liu *et al.*, 2019). Dalam bidang biokimia, hidrolisis asam memainkan peran penting dalam metabolisme di mana enzim yang berfungsi dalam proses ini memecah karbohidrat dan protein menjadi unit memecah karbohidrat dan protein menjadi unit yang lebih kecil yang dapat diserap oleh tubuh (Khan *et al.*, 2020).

Beberapa faktor mempengaruhi laju dan efisiensi hidrolisis asam termasuk pH, suhu dan konsentrasi asam. pH larutan sangat mempengaruhi laju reaksi di mana semakin rendah pH, maka semakin tinggi konsentrasi ion H^+ yang dapat mempercepat laju reaksi, namun suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi produk. Konsentrasi asam yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju reaksi, tetapi pada titik tertentu sehingga peningkatan konsentrasi tidak lagi memberikan peningkatan yang signifikan (Friedman, 2021). Meskipun hidrolisis asam memiliki banyak aplikasi, terdapat beberapa tantangan yang harus dihadapi. Salah satunya tantangan utama adalah kontrol terhadap kondisi reaksi untuk menghindari pembentukan produk sampingan yang tidak diinginkan. Pemilihan jenis asam yang tepat dan konsentrasi yang sesuai sangat penting untuk mencapai hasil yang diinginkan (Khan *et al.*, 2020). Dalam pengembangan obat, pemahaman tentang stabilitas senyawa dalam kondisi asam sangat penting karena beberapa senyawa mungkin terdegradasi selama proses hidrolisis, sehingga mempengaruhi efektivitas terpeutiknya (Liu *et al.*, 2019).

2.7. Uji Analisis dan Karakterisasi

2.7.1. Particle Size Analyzer (PSA)

Particle Size Analyzer (PSA) adalah alat yang digunakan untuk mengukur ukuran partikel dalam berbagai jenis material, termasuk padatan, cairan dan suspensi. Ukuran partikel merupakan parameter penting yang mempengaruhi sifat fisik dan perilaku material dalam berbagai aplikasi mulai dari farmasi hingga material nano. PSA dapat memberikan informasi yang kritis dalam penelitian dan pengembangan produk, kontrol kualitas dan pemrosesan material (Ghanbarzadeh *et al.*, 2020). Salah satu metode yang umum digunakan dalam PSA adalah teknik difraksi laser. Dalam metode ini, cahaya laser dipancarkan melalui suspensi partikel dan pola difraksi yang dihasilkan diukur untuk menentukan ukuran partikel. Ukuran partikel dihitung berdasarkan hukum difraksi, di mana sudut difraksi berbanding

terbalik dengan ukuran partikel. Metode ini menjadikannya pilihan yang paling populer dalam berbagai industri (Huang *et al.*, 2021).

Selain difraksi laser, ada juga metode lain seperti mikroskopi gambar dan analisis sedimentasi. Mikroskopi gambar menggunakan gambar digital untuk menganalisis ukuran dan bentuk partikel, sementara analisis sedimentasi mengukur waktu yang diperlukan partikel untuk mengendap dalam medium cair. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Misalnya, analisis sedimentasi dapat memberikan informasi tentang distribusi ukuran partikel dalam larutan, tetapi bisa kurang akurat untuk partikel kecil (Buchanan *et al.*, 2019).

Dalam industri farmasi, PSA memainkan peran penting dalam pengembangan formulasi obat. Ukuran partikel dapat mempengaruhi bioavailabilitas obat, stabilitas dan pelepasan. Oleh karena itu, pengendalian ukuran partikel selama proses produksi sangat krusial. Penelitian menunjukkan bahwa ukuran partikel yang lebih kecil dapat meningkatkan laju disolusi obat, sehingga meningkatkan efektivitas terapeutik (Kim *et al.*, 2020). Hal ini menjadikan PSA alat penting dalam pengujian dan kontrol kualitas produk farmasi. Di bidang material nano, PSA juga sangat relevan. Nanopartikel memiliki sifat yang unik dan potensi aplikasi yang luas, termasuk dalam bidang elektronik kesehatan dan lingkungan. Pengukuran ukuran nanopartikel menggunakan PSA membantu dalam memahami perilaku dan interaksi mereka di dalam sistem. Penelitian telah menunjukkan bahwa distribusi ukuran nanopartikel dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia, sehingga penting untuk karakterisasi yang akurat (Deng *et al.*, 2021). Penggunaan PSA tidak terbatas pada industri farmasi dan material nano saja. Dalam industri makanan, ukuran partikel juga mempengaruhi tekstur, stabilitas dan rasa produk. Misalnya, dalam produk *emulsifier*, ukuran partikel dapat mempengaruhi kemampuan emulsifikasi dan stabilitas emulsi. PSA memungkinkan produsen untuk mengontrol dan mengoptimalkan ukuran partikel dalam proses produksi. Hal ini dapat

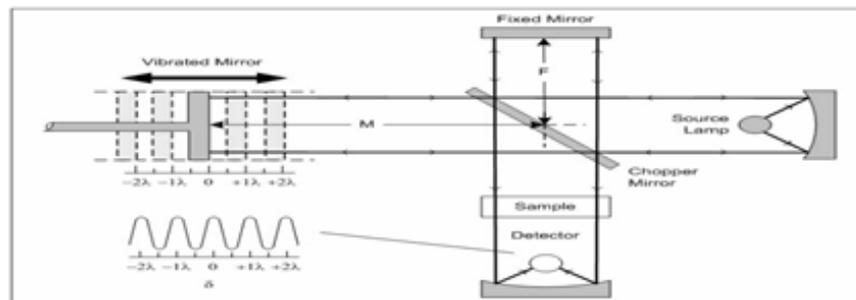
berdampak langsung pada kualitas dan penerimaan konsumen terhadap produk (Santos *et al.*, 2019).

Meskipun terdapat berbagai metode untuk mengukur ukuran partikel, PSA memiliki beberapa tantangan. Salah satu tantangan utama PSA adalah bahwa ukuran partikel sering kali berkorelasi dengan distribusi ukuran yang lebih kompleks. Distribusi ukuran yang tidak merata dapat menyebabkan kesalahan dalam pengukuran. Oleh karena itu, penting untuk memilih metode PSA yang paling sesuai dengan karakteristik sampel yang sedang dianalisis (Ghanbarzadeh *et al.*, 2020). Keakuratan PSA juga dipengaruhi oleh parameter lingkungan seperti suhu, pH dan viskositas. Penelitian menunjukkan bahwa variabilitas dalam kondisi lingkungan dapat menyebabkan perubahan dalam ukuran dan distribusi partikel yang diukur (Huang *et al.*, 2021). Oleh karena itu, pengendalian kondisi lingkungan selama pengukuran adalah hal yang sangat penting untuk mendapatkan hasil yang akurat. Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi PSA terus berlanjut. Inovasi dalam perangkat keras dan perangkat lunak memungkinkan analisis yang lebih cepat dan lebih akurat. Pengembangan sistem analisis berbasis komputer memungkinkan pemrosesan data yang lebih canggih dan presentasi hasil yang lebih baik terkait dengan ukuran dan distribusi partikel (Buchanan *et al.*, 2019).

2.7.2. Spektrometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektrometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) merupakan salah satu teknik analitik yang sangat baik dalam proses identifikasi struktur molekul suatu senyawa. Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10^{-1} (Bohács *et al.*, 1998). Spektrometer FTIR adalah salah satu teknik karakterisasi untuk menampilkan data absorpsi, emisi, dan fotokonduktivitas dari sampel padatan, cairan dan gas dalam satu bentuk spektrum IR (Sindhu *et al.*, 2015). Spektrometer FTIR mempelajari pengaruh interaksi antara

materi dan energi radiasi dalam rentang IR dan mengevaluasi pengaruh ini dengan mengukur penyerapan berbagai frekuensi IR oleh sampel yang terletak di jalur berkas IR. Ketika berkas radiasi inframerah melewati sampel, ia dapat diserap atau ditransmisikan tergantung pada frekuensi dan struktur molekul dalam sampel. Radiasi inframerah mempengaruhi kelompok molekul tertentu, sehingga menghasilkan getaran keadaan tereksitasi pada panjang gelombang tetap. Ketika kuantum energi disediakan, itu akan mengubah perilaku mekanik molekul, dengan demikian mengubah vibrasi dan rotasinya. Penyerapan energi terjadi pada frekuensi yang sesuai dengan vibrasi dari molekul atau gugus kimia yang sesuai. Gugus fungsi yang berbeda menyerap frekuensi karakteristik radiasi inframerah, teknologi ini digunakan untuk identifikasi sampel dan penelitian struktur molekul (Titus *et al*, 2019). Skema alat FTIR dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema alat FTIR (Griffiths, 1983)

Prinsip kerja spektrometer inframerah adalah fotometri. Sinar dari sumber sinar inframerah merupakan kombinasi dari panjang gelombang yang berbeda-beda. Sinar yang melalui interferometer akan difokuskan pada tempat sampel. Sinar yang ditransmisikan oleh sampel difokuskan ke detektor. Perubahan intensitas sinar menghasilkan suatu gelombang interferensi. Gelombang ini diubah menjadi sinyal oleh detektor, dan diperkuat oleh penguat, kemudian diubah menjadi sinyal digital. Pada sistem optik FTIR, radiasi laser diinterferensikan dengan radiasi inframerah

agar sinyal radiasi inframerah diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik (Griffiths, 1983).

2.7.3. *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) adalah teknik analisis yang digunakan untuk menentukan struktur kristal material dengan memanfaatkan interaksi antara sinar-X dan materi. Teknik ini sangat penting dalam berbagai bidang, termasuk material sains, mineralogi, kimia dan biologi. XRD bekerja berdasarkan prinsip difraksi, di mana sinar-X yang dipancarkan oleh sumber akan berinteraksi dengan atom dalam jaringan kristal, menghasilkan pola difraksi yang dapat dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang struktur kristal, ukuran butir dan fase material (Cullity and Stock, 2001). Dalam XRD, yang dipancarkan oleh sumber diarahkan ke sampel dan sudut difraksi diukur saat sinar-X dipantulkan oleh permukaan kristal. Hukum Bragg yang menyatakan bahwa difraksi terjadi ketika jarak antar lapisan atom dalam kristal sesuai dengan panjang gelombang sinar-X, menjadi dasar bagi analisis ini. Dengan menggunakan persamaan Bragg ($n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$), di mana n adalah bilangan bulat, λ adalah panjang gelombang sinar-X, dan d adalah jarak antara lapisan dan θ adalah sudut difraksi, peneliti dapat menentukan jarak antar atom dalam material dan mengidentifikasi fase kristal yang ada (Burt *et al.*, 2018).

XRD memiliki beragam aplikasi dalam analisis material. Salah satu aplikasi utamanya adalah dalam karakterisasi material semikonduktor. Dalam pengembangan teknologi semikonduktor, pemahaman mengenai struktur kristal sangat penting untuk menentukan sifat listrik dan optik material. XRD digunakan untuk mengukur parameter kisi, orientasi kristal dan strain internal dalam film tipis semikonduktor (Kumar., 2018). Dengan informasi ini, peneliti dapat mengoptimalkan proses sintesis dan meningkatkan kinerja perangkat semikonduktor. Selain itu, XRD juga digunakan dalam bidang material sains untuk karakterisasi serbuk kristal. Metode ini memungkinkan

peneliti untuk menentukan ukuran butir, distribusi ukuran dan morfologi partikel. Pengukuran ukuran butir dengan XRD dapat dilakukan menggunakan metode herrer yang mengaitkan lebar puncak pola difraksi dengan ukuran butir kristal. Penelitian menunjukkan bahwa ukuran butir berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia material, seperti reaktivitas, kekuatan dan konduktivitas (Khan., 2019).

XRD juga digunakan untuk mengidentifikasi fase mineral dalam sampel geologi. Teknik ini memungkinkan peneliti untuk menganalisis komposisi mineral dan memahami proses pembentukan dan transformasi mineral di dalam bumi. Dengan menganalisis pola difraksi, peneliti dapat menentukan jenis mineral, struktur kristal dan proporsi relatif dari berbagai fase dalam sample (Santos *et al.*, 2021). Hal ini sangat berguna dalam eksplorasi sumber daya mineral dan studi lingkungan. XRD juga memainkan peran penting dalam penelitian biologi, terutama dalam analisis struktur protein dan DNA. Teknik ini digunakan untuk menentukan struktur tiga dimensi molekul biologis yang sangat penting untuk memahami fungsi dan interaksi biomolekul. Struktur protein yang ditentukan dengan XRD dapat memberikan wawasan tentang mekanisme biologis dan membantu dalam desain obat (Kabsch, 2010). Selain itu, XRD digunakan dalam penelitian vaksin dan terapi gen, di mana pemahaman tentang struktur molekul sangat penting. Meskipun memiliki banyak keunggulan, XRD juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan dalam analisis sampel amorf. XRD lebih efektif untuk material kristal dan analisis sampel amorf sering kali menghasilkan pola yang tidak jelas. Untuk mengatasi masalah ini, metode ini seperti spektroskopi inframerah atau teknik analisis lainnya sering kali digunakan secara bersamaan untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap (Zhou *et al.*, 2019).

Teknologi XRD juga terus berkembang. Inovasi dalam perangkat keras dan perangkat lunak telah memungkinkan analisis yang lebih cepat dan lebih akurat. Misalnya, sistem XRD berbasis sinar-X energi tinggi dan detektor canggih memungkinkan pengukuran yang lebih sensitif dan resolusi yang

lebih tinggi. Pengembangan perangkat lunak analisis data yang lebih baik juga membantu peneliti dalam pemrosesan dan interpretasi hasil XRD secara lebih efisien (Burt *et al.*, 2018). Ke depannya XRD diharapkan akan terus berkembang dan menemukan aplikasi baru. Dalam penelitian material nano, XRD dapat digunakan untuk mempelajari struktur dan sifat nanopartikel yang memiliki potensi aplikasi luas dalam bidang elektronik, energi dan kesehatan. Dengan kemajuan dalam teknologi dan pemahaman yang lebih baik tentang interaksi sinar-X dengan materi, XRD akan tetap menjadi alat yang sangat berharga dalam karakterisasi material dan penelitian ilmiah (Kumar *et al.*, 2009).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan September 2023 sampai September 2024 di Laboratorium Kimia dasar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Kemudian hasil sintesis dilakukan analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) di PT DKSH Indonesia Jakarta, dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Terpadu, Universitas Negeri Padang serta untuk mengetahui gugus fungsi hasil sintesis menggunakan Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beaker 1000 ml, 500 ml, 250 ml, spatula, neraca analitik, pipet tetes, tabung sentrifuse, corong kaca, Erlenmeyer 500 ml, cawan petri, sentrifuse, mortal, alu, oven, *magnetic stirrer*, gelas ukur 10 ml, 100 ml, 250 ml, *Particle Size Analyzer* (PSA), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah selulosa, kitosan, PLA, asam sulfat 64%, asam asetat glasial, asam asetat 1%, NaOH 2N, NaOH 0,5M, air suling, *aluminium foil*, kertas saring, dan kertas pH,

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Sintesis Nanoselulosa

Serbuk selulosa dihidrolisis menggunakan H_2SO_4 64% (v/v) dengan variasi penambahan asam masing masing sebanyak 10 ml/gr (NS₁), 20 ml/gr (NS₂), dan 30 ml/gr (NS₃) pada suhu 45°C selama 2 jam pada *magnetic stirer*. Proses hidrolisis dihentikan menggunakan air suling sebanyak 500 ml. suspensi yang dihasilkan, ditambah dengan NaOH 2N sampai pH 7 kemudian di sentrifugasi selama 10 menit. Hasil suspensi yang diperoleh disonikasi selama 5 jam. Setelah itu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 65°C (Wulandari, 2020). Adapun diagram alir dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.3.2. Karakterisasi Nanoselulosa

Nanoselulosa dikarakterisasi menggunakan dua instrumen yaitu *Particle Size Analyzer* dan *X-Ray Diffraction*. Nanoselulosa diukur ukuran partikelnya menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Sampel nanoselulosa diukur ukuran partikelnya di PT DKSH Indonesia, Jakarta Selatan. Pengukuran dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan menggunakan radiasi Cu-K α dimana deteksi dilakukan pada $2\theta=5-90^\circ$ pada kecepatan 2°/menit dan diset pada 40 kV dan 40 mA (Wulandari, 2020). Adapun diagram alir dapat dilihat pada Lampiran 2.

3.3.3. Penggabungan Kitosan dengan PLA

Kitosan sebanyak 1 gram dilarutkan ke dalam asam asetat glasial sebanyak 100 ml, dihomogenkan menggunakan *magnetic stirer*. Setelah homogen, ditambahkan PLA sebanyak 1 gram dipanaskan pada suhu 60°C selama 24 jam menggunakan *magnetic stirer*. Lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 65°C selama 3 hari. Padatan yang diperoleh kemudian dihaluskan

dan ditimbang (Suryani *et al.*, 2018). Adapun diagram alir prosedur ini dapat dilihat pada Lampiran 3.

3.3.4. Sintesis Nanopartikel Kitosan-PLA

Metode yang digunakan dalam sintesis nanopartikel kitosan adalah metode gelasi ionik. Asam asetat glasial 10 mL diencerkan menjadi 1000 mL menggunakan air suling menghasilkan larutan asam asetat glasial. Kitosan sebanyak 1,07 gram dilarutkan dalam larutan asam asetat glasial menghasilkan larutan kitosan. NaTPP sebanyak 2,6 gram dilarutkan dalam 500 mL air suling menghasilkan larutan TPP, kemudian larutan kitosan ditambahkan dengan larutan TPP tetes demi tetes sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Larutan agak kental yang dihasilkan, di sentrifugasi selama 20 menit sehingga menghasilkan suspensi. Suspensi dikeringkan menggunakan oven pada suhu 65°C sehingga dihasilkan nanopartikel kitosan. Sebelum dikeringkan, nanopartikel kitosan-PLA dianalisis menggunakan Particle Size Analyzer (PSA) (Amaliyah *et al.*, 2018). PSA dilakukan di PT DKSH, Jakarta. Adapun diagram alir pada prosedur ini dapat dilihat pada Lampiran 4

3.3.5. Penggabungan Nanopartikel Kitosan-PLA dengan Nanoselulosa

Serbuk nanopartikel kitosan-PLA sebanyak 2 gram dilarutkan ke dalam asam asetat 1% diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 4 jam. Sebanyak 500 gram nanoselulosa dengan variasi NS₁, NS₂, dan NS₃ yang sudah dibuat sebelumnya ditambahkan ke dalam larutan nanokitosan-PLA di bawah pengadukan selama 2,5 jam pada suhu 50°C. Hasil yang diperoleh ditambahkan dengan larutan NaOH 0,5M sebanyak 40 ml di bawah pengadukan selama 6 jam. Hasil yang diperoleh kemudian dicuci menggunakan air suling dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 65°C serta dicek setiap 30 menit sekali. Setelah itu dilakukan karakterisasi

menggunakan FTIR. (Bassyouni *et al.*, 2022). Adapun diagram alir pada prosedur ini dapat dilihat pada Lampiran 5.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Sintesis nanoselulosa berhasil dilakukan melalui tahapan hidrolisis asam, netralisasi dengan NaOH, sentrifugasi dan sonikasi. Variasi volume asam sulfat yang digunakan (10, 20, dan 30 mL/gr) memengaruhi hasil rendemen dan karakteristik nanoselulosa. Hasil menunjukkan rendemen tertinggi diperoleh pada volume asam terendah (31,8%) sedangkan ukuran partikel terkecil adalah 229,8 nm (NS₁).
2. Penggabungan kitosan dengan PLA menggunakan asam asetat glasial menghasilkan serbuk dengan rendemen sebesar 65%. Nanopartikel yang dihasilkan memiliki ukuran partikel rata-rata 310,7 nm.
3. Proses penggabungan ini menghasilkan komposit dengan bobot akhir bervariasi, dimana NS₁ menunjukkan hasil terbaik dalam ukuran partikel (229,8 nm) dan karakteristik fisik yang baik. Analisis FTIR menunjukkan adanya interaksi gugus fungsi antar komponen dalam komposit. Karakterisasi menggunakan PSA menunjukkan ukuran partikel nanoselulosa bervariasi, dengan pengaruh penambahan asam yang minimal terhadap ukuran. Uji XRD menunjukkan derajat kristalinitas yang baik, menandakan kestabilan struktur nanoselulosa.
4. Dari spektrum yang diperoleh, terdapat kesamaan gugus fungsi antara PLA, selulosa, kitosan, dan PLA/kitosan + nanoselulosa pada bilangan gelombang 3300 cm⁻¹ yang sesuai dengan daerah serapan gugus O-H yang mewakili vibrasi regangan N-H. Hal ini menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH) yang banyak ditemukan pada PLA, selulosa, dan

kitosan. Kemudian pada bilangan gelombang 1000-1100 cm^{-1} daerah serapan C=O grup yang merupakan penahan vibrasi C-O.

5.2. Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian ini adalah

1. Melakukan sintesis nanoselulosa menggunakan limbah padat guna menjadi pembanding secara kuantitatif maupun kualitatif.
2. Melakukan optimasi terhadap parameter sintesis seperti volume dan konsentrasi asa, sulfat untuk memaksimalkan rendemen dan kualitas nanoselulosa.
3. Menambahkan uji PSA pada penggabungan nanokitosan-PLA dengan nanoselulosa untuk mengetahui ukuran partikel pada hasil akhir penelitian.
4. Menambahkan karakterisasi menggunakan instrumen lainnya seperti SEM dan TEM untuk mengetahui perbedaan distribusi permukaan dari setiap variasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ai, Y., Lv., J., and Feng, J. 2013. Spectral Characterization of Four Kinds of Biodegradable Plastics: Poly (Lactic Acid), Poly (Butylenes Adipate-Co-Terephthalate), Poly (Hydroxybutyrate-Co-Hydroxyvalerate) and Poly (Butylenes Succinate) with FTIR and Raman Spectroscopy. *Journal of Polymers and the Environment*. 21(1). 108-114.
- Akhter, M. S. 2021. Enhancing Stability of Chitosan-PLA Nanoparticles through Centrifugation Techniques. *Materials Chemistry and Physics*. 263. 124300.
- Amaliyah, N., Ngadiwiyana, Purbowatiningrum, R. S., and Ismiyanto. 2018. Antibacterial Activity of Cinnamic Acid-Chitosan Encapsulation. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 21(1). 8-12.
- Arias, C. M. 2021. Recent Advances in Chitosan-Based Materials: Synthesis, Modification, and Applications. *Carbohydrate Polymers*. 254. 117417.
- Arsyi, N. Z., Nurjannah, E., Ahlina, D. N., dan Budiyati, E. 2018. Karakterisasi Nano Kitosan dari Cangkang Kerang Hijau dengan Metode Gelasi Ionik. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*. 2(2). 106-111.
- Auras, R., Lim, L. T., Selke, S. E., and Tsuji, H. 2010. *Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structure, Properties, Processing and Applications*. Wiley.
- Avérous, L., and Pillet, E. 2012. Biodegradable Polymers. *In enviromental Silicate Nano-Biocomposites*. Springer.
- Azeredo, H. M. C., Carvalho, A. J. F., and Mendes, A. 2020. Nanocellulose in Food Packaging: A Review. *Food Research International*. 138. 109757.
- Bassyouni, M., Mohammed, Sh., Z., Mohammed, H., A., A., and Ibrahims, Moslys. 2022. Nanocellulose Extraction fot Eco-Friendly Biocomposite Adsorbent for Wastewater Treatment. *Polymer*. 1-33.
- Bohács, G., Ovádi, Z., and Salgó, A. 1998. Prediction of Gasoline Properties with Near Infrared Spectroscopy. *Journal of Near Infared Spectroscopy*. 6(1-4). 341-481.

- Borjesson, M. and Westman, G. 2015. *Crystalline Nanocellulose Preparation, Modification and Properties*. Rijeki: Intech.
- Buchanan, R. R., Jones, S. A., and Lee, T. 2019. Particle Size Analysis: A Review of Techniques and Applications. *International Journal of Particle Science and Technology*. 3(3). 145-158.
- Burt, J. L., O'Neill, H. S., and Williams, D. 2018. An Overview of X-Ray Diffraction Techniques of Materials. *Materials Today: Proceedings*. 5(1). 12345-12351.
- Chakraborty, S., McCarthy, C., and O'Brien, M. 2014. Synthesis and Characterization of Nanoparticles: Methods and Applications. *Advanced Materials Research*. 1031. 191-196.
- Cheng, H. 2017. Biodegradation of Polylactic Acid (PLA) in Natural Environments: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*. 24(29). 22568-22581.
- Cullity, B. D., and Stock, S. R. 2001. *Elements of X-Ray Diffraction*. 3rd Edition. Prentice Hall.
- Davis, K. E., Zhang, Y., and Liu, M. 2023. Challenges in The Reproducibility of Ionically Gelled Hydrogels. *Journal of Materials Science*. 58(4). 1234-1245.
- Deng, H., Liu, Y., and Zhang, Y. 2021. Characterization of nanoparticles using particle size analyzers. *Nano Today*, 36, 101030.
- Evandani N. 2012. Sintesis Nanoselulosa dari Tongkol Jagung dengan Perlakuan Hidrolisis Kimia dan Homogenasi. *Skripsi*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Friedman, M. 2021. Chemical and Physical Properties of Amino Acids. *Journal of Food Science*. 86(1). 1-10.
- Fujisawa, S., Kato, Y., and Nakanishi, K. 2015. Nanocellulose: A New Family of Functional Materials. *Journal of Materials Chemistry A*. 3(34). 17908-17916.
- Gao, L., Zhang, X., and Zhang, Q. 2018. Nanoparticle-Based Drug Delivery Systems: A Review of Recent Advances. *Pharmaceutical Design*. 24(34). 3804-3822.
- Garllota, D. 2001. A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Journal of Polymers and the Enviroment*. 9(2). 63-84.
- Ghanbarzadeh, B., Mohammadi, M., and Almasi, H. 2020. Particle Size Analysis in Food and Pharmaceutical Applications: A Review. *Journal of Food Science and Technology*. 57(4). 1365-1377.

- González, M. R., Alarcon, J., and Carvajal, M. 2019. Ionic Gelation: A Versatile Method for Hydrogel Synthesis. *Polymer International*. 68(2). 345-354.
- Ghozali, M., Irawan, Y., dan Waskitoaji, W. 2017. Pengaruh Penambahan Lignin Terhadap Stabilitas Termal Biokomposit Poliasam Laktat/Lignin. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*. 14(1). 45-51.
- Griffiths, P. R. 1983. Fourier Transform Infrared Spectrometry. *Science*. 222(4621). 297-302.
- Guan, Y., Zhang, X., and Chen, L. 2020. Investigation of Functional Groups in Chitosan-Based Nanocomposites Using FTIR Spectroscopy. *Materials Science and Engineering C*. 115. 111067.
- Habibi, Y., Lucia, L. A., and Rojas, O. J. 2010. Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Application. *Chemical Reviews*. 110(6). 3479-3500.
- Hernandez, M. A., Silva, A., and Marti, J. 2017. Environmental Application of Nanoparticles Recent Advanced and Future Directions. *Environemtal Science and Technology*. 51(1). 7-25.
- Himmel, M., E. (2007). Biomass Recalcitrance: Engineering Plants and Enzymes for Biofuels Production. *Science*. 315(5813). 804-80.
- Huang, Y., Yang, H., and Chen, L. 2021. Advances in Particle Size Analysis: Methods and Applications. *Analytical Chemistry*. 93(12). 4562-4570.
- Jayakumar, M. R., Prabha, S. P., and Manikandan, S. 2010. Chitosan: A Versatile Biopolymer for Biomedical Applications. *Journal of Biomaterials Applications*. 25(1). 39-62.
- Jouyban, A., and Salimi, A. 2020. Nanoparticles in Electronics and Sensors. *Advanced Functional Materials*. 30(25).
- Kabsch, W. 2010. XDS. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography*. 66(2). 125-132.
- Khan, M. I., Ahmed, M. S., and Choudhury, S. 2021. Acid Hydrolysis of Complex Organic Compounds: A Review. *Environmental Chemistry Letters*. 18(3). 879-893.
- Khan, Y. 2019. Biological Synthesis of Nanoparticles: Current Status and Future Perspective. *Journal of Nanomaterials*. 8924576.

- Khan, Y., Ali, M., and Malik, M. F. 2020. Synthesis and Characterization of Chitosan-PLA Nanoparticles: Role of Acetic Acid. *Journal of Nanomaterials*. 2020. Article ID 1234567.
- Kim S. F. 2004. Physicochemical and Functional Properties of Crawfish Chitosan as Affected by Different Processing Protocols. *Tesis. Departement of Food Science Louisiana State University*.
- Kim, J. H., Park, S. Y., and Lee, J. H. 2020. The Effect of Particle Size on Drug Dissolution and Bioavailability. *Pharmaceutical Research*. 37(5). 92.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., and Bohn, A. 2005. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Engewandte Chemie International Edition*. 44(22). 3358-3393.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., and Bohn, A. 2011. Cellulose : Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International Edition*. 44(22). 3358-3393.
- Kumar P., Barrett D. M., Delwiche M. J., and Stroeve P. 2009. Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48. 3713–3729.
- Kumar, S., and Prakash, A. 2019. Applications of X-Ray Diffraction in Material Science. *Journal of Materials Science*. 55(1). 4846-4862.
- Kumar, V. 2018. Recent Advances in Polylactic Acid (PLA) Technology: Synthesis, Properties and Applications. *Material Science and Engineering: R: Reports*. 124. 1-42.
- Kusumawati, N. 2009. *Pemanfaatan Limbah Kulit Udang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran Ultrafiltrasi*. FMIPA. Universitas Negeri Surabaya.
- Lee, S., Park, H., and Kim, Y. 2018. Role of Acetic Acid in Enhancing the Properties of Chitosan-PLA Blends. *Materials Science and Engineering: C*. 85. 159-166.
- Li, F., Mascheroni, E., and Piergiovanni, L. 2015. The Potential of Nanocellulose in The Packaging Field: A Review: Nanocellulose in Packaging. *Packaging Technology and Science*. 28(6). 475-508.
- Liberto, E. A., and Dintcheva N. T. 2024. Biobased Films Based on Chitosan and Microcrystalline Cellulose for Sustainable Packaging Applications. *Journal Polymers*. 16(5). 1-11.
- Lin, N., and Dufresne, A. 2014. Nanocellulose in Biomedicine: Current Status and Future Prospect. *European Polymer Journal*. 59. 302-325.

- Liu, C., Li, B., Du, H. Lv D., Zhang, Y., Yu, G., Mu, X., and Peng, H. 2020. Properties of Nanocellulose Isolated from Cornob Residue Using Sulfuric Acid Formic Acid, Oxidative and Mechanical Methodes. *Carbohydrate Polymers*. 151. 716-724.
- Liu, Y., Zhang, X., and Wang, H. 2019. The Role of pH in Acid Hydrolysis of Organic Compounds. *Journal of Chemical Education*. 96(6). 1031-1037.
- Mao, X. 2023. Enhancing Barrier Properties of PLA for Food Packaging: Recent Innovations. *Food Packaging and Shelf Life*. 33. 101089.
- Mihai, M., Popescu, C., and Munteanu, M. 2020. Ionic Interactions in Polymer Gels: A Review. *Carbohydrate Polymers*. 249. 116849.
- Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., and Youngblood, J. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties, and Nanocomposites. *Chemical Society Review*. 40(7). 3941-3994.
- Nafisi, S., Bahrami, S. H., and Rahimpour, A. 2021. Ionic Gelation for Drug Delivery Applications: A Review. *Journal of Controlled Release*. 333. 206-220.
- Nair, S., S. 2021. Enhancing Barrier Properties of Polylactic Acid (PLA) for Food Packaging Applications. *Journal of Applied Polymer Science*. 138(2). 49019.
- Peppas, N. A., and Merrill, E. W. 2018. Hydrogels in Biomedical Applications. *Biomaterials*. 179. 1-14.
- Peters, R. (2009). *Cellulose and Cellulose Derivatives*. Wiley-VCH. ISBN: 978-3-527-32186-1.
- Rahman, M. M., and Hossain, M. S. 2021. Role of Acetic Acid in the Synthesis of Chitosan-Based Composites. *Carbohydrate Polymers*. 250. 117036.
- Rasal, R. M. 2010. Poly (lactic Acid) Blends: Synthesis, Characterization, and Applications. *Advances in Polymers technology*. 29(2). 122-136.
- Rinaudo, M. 2021. Chitin and Chitosan: Properties and Applications. *Journal in Polymer Science*. 43. 100320.
- Rogers, P. L. 2009. The Role of Cellulose in Biotechnological Processes. *Biotechnology Advances*. 27(6). 757-764.
- Rojas, J. C., Salas, E., and Valencia, C. 2019. Impact of Centrifugation on the Size and Stability of Chitosan-PLA Nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*. 140. 456-464.
- Rojas, J., Castro, L., and Morales, M. 2022. The Role of Ionic Gelation in Food Hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*. 126 107471.

- Santos, J. C., Silva, A. A., and Costa, M. S. 2021. The Influence of Particle Size on The Quality of Food Emulsions. *Food Science and Technology International*, 25(3), 245-258.
- Savaris, M., Braga, G. L., Dos Santos, V., Carvalho, G. A., Falavigna, A., Machado, D. C., Viezzer, C., and Brandalise, R. N. 2017. Biocompatibility Assesment Poly(Lactic Acid) Films After Sterilization with Ethylene Oxide in Histological Study in Vivo wih Wistar Rats and Cellular Adhesion of Fibroblasts in Vitro. *International Journal of Polymer Science*. 1-9.
- Shen, L. 2022. Biodegradable Polylactic Acid (PLA) Fibers: Innovations in Textile Applications. *Textile Research Journal*. 92(4). 463-476.
- Sindhu, R., Parameswaran, B., and Ashok P. 2015. Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. *Bioresource Technology*. 76-82.
- Sukmawati, A., Da'i, M., Yuliani, R., Anggraeni, S. N., and Wahyuningsih, D. 2017. Characterization of Chitosan Nanoparticles Containing Combination Doxorubicin and Curcumin Analogue. *Advanced Science Letters*. 23:12486-12488.
- Suryani, H., Agusnar, B., Wiriosentono, T., Rihayat, Z., and Salisas. 2018. Synthesis and Characterization of Poly (Lactic Acid) Chitosan Nanocomposites Based on Renewable Resources as Biobased Material. *Journal of Physics*. Series 935.
- Suryawan, N. B. 2017. Isolasi Selulosa Nanokristal (SNK) dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Hidrolisis Asam Sulfat. *Skripsi*. Departemen Teknologi Industri Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Titus, D., James, J. S. E., and Roopan, S. M. 2019. In Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles. *Nanoparticle Characterization Techniques*. 303-319.
- Tsuji, H. 2005. Poly(Lactic Acid): Stereocomplex Formation, Structure Properties, and Applications. *Macromolekular Bioscience*. 5(7). 569-597.
- Utami, F. 2018. Preparasi Nanoselulosa dari Tongkol Jagung dengan Metode Hidrolisis Asam Pada Berbagai Variasi Waktu Sonikasi. *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember.
- Vasilescu, E. M., Popescu, S., and Stancu, I. 2020. Biocompatibility of Ionically Gelled Hydrogels for Tissue Engineering. *Biomaterials Science*. 8(9). 2485-2500.

- Vink, E. T., Rabago, K. R., Glassner, D. A., and Gruber, P. R. 2003. Applications of Life Acycle Assessment to Nature Works Polylactide (PLA) Production. *Polymer Degradation and Stability*. 80(3). 403-419.
- Wang, J., Zhang, Y., and Li, H. 2022. The Application of Acid Hydrolysis in Food Processing: A Review. *Food Bioprocess Technology*. 15(5). 845-862.
- Wulandari, W. S. 2020. Pembuatan dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Jerami Padi Dengan Metode Hidrolisis Asam (Variasi Volume Penambahan Asam). *Skripsi*. Universitas Perintis Padang. Padang.
- Yuan, Y., Zhang, Y., and Yang, X. 2018. Characterization Techniques for Nanoparticles in Biomedical Engineering. *Biomedical Engineering Online*. 17(1). 1-12.
- Zhang, Y., and Wang, P. 2019. Nanoparticle Formulation of Chitosan-PLA: Impacts of Acetic Acid. *International Journal of Biological Macromolecules*. 140. 276-284.
- Zhang, Y., Liu, Y., and Wu, Y. 2020. Polylactic Acid (PLA) in Biomedical Applications: A Review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 150. 517-528.
- Zhao, Y. 2021. Sustainable Production of Polylactic Acid (PLA): Recent Advances and A Future Perspective. *Journal of Cleaner Production*. 293. 126135.
- Zhou, H., Zhang, X., and Huang, Y. 2019. The Limitations of X-Ray Diffraction in The Analysis of Amorphous Materials. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 05. 71-76.
- Zhu, L. 2022. Improving Mechanical and Thermal Properties of Polylactic Acid (PLA) with Nanofillers: A Review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 123. 123-134.