

**BIOKONVERSI SELULOSA PADA LIMBAH BROMELIN NANAS
MENJADI NANOKOMPOSIT HIDROGEL DENGAN PEMANFAATAN
*INDIGENOUS MARINE ACTINOMYCETES***

(Skripsi)

Oleh

**Febiana Nabila
1917011071**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

CELLULOSE BIOCONVERSION IN PINEAPPLE BROMELIN WASTE INTO NANOCOMPOSITE HYDROGEL UTILIZING INDIGENOUS MARINE ACTINOMYCETES

By

FEBIANA NABILA

Pineapples are one of the major agricultural products in Lampung Province. One of the waste products of pineapples is pineapple cores. The cellulose in pineapple bromelain solid waste has the potential to undergo conversion into value-added products. This research aims to obtain cellulose from pineapple bromelain solid waste through bio-pretreatment using Actinomycetes and convert it into nanocellulose to create hydrogel nanocomposites for drug delivery. The research methods include sample preparation, analysis of pineapple bromelain solid waste components using the TAPPI method, screening of Actinomycetes isolates, bio-pretreatment, cellulose purification, determination of crystallinity index, nanocellulose production, hydrogel fabrication, and hydrogel characterization. Isolate ActM-12, as a lignocellulose-degrading agent, has a xylylanolytic index of 2.50. Bio-pretreatment resulted in cellulose with a crystallinity index of 56.86%. The nanocellulose produced had an average diameter of 1257 nm. Two varieties of hydrogels, clear hydrogel (Hb) and brown hydrogel (Hc), were manufactured. The water absorption capacity of Hb was 25.9 g/g with a swelling percentage of 2590%, while Hc had a water absorption capacity of 9.2 g/g with a swelling of 920%. FTIR analysis revealed several absorption regions, and the presence of C=O and $-CH_2$ groups indicated the successful copolymerization reaction between AAm and MBA. Nanocomposite hydrogels containing amoxicillin inhibited the growth of *E. coli* and *S. aureus* bacteria sensitively. Based on the research results, the potential for drug delivery by nanocomposite hydrogels is evident.

Keywords: Pineapple bromelain solid waste, cellulose, Actinomycetes, nanocellulose, hydrogel, drug delivery.

ABSTRAK

BIOKONVERSI SELULOSA PADA LIMBAH BROMELIN NANAS MENJADI NANOKOMPOSIT HIDROGEL DENGAN PEMANFAATAN *INDIGENOUS MARINE ACTINOMYCETES*

Oleh

FEBIANA NABILA

Nanas adalah salah satu hasil pertanian terbesar di Provinsi Lampung. Salah satu limbah buah nanas adalah bonggol nanas. Selulosa pada limbah padat bromelin nanas memiliki potensi untuk dikonversi menjadi produk yang memiliki nilai tambah. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh selulosa dari limbah padat bromelin nanas dengan *bio-pretreatment* menggunakan *Actinomyces* dan diubah menjadi nanoselulosa untuk membuat nanokomposit hidrogel sebagai *drug delivery*. Metode penelitian meliputi preparasi sampel, analisis komponen limbah padat bromelin nanas menggunakan metode TAPPI, penapisan isolat *Actinomyces*, *bio-pretreatment*, pemurnian selulosa, penentuan indeks kristalinitas, pembuatan nanoselulosa, pembuatan hidrogel, dan karakterisasi hidrogel. Isolat ActM-12 sebagai agen pendegradasi lignoselulosa memiliki indeks xilanolitik sebesar 2,50. *Bio-pretreatment* menghasilkan selulosa dengan indeks kristalinitas sebesar 56,86%. Nanoselulosa yang dihasilkan berdiameter rata-rata sebesar 1257 nm. Hidrogel yang dihasilkan yaitu hidrogel bening (Hb) dan hidrogel coklat (Hc). Kapasitas penyerapan air pada Hb sebesar 25,9 g/g dengan persentase pembengkakan sebesar 2590% dan Hc sebesar 9,2 g/g dengan persentase pembengkakan sebesar 920%. Analisis FTIR menghasilkan beberapa daerah serapan, pembacaan gugus C=O dan -CH₂ menunjukkan keberhasilan dari reaksi kopolimerisasi antara AAm dan MBA. Nanokomposit hidrogel yang mengandung amoksisilin mampu menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli* dan *S. aureus*. Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa nanokomposit hidrogel memiliki potensi sebagai *drug delivery*.

Kata kunci: Limbah padat bromelin nanas, selulosa, *Actinomyces*, nanoselulosa, hidrogel, *drug delivery*.

**BIOKONVERSI SELULOSA PADA LIMBAH BROMELIN NANAS
MENJADI NANOKOMPOSIT HIDROGEL DENGAN PEMANFAATAN
*INDIGENOUS MARINE ACTINOMYCETES***

Oleh

Febiana Nabila

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
2023**

Judul : **BIOKONVERSI SELULOSA PADA LIMBAH BROMELIN NANAS MENJADI NANOKOMPOSIT HIDROGEL DENGAN PEMANFAATAN *INDIGENOUS MARINE ACTINOMYCETES***

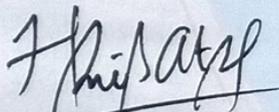
Nama : **Febiana Nabila**

NPM : 1917011071

Jurusan : **Kimia**

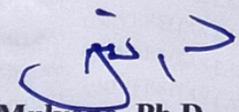
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




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


Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.
NIP 197212051997032001

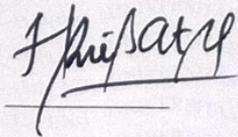
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Mulyono, Ph.D.
NIP 197406112000031002

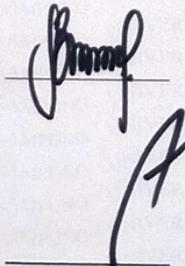
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**



Sekretaris : **Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.**



Anggota : **Dra. Aspita Laila, M.S.**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP 1974110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **8 November 2023**

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Febiana Nabila
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011071
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Biokonversi Selulosa pada Limbah Bromelin Nanas Menjadi Nanokomposit Hidrogel dengan Pemanfaatan *Indigenous Marine Actinomyces*”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 20 November 2023

Yang menyatakan,



Febiana Nabila

NPM 1917011071

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Jakarta pada 23 Februari 2001, anak kedua dari Bapak Rudi Hermanto dan Ibu Yulidar. Pendidikan dimulai di SDIT Roudhatul Jannah dan selesai pada tahun 2013. Setelah menyelesaikan SMP Negeri 14 Depok pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 5 Depok, lulus pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis berhasil diterima sebagai mahasiswa program studi Kimia di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selain fokus pada perkuliahan, penulis juga aktif terlibat dalam kegiatan Karya Wisata Ilmiah di Desa Tambah Dadi, Purbolinggo, Lampung Timur.

Pada tahun 2022, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa/Kelurahan Sukmajaya, Depok, Jawa Barat. Di samping itu, pengalaman berharga juga diperoleh melalui Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Biokimia FMIPA Universitas Lampung. Sebagai mahasiswa yang berdedikasi, penulis pernah menjadi asisten praktikum Biokimia Jurusan Kimia dan Biologi Terapan FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2023.

Aktifitas organisasional juga menjadi bagian dari pengembangan diri penulis, dengan keanggotaannya di Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) periode 2020, dan sebelumnya, sebagai Kader Muda Himaki periode 2019/2020. Selain itu, penulis juga memiliki kontribusi di tingkat nasional sebagai pemakalah dalam Seminar Nasional Bersama FMIPA 2023.

MOTTO

“Embrace the present, release the past, and trust the process - because sometimes, overthinking holds us back from unseen opportunities.”

“While you still have breath is never too late to be all that you can possibly be.”

“It doesn't matter how strong the opposition is. It doesn't matter how fearsome the world is, it doesn't matter how cruel the world is. Fight!”
(Eren Jaeger)

“Even though there are many obstacles that block our lives, we can definitely try to face and get through them.”
(Na Jae-min)



Dengan mengucapkan alhamdulillahillobbil'amin puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa diharapkan syafaatnya di hari akhir. Rasa syukur yang luar biasa ku persembahkan karya sederhanaku sebagai wujud cinta, bakti, dan tanggung jawabku kepada:

Kedua orang tuaku Bapak Rudi Hermanto dan Ibu Yulidar, yang telah membesarkan, mendidik, mendo'akan, memberikan kasih sayang dan motivasi selama ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang selalu diberikan.

Kakak dan adikku tersayang Hilmi Farhandika dan Ryan Alfarizy, yang selalu menjadi penyemangat dan motivasiku.

Pembimbing penelitianku Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., dan Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si., serta seluruh dosen Jurusan Kimia, yang telah dengan sabar membimbing, mendidik, memberikan banyak Ilmu, dan pengalamannya kepadaku selama menempuh pendidikan dan penelitian di kampus.

Seluruh rekan-rekan saudara-saudariku keluarga besar Kimia 2019 yang telah memberikan kenangan dan mewarnai hari-hari selama menjalani perkuliahan.

Dan almamater yang kubanggakan, Universitas Lampung.

SANWACANA

Assalamualaikum Warahmahtullahi Wabarakatuh. Alhamdulillahirabbil' alamin segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang berjudul :

Biokonversi Selulosa pada Limbah Bromelin Nanas Menjadi Nanokomposit Hidrogel dengan Pemanfaatan *Indigenous Marine Actinomycetes*

Sholawat beserta salam senantiasa tercurah kepada suri tauladan umat, Nabi Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafaatnya di *Yaumil Akhir* kelak.

Penulis menyadari dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan, saran dan kritik dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui tulisan ini, penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan pertolongan, kekuatan, dan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Diri sendiri yang selalu berusaha dan tidak menyerah hingga titik ini. Terima kasih telah bertahan dan selalu kuat menghadapi semuanya.
3. Bapak Rudi Hermanto dan Ibu Yulidar sebagai orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam segala hal. Kakak penulis, Hilmi Farhandika yang mendukung dan memberikan semangat pada penulis. Adik penulis, Ryan Alfarizy yang menjadi motivasi penulis untuk menjadi lebih baik.

4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku dosen pembimbing pertama penulis yang selalu memberikan motivasi, saran, kritik, dan arahan kepada penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih kepada Pak Heri karena dapat meluangkan waktu untuk bertemu dan memberikan banyak ilmu pengetahuan di tengah kesibukan. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan dan keberkahan kepada Bapak dan keluarga atas semua kebaikan yang telah diberikan.
5. Ibu Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si. selaku dosen pembimbing kedua penulis yang memberikan masukan dan nasihat kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Terima kasih Bu Kamisah atas semua ilmu yang Ibu berikan kepada penulis, semoga Ibu dan keluarga selalu diberikan kesehatan dan keberkahan oleh Allah SWT.
6. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S. selaku pembahas penulis yang memberikan kritik dan saran bagi penulis hingga skripsi ini dapat diselesaikan. Terima kasih atas ilmu-ilmu yang Ibu berikan, semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan dan keberkahan untuk Ibu dan keluarga.
7. Bapak Prof. Dr. John Hendri, M.S. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat dan motivasi sehingga penulis dapat menempuh pendidikan yang baik di Jurusan Kimia, FMIPA, Unila. Semoga Allah selalu memberikan rahmat kepada Bapak.
8. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah memberikan ilmu dan mengajari banyak hal kepada penulis.
10. Staf administrasi dan staf laboran, terima kasih atas kerja keras dan bantuan Bapak/Ibu, penulis sangat terbantu dalam penyelesaian skripsi ini.
11. Sahabat penulis sejak SMP, Nurma Erlyna yang selalu siap mendengarkan keluh kesah penulis kapan pun. Terima kasih karena tetap menjadi sahabat penulis, selalu mengerti di saat tidak ada yang bisa mengerti, mendukung dan menemani walau dari jauh. Semoga impian dan cita-cita yang kita dambakan segera tercapai.

12. Sahabat, teman, sekaligus keluarga penulis, Ilham Fajar Maulana yang selalu mendukung dan menemani penulis. Penulis sangat bersyukur dipertemukan dengan sosok tersebut. Terima kasih telah memberikan begitu banyak kebahagiaan, mengajarkan banyak hal dalam hidup ini, mengajarkan bagaimana menerima keadaan apapun dan tetap terus maju menjalani hidup. Impian dan keinginan di masa depan yang kita bicarakan bersama selama ini, semoga tercapai.
13. Teman-teman penulis, Maudi Cahya Muslimah, Fatma Dita Budiarti, Selvia Anggraini Hasan, Quntum Ramadhina, Alyaa Fathia Kesuma, Alya Azzahra, Natasya Nathaniela Akbar, Mhd. Afif Alim Nasution, Sulfianny Nuralifah, dan Fatur Rohim yang selalu memberikan semangat, menemani, dan berbagi cerita keluh kesah perkuliahan. Terima kasih selama 4 tahun telah menjadi teman penulis, semoga kita tetap berteman sampai kapan pun.
14. Teman satu bimbingan *Heri Research '19*, Marcella Indriani, Arifah Rara Afiria, dan Abdillah Wira Dienus, yang selalu menemani dan bekerja sama hingga penelitian dan skripsi ini selesai. Suka, duka, dan jerih payah yang kita lalui bersama semoga menjadi jalan kita menuju kesuksesan.
15. Kakak tingkat *Heri Research '18*, Kak Olivia Novianti, Kak Muhamad Raifar Gunawan, dan Kak Nafisah Nasution yang selalu membantu dan memberikan saran kepada penulis selama penelitian.
16. Adik tingkat *Heri Research '20*, Widya Cahya Purnama, Rahmadtullah, Mutiara Septia Nurokhim, dan Geo Alfriza Gaghana yang memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
17. Para kakak tingkat di laboratorium Biokimia, yang selalu membantu dan membimbing penulis.
18. Teman-teman penelitian *peergroup* Biokimia, Dita, Kak Acha, Alinil, Ayur, Astin, Adiya, Cindi, Cella, Dira, Dienus, Indah, Ejak, Hilda, Neng Wiwit, Partini, Putpita, Putri, Rara, Verinda, Wulan, dan Yori. Terima kasih sudah memberikan kenangan dan menemani penulis hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.
19. Keluarga besar penulis yang mendukung dan mendoakan penulis.
20. Teman-teman Kimia Kelas B Angkatan 2019, tanpa terkecuali.

21. Keluarga besar Kimia Angkatan 2019, tanpa terkecuali.
22. Rekan-rekan Himaki yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.
23. Seluruh mahasiswa kimia tanpa terkecuali.
24. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila skripsi ini masih terdapat kesalahan dan belum sempurna. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 20 November 2023

Penulis

Febiana Nabila

NPM 1917011071

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	4
1.3. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Limbah Nanas.....	5
2.2. Lignoselulosa.....	6
2.2.1. Selulosa.....	7
2.2.2. Lignin.....	8
2.2.3. Hemiselulosa.....	9
2.3. <i>Bio-pretreatment</i>	10
2.4. <i>Cellulose Nanocrystal (CNC)</i>	11
2.5. Hidrogel.....	12
2.6. Sintesis Hidrogel	13
2.7. Aplikasi Hidrogel sebagai <i>Drug Delivery System</i>	14
2.8. Uji Komposisi dengan Metode TAPPI.....	14
2.9. Karakterisasi Selulosa, Nanoselulosa, dan Hidrogel.....	15
2.9.1. <i>X-ray Diffraction (XRD)</i>	15
2.9.2. <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	16
2.9.3. <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	16
2.9.4. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	17
III. METODE PENELITIAN	18
3.1. Waktu dan Tempat.....	18
3.2. Alat dan Bahan	18
3.3. Metode Penelitian	19
3.3.1. Preparasi Sampel	19
3.3.2. Analisis Komponen Bonggol Nanas dengan Metode TAPPI....	19

3.3.3. Penapisan Isolat <i>Actinomyces</i> Tanah Mangrove.....	21
3.3.4. <i>Pretreatment</i> Biomassa.....	22
3.3.5. Pemurnian Selulosa	22
3.3.6. Penentuan Indeks Kristalinitas	22
3.3.7. Sintesis Nanoselulosa	23
3.3.8. Pembuatan Hidrogel	24
3.3.9. Karakterisasi Hidrogel	24
3.4. Diagram Alir.....	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1. Analisis Biopolimer Limbah Bromelin Nanas dengan Metode TAPPI 27	
4.2. Penapisan Isolat <i>Actinomyces</i> Tanah Mangrove.....	30
4.3. Perolehan Selulosa Murni dengan <i>Bio-pretreatment</i> Biomassa	32
4.4. Sintesis Nanoselulosa	34
4.5. Pembuatan Hidrogel	36
4.6. Karakterisasi Hidrogel.....	38
4.6.1. Kapasitas Penyerapan Air dan Persentase Pembengkakan.....	38
4.6.2. Analisis FTIR.....	38
4.6.3. Uji Penghambatan Pertumbuhan Bakteri.....	41
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1. Simpulan.....	45
5.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Analisis kandungan glukosa hasil hidrolisis.....	29
2. Gugus Fungsional pada Hb dan Hc	40
3. Diameter zona hambat pada uji penghambatan pertumbuhan bakteri <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i>	42
4. Perhitungan kadar lignin dalam limbah bromelin nanas	53
5. Perhitungan kadar total lignin dalam limbah bromelin nanas	54
6. Data standar glukosa untuk TAPPI.....	55
7. Perhitungan kadar karbohidrat total dalam limbah bromelain nanas	56
8. Data indeks aktivitas xilanolitik isolat <i>Actinomycetes</i> Mangrove	57
9. Informasi puncak kristalin pada difraktogram tepung bromelin nanas	58
10. Informasi puncak kristalin dan amorf pada difraktogram tepung bromelin nanas	58
11. Informasi puncak kristalin pada difraktogram selulosa.....	59
12. Informasi puncak kristalin dan amorf pada difraktogram selulosa	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kimia dan susunan selulosa, lignin dan hemiselulosa dalam lignoselulosa	6
2. Representasi rantai selulosa.....	7
3. Bagian hidrofilik dan hidrofobik dari molekul selulosa	8
4. Struktur lignoselulosa dan peran <i>pretreatment</i> dalam struktur lignoselulosa	10
5. Gambar mikroskop elektron transmisi CNC yang telah diisolasi	11
6. Hasil preparasi limbah bromelin nanas.....	27
7. Persentase selulosa dan lignin pada limbah bromelin nanas	30
8. Zona bening hasil penapisan isolat <i>Actinomycetes</i> yang potensial menghasilkan enzim xilanase	31
9. Hasil selulosa pada tahap <i>bio-pretreatment</i>	33
10. Difraktogram hasil analisis XRD.....	34
11. Selulosa setelah dilakukan metode hidrolisis asam.	35
12. Hasil tahap sonikasi	35
13. Spektrum PSA dari nanoselulosa hasil hidrolisis asam dan sonikasi.	36
14. Hasil pembuatan hidrogel	37
15. Hasil uji kemampuan pembengkakan hidrogel.....	38
16. Spektrum FTIR	39
17. Hasil uji penghambatan pertumbuhan bakteri terhadap bakteri <i>E. coli</i> dan bakteri <i>S. aureus</i>	41
18. Kurva standar glukosa untuk TAPPI.....	55

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara agraris dan beriklim tropis memiliki sumber daya alam melimpah yang dapat dimanfaatkan dengan baik serta diwujudkan dalam sektor pertanian. Sektor pertanian dibagi menjadi beberapa subsektor yang meliputi subsektor hortikultura (sayuran dan buah-buahan), subsektor tanaman pangan (padi dan palawija), subsektor perikanan, subsektor perkebunan, subsektor peternakan dan subsektor kehutanan. Hortikultura merupakan salah satu subsektor pertanian yang diandalkan dan memiliki peran penting di Indonesia, khususnya dalam perekonomian Indonesia. Salah satu produk dari hortikultura adalah buah nanas yang dikenal dengan sebutan buah tropis (Krishaditersanto, 2021).

Menurut Badan Pusat Statistik (2021), jumlah produksi nanas di Indonesia mencapai 2.886.417 ton pada tahun 2021. Provinsi Lampung menjadi produsen nanas terbesar di Indonesia dengan menghasilkan 705.883 ton pada tahun 2021. Industri makanan dan minuman banyak menggunakan nanas sebagai bahan baku dalam pembuatan produk, tetapi tidak semua bagian dari nanas digunakan sebagai bahan baku. Limbah buangan buah nanas meliputi kulit, batang, daun, dan bonggol (inti) (Anggraini dan Setiawan, 2018).

Bonggol nanas sangat kaya dengan kandungan bromelin dan lignoselulosa. Limbah bonggol nanas pada PT *Great Giant Pineapple* dimanfaatkan kembali untuk diambil kandungan bromelin, sehingga menyisakan limbah padat bromelin nanas. Limbah padat bromelin nanas menjadi limbah industri yang belum banyak

dikembangkan untuk pengolahan lebih lanjut menjadi suatu produk, sehingga permasalahan limbah nanas belum teratasi dengan optimal dan dikhawatirkan mencemari lingkungan. Limbah bonggol nanas yang telah diambil kandungan bromelinnya masih memiliki kandungan biopolimer berupa lignoselulosa. Pemanfaatan limbah bromelin nanas dapat dioptimalkan bila diketahui dengan benar komposisi biopolimer yang terkandung di dalamnya. Bonggol nanas mengandung 28,53% hemiselulosa, 24,53% selulosa, dan 5,78% lignin (Pardo *et al.*, 2014). Kelimpahan selulosa pada bonggol nanas menjadikan limbah bromelin nanas sebagai biomassa yang menarik untuk pengolahan lebih lanjut menjadi suatu produk yang dapat digunakan kembali, khususnya pada bidang industri. Selulosa dalam suatu biomassa memiliki dua bentuk, yaitu selulosa amorf dan selulosa kristalin. Sebagian besar selulosa adalah kristalin dan hanya sebagian kecil yang amorf. Amorf didefinisikan sebagai bahan yang tidak memiliki bentuk pasti tetapi dapat menunjukkan beberapa tingkat keteraturan. Dari kedua jenis struktur selulosa tersebut, bagian yang mudah terhidrolisis adalah selulosa amorf.

Pemanfaatan selulosa pada limbah bromelin nanas dilakukan dengan *pretreatment*. *Pretreatment* biomassa lignoselulosa dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain secara fisik, kimia dan mikrobiologi. *Pretreatment* dilakukan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa, mengurangi kristalisasi selulosa, meningkatkan porositas sehingga mempermudah proses hidrolisis. *Pretreatment* secara kimia untuk mendegradasi lignin memiliki beberapa dampak buruk bagi lingkungan. *Bio-pretreatment* adalah pilihan terbaik untuk mendegradasi lignin yang memanfaatkan mikroorganisme fungsional sebagai agen untuk menghasilkan enzim hidrolitik. *Actinomyces* merupakan salah satu genus yang mampu dalam mendegradasi lignoselulosa, namun dengan potensi yang dimiliki *Actinomyces* dalam pemanfaatannya masih jarang dilakukan (Satria, 2010).

Actinomyces menjadi salah satu mikroorganisme yang didapatkan pada tanah hutan mangrove. Habitat *Actinomyces* sangat luas, diantaranya yaitu *terrestrial* dan *marine*. Actinobacteria dapat memetabolisme banyak senyawa yang berbeda termasuk gula, alkohol dan asam amino. Selain itu, banyak dari *Actinomyces*

(misalnya *Streptomyces* dan *Rhodococcus*) menghasilkan enzim hidrolitik ekstraseluler untuk memperoleh nutrisi dari selulosa, hemiselulosa, protein dan lemak. *Actinomycetes* berpengaruh besar untuk perindustrian, seperti kosmetik, vitamin, herbisida, bahan nutrisi, antibiotik, pestisida, anti-parasit dan enzim seperti enzim xilanase. *Actinomycetes* sebagai bakteri xilanolitik yang menghasilkan enzim xilanase dapat mendegradasi hemiselulosa pada suatu biomassa.

Selulosa dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produksi material berskala nano yang dikenal dengan *cellulose nanocrystalline* (CNC). CNC memiliki diameter 5-70 nm dan panjang antara 100-250 nm (Putro *et al.*, 2016). CNC dapat diterapkan dalam pembuatan suatu hidrogel. Hidrogel yang berupa polimer hidrofilik ikatan silang tiga dimensi, memiliki kemampuan menyerap sejumlah besar air, fisiologis, atau larutan garam. Hidrogel dari polimer alam, cocok untuk aplikasi di bidang biomaterial karena jumlahnya yang besar, tidak beracun, biodegradabilitas, dan penggunaan biologis (Padzil *et al.*, 2020). Komposisi dan distribusi CNC yang tepat dalam matriks hidrogel dapat menghasilkan hidrogel yang menjanjikan yang dapat menyerap dan melepaskan air secara terkendali. Fungsi ini telah menarik perhatian banyak peneliti dan penerapannya berkembang pesat di berbagai bidang, *drug delivery* menjadi salah satu penerapan dari hidrogel (Supramaniam *et al.*, 2018).

Pada penelitian ini akan memanfaatkan selulosa dari hasil proses *bio-pretreatment* limbah bromelin nanas yang telah dianalisis kandungan biopolimernya dengan metode TAPPI. Isolat *Actinomycetes* terpilih yang memiliki aktivitas xilanolitik berperan sebagai pendegradasi hemiselulosa. Selulosa diubah menjadi nanoselulosa melalui proses hidrolisis asam dan sonikasi. Nanoselulosa yang dihasilkan dipolimerisasi menjadi nanokomposit hidrogel dengan metode *grafting*. Karakterisasi pada hidrogel dilakukan dengan berbagai metode kimia dan fisika, serta uji penghambatan bakteri dengan antibiotik dilakukan dengan hidrogel sebagai *drug delivery*. Penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan pengolahan kembali limbah bromelin nanas dan menjadi biomassa alternatif dalam pembuatan hidrogel sebagai *drug delivery*.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kadar kandungan biopolimer dalam limbah bromelin nanas melalui metode TAPPI.
2. Mempelajari proses teknik *bio-pretreatment* dengan menggunakan isolat *Actinomycetes* terpilih.
3. Mengubah selulosa dari limbah bromelin nanas menjadi nanoselulosa.
4. Memproduksi dan karakterisasi terhadap nanokomposit hidrogel dari nanoselulosa limbah bromelin nanas.
5. Mempelajari efektivitas dari nanokomposit hidrogel limbah bromelin nanas sebagai *drug delivery*.

1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkait kadar kandungan biopolimer dalam limbah bromelin nanas.
2. Memberikan informasi isolat *Actinomycetes* terpilih yang memiliki potensi sebagai pendegradasi lignoselulosa.
3. Memberikan informasi proses pembuatan nanokomposit hidrogel dari nanoselulosa limbah bromelin nanas, sehingga menjadi solusi dalam mengurangi limbah bromelin nanas dan menjadi inovasi baru dalam perkembangan hidrogel sebagai *drug delivery*.
4. Memberikan informasi terkait karakterisasi hidrogel sebagai *drug delivery*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

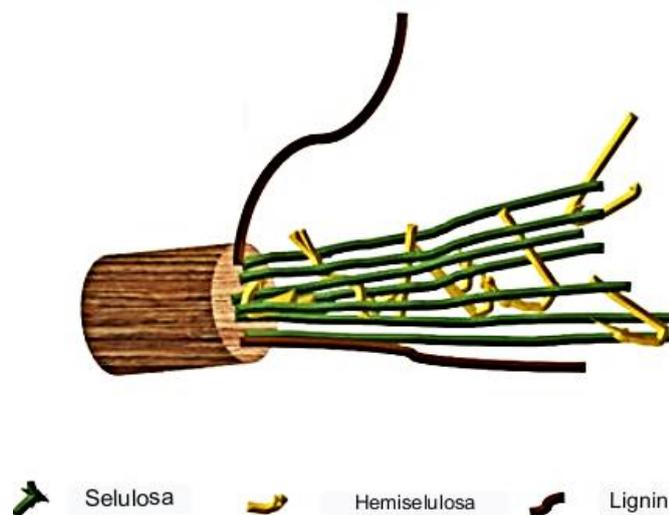
2.1. Limbah Nanas

Salah satu produk dari holtikultura adalah buah nanas yang dikenal dengan sebutan buah tropis (Krishaditersanto, 2021). Nanas merupakan tanaman buah berupa semak yang memiliki nama ilmiah *Ananas comosus* (L.) Merr. yang memiliki bagian-bagian seperti akar, daun, buah, mahkota buah dan batang. Bagian nanas yang sering dimanfaatkan adalah bagian daging buahnya saja sedangkan bagian nanas yang lainnya tidak dimanfaatkan, ini dikarenakan masih kurangnya pemanfaatan secara maksimal bagian-bagian nanas selain dagingnya. Pada umumnya, bagian tanaman nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) yang dimanfaatkan hanya buahnya saja, sedangkan bagian lain belum begitu banyak digunakan (Aprilyanti, 2018).

Menurut Badan Pusat Statistik (2021), jumlah produksi nanas di Indonesia mencapai 2.886.417 ton pada tahun 2021. Provinsi Lampung menjadi produsen nanas terbesar di Indonesia dengan menghasilkan 705.883 ton pada tahun 2021. Limbah nanas merupakan bagian dari kulit dan inti buah (bonggol nanas) yang terbuang dalam pengolahan nanas menjadi sari buah, komposisi dari limbah nanas dapat mencapai 40%. Pemanfaatan limbah bonggol nanas dapat dioptimalkan bila diketahui dengan benar komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Bonggol nanas mengandung 28,53% hemiselulosa, 24,53% selulosa, dan 5,78% lignin (Pardo *et al.*, 2014).

2.2. Lignoselulosa

Konsep lignoselulosa memiliki dua arti, yang pertama mengacu pada sumber daya terbarukan yang disintesis melalui fotosintesis; yang kedua mengacu pada sumber daya yang memiliki struktur selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang saling terkait kompleks. Biomassa lignoselulosa pada dasarnya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, dan menunjukkan rekalsitran yang terkait langsung dengan strukturnya, yang dihasilkan baik dari molekul penyusun utama maupun interaksi di antara mereka. Komponen penyusun lignoselulosa ditunjukkan pada Gambar 1.



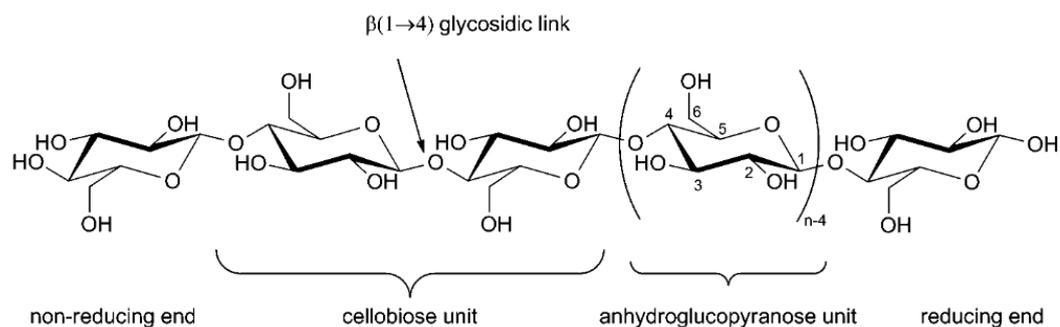
Gambar 1. Struktur kimia dan susunan selulosa, lignin dan hemiselulosa dalam lignoselulosa (Haque *et al.*, 2021).

Selulosa, hemiselulosa dan lignin membentuk dinding sel tumbuhan, struktur yang sangat kompak, stabil dan tahan. Oleh karena itu, kekuatan mekanik, kimia atau biologis yang besar diperlukan untuk memisahkan komponen utama ini (Woiciechowski *et al.*, 2020). Secara umum, biomassa lignoselulosa bentuknya tidak beraturan, yang mengakibatkan kesulitan dalam pengukuran dimensi panjang, lebar, dan ketebalan yang akurat. Biomassa yang terdapat lignoselulosa dari pertanian dan kehutanan, yang meliputi residu agroindustri, residu industri kehutanan, dan limbah padat perkotaan adalah sumber daya hayati yang paling

melimpah yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai produk, salah satunya bahan baku kilang minyak sebagai sumber bahan bakar (Jönsson and Martín, 2016).

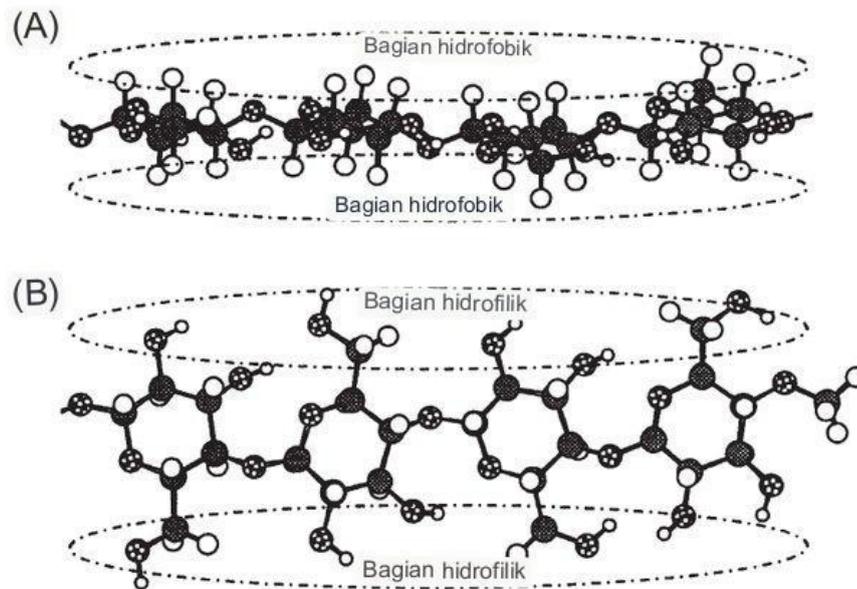
2.2.1. Selulosa

Selulosa adalah polisakarida yang sangat stabil dengan molekul yang terdiri dari lebih dari 10.000 subunit glukosa, dihubungkan bersama oleh ikatan (β -1-4)-glikosidik, yang berkontribusi pada linearitas molekul, dengan gugus hidroksil pada posisi ekuator. Sebenarnya, unit monomer selulosa adalah selobiosa, yang merupakan dimer glukosa (Brandt *et al.*, 2013). Selobiosa pada selulosa ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Representasi rantai selulosa yang menunjukkan unit anhidroglukosa pada konformasi kursi bersama dengan penomoran atom, tautan glikosidik, dan ujung polimer pereduksi dan non-pereduksi (Eyley and Thielemans, 2014).

Selulosa banyak tersedia di alam dan terbarukan. Selulosa merupakan bahan alam yang paling melimpah karena dapat ditemukan dalam biomaterial seperti pohon, tanaman, buah-buahan, sayuran, dan *bio-waste*. Selulosa dapat didefinisikan sebagai homo-polisakarida amfilik, karena memiliki daerah hidrofobik dan hidrofilik. Daerah hidrofobik dan hidrofilik pada selulosa ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagian hidrofilik dan hidrofobik dari molekul selulosa. (a) situs hidrofobik molekul selulosa tampak samping bidang cincin glukopiranosida menunjukkan atom hidrogen ikatan C–H pada posisi aksial cincin, (b) situs hidrofilik molekul selulosa tampak atas bidang cincin glukopiranosida yang menunjukkan hidroksil kelompok yang terletak di posisi ekuator cincin (Yamane *et al.*, 2006).

Selulosa memiliki sifat tidak berasa, tidak berbau, dan tidak larut dalam air dan sebagian besar pelarut organik, ikatan hidrogen antar dan intramolekul yang tinggi dan gaya Van der Waals yang mempersulit pelarutan. Selulosa memiliki bentuk fibril, terutama kristal yang sangat linier, juga memiliki beberapa bentuk amorf di mana strukturnya memiliki orientasi acak, yang berkontribusi pada stabilitas termodinamikanya (Woiciechowski *et al.*, 2020).

2.2.2. Lignin

Lignin adalah konstituen utama ketiga dari dinding sel biomassa lignoselulosa. Ini adalah polimer hidrofobik yang melibatkan rantai selulosa dan hemiselulosa, memberikan kekakuan dan kekerasan pada struktur tanaman. Lignin adalah matriks amorf dan merupakan polimer alam yang paling melimpah setelah

selulosa, menyumbang 20-30% dari biomassa lignoselulosa di bumi (Lima *et al.*, 2016). Lignin dapat diklasifikasikan sebagai guaiacyl (G), syringyl (S) dan p-hydroxyphenyl (H), karena adanya turunan fenil propana, koniferil, sinapil dan p-kumaril alkohol, masing-masing (Woiciechowski *et al.*, 2020). Lignin adalah salah satu biopolimer paling kuat yang ditemukan di dinding sel. Lignin memberikan kekuatan dan kekakuan pada tanaman, membantu mengikat sel-sel yang berdekatan bersama-sama, dan merupakan komponen struktural utama dalam transportasi air karena sifat hidrofobiknya (Azadi *et al.*, 2013).

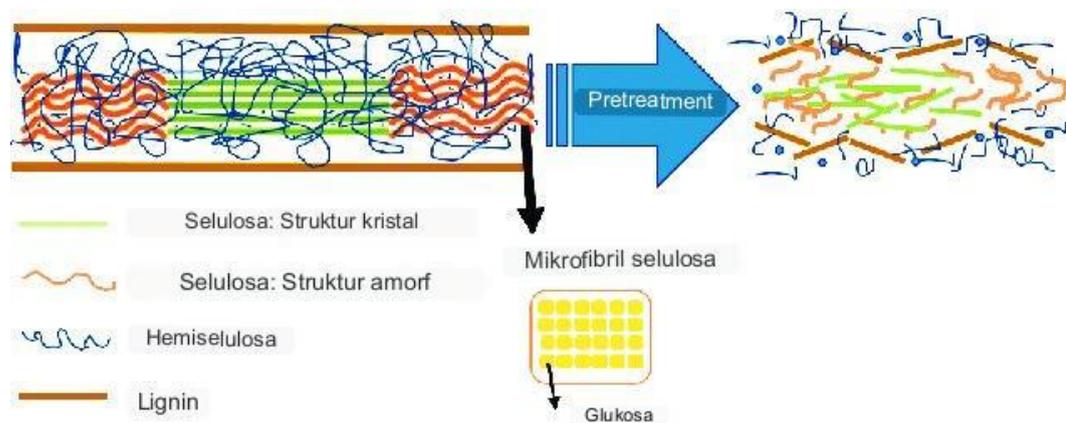
2.2.3. Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah polisakarida kedua yang paling melimpah dari tanaman. Polimer hemiselulosa umumnya dihubungkan oleh ikatan kovalen dan hidrogen. Hemiselulosa mungkin juga terikat erat dengan lignin oleh ester aromatik dan selulosa melalui ikatan hidrogen, sehingga membentuk ikatan antara selulosa dan lignin. Selain itu, hemiselulosa bersifat higroskopis dan hidrofilik. Tidak seperti selulosa yang merupakan polisakarida homogen dengan struktur yang terdefinisi dengan baik.

Hemiselulosa adalah campuran polisakarida heterogen yang terutama terdiri dari blok bangunan gula pentosa dan heksosa. Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida amorf, bercabang, tersusun atas heksosa (glukosa, manosa dan galaktosa), pentosa (xilosa dan arabinosa), asam uronat dan gula deoksi (rhamnose dan fukosa) dengan panjang rantai yang lebih pendek dibandingkan selulosa. Karena struktur dan sifat hemiselulosa, interaksi dengan selulosa mudah terjadi, memberikan fleksibilitas dan stabilitas pada matriks lignoselulosa. Strukturnya yang amorf dan bercabang membuatnya lebih rentan terhadap proses *pretreatment*, menjadi fraksi biomassa pertama yang terdegradasi, bahkan dalam kondisi ringan (Brandt *et al.*, 2013).

2.3. Bio-pretreatment

Dilakukan *bio-pretreatment* biomassa yang mengandung lignoselulosa untuk konversi secara biokimia dengan merusak ikatan komponen yang erat antara komponen utama dinding sel tanaman. Konversi biokimia biomassa melibatkan penggunaan bakteri, mikroorganisme atau enzim untuk menguraikan biomassa menjadi bahan bakar gas atau cair, seperti biogas atau bioetanol. Hasil dari *pretreatment* dicapai dengan meningkatkan luas permukaan selulosa yang dapat diakses dengan melarutkan hemiselulosa dan/atau lignin yang melapisi selulosa dalam biomassa (Jönsson and Martín, 2016). Penggambaran peran *pretreatment* pada lignoselulosa ditunjukkan pada Gambar 4.



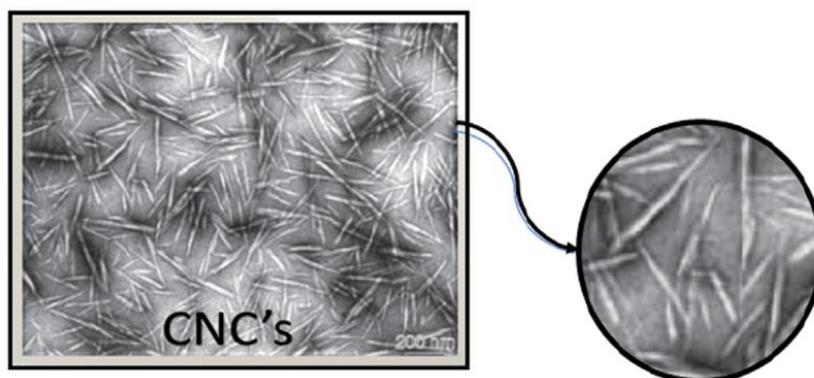
Gambar 4. Struktur lignoselulosa dan peran *pretreatment* dalam struktur lignoselulosa (Rodiahwati, 2016).

Actinomyces digunakan sebagai pretreatment yang tergolong dalam pretreatment biologis sebagai pendegradasi hemiselulosa dan lignin sehingga didapatkan selulosa. Kemampuan *Actinomyces* dalam mendegradasi lignoselulosa dapat digunakan tidak hanya untuk proses delignifikasi tetapi juga untuk proses sakarifikasi, karena sebagian besar genus tersebut dapat menghasilkan enzim ligninase, selulase dan hemiselulase secara bersamaan (Satria *et al.*, 2011).

2.4. Cellulose Nanocrystal (CNC)

Nanoselulosa merupakan selulosa berukuran nano yang memiliki sifat-sifat khas diantaranya sangat kuat, rasio permukaan terhadap volume yang besar, kemampuan mengikat udara yang tinggi, kekuatan tarik yang tinggi, jaringan yang halus, dan sangat berpori. Dari sifat-sifat khas tersebut, nanoselulosa dapat digunakan sebagai bahan pengental untuk dispersi, penguat polimer dan membran, serta bahan tambahan untuk produk *biodegradable* (Ioelovich, 2012). Sintesis nanoselulosa dapat dilakukan dengan proses hidrolisis asam dengan menambahkan larutan asam. Hidrolisis asam yang paling sederhana adalah menggunakan H_2SO_4 karena dapat menghilangkan amorf dalam proses isolasi nanoselulosa.

Nanoselulosa dapat dikategorikan menjadi tiga jenis utama; selulosa nanokristalin, selulosa nanofibrilasi, dan nanoselulosa bakteri. Meskipun semua jenis memiliki komposisi kimia yang sama, namun berbeda dalam morfologi, ukuran partikel, kristalinitas, dan beberapa sifat karena perbedaan sumber dan metode ekstraksi (Moon *et al.*, 2011). Selulosa nanokristalin juga dikenal sebagai nanowhisker selulosa, adalah nanoselulosa dengan kekuatan tinggi yang biasanya diekstraksi dari fibril selulosa dengan hidrolisis asam. Penggambaran dari selulosa nanokristalin ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Gambar mikroskop elektron transmisi CNC yang telah diisolasi oleh (Habibi *et al.*, 2008).

Selulosa nanokristalin memiliki distribusi berukuran nano yang skala diameter 4-55 nm dan panjang 90-400 nm. Sebuah studi yang diamati oleh Mtibe *et al.*, (2015), menemukan bahwa nanokristalin memiliki diameter dalam skala 4 nm sampai 7 nm dan panjang 150 sampai 450 nm. Nanoselulosa mayoritas berasal dari bahan biologis yang tidak beracun, terbaharukan, biodegradabilitas, daur ulang, dan biaya rendah. Pada saat ini cakupan aplikasi nanoselulosa meningkat di berbagai bidang, termasuk biomedis, film dan kemasan berbasis bio, pengolahan air, komposit, energi, dan hidrogel. Penggunaan nanoselulosa banyak diaplikasikan pada makanan, obat-obatan, kosmetik, pengemasan, pelapisan dan sebagainya. Hal ini terkait dengan sifat fungsional spesifik yang dapat diterapkan dari produk nanoselulosa (Herawati, 2019).

2.5. Hidrogel

Hidrogel pertama kali ditemukan dan diusulkan pada tahun 1960 oleh Wichterle dan Lím, sejak itu telah menghasilkan minat yang besar baik di dunia akademis maupun industri. Hidrogel adalah campuran heterogen dari dua (atau lebih) fase. Fase terdispersi adalah air dan fase padat adalah jaringan tiga dimensi padat. Hidrogel adalah desain struktur sistem tiga dimensi, yang menghalangi untuk tidak larut dalam air namun membengkak secara menakjubkan dalam pengaturan berair dan menampilkan kemampuan luar biasa untuk menahan air ke dalam struktur sistem. Hidrogel dapat disintesis dari polimer sintetik, seperti poliakrilamida dan asam poliakrilat. Dapat pula disintesis dari polimer alam seperti selulosa, kitosan, dan pati (Nascimento *et al.*, 2018). Hidrogel nanoselulosa adalah bahan lunak selulosa berpori yang sangat terhidrasi dengan sifat mekanik yang baik. Gel berbasis selulosa ini dapat diproduksi dari nanoselulosa bakteri atau tanaman, yang bersifat hidrofilik, terbaharukan, *biodegradable* dan biokompatibel (Curvello *et al.*, 2019).

2.6. Sintesis Hidrogel

Hidrogel dapat disintesis dengan metode ikat silang. Berdasarkan teknik pengikatan silang yang umum digunakan, teknik sintesis hidrogel dapat dikategorikan menjadi empat metode yaitu pengikatan silang secara fisik, kimiawi, melalui radiasi berenergi tinggi dan metode polimerisasi radikal bebas. Metode pengikatan silang secara fisik merupakan metode sintesis hidrogel bersifat non permanen. Kelebihan dari metode ini adalah proses sintesis yang mudah dan tidak menggunakan perantara pengikat silang. Metode pengikatan silang secara kimiawi merupakan metode sintesis hidrogel yang menggunakan bahan kimia tambahan sebagai perantara pengikat silang untuk menghasilkan ikatan kovalen antar polimer. Dalam metode sintesis hidrogel dengan radiasi yang berenergi tinggi (seperti sinar gamma dan radiasi elektron), radiasi tersebut akan membentuk kelompok fungsional pada permukaan polimer utama, sehingga membentuk rantai polimer yang terikat silang. Metode sintesis hidrogel dengan polimerisasi radikal bebas yang umum digunakan terdiri atas empat tahap yaitu inisiasi, propagasi, transfer rantai, dan terminasi (Adi, 2012).

Ikatan silang dapat dibentuk dengan ikatan kovalen, interaksi hidrofobik, elektrostatik, atau interaksi dipol-dipol agen pengikat silang yang merupakan monomer dengan dua atau lebih ikatan ganda sehingga dapat mengurangi kebebasan molekul dan membentuk jaringan tiga dimensi. Jaringan tiga dimensi ini yang memungkinkan cairan terserap ke dalam ruang-ruang kosong antar rantai polimer. Derajat ikat silang suatu polimer hidrogel menunjukkan peningkatan kekuatan jaringan hidrogel. Ikat silang terjadi ketika reagen pengikat silang membentuk jembatan antar molekul atau ikatan silang antara makro molekul polimer yang disintesis (Shweta and Sonia, 2013).

Persen derajat ikat silang merupakan salah satu parameter yang dapat dipakai pada pengujian kekuatan terikat silang pada jaringan polimer hidrogel. Keberadaan ikat silang menjadi salah satu faktor penting yang mempengaruhi kemampuan *swelling* suatu hidrogel. Hidrogel dengan ikat silang tinggi memiliki struktur yang lebih kuat, rapat sehingga kecil kemungkinan untuk mengembang

dibandingkan dengan hidrogel rasio ikat silang yang lebih rendah. Adanya ikat silang mencegah mobilitas rantai polimer, sehingga memperkecil rasio *swelling*. Semakin besar derajat ikat silang yang terjadi, maka struktur hidrogel akan menjadi semakin rapat. Hal ini menyebabkan molekul air semakin sulit untuk masuk, sehingga mengakibatkan rendahnya derajat *swelling* yang terjadi (Rachmah, 2012).

2.7. Aplikasi Hidrogel sebagai *Drug Delivery System*

Hidrogel sangat menjanjikan di bidang biologi dan kedokteran . Hidrogel telah banyak dieksplorasi salah satunya sebagai *drug delivery*. Dengan keunggulan struktur nano, biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan kimia permukaan yang dapat disesuaikan, CNC sangat menjanjikan sebagai pembawa molekul bioaktif untuk aplikasi *drug delivery* (Plackett *et al.*, 2014). *Drug delivery system* mengacu pada teknologi canggih yang digunakan untuk pengiriman yang ditargetkan dan/atau pelepasan obat dengan efek terapeutik yang terkontrol. Dalam beberapa dekade terakhir, *drug delivery system* telah mendapat banyak perhatian karena menawarkan manfaat potensial, seperti mengurangi efek samping, meningkatkan efek terapeutik, dan mungkin mengurangi dosis obat (Hasan *et al.*, 2020).

2.8. Uji Komposisi dengan Metode TAPPI

Komposisi kimia dari berbagai jenis biomassa tanaman dapat ditentukan dengan metode analisis kimia konvensional. Namun peneliti dari negara yang berbeda, metode dan prosedur yang berbeda digunakan untuk menentukan komposisi sampel biomassa. Metode TAPPI merupakan metode konvensional untuk analisis komposisi kimia pada suatu biomassa. Lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, lignin, dan hemiselulosa dapat diketahui kadarnya dengan metode ini. Kandungan polisakarida (selulosa, xilan dan hemiselulosa lainnya) dapat ditemukan dengan menggunakan metode TAPPI (Ioelovich, 2015). Tahap awal metode ini adalah

pretreatment biomassa dengan hidrolisis asam menggunakan H_2SO_4 72%. Setelah itu, analisis terhadap *insoluble lignin*, *soluble lignin*, dan karbohidrat (glukosa) dapat dilakukan. Kadar total lignin didapatkan dari jumlah kadar *insoluble lignin* dan *soluble lignin*. Kadar selulosa didapatkan setelah diketahui massa selulosa dan glukosa yang terkandung dalam biomassa.

2.9. Karakterisasi Selulosa, Nanoselulosa, dan Hidrogel

Karakterisasi merupakan salah satu langkah dalam proses isolasi maupun sintesis. Karakterisasi dilakukan pada hasil dari proses isolasi dan sintesis untuk mengetahui kemurnian dan potensi yang akurat melalui identifikasi produk. Selulosa yang telah dipurifikasi selanjutnya dikarakterisasi dengan *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui indeks kristalinitasnya. Nanoselulosa yang telah dipreparasi dikarakterisasi dengan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran dari nanokristalin selulosa. Hidrogel yang telah dipreparasi dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk analisis morfologi permukaan hidrogel.

2.9.1. X-ray Diffraction (XRD)

X-ray Diffraction (XRD) adalah suatu metode atau alat yang digunakan untuk menentukan struktur atom dan molekul suatu kristal dengan cara mendifraksikan berkas sinar-X ke segala arah. Secara umum, fungsi alat XRD adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisis fasa suatu bahan, baik berupa serbuk atau padat dari sampel anorganik, berupa polikristalin dan amorf. XRD dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Dalam analisis kuantitatif, data yang disajikan meliputi dua theta, intensitas puncak, dan besaran konstanta kisi. Untuk analisis kualitatif, datanya meliputi analisis fasa, yang dapat berupa identifikasi jenis fasa, komposisi fasa (persentase), ukuran kristal, orientasi, dan lain-lain. Dalam analisis menggunakan instrumen XRD, prinsip dasar XRD

adalah mendifraksikan cahaya melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi atau kristal dapat terjadi jika difraksi berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom (Fatimah *et al.*, 2022).

2.9.2. Particle Size Analyzer (PSA)

Particle Size Analyzer (PSA) digunakan untuk mengetahui bentuk kristal dan ukuran partikel. Prinsip pengukuran dengan alat PSA didasarkan pada hamburan laser oleh partikel dalam sampel. Umumnya, CNC dianalisis menggunakan PSA untuk menentukan ukuran partikel. Karakterisasi dengan PSA dilakukan untuk memahami diameter distribusi panjang suspensi CNC dari sampel yang disonikasi dan sampel mentah yang tidak diolah diambil untuk analisis (Karashima *et al.*, 2017).

2.9.3. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Di antara berbagai metode karakterisasi, spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah salah satu alat yang paling kuat untuk penentuan gugus fungsi dalam suatu membran bersama dengan kemungkinan ikatan molekul antara senyawa kimia membran. Penggunaan spektroskopi FTIR untuk menentukan komponen kimia dengan mengidentifikasi berbagai kelompok fungsional menjelaskan perannya dalam kinerja membran. Alat yang menentukan spektrum serapan suatu senyawa disebut spektrofotometer. FTIR menyediakan spektrum IR jauh lebih cepat dibandingkan dengan spektrofotometer tradisional. Instrumen menghasilkan sinar iradiasi IR, yang dipancarkan dari sumber benda hitam bercahaya. Selanjutnya, berkas melewati interferometer di mana pengkodean spektral berlangsung. Sinar memasuki kompartemen sampel dan sampel menyerap frekuensi energi tertentu, yang merupakan karakteristik unik sampel dari interferogram. Kemudian, detektor mengukur sinyal interferogram khusus antara energi dan waktu untuk semua frekuensi secara bersamaan (Mohamed *et*

al., 2017). Spektrum yang diinginkan akan dihasilkan pada perangkat lunak komputer. Hasil spektrum disajikan dalam struktur spektrum dengan *wavenumber* (atau *wavelength*) sebagai sumbu x dan *absorption intensity* atau *percent transmittance* sebagai sumbu y.

2.9.4. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah teknik pilihan untuk analisis permukaan spesimen. Tata letak khas SEM, yang meliputi pistol elektron (sumber elektron dan anoda percepatan), lensa elektromagnetik untuk memfokuskan elektron, ruang vakum yang menampung tahap spesimen (tekanan di dalam SEM biasanya vakum rendah $0,1-10^{-4}$ Pa), dan pilihan detektor untuk mengumpulkan sinyal yang dipancarkan dari spesimen. Detektor menentukan mode pencitraan dan jangkauan aplikasi dari SEM yang diberikan. Untuk mendapatkan hasil gambar dengan kualitas baik, digunakan detektor kualitas terbaik. SEM dapat diterapkan untuk mengamati morfologi permukaan dan struktur hidrogel (Chen *et al.*, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2023 sampai bulan Juli 2023 di Laboratorium Biokimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Analisis *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Universitas Padjadjaran, analisis *X-ray Diffraction* (XRD) di Universitas Negeri Padang, analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain alat-alat gelas, bunsen, jarum ose, mikropipet, pipet tetes, *aluminium foil*, neraca analitik, termometer, *hot plate stirrer*, *magnetic stirrer*, sentrifus, tabung sentrifus, batang pengaduk, tabung eppendorf, *autoclave*, oven, rak tabung reaksi, pH meter, waterbath, *laminar air flow*, inkubator, vortex, gunting, blender, *shaker*, pengayak ukuran 60 mesh, cawan petri, labu leher tiga, kondensor, ultrasonikator, refluks, spatula, kuvet, lemari pendingin, *vacuum freeze dryer*, *Particle Size Analyzer* (PSA, Beckman Coulter LS 13 320), *X-ray Diffraction* (XRD, X'Pert Pro), dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR, Cary 630 Agilent).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tepung bromelin nanas, media ISP-2, media YMB, ampicilin, kandistatin, CMC, xilan *birchwood*, NaCl, *congo red*, H₂SO₄ 5 M, H₂SO₄ 72%, Na₂CO₃, kalsium karbonat, aseton, metanol, etanol, akuades, larutan buffer Na₂HPO₄-NaH₂PO 0,1 M pH 7,0, ammonium persulfat (APS), akrilamida (AAM), metilen bis-akrilamida (MBA), DNS, kapas, kasa, kertas saring, amoksilin, *Escherichia coli*, dan *Staphylococcus aureus*.

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Preparasi Sampel

Limbah bromelin nanas yang didapatkan dari PT. *Great Giant Pineapple* dijemur di bawah sinar matahari selama 18-24 jam atau dikeringkan pada suhu 90 °C. Limbah bromelin nanas yang telah kering diblender dan diayak hingga menjadi menjadi tepung bromelin nanas dengan ukuran 60 mesh.

3.3.2. Analisis Komponen Bonggol Nanas dengan Metode TAPPI

3.3.2.1. Hidrolisis Asam

Tepung bromelin nanas ditimbang 300 mg, lalu dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 50 mL dan ditambahkan 7 mL H₂SO₄ 72%. Erlenmeyer ditutup dengan *aluminium foil* dan distirer selama 90 menit. Setelah itu campuran dipindahkan ke Erlenmeyer 300 mL dan ditambahkan 119 mL akuades sehingga asam menjadi konsentrasi 4%. Sampel dipanaskan dengan *autoclave* 121 °C 1 atm selama 1 jam. Hasil proses tersebut adalah filtrat (*soluble lignin*) dan endapan (*insoluble lignin*). Filtrat dan endapan dipisahkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring yang telah ditimbang. Setelah terpisah, endapan dicuci dengan 50 mL akuades untuk melarutkan zat-zat lain yang dapat larut dalam air.

3.3.2.2. Analisis

3.3.2.2.1. Analisis *Soluble Lignin*

Diukur absorbansi filtrat hasil hidrolisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 240 nm. Sampel diencerkan menggunakan akuades agar nilai absorbansi berkisar pada 0,7-1,0. Jumlah *soluble lignin* dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 dan 2.

$$\text{Soluble Lignin} = \frac{UV_{\text{abs}} \times V_{\text{filtrat}} \times \text{Pengenceran}}{\varepsilon \times \text{ODW sampel} \times \text{lebar kuvet}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Pengenceran} = \frac{V_{\text{sampel}} + V_{\text{pelarut}}}{V_{\text{sampel}}} \quad (2)$$

Keterangan:

Soluble lignin adalah lignin larut asam (%), UV_{abs} adalah absorbansi UV-Vis, Volume filtrat adalah filtrat hasil hidrolisis (mL), ε adalah absorptivitas biomassa, ODW sampel adalah berat sampel (mg), dan lebar kuvet yang dipakai adalah 1 cm.

3.3.2.2.2. Analisis *Insoluble Lignin*

Endapan pada kertas saring yang telah dicuci dengan akuades, dikeringkan dalam oven hingga beratnya konstan selama 4 jam. Kertas saring didinginkan pada suhu ruang lalu ditimbang dan dicatat. Untuk menghitung jumlah *insoluble lignin* menggunakan Persamaan 3.

$$\text{Insoluble Lignin} = \frac{\text{Berat endapan akhir hidrolisis}}{\text{Berat awal sampel}} \times 100\% \quad (3)$$

3.3.2.2.3. Analisis Karbohidrat Total

Filtrat hasil hidrolisis dinetralkan menggunakan kalsium karbonat hingga pH 5-6 dalam gelas beaker 100 mL. Kalsium karbonat ditambahkan secara perlahan ke dalam filtrat dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah mencapai pH 5-6, penambahan kalsium karbonat dihentikan dan dibiarkan hingga sampel mengendap. Cairan yang terpisah pada bagian atas endapan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm dengan mereaksikan sampel dengan pereaksi DNS dan diinkubasi selama 15 menit.

3.3.3. Penapisan Isolat *Actinomycetes* Tanah Mangrove

Penapisan isolat *Actinomycetes* dilakukan untuk memperoleh bakteri yang memiliki aktivitas xilanolitik. Penapisan dilakukan dengan menggunakan media ISP-2 yang mengandung 0,4 gram glukosa, 0,4 gram *yeast extract*, 2 gram agar, 1 gram malt dalam 100 mL akuades dan ditambahkan xilan *birchwood* 0,5 g. Media disterilisasi pada suhu 121 °C selama 15 menit lalu ditambahkan ampisilin sebanyak 4 mL dan 1 tetes kandistatin yang kemudian dituang dalam cawan petri dan didiamkan hingga mengeras. Isolat murni hasil isolasi ditotolkan pada media yang telah disiapkan dan diinkubasi pada suhu 37 °C selama 5-7 hari. Setelah isolat inkubasi tercapai, media yang telah ditumbuhi bakteri disiram menggunakan larutan *congo red* selama 15 menit hingga membentuk zona bening disekitar koloni dan dibilas menggunakan NaCl 1 M untuk memperjelas zona bening yang terbentuk sehingga lebih mudah diamati. Zona bening yang terbentuk di sekitar koloni bakteri menunjukkan bahwa bakteri memiliki aktivitas xilanolitik. Indeks aktivitas xilanolitik diukur dengan Persamaan 4.

$$\text{Indeks Aktivitas} = \frac{A-B}{B} \quad (4)$$

Keterangan :

A = diameter zona bening (mm)

B = diameter koloni (mm)

3.3.4. *Pretreatment* Biomassa

Pretreatment dilakukan secara biologi dengan memanfaatkan isolat terpilih yang memiliki aktivitas xilanolitik untuk menghidrolisis lignoselulosa. Optimasi waktu hidrolisis dilakukan dengan menghidrolisis 5% tepung bromelin nanas oleh isolat *Actinomyces* terpilih dalam 250 mL media *Yeast Malt Broth* (YMB) dengan komposisi media dekstrosa 0,4%, ekstrak malt 1%, dan ekstrak ragi 0,4% selama 9 hari pada 120 rpm. pH awal media diatur menggunakan larutan buffer $\text{Na}_2\text{HPO}_4\text{-NaH}_2\text{PO}_4$ 0,2 N pH 7,0 (Satria *et al.*, 2020).

3.3.5. Pemurnian Selulosa

Selulosa yang telah terbentuk dari hasil *pretreatment* dicuci dengan menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa-sisa sel bakteri dari matriks selulosa dan kemudian difiltrasi menggunakan kertas saring (Kunusa *et al.*, 2020).

3.3.6. Penentuan Indeks Kristalinitas

Analisis XRD dilakukan pada substrat *pretreated* limbah bromelin nanas yang menghasilkan kadar glukosa tertinggi setelah dihidrolisis menggunakan isolat *Actinomyces* terpilih pada waktu optimum dan limbah bromelin nanas tanpa *pretreatment* menggunakan *PANalytical XPert Multi-Purpose Diffractometer* dengan radiasi Cu-K α . Detektor X'CeLerator digunakan untuk mengumpulkan data pada rentang sudut 5-60°/2 θ . Tegangan dipilih pada 40 kV dengan arus sebesar 30 mA. Indeks kristalinitas selulosa dapat dihitung dengan metode empiris yang ditunjukkan dalam Persamaan 5.

$$\text{CrI} = \frac{A_k}{A_k + A_a} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

CrI adalah indeks kristalinitas biomassa (%), A_k adalah luas area puncak kristalin, dan A_a adalah luas area puncak amorf.

3.3.7. Sintesis Nanoselulosa

3.3.7.1. Hidrolisis Asam

Sebanyak 200 mL H_2SO_4 5 M dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 500 mL, kemudian dipanaskan pada *hot plate stirrer* dan diaduk hingga mencapai suhu 45 °C. Selanjutnya ditambahkan 10 gram serbuk selulosa untuk dihidrolisis selama 60 menit pada suhu 45 °C. Setelah suspensi terbentuk, kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit dan didekantasi (Kumar *et al.*, 2014). Endapan yang diperoleh ditambahkan sedikit akuades kemudian didekantasi. Endapan yang diperoleh ditambah sedikit akuades dan Na_2CO_3 5% b/v hingga diperoleh pH 7 pada pH meter (Šašková and Wiener, 2019).

3.3.7.2. Sonikasi

Endapan yang telah dinetralkan kemudian ditambahkan akuades hingga terbentuk suspensi dengan konsentrasi 5%. Suspensi yang terbentuk dilakukan sonikasi pada daya 40 KHz selama 60 menit. Suspensi disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit dan didekantasi. Selanjutnya endapan hasil sentrifugasi dikeringkan menggunakan *vacuum freeze dryer* (Mishra *et al.*, 2012). Setelah itu hasil endapan diuji menggunakan PSA untuk mengetahui ukuran nanoselulosa (Karashima *et al.*, 2017).

3.3.8. Pembuatan Hidrogel

Nanoselulosa kering sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor, termometer dan batang pengaduk.

Nanoselulosa ditambahkan 30 mL akuades hingga membentuk *pulp* lalu dipanaskan pada suhu 95 °C selama 30 menit. Setelah 30 menit, suhu diturunkan menjadi 60 °C, kemudian ditambahkan 0,05 gram ammonium persulfat (APS) dan diaduk selama 15 menit. Selanjutnya dimasukkan campuran 5 gram monomer akrilamida (AAm) dan 5 miligram penaut silangan metilen bis-akrilamida (MBA) yang telah dilarutkan ke dalam 40 mL akuades. Suhu dinaikkan secara bertahap menjadi 70 °C selama 3 jam. Produk yang terbentuk kemudian diendapkan menggunakan etanol dan metanol. Selanjutnya campuran direfluks menggunakan aseton selama 1 jam. Padatan yang dihasilkan kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 60 °C (Liang *et al.*, 2009).

3.3.9. Karakterisasi Hidrogel

3.3.9.1. Kemampuan Pembengkakan

Sampel hidrogel kering ditimbang sebanyak 0,1 gram (m_1) lalu direndam dalam 500 mL akuades pada suhu kamar selama 24 jam. Selanjutnya dipisahkan hidrogel dengan air yang tersisa menggunakan saringan 100 mesh, kemudian ditimbang berat konstannya (m_2). *Swelling ratio* dihitung dengan Persamaan 6 (Tyliszczak *et al.*, 2009).

$$Q = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \quad (6)$$

3.3.9.2. Analisis FTIR

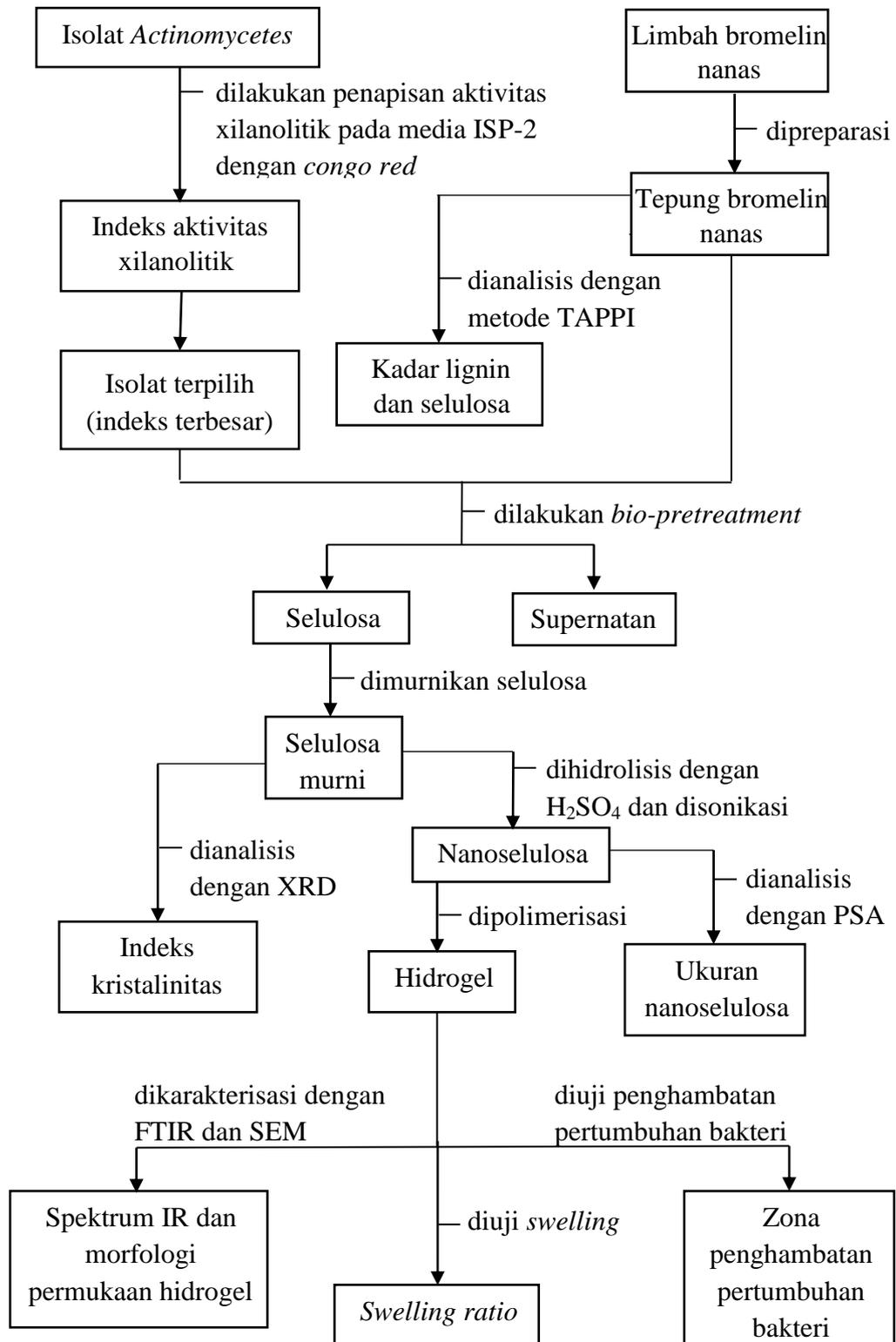
Sampel hidrogel kering dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi hidrogel.

3.3.9.3. Uji Penghambatan Pertumbuhan Bakteri

Hidrogel kering sebanyak 0,1 gram direndam dalam larutan antibiotik encer selama 24 jam, lalu ditimbang hingga mencapai berat konstan. Antibiotik jenis amoksisilin digunakan untuk pengujian terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan bakteri *Escherichia coli*. Kandungan antibiotik yang digunakan sebanyak 250, 500, dan 750 µg. Hidrogel tanpa penambahan antibiotik digunakan sebagai kontrol negatif (Torres-Figueroa *et al.*, 2020).

3.4. Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Kandungan biopolimer pada limbah bromelin nanas yang dianalisis dengan metode TAPPI terdiri dari karbohidrat (selulosa) sebesar 52,58% dan lignin sebesar 39,16%.
2. Proses *bio-pretreatment* menghasilkan selulosa murni sebesar 25,48 gram dari 72,5 gram tepung bromelin nanas. Kadar selulosa murni pada tepung bromelin nanas adalah 35,14%.
3. Nanoselulosa yang didapatkan pada penelitian ini memiliki ukuran partikel berdiameter rata-rata 1257 nm.
4. Hidrogel yang dihasilkan yaitu hidrogel bening (Hb) dan hidrogel coklat (Hc). Kapasitas penyerapan air pada Hb sebesar 25,9 g/g dengan persentase pembengkakan sebesar 2590% dan Hc sebesar 9,2 g/g dengan persentase pembengkakan sebesar 920%.
5. Penggunaan Hb pada uji penghambatan pertumbuhan bakteri *E. coli* menghasilkan zona hambat yang lebih besar yaitu 32 mm pada konsentrasi amoksisilin 750 µg. Penggunaan Hc pada uji penghambatan pertumbuhan bakteri *S. aureus* menghasilkan zona hambat yang lebih besar yaitu 27 mm pada konsentrasi amoksisilin 750 µg.

5.2. Saran

Terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan untuk mengoptimalkan hasil dari penelitian ini, antara lain:

1. Menggunakan frekuensi gelombang sonikasi yang lebih besar agar didapatkan ukuran nanoselulosa yang lebih kecil.
2. Menghitung kadar antibiotik yang dikeluarkan hidrogel dalam menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli* dan *S. aureus* agar dapat diketahui kemampuan dari hidrogel dalam melepas antibiotik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, A., Mathew, A. K., Park, H., Choi, O., Sindhu, R., Parameswaran, B., Pandey, A., Park, J. H., and Sang, B.-I. 2020. Pretreatment Strategies for Enhanced Biogas Production from Lignocellulosic Biomass. *Bioresource Technology*. 1(1): 1–13.
- Anggraini, N. E. D., dan Setiawan, N. C. E. 2018. *Uji Daya Hambat Antibakteri Ekstrak Kasar Enzim Bromelin dari Bonggol Nanas terhadap Lactobasillus acidhopilus (Ananas comosus (L) Merr)*. Diploma Thesis. Akademi Farmasi Putra Indonesia Malang. Malang.
- Aprilyanti, S. 2018. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Hidrolisis terhadap Kadar Selulosa pada Daun Nanas. *Jurnal Teknik Kimia*. 24(1): 28–31.
- Azadi, P., Inderwildi, O. R., Farnood, R., and King, D. A. 2013. Liquid Fuels, Hydrogen and Chemicals from Lignin: A Critical Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 21: 506–523.
- Azizah, A., Irwan, A., dan Sunardi. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Polimer Superabsorben Berbasis Selulosa dari Tanaman Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) Tercangkok Akril Amida (AAM). *Sains Dan Terapan Kimia*. 6(1): 59–70.
- Brandt, A., Gräsvik, J., Halletta, J. P., and Welton, T. 2013. Deconstruction of Lignocellulosic Biomass with Ionic Liquids. *Green Chemistry*. 15(3): 550–583.
- Chen, G., Zhang, Q., Ma, L., Zhao, Y., and Ran, J. 2021. Rational Design of a High -Strength Tough Hydrogel from Fundamental Principles. *Macromolecular Chemistry and Physics*. 222(12): 1–13.
- Curvello, R., Raghuwanshi, V. S., and Garnier, G. 2019. Engineering Nanocellulose Hydrogels for Biomedical Applications. *Advances in Colloid and Interface Science*. 267: 47–61.
- Dar, M. A., Pawar, K. D., Jadhav, J. P., and Pandit, R. S. 2015. Isolation of Cellulolytic Bacteria from the Gastrointestinal Tract of *Achatina Fulica* (Gastropoda: Pulmonata) and their Evaluation for Cellulose Biodegradation.

- International Biodeterioration & Biodegradation*. 98(1): 73–80.
- Eyley, S., and Thielemans, W. 2014. Surface Modification of Cellulose Nanocrystals. *Nanoscale*. 6: 7764–7779.
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Husaeni, D. F. Al, and Nandiyanto, A. B. D. 2022. How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. 2(1): 65–76.
- Fatriasari, W., Nurhamzah, F., Raniya, R., Laksana, R. P. B., Anita, S. H., Iswanto, A. H., and Hermiati, E. 2020. Enzymatic Hydrolysis Performance of Biomass by the Addition of a Lignin Based Biosurfactant. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 48(5): 651–665.
- Habibi, Y., Goffin, A.-L., Schiltz, N., Duquesne, E., Dubois, P., and Dufresne, A. 2008. Bionanocomposites Based on Poly(ϵ -caprolactone)-Grafted Cellulose Nanocrystals by Ring-Opening Polymerization. *Journal of Materials Chemistry*. 18: 5002–5010.
- Haque, A. N. M. A., Zhang, Y., and Naebe, M. 2021. A Review on Lignocellulose/Poly (Vinyl Alcohol) Composites: Cleaner Approaches for Greener Materials. *Cellulose*. 28: 10741–10764.
- Hasan, N., Rahman, L., Kim, S.-H., Cao, J., Arjuna, A., Lallo, S., Jhun, B. H., and Yoo, J.-W. 2020. Recent Advances of Nanocellulose in Drug Delivery Systems. *Journal of Pharmaceutical Investigation*. 50: 553–572.
- Herawati, H. 2019. Production Technology and Utilization of Nano Cellulose. *Journal of Physics: Conference Series*. 1295: 1–8.
- Ioelovich, M. 2012. Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology*. 2(2): 9–13.
- Ioelovich, M. 2015. Methods for Determination of Chemical Composition of Plant Biomass. *Journal SITA*. 17(4): 208–214.
- Jafta, N., Mochane, M., Teboho, M., and Lebelo, K. 2022. Effect of Sodium Lauryl Sulfate (SLS)/Carbon Nanotubes on The Properties of Cellulose Membrane Isolated from Maize Stalk. *Cellulose Chemistry and Technology*. 56(5–6): 549–558.
- Jönsson, L. J., and Martín, C. 2016. Pretreatment of Lignocellulose: Formation of Inhibitory By-Products and Strategies for Minimizing their Effects. *Bioresource Technology*. 199: 103–112.
- Jumantara, B. A. 2011. *Modifikasi Selulosa Ampas Sagu dengan Polimerisasi Pencangkakan dan Penautan-Silangan*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Karashima, M., Sano, N., Yamamoto, S., Arai, Y., Yamamoto, K., Amano, N., and Ikeda, Y. 2017. Enhanced Pulmonary Absorption of Poorly Soluble Itraconazole by Micronized Cocrystal Dry Powder Formulations. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 115: 65–72.
- Krishaditersanto, R. 2021. *Potensi Hasil Samping Produksi Pertanian dan Perkebunan sebagai Pakan Ternak*. Cipta Media Nusantara. Surabaya.
- Kumar, A., Negi, Y. S., Choudhary, V., and Bhardwaj, N. K. 2014. Characterization of Cellulose Nanocrystals Produced by Acid-Hydrolysis from Sugarcane Bagasse as Agro-Waste. *Journal of Materials Physics and Chemistry*. 2(1): 1–8.
- Kunusa, W. R., Abdullah, R., Bilondatu, K., and Tulie, W. Z. 2020. Analysis of Cellulose Isolated from Sugar Bagasse: Optimization and Treatment Process Scheme. *Journal of Physics: Conference Series*. 1422: 1–15.
- Li, A., Zhang, J., and Wang, A. 2007. Utilization of Starch and Clay for The Preparation of Superabsorbent Composite. *Bioresource Technology*. 98(2): 327–332.
- Liang, R., Yuan, H., Xi, G., and Zhou, Q. 2009. Synthesis of Wheat Straw-g-Poly(Acrylic Acid) Superabsorbent Composites and Release of Urea from it. *Carbohydrate Polymers*. 77(2): 181–187.
- Lima, D. R. de, Silveira, M. H. L., Rio, L. Del, and Ramos, L. P. 2016. *Pretreatment Processes for Cellulosic Ethanol Production: Processes Integration and Modeling for the Utilization of Lignocellulosics Such as Sugarcane Straw*. Springer Cham. Switzerland.
- Ma, X., Chang, P. R., and Yu, J. 2008. Properties of Biodegradable Thermoplastic Pea Starch/Carboxymethyl Cellulose and Pea Starch/Microcrystalline Cellulose Composites. *Carbohydrate Polymers*. 72(3): 369–375.
- Mahardika, M., Abrial, H., Kasim, A., Arief, S., and Asrofi, M. 2018. Production of Nanocellulose from Pineapple Leaf Fibers via High-Shear Homogenization and Ultrasonication. *Fibers*. 6(2): 28.
- Mahulette, F., Utarti, E., and Kurnia, T. S. 2023. Isolation and Potency of Actinomycetes from Rhizosphere of Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt). *Biogenesis*. 11(1): 59–68.
- Maryam, and Rahmad, D. 2019. Synthesis of Nano Bacterial Cellulose using Acid Hydrolysis-Ultrasonication Treatment. *Journal of Physics*. 1185: 1–10.
- Mishra, S. P., Manent, A.-S., Chabot, B., and Daneault, C. 2012. Production of Nanocellulose from Native Cellulose – Various Options Utilizing Ultrasound. *BioResources*. 7(1): 422–436.

- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., and Rahman, M. A. 2017. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane Characterization* (pp. 3–29). Elsevier. Amsterdam.
- Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., and Youngblood, J. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites. *Chemical Society Reviews*. 40(7): 3941–3994.
- Mtibe, A., Anandjiwala, R. D., Liganiso, L. Z., Oksman, K., P. Mathew, A., and Maya, J. J. 2015. A Comparative Study on Properties of Micro and Nanopapers Produced from Cellulose and Cellulose Nanofibres. *Carbohydrate Polymers*. 118: 1–8.
- Nascimento, D. M., Nunes, Y. L., Figueirêdo, M. C. B., Azeredo, H. M. C. de, Aouada, F. A., Feitosa, J. P. A., Rosac, M. F., and Dufresne, A. 2018. Nanocellulose Nanocomposite Hydrogels: Technological and Environmental Issues. *Green Chemistry*. 20(11): 2428–2448.
- Padzil, F. N. M., Lee, S. H., Ainun, Z. M. A., Lee, C. H., and Abdullah, L. C. 2020. Potential of Oil Palm Empty Fruit Bunch Resources in Nanocellulose Hydrogel Production for Versatile Applications: A Review. *Materials*. 13(5):1–26.
- Pardo, M. E. S., Casselis, M. E. S., Mora-Escobedo, R., and Garcia, E. J. 2014. Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. 3(2): 53–56.
- Plackett, D., Letchford, K., Jackson, J., and Burt, H. 2014. A Review of Nanocellulose as a Novel Vehicle for Drug Delivery. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 29(1): 105–118.
- Prakongpan, T., Nitithamyong, A., and Luangpituksa, P. 2002. Extraction and Application of Dietary Fiber and Cellulose from Pineapple Cores. *Journal of Food Science*. 67(4): 1308–1313.
- Putro, J. N., Soetaredjo, F. E., Lin, S.-Y., Ju, Y.-H., and Ismadji, S. 2016. Pretreatment and Conversion of Lignocellulose Biomass into Valuable Chemicals. *RSC Advances*. 6: 46834–46852.
- Rachmah, S. 2012. *Sintesis Dan Karakterisasi Kopolimer Pati Sagu (Sago Starch) Dengan Agen Crosslink Asam Sitrat*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember. Jember.
- Rodiahwati, W. 2016. Lignocellulosic Biomass to Biofuel Production: Integration of Chemical and Extrusion (Screw Press) Pretreatment. *KMUTNB Int J Appl Sci Technol*. 9(4): 289–298.
- Šašková, J., and Wiener, J. 2019. Nanocellulose as a Carrier of Active Dyes. *Proceedings of the 19th World Textile Conference - Autex 2019*. 1–3.

- Satria, H. 2010. Isolation and Screening of Lignocellulolytic Actinomycetes from Rice Straw Waste. *ASEAN-Korea Symposium and Workshop on Biorefinery Technology*. 195–199.
- Satria, H., Herasari, D., dan Yuwono, S. D. 2011. Kinetika Fermentasi Produksi Selulase Dari Isolat Actinomycetes AcP-7 Pada Media Padat Jerami Padi. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*. 33(2): 152–159.
- Satria, H., Yandri, Nurhasanah, Yuwono, S. D., and Herasari, D. 2020. Extracellular Hydrolytic Enzyme Activities of Indigenous Actinomycetes on Pretreated Bagasse using Choline Acetate Ionic Liquid. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 24: 1–7.
- Shweta, A., and Sonia, P. 2013. Pharmaceutical Relevance of Cross-Linked Chitosan in Microparticulate Drug Delivery. *International Research Journal of Pharmacy*. 4(2): 45–51.
- Silhavy, T. J., Kahne, D., and Walker, S. 2010. The Bacterial Cell Envelope. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2(5): 1–16.
- Supramaniam, J., Adnan, R., Kaus, N. H. M., and Bushra, R. 2018. Magnetic nanocellulose alginate hydrogel beads as potential drug delivery system. *International Journal of Biological Macromolecules*. 118(Part A): 640–648.
- Torres-Figueroa, A. V., Pérez-Martínez, C. J., Castillo-Castro, T. del, Bolado-Martínez, E., Corella-Madueño, M. A. G., García-Alegría, A. M., Lara-Ceniceros, T. E., and Armenta-Villegas, L. 2020. Composite Hydrogel of Poly(acrylamide) and Starch as Potential System for Controlled Release of Amoxicillin and Inhibition of Bacterial Growth. *Journal of Chemistry*. 2020: 1–14.
- Tyliszczak, B., Polaczek, J., Pielichowski, J., and Pielichowski, K. 2009. Preparation and Properties of Biodegradable Slow-Release PAA Superabsorbent Matrixes for Phosphorus Fertilizers. *Macromolecular Symposia*. 279(1): 236–242.
- Woiciechowski, A. L., Neto, C. J. D., Vandenberghe, L. P. de S., Neto, D. P. de C., Sydney, A. C. N., Letti, L. A. J., Karp, S. G., Torres, L. A. Z., and Soccol, C. R. 2020. Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance – conventional processing and recent advances. *Bioresource Technology*. 304: 1–9.
- Yamane, C., Aoyagi, A., Ago, M., Sato, K., Okajima, K., and Takahashi, T. 2006. Two Different Surface Properties of Regenerated Cellulose due to Structural Anisotropy. *Polymer Journal*. 38: 819–826.
- Yulianti, W., dan Laila, F. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Superabsorben dari Selulosa Jerami Padi. *Jurnal Sains Terapan*. 1(1): 46–52.