

**PEMANFAATAN LIMBAH BROMELIN NANAS UNTUK PRODUKSI
NANOKOMPOSIT HIDROGEL MELALUI BIOKONVERSI SELULOSA
MENGUNAKAN ISOLAT *ACTINOMYCETES***

(Skripsi)

Oleh

Arifah Rara Afiria



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

ABSTRAK

PEMANFAATAN LIMBAH BROMELIN NANAS UNTUK PRODUKSI NANOKOMPOSIT HIDROGEL MELALUI BIOKONVERSI SELULOSA MENGUNAKAN ISOLAT ACTINOMYCETES

OLEH

ARIFAH RARA AFIRIA

Hidrogel diketahui sebagai biomaterial yang andal dalam sistem penghantaran obat. Hal tersebut dikarenakan biokompatibilitas dan kemampuan uniknya dalam menahan air dalam jaringan. Penelitian ini dilakukan untuk menguji kemampuan hidrogel dari selulosa limbah bromelin nanas dalam sistem penghantaran vitamin C. Selulosa dari limbah bromelin nanas diekstraksi menggunakan *Actinomyces* yang memiliki aktivitas xilanolitik sebagai bakteri pendegradasi. Kemudian, dilakukan sintesis nanoselulosa kristalin melalui hidrolisis selulosa dengan asam sulfat encer dan sonikasi. Selanjutnya, sintesis nanokomposit hidrogel dilakukan melalui proses ikatan silang dengan metode kopolimerisasi (*grafting*) radikal bebas menggunakan nanoselulosa, akrilamida, ammonium persulfat (APS) sebagai inisiator, dan metilen bis akrilamida (MBA) sebagai agen penaut silang. Lalu, hidrogel yang terbentuk dikarakterisasi dengan FTIR dan diuji kemampuannya dalam menyerap dan melepas vitamin C. Partikel nanoselulosa yang dihasilkan berukuran 1.235 nm. Berikutnya, hasil karakterisasi FTIR nanokomposit hidrogel menunjukkan adanya penambahan gugus baru berupa gugus N-H dan C=O akibat dari reaksi nanoselulosa dan akrilamida saat polimerisasi. Kemampuan penyerapan air oleh hidrogel mencapai sebesar 22,75 g/g dengan kapasitas pembengkakan 2.275%. Sedangkan, kemampuan hidrogel dalam menyerap vitamin C optimal setelah 24 jam dengan kadar sebesar 19,87 mg/g. Selain itu, hidrogel mampu melepas vitamin C secara bertahap dalam waktu 24 jam dengan kadar tertinggi sebesar 19,31 mg/g. Penelitian ini membuktikan limbah bromelin nanas dapat bermanfaat dalam bahan baku penghantar sediaan obat.

Kata kunci: limbah bromelin nanas, *Actinomyces*, nanoselulosa, hidrogel

ABSTRACT

UTILIZATION OF PINEAPPLE BROMELIN WASTE FOR HYDROGEL NANOCOMPOSITE PRODUCTION THROUGH CELLULOSE BIOCONVERSION USING ACTINOMYCETES ISOLATE

BY

ARIFAH RARA AFIRIA

Hydrogels are known as reliable biomaterials in drug delivery systems. This is due to its unique biocompatibility and ability to retain water in tissues. This research was conducted to test the hydrogel ability of pineapple bromelain waste cellulose in a vitamin C delivery system. Cellulose from pineapple bromelain waste was extracted using *Actinomyces* which has xylanolytic activity as degrading bacteria. Then, synthesis of crystalline nanocellulose was carried out through hydrolysis of cellulose with dilute sulfuric acid and sonication. Furthermore, the synthesis of hydrogel nanocomposites was carried out through a cross-linking process using the free radical copolymerization (grafting) method using nanocellulose, acrylamide, ammonium persulfate (APS) as the initiator, and methylene bis acrylamide (MBA) as the cross-linking agent. Then, the hydrogel formed was characterized using FTIR and tested for its ability to absorb and release vitamin C. The size of the nanocellulose particles obtained was 1,235 nm. Next, the results of FTIR characterization of hydrogel nanocomposites show the addition of new groups in the form of N-H and C=O groups as a result of the reaction of nanocellulose and acrylamide during polymerization. The water absorption capacity of the hydrogel reached 22.75 g/g with a swelling capacity of 2,275%. Meanwhile, the hydrogel's ability to absorb vitamin C was optimal after 24 hours with a level of 19.87 mg/g. In addition, the hydrogel was able to release vitamin C gradually within 24 hours with the highest level of 19.31 mg/g. This study proves that pineapple bromelain waste can be useful as a raw material for delivering drug preparations.

Keywords: bromelain pineapple waste, *Actinomyces* nanocellulose, hydrogel

**PEMANFAATAN LIMBAH BROMELIN NANAS UNTUK PRODUKSI
NANOKOMPOSIT HIDROGEL MELALUI BIOKONVERSI SELULOSA
MENGUNAKAN ISOLAT ACTINOMYCETES**

Oleh

Arifah Rara Afria

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 Skripsi : PEMANFAATAN LIMBAH BROMELIN NANAS
UNTUK PRODUKSI NANOKOMPOSIT
HIDROGEL MELALUI BIOKONVERSI
SELULOSA MENGGUNAKAN ISOLAT
ACTYNO MYCETES

Nama Mahasiswa : *Arifah Rara Afiria*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011096

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Dian Herasari
Dr. Dian Herasari, S.Si., M.Si.
NIP.197108062000032001

2. Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung

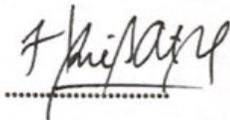
Mulyono
Mulyono, Ph.D.
NIP.19740611200031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

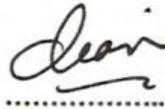
Ketua

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



Sekretaris

: **Dr. Dian Herasari, S.Si., M.Si.**



Penguji
Bukan Pembimbing

: **Dr. Ilim, M.S.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **29 Agustus 2023**

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Arifah Rara Afiria
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011096
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pemanfaatan Limbah Bromelin Nanas untuk Produksi Nanokomposit Hidrogel melalui Biokonversi Selulosa menggunakan Isolat *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, 29 Agustus 2023

menyatakan,


Arifah Rara Afiria

NPM. 1917011096

RIWAYAT HIDUP

Penulis memiliki nama lengkap Arifah Rara Afiria. Anak ketiga dari lima bersaudara, serta putri pertama dari Bapak Muswir dan Ibu Sherly Yurita. Penulis lahir pada 20 April 2002 di Teluk Betung Selatan, Bandar Lampung.

Pendidikan awal penulis terjadi di TK Taman Siswa Bandar Lampung. Kemudian, pada tahun 2008 melanjutkan pendidikan ke sekolah dasar, yaitu SDN 2 Rawa Laut. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan menengah pertama di SMPN 2 Bandar Lampung pada tahun 2014. Tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 9 Bandar Lampung selama 2 tahun. Setelah lulus pada tahun 2019, penulis meneruskan pendidikan di Universitas Lampung, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam sebagai mahasiswa Jurusan Kimia melalui jalur SBMPTN.

Selama menempuh pendidikan sebagai mahasiswa kimia di Universitas Lampung, penulis telah mengikuti kegiatan organisasi Kader Muda Himaki (KAMI) FMIPA Unila tahun 2019-2020. Selanjutnya, pada periode kepengurusan 2020-2021, penulis menjadi anggota aktif Biro Kesekretariatan Himpunan Mahasiswa Kimia FMIPA Unila. Periode selanjutnya, yaitu 2021-2022, penulis aktif berorganisasi

sebagai Sekretaris Biro Kesekretariatan dan diamanahkan sebagai Dewan Pembina Himaki periode 2022-2023. Tahun 2022, penulis mengikuti kegiatan Kuliah Kerja nyata (KKN) di Kelurahan Srengsem, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung dan di tahun yang sama penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Biokimia Universitas Lampung.

Pada periode perkuliahan akhir, penulis berkesempatan untuk menjadi Asisten Praktikum Biokimia untuk Jurusan Kimia angkatan 2020 dan Jurusan Biologi angkatan 2021. Pencapaian penulis selama kuliah adalah menjadi finalis lomba cerdas cermat salah satu organisasi non pemerintah tingkat nasional. Penulis telah menyelesaikan riset penelitian dengan judul “Pemanfaatan Limbah Bromelin Nanas untuk Produksi Nanokomposit Hidrogel melalui Biokonversi Selulosa menggunakan Isolat *Actinomycetes*” pada tahun 2023 di Jurusan Kimia, Universitas Lampung.

MOTTO

الَّذِينَ آمَنُوا وَتَطْمَئِنُّ قُلُوبُهُمْ بِذِكْرِ اللَّهِ أَلَا بِذِكْرِ اللَّهِ تَطْمَئِنُّ الْقُلُوبُ

“(Yaitu) orang-orang yang beriman dan hati mereka menjadi tenteram dengan mengingat Allah. Ingatlah, hanya dengan mengingat Allah hati menjadi tenteram.”

(Q.S. Ar-Ra’d: 28)

Eile mit Weile

Slow and steady wins the race; Stuff takes time

“Yang terlihat sedikit bisa jadi berkahnya melimpah. Makanya jangan bosan bersyukur, biar nikmatnya ditambah.”

-Ustadz Adi Hidayat-

وَأَنَّ سَعْيَهُ سَوْفَ يُرَىٰ

“...Dan sesungguhnya usahanya itu kelak akan diperlihatkan (kepadanya).”

(Q.S. An-Najm: 40)

“What we think to be our greatest weakness can sometimes be our biggest strength.”

-A Court of Wings and Ruin, Sarah J Mass-

“Tidak ada penyakit yang membunuh tubuhmu, lebih dari kesedihan dan pikrian yang berlebihan.”

-Habib Umar bin Hafidz-

“Embracing a sense of levity enables you to rise above your challenges and gain a new perspective.”

-Benjamin Aston-

“Knowledge isn’t free. You have to pay attention.”

-Prof. Richard Feynman-



Dengan mengucap alhamdulillahillobbil alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa diharapkan syafaatnya hingga hari akhir. Rasa syukur yang luar biasa ku persembahkan karya sederhana ini sebagai wujud cinta, bakti, serta tanggung jawabku teruntuk;

Papa dan mama tercinta, Muswir dan Sherly Yurita, yang telah membesarkan, mendidik, mendo'akan, memberikan kasih sayang dan dukungan selama ini, kebahagiaan kalian adalah tujuan utamaku. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan cinta yang selalu kalian berikan.

Kakak dan adikku tersayang, M. Rfqi Madani, M Rafi Farhan, M Rayhan, dan Raisa Hamda Sakhia yang telah dan terus menjadi generator semangat dan motivasiku untuk terus berjuang. Semoga kalian selalu dalam perlindungan Allah SWT.

Dosen pembimbingku, Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. dan Dr. Dian Herasari M.Si., serta seluruh dosen dan staf Jurusan Kimia yang selalu sabar membimbing, mendidik, dan memberikan banyak Ilmu sertapengalaman kepadaku selama menempuh pendidikan di kampus.

Sahabat-sahabat SMA dan rekan-rekanmu, keluarga besar Kimia FMIPA Unila 2019 yang selalu memberi warna pada hari-hariku selama menjalani perkuliahan.

dan almamater yang kubanggakan, Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah *rabbi'l'alamin*. Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Bromelin Nanas untuk Produksi Nanokomposit Hidrogel melalui Biokonversi Selulosa menggunakan Isolat *Actinomyces*.” Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Pelaksanaan dan penyelesaian skripsi penulis tidak luput dari bantuan banyak pihak baik berupa bimbingan, arahan, saran, informasi, serta dukungan moril maupun materiil. Pada kesempatan ini teriring do'a yang tulus, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT atas kenikmatan dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua penulis, papa dan mama yang sangat berjasa karena selalu mendukung, mendo'akan, memotivasi, menjadi tempat berkeluh kesah, dan selalu berusaha memberikan yang terbaik kepada penulis. Ucapan terimakasih tidak akan cukup mewakili rasa syukur penulis karena terlahir dan tumbuh sebagai putri yang selalu dididik untuk menjadi lebih baik setiap waktunya. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan, kesehatan, rezeki, kebahagiaan dunia akhirat, dan umur yang panjang sehingga dapat selalu bersama dalam suka maupun duka yang akan datang. Terimakasih untuk tidak menyerah dalam mendukung dan menemani penulis sejak awal penulis melihat dunia hingga saat ini.
3. Abang-abang penulis, Bang Iki dan Bang Api yang selalu mendukung dan menyempatkan bertanya akan keadaan penulis. Terimakasih untuk selalu

dapat memberikan solusi terbaik terhadap setiap permasalahan yang dihadapi penulis. Terimakasih telah menjadi sosok kakak yang selalu menjadi contoh baik dalam mengejar dunia dan akhirat, selalu menegaskan mana yang benar dan salah, serta tidak pernah menyerah untuk mendidik penulis manja ini menjadi sosok yang lebih dewasa. Semoga selalu berada di jalur yang benar dan dilindungi oleh Allah SWT. Adik-adik kecil penulis, Ean dan Eca yang selalu menjadi motivasi penulis untuk tetap berusaha yang terbaik selama menjalani perkuliahan, meskipun terhalang jarak dan komunikasi yang terbatas, terimakasih telah menghibur dan menjadi penyemangat selama ini. Semoga selalu berbakti kepada orang tua dan sukses untuk dunia dan akhirat.

4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku pembimbing utama atas segala kebaikan, ilmu, kesabaran, motivasi, dan bimbingan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Sebagai sosok yang mengemban amanah cukup besar dan memiliki waktu interaksi yang terbatas, terimakasih kepada Pak Heri karena selalu berusaha meluangkan waktu dan senantiasa memberikan dukungan kepada penulis sehingga penulis tidak pernah kehilangan semangat hingga berada di kondisi saat ini. Semoga Allah selalu memberikan perlindungan dan keberkahan atas semua kebaikan yang telah bapak berikan.
5. Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si. selaku pembimbing kedua penulis yang selalu membantu dalam menemukan jalan keluar di kala penulis berada di kondisi *stuck* selama penelitian. Terimakasih atas saran dan kritik yang selalu Bu Dian berikan beserta senyum yang menenangkan penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Semoga Allah memberikan ridanya dan membalas semua kebaikan ibu.
6. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku pembahas atas kritik, saran, dan ilmu yang bermanfaat. Terimakasih atas segala kesediaannya untuk memberikan yang terbaik kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga Allah berikan keberkahan atas semua kebaikan yang telah ibu diberikan.
7. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku pembimbing akademik atas segala bantuan dan dukungan kepada penulis selama perkuliahan.

8. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia atas ilmu pengetahuan dan pengalaman yang sangat bermanfaat dan berharga kepada penulis selama menjadi mahasiswa jurusan kimia.
10. Segenap Staf dan Laboran Jurusan Kimia FMIPA Unila, terkhusus Mba Della dan Mba Yuni yang sudah sangat baik memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sejak menjalankan PKL hingga penelitian di Laboratorium Biokimia selesai.
11. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan kepada penulis dan kucing-kucing penulis, Rainbow, Mochi, Cuki, Min-min, Buna, Helio, Polaris, Saturn, Selen, empat krucil, dan almarhum anabul penulis yang selalu memeluk penulis di kala sedih dan sepi.
12. Teman baik penulis, M. Rihan Athallah yang selalu menyempatkan waktu untuk mendengar segala keluh kesah penulis, serta tidak pernah lupa memberikan saran dan kritik terhadap permasalahan penulis sejak SMA. Terimakasih untuk segala kebaikan dan dukungan, serta tidak pernah menyerah akan emosi penulis yang labil. *My irreplaceable SHS partner*, Angelicha Maysya Nahda yang selalu memahami emosi penulis dan menjadi teman bercerita yang menyenangkan. Terimakasih untuk setiap bimbingan, do'a, serta dukungan yang tidak berhenti hingga saat ini. Semoga kalian selalu dilancarkan dan diberi keberkahan oleh Allah SWT dalam setiap aktivitas yang dilakukan.
13. Teman seperjuangan penelitian *Actinomyces* sekaligus konco *love and hate* penulis, Marcella Indriani. Terimakasih atas kesediaannya dalam berbagi tawa dan tangis selama penelitian dan perkuliahan. Atas segala arahan yang membuat penulis selalu termotivasi untuk bergerak maju dan tidak mudah menyerah. Terimakasih atas saran dan kritik yang selalu diberikan di setiap langkah penulis selama penelitian. Rekan pimpinan Himaki yang sangat rasional dan menyenangkan dalam melakukan *brainstorming* bersama. Perbincangan yang terselip di waktu luang denganmu menjadi memori yang

tidak terlupakan. Semoga dengan izin Allah SWT, kebersamaan ini akan terus terjaga dan semua mimpi kita dapat terwujud.

14. Warga kosan *Al's x Nab* dan Himardi, Jinab, Ahda, Cella, Riza, Kania, dan Ulfa atas segala bantuan, dukungan, dan waktu yang telah kita habiskan bersama-sama selama ini. Kunjungan rumah dan kosan yang menyenangkan dan menenangkan. Atas tempat berteduh di kala penulis merasa sepi dan bingung. Terimakasih untuk setia menemani penulis dan siap dalam keadaan suka dan duka mendengarkan penulis sejak dimulainya perkuliahan hingga saat ini. Teman-teman penulis yang tulus dalam membantu dan selalu sabar menerima penulis yang terlalu aktif berbicara. Semoga pertemanan ini akan tetap terjalin atas ridha Allah, walaupun jarak dan komunikasi yang mungkin terbatas di kemudian hari.
15. Teman seperjuangan penelitian *Actinomyces* HR'19, Febiana Nabila dan Abdillah Wira Dienussalim atas segala hal yang telah diberikan berupa kerjasama, waktu, dukungan, dan kesediaan untuk berjuang melewati semuanya bersama-sama. Perbincangan seru yang tidak terlupakan, serta tawa dan tangis yang melegakan. Semoga dilancarkan setiap urusan dan sukses selalu.
16. Kakak-kakak *Heri Research*'18, Kak Oliv, Kak Raifar, dan Kak Nafisah atas segala bantuan, saran, motivasi, dan dukungan selama penulis menjalani PKL dan penelitian. Semoga kakak-kakak senantiasa dilindungi Allah dan sukses selalu. Teman-teman *Heri Research*'20, Rahmad, Geo, Widya, dan Muti atas dukungan serta do'a yang diberikan. Semoga penelitiannya dimudahkan dan dilancarkan selalu.
17. Rekan-rekan Laboratorium *Biochemistry*'19 sekaligus para Asisten Praktikum Biokimia, dan kakak-kakak senior yang selalu berpikir positif dalam setiap cobaan yang mendera. Terimakasih telah berjuang bersama dengan tawa serta tangis selama satu tahun lebih ini. Pertolongan dan perbincangan, hingga ilmu untuk menjadi lebih sabar yang kalian berikan membuat penulis sangat bersyukur menjadi rekan penelitian di tempat yang sama. Terimakasih telah mewarnai hari-hari penulis sehingga dapat bertahan dalam menjalankan penelitian di jurusan dengan sukacita maupun dukacita.

Semoga hubungan ini terus berlanjut dan semua mampu mencapai kesuksesan masing-masing.

18. Teman pertama yang penulis *notice* saat pengenalan jurusan, Maulana Arya Nadhief sekaligus partner pimpinan Biro Kestari yang sangat cerewet dan aktif. Terimakasih untuk selalu membantu penulis di setiap panggilan pertama. Atas kepercayaannya terhadap penulis sebagai partner berorganisasi dan bertukar cerita. Segala dukungan dan arahan sabar yang dapat meringankan langkah penulis di perkuliahan. Semoga pertemanan ini dapat terus terjalin tanpa rasa canggung jika terdapat pertemuan di masa depan.
19. Teman-teman seperjuangan penulis dalam menjalani bahtera perkuliahan, Dito, Mas Unggul, Kipang, Ayu Aulia, Eki, Dwiky, Thio, Bang Hadi, Fatur, dan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terimakasih atas kesediaan hati, waktu, dan segala bantuan yang diberikan. Atas penjelasan materi yang tidak dipahami penulis dan segala informasi yang bermanfaat bagi penulis. Semoga sukses selalu dan berkah dalam setiap langkah hidupnya.
20. Teman-teman *Chemistry'19* atas segala kehangatan, keceriaan, kebersamaan, semangat, dan pancaran bahagia yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan. Semoga kita bisa sukses bersama.
21. Sahabat-sahabat Pimpinan Himaki 2021, atas segala pengalaman kerjasama dan kekeluargaannya selama ini. Peran orang tua yang kita emban bersama sebagai pemikul himpunan pada periodenya, hal tersebut merupakan salah satu momen terbaik bagi penulis dalam mengenal kalian. Terimakasih atas kesediaan hati, waktu, emosi, dan memori yang diberikan, serta ilmu-ilmu sosial yang tidak dapat ditemukan di tempat lain. Semoga sehat selalu dan sukses dalam berkarya di masa depan.
22. Almamater tercinta Universitas Lampung.
23. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi.
24. Terakhir, teruntuk sosok penulis yang telah dan terus berjuang, serta berusaha tanpa menyerah. Selalu tawakal akan usaha yang telah dilakukan semampunya dalam menghadapi setiap tantangan dan ujian selama menjalani

waktu perkuliahan, terimakasih telah berusaha memberikan yang terbaik dalam setiap langkah untuk meraih impianmu. Semoga akhir dari perjalanan ini menjadi awal yang baik untuk karir hidupmu maupun bekal untuk masa-masa yang akan datang.

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu, semoga Allah SWT membalas segala amal kebaikan kalian. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 24 Agustus 2023
Penulis

Arifah Rara Afiria
NPM.1917011096

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	xviii
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR GAMBAR	xxi
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 Bromelin Nanas	5
2.2. Lignoselulosa	6
2.2.1. Selulosa	7
2.2.2. Hemiselulosa	8
2.2.3. Lignin	9
2.3. <i>Actinomyces</i>	9
2.4. <i>Pretreatment</i>	10
2.5. Nanoselulosa.....	11
2.6. Hidrogel	12
2.6.1. Sintesis Hidrogel	12
2.6.2. Aplikasi Hidrogel	14
2.7. Karakterisasi Selulosa, Nanoselulosa, dan Hidrogel	15
2.7.1. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	15
2.7.2. <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	15
2.7.3. <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	16
III. METODE PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat	17
3.2. Alat dan Bahan.....	17
3.3. Metode Penelitian	18
3.3.1. Preparasi Sampel.....	18
3.3.2. Analisis Komponen Limbah Bromelin Nanas dengan Metode TAPPI.....	18
3.3.3. Penapisan Isolat <i>Actinomyces</i>	20

3.3.4. <i>Bio-Pretreatment</i> Limbah Bromelin Nanas	21
3.3.5. Pemurnian Selulosa.....	21
3.3.6. Penentuan Indeks Kristalinitas.....	21
3.3.7. Pembuatan Nanoselulosa	22
3.3.8. Sintesis Hidrogel.....	22
3.3.9. Karakterisasi Hidrogel	23
3.4. Diagram Alir	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Komposisi Limbah Nanas	25
4.1.1. Kadar Lignin	26
4.1.2. Kadar Karbohidrat Total	26
4.2. Penapisan Isolat <i>Actinomyces</i> dari Mangrove.....	29
4.3. <i>Bio-Pretreatment</i> dalam Pemisahan Selulosa.....	31
4.4. Pembuatan Nanoselulosa	32
4.5. Sintesis Hidrogel.....	35
4.6. Karakterisasi Hidrogel	37
4.6.1. Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR.....	37
4.6.2. Kemampuan Penyerapan Air dan Pembengkakan Hidrogel.....	39
4.6.3. Kemampuan Hidrogel dalam Menyerap Vitamin C	40
4.6.4. Kemampuan Hidrogel dalam Melepas Vitamin C.....	41
V. KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Indeks aktivitas xilanolitik	31
2. Perhitungan kadar lignin dalam limbah bromelin nanas	52
3. Perhitungan kadar karbohidrat total dalam limbah bromelin nanas.....	54
4. Data standar glukosa	55
5. Indeks aktivitas xilanolitik isolat <i>Actinomyces</i>	56
6. Data puncak kristalin pada selulosa sebelum <i>pretreatment</i>	57
7. Data daerah amorf dan kristalin pada selulosa sebelum <i>pretreatment</i>	57
8. Data puncak kristalin pada selulosa setelah <i>pretreatment</i>	57
9. Data daerah amorf dan kristalin pada selulosa setelah <i>pretreatment</i>	57
10. Data titrasi iodimetri untuk mengukur kadar vitamin C yang diserap	60
11. Hasil pengukuran kadar vitamin C yang terlepas oleh hidrogel	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur lignoselulosa dan biopolimernya	7
2. Struktur selulosa dan ikatan hidrogennya	8
3. Skema <i>pretreatment</i> lignoselulosa	11
4. Diagram alir penelitian.....	25
5. Persentase komposisi biopolimer limbah bromelin nanas	27
6. Hasil penapisan isolat <i>Actinomyces</i> dari <i>mangrove</i>	30
7. Limbah bromelin nanas (a) sebelum dan (b) sesudah <i>bio-pretreatment</i>	32
8. Pola difraktogram selulosa sebelum dan sesudah <i>pretreatment</i> dengan asam sulfat.....	33
9. (a) Selulosa hasil proses sonikasi dan (b) selulosa setelah melalui pengeringan dengan metode <i>freeze dryer</i>	34
10. Grafik analisis ukuran partikel selulosa hasil sonikasi	35
11. Hidrogel kering hasil kopolimerisasi selulosa dari limbah bromelin nanas dengan akrilamida melalui penaut silang MBA.....	37
12. Spektra FTIR terhadap selulosa dan nanokomposit hidrogel	38
13. Hidrogel kering (a) sebelum proses uji <i>swelling</i> dan (b) sesudah menyerap air	40
14. Grafik kemampuan penyerapan vitamin C oleh hidrogel	41
15. Grafik pola pelepasan vitamin C oleh hidrogel dalam waktu 24 jam	42
16. Kurva standar glukosa.....	55
17. Rangkaian alat untuk sintesis hidrogel.....	58

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagai negara agraris, Indonesia memanfaatkan sektor pertanian sebagai komoditas utama dalam usaha dan profesi. Salah satunya nanas pada subsektor hortikultura. Buah nanas menjadi satu dari sederet produk pertanian yang mampu meningkatkan angka ekonomi nasional. Hal tersebut karena selain untuk konsumsi lokal, nanas juga diekspor ke luar negeri. Provinsi Lampung sebagai salah satu produsen selalu memberikan kontribusi besar terhadap produksi nanas di Indonesia. Pada tahun 2020, lebih dari 27% atau sebanyak 662,588 ton dari total produksi nanas Indonesia dihasilkan oleh pertanian Lampung (BPS, 2020). Pengolahan nanas meninggalkan limbah dari bagian yang tidak dikonsumsi. Menurut pabrik pengolahan buah nanas di Desa Tambaksari Kabupaten Subang, dari 100 kg nanas segar, 35% merupakan limbah nanas, lalu 12% kulit beserta sisa irisan daging buah, dan sisanya berupa daging buah sebanyak 53%. Besarnya jumlah limbah nanas seperti kulit dan bonggol nanas tidak diimbangi dengan pengolahan yang maksimal, sehingga limbah nanas hanya menumpuk dan dibuang atau berakhir sebagai pakan ternak (Nurminabari dkk., 2019).

Limbah nanas milik salah satu perusahaan produsen nanas di Lampung dimanfaatkan sebagai sumber untuk mengisolasi enzim bromelin. Isolasi tersebut meninggalkan limbah padat berlignoselulosa. Komponen utama penyusun lignoselulosa berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Penelitian Pardo *et al.* (2014) menunjukkan pada limbah bonggol nanas terkandung polimer selulosa sebesar 24,53%, hemiselulosa 28,53%, dan lignin 5,78%.

Alaminya, selulosa jarang ditemukan dalam keadaan murni dan selalu terikat dengan zat lain seperti lignin dan hemiselulosa. Keberadaan lignin dan hemiselulosa di sekitar selulosa merupakan hambatan utama dalam hidrolisis selulosa (Sutini dkk., 2021). Oleh karena itu, diperlukan *pretreatment* untuk memisahkan lignin dan hemiselulosa, sehingga diperoleh selulosa murni. Metode *pretreatment* secara prinsip teknologi meliputi metode fisik, kimia, dan biologi. *Pretreatment* dengan metode biologi dapat dilakukan menggunakan Efektif Mikroorganisme (EM) yang mengandung bakteri pendegradasi lignin dan hemiselulosa, contohnya *Actinomyces* (Rismanto dkk., 2020).

Actinomyces termasuk salah satu mikroba penghasil enzim hidrolitik seperti selulase dan xilanase yang terlibat dalam degradasi utama material berlignoselulosa. Mikroba berfilamen ini dapat menembus jaringan tumbuhan, sehingga meningkatkan efisiensi dalam proses degradasi biopolimer alami. *Actinomyces* dengan kemampuan menghidrolisis hemiselulosa diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dalam biokonversi material berlignoselulosa (Utarti dkk., 2020). Dengan terhidrolisisnya hemiselulosa, lignin akan lepas dari struktur kompleksnya dan akan menyisakan selulosa. Kemudian, selulosa dapat digunakan dalam produksi nanoselulosa (Rismanto dkk., 2020).

Nanoselulosa diketahui sebagai material selulosa baru dengan ukuran di bawah 100 nm yang diekstraksi dari selulosa (Widiastuti dan Marlina, 2020).

Nanopartikel selulosa ditandai dengan adanya peningkatan dalam hal derajat kristalinitas, luas permukaan, dispersi, dan sifat biodegradasi (Ioelovich, 2012).

Umumnya, proses yang digunakan untuk mengisolasi nanoselulosa adalah kombinasi dari perlakuan kimia dan mekanik (Phanthong *et al.*, 2018).

Berdasarkan metode kimia, hidrolisis dengan asam kuat mampu menghilangkan bagian amorf dari suatu rantai selulosa, sehingga isolasi pada bagian kristalin selulosa dapat dilakukan (Oke, 2010). Li *et al.* (2012) menggunakan metode mekanik dengan cara ultrasonikasi untuk memperoleh nanoselulosa. Penelitian Favier *et al.* (1995) menyebutkan nanoselulosa digabungkan dengan matriks polimer akan menghasilkan suatu bahan nanokomposit.

Nanokomposit hidrogel terdiri dari biofilm dan diperkuat dengan nanoselulosa. Hidrogel sebagai jaringan makromolekul dapat menyerap dan melepaskan air secara reversibel berdasarkan rangsangan eksternal (Sannino *et al.*, 2009).

Hidrogel mempunyai jaringan ikatan silang yang membentuk jaringan polimer tiga dimensi setelah kontak dengan air. Jaringan ini dapat menyerap air dengan baik, melebihi berat atau volumenya sendiri (superabsorben), tetapi tidak larut dalam air (Zohuriaan-Mehr *and* Kabiri, 2008). Salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas penyerapan air hidrogel adalah dengan melakukan polimerisasi cangkok (*grafting*). Polimer alami seperti selulosa terikat secara kimia melalui kombinasi monomer akrilamida menggunakan inisiator dan pengikat silang (*cross linked agent*) (Khasanah, 2013).

Aplikasi hidrogel terdapat dalam berbagai bidang, di antaranya pertanian, pengelolaan limbah, teknologi separasi, kedokteran, perawatan luka, rekayasa jaringan, teknologi implan, kosmetik, sensor, material gigi, dan *drug delivery* (Adi, 2012). Nanoselulosa yang terikat dengan akrilamida (Aam) dalam bentuk hidrogel nanokomposit dapat digunakan sebagai pembawa obat atau sistem penghantaran obat (Antika, 2021).

Pada penelitian ini dilakukan produksi nanokomposit hidrogel berbahan dasar limbah bromelin nanas melalui bantuan *Actinomyces* sebagai agen pendegradasi. Endapan hasil *pretreatment* dengan *Actinomyces* dimanfaatkan dalam proses produksi nanoselulosa dengan metode hidrolisis asam dan sonikasi. Namun, sebelum digunakan untuk produksi nanoselulosa, endapan selulosa dimurnikan terlebih dahulu. Selanjutnya, sintesis hidrogel dilakukan dengan metode *grafting* melalui nanoselulosa yang dikombinasikan oleh monomer akrilamida dan juga penaut silang metilen bis akrilamida. Kemudian, terhadap produk nanokomposit hidrogel yang terbentuk dilakukan uji karakterisasi dalam berbagai macam metode.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui komponen biopolimer penyusun limbah bromelin nanas melalui metode *Technical Association of Pulp and Paper Industry* (TAPPI).
2. Mempelajari teknik *bio-pretreatment* substrat limbah bromelin nanas.
3. Mengubah ukuran partikel selulosa murni hasil *pretreatment* menjadi nanoselulosa.
4. Memproduksi dan mengkarakterisasi nanokomposit hidrogel dari nanoselulosa.
5. Mengetahui kemampuan hidrogel sebagai bahan sediaan obat vitamin C.

1.3. Manfaat Penelitian

Harapan dilakukannya penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai biopolimer penyusun lignoselulosa dari limbah bromelin nanas.
2. Memberikan informasi terkait peran *Actinomycetes* dalam proses *pretreatment* limbah bromelin nanas.
3. Memberikan informasi terkait ukuran partikel nanoselulosa.
4. Memberikan informasi proses pembuatan dan karakter produk nanokomposit hidrogel.
5. Memberikan informasi kemampuan hidrogel sebagai bahan baku sediaan obat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Bromelin Nanas

Nanas termasuk dalam jenis tanaman hortikultura yang berasal dari Amerika Selatan, lebih tepatnya terletak di antara wilayah Brasil selatan dan Paraguay. Nanas yang memiliki nama ilmiah *Ananas comosus* L. merupakan bahan makanan dari famili bromeliaceae paling ekonomis dengan produksi tahunan yang tinggi (Silaban dan Rahmanisa, 2016). Indonesia termasuk negara dengan produksi nanas yang dapat bersaing di pasar internasional. Provinsi Lampung menjadi sentra nanas terbesar di Indonesia pada tahun 2019 dengan angka produksi sebesar 699.243 ton (BPS, 2020). Meningkatnya permintaan pasar dalam negeri terhadap buah nanas cenderung terus bertambah sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Sebagai akibat peningkatan produksi nanas, sejumlah besar limbah dihasilkan. Sekitar 80% bagian nanas, termasuk mahkota, kulit, daun, inti, dan batang dibuang selama pengolahan, sehingga berakhir sebagai limbah.

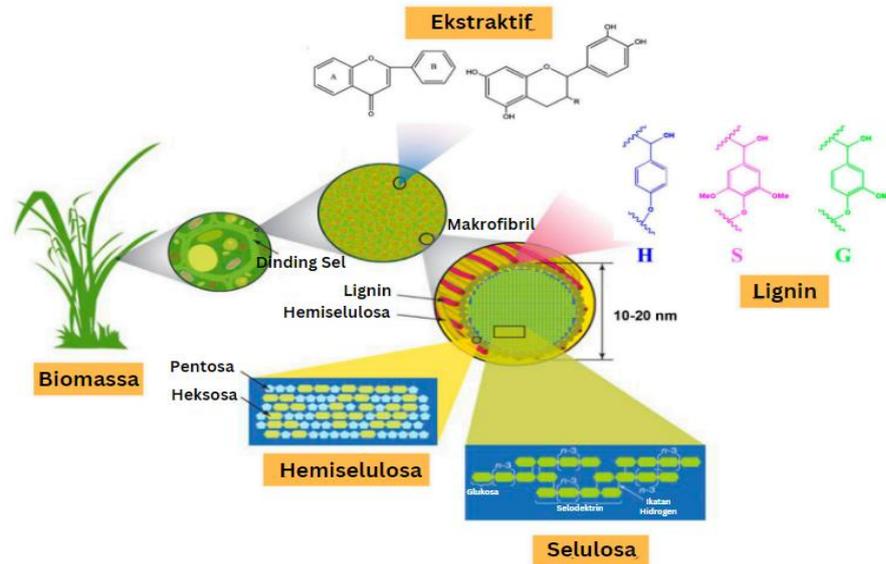
Secara tradisional, limbah nanas dibakar di alam terbuka sebagai teknik pengelolaan limbah, sehingga berkontribusi menimbulkan polusi udara. Namun, limbah ini dapat diubah menjadi produk berharga seperti bioproduk yang dapat menghasilkan energi melalui berbagai reaksi biokimia (fermentasi mikroba dan pencernaan anaerob), termokimia (pirolisis, gasifikasi, pembakaran, dan insinerasi) dan proses fisikokimia (transesterifikasi). Adanya kandungan serat membuat limbah nanas dapat dijadikan sebagai bahan baku potensial dalam produksi bahan *biodegradable*. Limbah bromelin nanas termasuk limbah

berlignoselulosa dengan mengandung 19,4% lignin, 32,4% selulosa, dan 23,2% hemiselulosa secara keseluruhan (Hamzah *et al.*, 2021).

2.2. Lignoselulosa

Lignoselulosa merupakan suatu material mentah yang memiliki banyak manfaat, dengan penyusun utamanya berupa biopolimer selulosa, hemiselulosa, dan lignin, di mana ketiganya membentuk struktur kompleks yang tahan terhadap dekomposisi (Suryadi, *et al.*, 2022). Selulosa, hemiselulosa, dan lignin terkemas erat oleh ikatan silang dan disatukan oleh berbagai ikatan non-kovalen dan kovalen. Lignin bertindak sebagai agen penyemenan dan memberikan dukungan struktural. Lignin juga memberikan penghalang kedap untuk enzim dan membuat seluruh struktur kuat.

Selulosa menjadi polimer paling melimpah dari dinding sel tumbuhan (35–50%), diikuti dengan hemiselulosa (20–35%), dan lignin (10–25%) (Saini *et al.*, 2015). Sumber biomassa yang beragam membuat kandungan ketiga senyawa utama dalam lignoselulosa tersebut berbeda-beda. Biomassa lignoselulosa juga mengandung zat lain seperti abu, air, lipid, protein, karbohidrat dengan molekul rendah, pektin, dan zat lainnya. Selulosa adalah senyawa kerangka yang menyusun 40–50% bagian kayu dalam bentuk selulosa mikrofibril, di mana hemiselulosa adalah senyawa matriks yang berada di antara mikrofibril-mikrofibril selulosa. Adanya lignin serta hemiselulosa di sekeliling selulosa menjadi hambatan utama dalam pemanfaatan selulosa (Schacht *et al.*, 2008).



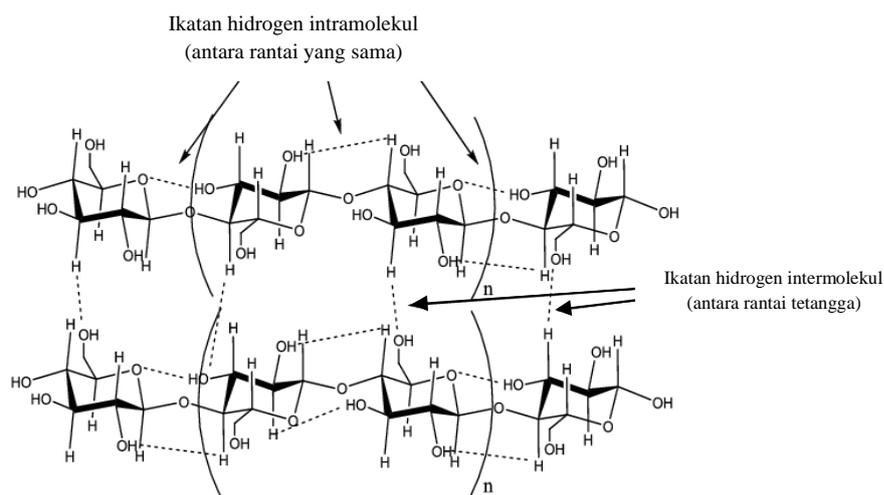
Gambar 1. Struktur lignoselulosa dan biopolimernya (Huang *et al.*, 2022).

2.2.1. Selulosa

Selulosa merupakan polimer alam dengan keberadaan melimpah yang mewakili sekitar 1.5×10^{12} ton dari total produksi biomassa tahunan. Selulosa terdiri dari ikatan glukosa-glukosa yang tersusun dalam suatu rantai linear dimana C-1 pada setiap glukosa berikatan dengan C-4 pada glukosa selanjutnya (Moon *et al.*, 2011). Selulosa adalah polimer glukosa dengan ikatan rantai lurus berupa β -1,4 glikosidik. Struktur dasar selulosa adalah selobiosa yang merupakan dimer glukosa. Rantai panjang selulosa terhubung satu sama lain melalui ikatan hidrogen dan gaya Van der Waals. Hidrolisis sempurna selulosa menghasilkan monomer selulosa berupa glukosa, setelah itu glukosa yang dihasilkan dapat difermentasi menjadi produk. Sedangkan, hidrolisis tidak sempurna menghasilkan disakarida selulosa berupa selobiosa. Unit ulang terkecil dari rantai selulosa adalah unit selobiosa dengan panjang 1,03 nm dan terdiri atas dua unit glukosa.

Selulosa membentuk sekitar 45% dari berat kering kayu. Polimer linier ini terdiri dari subunit D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1-glikosidik untuk

membentuk molekul selobiosa. Hemiselulosa dan lignin melapisi mikrofibril (terbentuk dari fibril dasar). Orientasi mikrofibril berbeda pada tingkat dinding yang berbeda. Mikrofibril berkumpul untuk membentuk serat selulosa. Selulosa dapat terjadi dalam bentuk kristal yang disebut selulosa kristal. Ada juga sebagian kecil rantai selulosa yang tidak teratur membentuk selulosa amorf. Dalam konformasi ini, selulosa menjadi rentan terhadap degradasi enzimatik. Selulosa terjadi secara alami dalam hubungan dengan senyawa tanaman lain dan senyawa ini dapat mempengaruhi biodegradasi (Pérez *et al.*, 2002).



Gambar 2. Struktur selulosa dan ikatan hidrogennya (Hamid *et al.*, 2016).

2.2.2. Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah nama umum untuk polisakarida yang larut dalam alkali. Hemiselulosa berkaitan erat dengan selulosa yang terdapat pada dinding sel tumbuhan. Lima gula netral berupa glukosa, manosa, galaktosa (heksana), serta xilosa dan arabinosa (pentosa) merupakan komponen utama hemiselulosa yang hanya terdiri dari satu jenis monomer (homopolimer), seperti xilan atau dua jenis atau terdiri atas dua jenis atau lebih monomer (heteropolimer), seperti glukomanan. Rantai molekul hemiselulosa juga lebih pendek daripada selulosa (Hermiati dkk., 2010). Hemiselulosa ditemukan di dinding sel tumbuhan, membentuk ikatan silang kompleks yang memberikan kekuatan struktural dengan

mengikat serat selulosa menjadi mikrofibril dan berikatan silang dengan lignin (Isikgor *and* Becer, 2015).

2.2.3. Lignin

Lignin (bersama dengan selulosa) adalah polimer yang paling melimpah di alam. Biopolimer ini hadir di dinding sel seluler, memberikan dukungan struktural, impermeabilitas, dan ketahanan terhadap serangan mikroba dan stres oksidatif. Secara struktural, lignin adalah heteropolimer amorf, tidak larut dalam air, dan tidak aktif secara optik; terdiri dari unit fenilpropana yang disatukan oleh berbagai jenis hubungan. Polimer ini disintesis oleh pembentukan radikal bebas yang dilepaskan dalam dehidrogenasi yang diperantarai peroksidase dari tiga alkohol fenil propionat: koniferil alkohol (guaiacyl propanol), alkohol kumaril (p hidroksifenilpropanol), dan sinapil alkohol (siringil propanol). Koniferil alkohol merupakan komponen utama lignin kayu lunak, sedangkan guaiasil dan siringil alkohol merupakan penyusun utama lignin kayu keras (Pérez *et al.*, 2002).

2.3. *Actinomycetes*

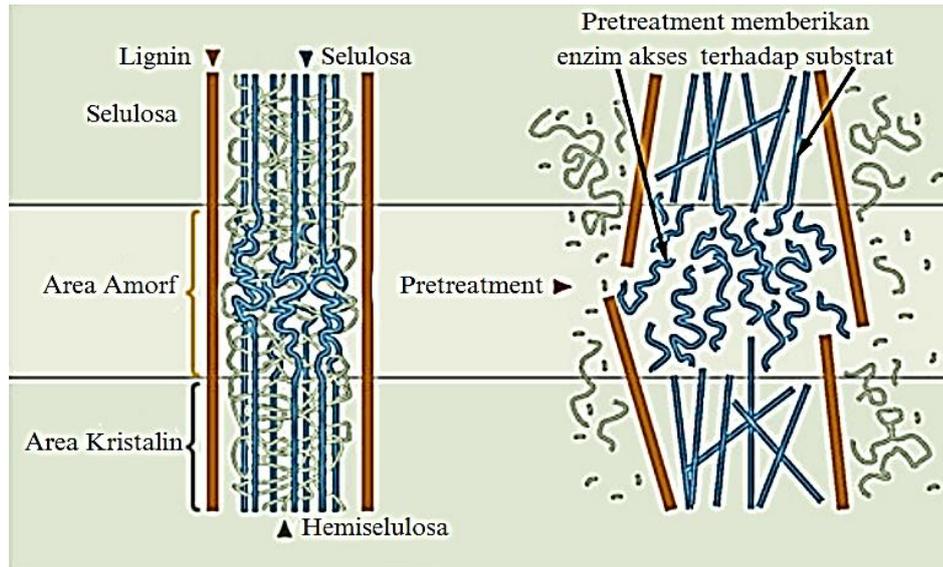
Salah satu kelompok mikroorganisme heterogen dari dalam tanah yang memiliki ciri filamen seperti benang adalah *Actinomycetes*. Kelompok mikrobiologi ini merupakan bakteri Gram-positif yang dikenal kemampuan uniknya sebagai pembentuk spora serta memiliki hifa bercabang yang sering berkembang menjadi miselium dan mempunyai bentuk batang (Malek *et al.*, 2014). *Actinomycetes* diketahui sebagai prokariot yang termasuk ke dalam kelas *Actinobacteria* serta ordo *Actinomycetales*. Secara taksonomi, *Actinomycetes* dikenal karena kandungan guanin-sitosin (G-C) yang tinggi, yaitu lebih dari 55%, serta bentuk morfologi koloni yang mirip seperti jamur (Daquioag *and* Penuliar, 2021). Kemampuan bakteri *Actinomycetes* dalam mendegradasi lignoselulosa

dapat digunakan tidak hanya pada proses penghilangan lignin, namun juga pada proses sakarifikasi, karena genus ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim hidrolitik ekstraseluler (Satria, 2010). Kelompok *Actinomycetes* menjadi prokariot ekonomis dan bernilai bioteknologi karena kemampuannya dalam menghasilkan metabolit sekunder bioaktif yang bervariasi, seperti agen immunosupresif, antibiotik, agen antitumor, serta enzim. Metabolit ini diketahui memiliki antibakteri, antijamur, neuritogenik, antikanker, antialga, aktivitas antimalaria, dan anti-inflamasi (Valli *et al.*, 2012). *Actinomycetes* menjadi sumber metabolit sekunder yang bersifat antibiotika, seperti eritromisin, vancomisin, dan streptomycin. Jumlah antibiotik yang dihasilkan hingga saat ini, sebanyak 70% dari jumlah keseluruhan tercatat berasal dari *Actinomycetes* dengan genus *Streptomyces* sebagai penghasil utama (Kurniati dkk., 2019).

2.4. Pretreatment

Pretreatment atau perlakuan awal adalah suatu tahapan yang bertujuan menguraikan struktur kristal lignin-selulosa, kemudian membuang lignin, sehingga enzim selulase dapat berinteraksi langsung dengan selulosa.

Pretreatment menjadi salah satu proses terpenting dalam biokonversi substrat berlignoselulosa. Proses *pretreatment* dibutuhkan untuk memutus ikatan lignin dari struktur lignoselulosa, serta mengurangi derajat polimerisasi dan sifat kristalin selulosa. Efisiensi proses hidrolisis akan meningkat karena proses *pretreatment* dengan cara memperluas permukaan kontak substrat dengan enzim (Sutini *et al.*, 2021). Salah satu metode *pretreatment* adalah secara biologi. Metode ini memanfaatkan mikroorganisme yang mampu mengubah komposisi kimia dan struktur biomassa lignoselulosa (Kumar *et al.*, 2009; Walker, 2012).



Gambar 3. Skema *pretreatment* lignoselulosa (Singh and Satapathy, 2018).

2.5. Nanoselulosa

Nanoselulosa adalah partikel yang diekstraksi dari selulosa yang ditandai dengan adanya peningkatan dalam hal derajat kristalinitas, luas permukaan, dispersi, dan sifat biodegradasi (Ioelovich, 2012). Terdapat tiga tipe utama nanoselulosa, yaitu selulosa nanokristal, selulosa nanofibril, dan nanoselulosa bakterial. Ketiganya memiliki komposisi kimia yang sama, tetapi terdapat perbedaan dalam hal morfologi, ukuran partikel, kristalinitas, dan properti. Perbedaan tersebut didasarkan pada sumber biomassa dan metode ekstraksi yang digunakan. Selulosa nanokristal yang dikenal juga sebagai selulosa nanowhisker, didapatkan melalui hidrolisis asam ketika bagian amorf dari selulosa fiber dihilangkan dan hanya tersisa bagian kristalin. Selulosa nanokristal berbentuk seperti batang pendek dengan diameter 2-20 nm dan panjang 100-500 nm. Sedangkan, selulosa nanofibril atau juga selulosa mikrofibril, biasa diekstrak dari selulosa fibril menggunakan proses mekanis dengan keadaan bagian kristalin dan amorf tetap ada.

Nanoselulosa memiliki diameter 1-100 nm dengan panjang berkisar antara 500-2000 nm. Ukuran nanoselulosa dapat membuatnya memiliki luas permukaan yang besar dan jumlah gugus hidroksil yang besar, sehingga memudahkan modifikasi permukaan. Beberapa teknik telah dikembangkan untuk memisahkan nanoselulosa dari selulosa, termasuk hidrolisis asam, hidrolisis enzimatis, dan proses mekanik. Mengenai penggunaan masing-masing metode ekstraksi, dapat dihasilkan jenis dan sifat nanoselulosa yang berbeda (Ningtyas dkk., 2020).

2.6. Hidrogel

Hidrogel merupakan jaringan makromolekul hidrofilik yang dihasilkan dari ikatan silang kimia ataupun fisik polimer. Hidrogel memiliki sifat sensitivitas yang tinggi terhadap lingkungan fisiologisnya, memiliki fleksibilitas yang tinggi, dan akan membengkak ketika mengikat air. Sifat bengkak ini dikarenakan afinitas termodinamika yang tinggi dalam pelarut tersebut (Yahia, 2015). Bahan hidrogel yang disukai adalah polimer alam karena memiliki biokompatibilitas yang tinggi, tidak beracun, kelarutan dalam air yang baik, dan kapasitas pengembangan yang tinggi (Rahayuningdyah dkk., 2020). Ketika hidrogel kontak dengan air, gugus hidrofilik yang bersifat polar dari hidrogel menjadi bagian awal yang terhidrasi oleh molekul air yang menyebabkan pembentukan ikatan primer. Proses pembentukan ikatan primer ini dapat terjadi karena adanya struktur rongga berukuran nano pada jaringan polimer hidrogel yang memungkinkan terjadinya ikatan hidrogen antara molekul air dan grup polar hidrogel (Ostrowska-Czubenko, 2009).

2.6.1. Sintesis Hidrogel

Hidrogel dapat disintesis menggunakan material tiruan, akan tetapi karena isu biokompatibilitas terhadap lingkungan, penggunaan polimer sintetik mulai diminimalisir. Salah satu bahan yang bersifat alami dan menjadi polimer alternatif yang dapat digunakan adalah selulosa (Sannino *et al.*, 2009; Chang,

2011). Terdapat empat metode sintesis hidrogel berdasarkan teknik pengkait-silang yang digunakan Kunzler, (2003) dan Gulrez *et al.* (2011), yaitu sebagai berikut.

a. Metode polimerisasi radikal bebas

Metode ini dapat digunakan baik dalam pembentukan hidrogel dari material sintetis maupun alami. Terdapat empat tahapan pada metode ini meliputi proses inisiasi, propagasi, transfer rantai, dan terminasi. Pada proses inisiasi, radikal bebas dibentuk menggunakan inisiator termal, ultraviolet, maupun redoks. Radikal bebas yang sudah terbentuk kemudian bereaksi dengan monomer yang merubahnya menjadi bentuk aktif. Proses ini berulang, sehingga terbentuk banyak monomer aktif pada proses propagasi. Kemudian, apabila terbentuk suatu matrik rantai panjang radikal bebas yang stabil, maka proses propagasi berhenti dan atau hal serupa terjadi ketika terjadinya transfer rantai radikal bebas untuk membentuk rantai baru.

b. Metode pengkaitan-silang secara kimiawi

Metode ini menggunakan bahan-bahan kimia tambahan sebagai perantara pengkait-silang dalam menghasilkan ikatan kovalen antar polimer yang bereaksi. Material perantara berfungsi sebagai jembatan penghubung antara polimer utama dan sekunder dalam membentuk satu ikatan kovalen. Material ini juga dapat mengaktivasi permukaan polimer utama agar dapat bereaksi dengan material sekunder. Contoh bahan kimianya seperti aldehida. Metode ini menghasilkan hidrogel yang bersifat permanen dan dapat diaplikasikan pada material sintetis, alami, maupun kombinasi keduanya

c. Metode pengkaitan-silang secara fisik

Metode pengkaitan-silang secara fisik menghasilkan hidrogel yang bersifat non permanen. Keunggulan metode ini berupa prosesnya yang relatif mudah dan tidak memerlukan perantara pengkait-silang, yang pada kasus tertentu, penggunaan material perantara mengharuskan proses purifikasi lanjutan sebelum produk hidrogel dapat diaplikasikan. Beberapa teknik yang termasuk metode ini adalah

teknik pemanasan atau pendinginan, teknik interaksi ionik, teknik *complex coacervation*, teknik *H-bonding*, teknik pematangan, dan teknik pembekuan atau pencairan.

d. Metode pengkaitan-silang menggunakan radiasi

Metode ini memanfaatkan radiasi berenergi tinggi (seperti sinar gamma dan radiasi elektron) agar terbentuk kelompok fungsional di permukaan polimer utama, sehingga mampu membentuk rantai polimer yang terkait-silang.

Keunggulan metode ini mampu menghasilkan hidrogel murni yang hanya terdiri atas satu material, sehingga meminimalisir risiko yang berkaitan akan biokompatibilitas dengan lingkungan. Namun, terdapat kelemahan juga, yaitu mahalnya peralatan yang diperlukan, sehingga menghambat proses produksi. Proses radiasi dapat dilakukan pada media cair, pasta, dan solid.

2.6.2. Aplikasi Hidrogel

Hidrogel memiliki banyak manfaat di berbagai sektor, beberapa di antaranya; pertanian, kedokteran, dan farmasi. Dalam bidang pertanian, hidrogel digunakan untuk memperbaiki sifat fisik tanah dengan meningkatkan efisiensi penggunaan air, kapasitas menahan air, mengurangi pemadatan, mengurangi frekuensi irigasi, dan menghentikan erosi pertanian. Hidrogel juga dapat digunakan sebagai pupuk yang mampu memberikan nutrisi tanaman seperti fosfor, nitrogen, seng, dan kalium (Neethu *et al.*, 2018).

Bidang kedokteran memanfaatkan hidrogel karena dapat meniru perilaku organ manusia sebagai respons terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti pH, suhu, enzim, dan medan listrik yang ditemukan dalam aplikasi implan medis (Ullah *et al.*, 2015). Hidrogel juga dapat digunakan dalam formula hidrogel balutan luka. Hidrogel mempunyai sifat melembabkan permukaan kulit, menyerap cairan biologis maupun eksudat, menjaga permukaan kulit tetap bersih dan menghindarkan kulit dari paparan luar. Hidrogel mampu mengikat cairan

dengan baik karena adanya ikatan silang, menyebabkan hidrogel dapat menyerap eksudat dari luka (Rahayuningdyah dkk., 2020).

2.7. Karakterisasi Selulosa, Nanoselulosa, dan Hidrogel

2.7.1. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan metode untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi dan ukuran partikel dari nanokristal. Selain itu, spektroskopi difraksi sinar-X sangat berguna dalam mempelajari struktur kristal, komposisi kimia, dan sifat sifat fisika dari nanomaterial (Sharma *et al.*, 2012). Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Ketika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor, kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi sangat tinggi akibat panjang gelombangnya yang pendek. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,5-2,0 mikron. Sinar ini dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi (Putama Mursal, 2018).

2.7.2. Particle Size Analyzer (PSA)

Particle Size Analyzer (PSA) merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel berukuran nanometer. Prinsip pengukuran alat PSA ini berdasarkan pada hamburan cahaya laser oleh partikel-partikel dalam sampel. Cahaya yang berasal dari laser dipancarkan melalui

pinhole (jarum kecil), kemudian dikirim ke partikel dalam sampel. Partikel-partikel dalam sampel menghamburkan kembali cahayanya melalui *pinhole* dan masuk ke detektor. Sinyal analog yang terdeteksi diubah menjadi sinyal digital yang kemudian diolah menjadi deret hitung (Nuraeni dkk., 2013).

2.7.3. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Spektrofotometer FTIR adalah alat yang digunakan untuk analisis berdasarkan pengukuran intensitas infra merah terhadap panjang gelombang dan untuk mendeteksi karakteristik vibrasi kelompok fungsi dari senyawa pada sampel. Instrumen ini menggunakan sinar inframerah sumber cahaya berupa benda hitam untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam sampel dengan. Cara kerjanya, yaitu sampel dipindai oleh sinar inframerah hingga menembus sampel, lalu ditangkap oleh detektor. Hasil yang keluar diolah oleh komputer, sehingga memperlihatkan spektrum sampel. Sumber radiasi ini selanjutnya dimodulasikan dengan interferometer. Informasi dari spektra inframerah memungkinkan dapat mendeteksi banyak spesies kimia dalam satu kali pengukuran. Keunggulan FTIR, yaitu sebagai teknologi pencitraan yang cepat dan sampel yang akan dianalisis tidak memerlukan pelabelan, misalnya tambahan bahan pewarna. FTIR banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti biomedis, biologi, penyembuhan luka ataupun pengobatan. FTIR juga banyak digunakan dalam proses karakterisasi hidrogel (Wibisono, 2017).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2022 hingga Juni 2023 di Laboratorium Biokimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Analisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis dilakukan di Laboratorium Biokimia FMIPA Universitas Lampung dan analisis menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) dilakukan di Universitas Negeri Padang (UNP). Analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjadjaran, sedangkan analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang terlibat di dalam penelitian ini, yaitu Erlenmeyer, gelas beaker berbagai volume, bunsen, tabung reaksi, rak tabung, spatula, labu ukur berbagai volume, pipet tetes, neraca analitik, jarum ose, cawan petri, mikropipet, corong gelas, pH meter, sentrifus, tabung sentrifus, tabung eppendorf, spinbar, gunting, *hot plate*, buret, statif, pipet volume, *magnetic stirrer*, *water bath*, *laminar air flow* (LAF), oven, autoklaf, inkubator, lemari pendingin, labu leher tiga, kondensor, *shaker*, *vortex*, ultrasonikator, pengaduk kaca, *blender*, kantung teh, statif dan klem, buret, Spektrofotometer Uv-Vis Cary 100, PANalytical *X-Ray Diffractometer* (XRD), *vacuum freeze dryer*, Beckman Coulter LS 13 320 *Particle*

Size Analyzer (PSA), dan Cary 630 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Adapun bahan-bahan yang digunakan, yaitu tepung bromelin nanas; media ISP-2, media YMB, kandistatin, ampisilin, kalsium karbonat, larutan *3,5-dinitrosalicylic* (DNS), NaCl, xilan *birchwood*, *congo-red*, spiritus, alkohol, asam sulfat (H_2SO_4) 5 M, Na_2CO_3 , aseton, metanol, etanol, akuades, larutan buffer NaH_2PO_4 0,2 N pH 7,0, ammonium persulfat (APS), akrilamida (Aam), metilen bis-akrilamida (MBA), kertas saring, kapas, kasa, asam askorbat, larutan iod standar, dan indikator amilum 1%.

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Preparasi Sampel

Limbah bromelin nanas yang diperoleh dari PT Great Giant Pineapple dijemur dengan pancaran matahari langsung selama 4 jam. Selanjutnya, limbah bromelin nanas yang sudah kering dihaluskan dengan *blender* menjadi tepung limbah bromelin nanas. Proses preparasi diakhiri dengan mengayak tepung menggunakan ayakan 60 mesh (250 μm) dan disimpan dalam wadah tertutup.

3.3.2. Analisis Komponen Limbah Bromelin Nanas dengan Metode TAPPI

3.3.2.1. Hidrolisis asam

Sebanyak 300 mg tepung limbah bromelin nanas ditimbang dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 50 mL, kemudian ditambahkan 7 mL asam sulfat (H_2SO_4) 72%. Erlenmeyer ditutup dengan *aluminium foil* dan diaduk menggunakan *stirrer* selama 1 jam 30 menit. Selanjutnya, campuran dipindahkan ke Erlenmeyer 300 mL dan ditambahkan 199 mL akuades hingga asam menjadi 4%. Lalu, dipanaskan dalam autoklaf selama 1 jam pada 121 °C dan 1 atm. Hasil dari

proses tersebut berupa filtrat (lignin larut) dan endapan (lignin tidak larut). Pemisahan filtrat dan endapan melalui penyaringan dilakukan memakai kertas saring yang telah ditimbang. Selanjutnya, pencucian endapan menggunakan 50 mL akuades dilakukan untuk melarutkan zat lain yang larut dalam air.

3.3.2.2. Analisis lignin tidak larut asam (*insoluble lignin*)

Pengeringan dalam oven hingga berat konstan dilakukan terhadap endapan pada kertas saring yang telah dicuci, kira-kira selama 4 jam. Kertas saring didinginkan pada suhu ruang, lalu ditimbang dan dicatat. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung jumlah lignin tidak larut asam.

$$\text{Lignin tidak larut asam} = \frac{\text{Berat endapan akhir hidrolisis}}{\text{Berat awal sampel}} \times 100\% \quad (1)$$

3.3.2.3. Analisis lignin larut asam (*soluble lignin*)

Absorbansi filtrat hasil hidrolisis diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 240 nm. Sampel diencerkan dengan akuades untuk memberikan nilai absorbansi yang berkisar antara 0,7-1,0. Jumlah asam larut lignin (LLA) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 dan 3.

$$\% \text{LLA} = \frac{\text{UVabs} \times \text{Vfiltrat} \times \text{Pengenceran}}{\epsilon \times \text{ODW}_{\text{sampel}} \times \text{lebar kuvet}} \times 10 \quad (2)$$

$$\text{Pengenceran} = \frac{\text{Vsampel} + \text{Vpelarut}}{\text{Vsampel}} \quad (3)$$

Keterangan:

LLA adalah lignin larut asam (%) dan volume filtrat merupakan filtrat hasil hidrolisis (mL). Sedangkan ϵ adalah absorptivitas biomassa, ODW sampel sebagai berat sampel (mg), dan lebar kuvet yang dipakai adalah 1 cm.

3.3.2.4. Analisis karbohidrat total

Kalsium karbonat digunakan sebagai penetral filtrat hasil hidrolisis hingga pH 5 di dalam gelas kimia 100 mL. Secara perlahan, kalsium karbonat ditambahkan ke dalam filtrat dan diaduk menggunakan pengaduk magnet. Penambahan dihentikan ketika mencapai nilai pH 5-6, kemudian sampel dibiarkan sampai mengendap. Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menganalisis cairan yang terpisah di atas endapan pada panjang gelombang 540 nm dengan mereaksikan sampel dan reagen DNS, kemudian diinkubasi selama 15 menit.

3.3.3. Penapisan Isolat *Actinomyces*

Kemampuan xilanolitik isolat *Actinomyces* diuji dengan menumbuhkan isolat *Actinomyces* terpilih yang ditandai dengan zona bening terbesar dalam media ISP-2 yang ditambahkan dengan 0,5 g xilan kayu *birchwood*. Media disteril dalam autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit, kemudian dituangkan ke dalam cawan petri. Setelah itu, isolat murni ditotolkankan pada media yang telah disiapkan dan diinkubasi pada suhu 37 °C selama 5-7 hari. Setelah inkubasi, media pertumbuhan bakteri dicuci dengan reagen *Congo red* dan dibilas menggunakan NaCl 1%. Zona bening muncul di sekitar koloni jika isolat memiliki kemampuan xilanolitik. Laju xilanolitik dapat diukur dengan menggunakan Persamaan 4.

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

Keterangan:

A: Diameter zona bening (mm)

B: Diameter koloni (mm)

3.3.4. *Bio-Pretreatment* Limbah Bromelin Nanas

Pretreatment biologi memanfaatkan isolat *Actinomycetes* terpilih dengan aktivitas xilanolitik tertinggi yang dapat menghidrolisis hemiselulosa. *Pretreatment* dilakukan dengan menghidrolisis 3% tepung bromelin nanas pada media 50 mL *Yeast Malt Broth* (YMB) yang mengandung komposisi media dekstrosa 0,4%, ekstrak malt 1%, ekstrak ragi 0,4% selama 9 hari pada 120 rpm. pH awal media diatur menggunakan buffer 0,2 N Na₂HPO₄-NaH₂PO, pH 7,0.

3.3.5. Pemurnian Selulosa

Pencucian dilakukan terhadap selulosa yang terbentuk dari hasil *pretreatment* dengan menggunakan akuades supaya sisa-sisa sel bakteri dari matriks selulosa hilang. Kemudian, proses dekantasi dilakukan dengan menggunakan kertas saring.

3.3.6. Penentuan Indeks Kristalinitas

Substrat *pretreated* limbah bromelin nanas yang menghasilkan kadar glukosa tertinggi setelah dihidrolisis menggunakan isolat *Actinomycetes* terpilih pada waktu optimum dan limbah bromelin tanpa *pretreatment* dianalisis menggunakan PANalytical X'Pert *Multipurpose Diffractometer* dengan radiasi Cu-K α . Detektor X'Celerator digunakan untuk mengumpulkan data pada rentang sudut 5-60 °/2 θ . Pemilihan tegangan berada pada 40 kV dengan arus sebesar 30 mA. Indeks kristalinitas selulosa dapat dihitung dengan metode empiris yang ditunjukkan dalam Persamaan 5.

$$\%CrI = \frac{\text{Area fase kristalin}}{\text{Area total fase kristalin dan amorf}} \times 100\% \quad (5)$$

3.3.7. Pembuatan Nanoselulosa

3.3.7.1. Hidrolisis asam

Sebanyak 200 mL H₂SO₄ 5 M dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 500 mL, lalu dipanaskan di atas *hot plate stirrer* dan diaduk hingga suhunya 45 °C. Kemudian, 10 g serbuk selulosa ditambahkan untuk dihidrolisis selama 60 menit pada suhu 45 °C. Sentrifugasi dilakukan selama 10 menit setelah suspensi terbentuk dengan kecepatan 10.000 rpm, lalu didekantasi. Selanjutnya, ditambahkan sedikit akuades pada endapan yang diperoleh dan didekantasi. Lalu, ditambahkan akuades dan Na₂CO₃ 5% b/v sehingga diperoleh pH 7 pada pH indikator.

3.3.7.2. Sonikasi

Akuades ditambahkan ke endapan yang telah dinetralkan hingga terbentuk suspensi dengan konsentrasi 5%. Selama 60 menit suspensi yang terbentuk disonikasi pada daya 1500 W dan frekuensi 40 kHz. Selanjutnya, selama 10 menit disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm, lalu didekantasi. Kemudian, endapan hasil sentrifugasi dikeringkan menggunakan *vacuum freeze dryer*. Setelah itu, endapan diuji menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran partikel nanoselulosa yang terbentuk.

3.3.8. Sintesis Hidrogel

Sebanyak 2 g nanoselulosa kering dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan kondensor, termometer, dan batang pengaduk. Lalu, ditambahkan 60 mL akuades hingga membentuk bubur dan panaskan pada suhu 95 °C selama 30 menit. Suhu diturunkan sampai 60 °C setelah 30 menit dan 0,1 g amonium persulfat ditambahkan, dilanjutkan dengan pengadukan selama 15 menit. Setelahnya, tambahkan campuran 10 g monomer akrilamida dan 10 mg penaut ikatan silang metilen bis-akrilamida yang dilarutkan dalam 80 mL akuades. Secara bertahap, suhu dinaikan hingga 70 °C selama 3 jam. Metanol

dan etanol digunakan untuk mengendapkan produk yang diperoleh. Selanjutnya, campuran tersebut direfluks selama 1 jam menggunakan aseton. Kemudian, keringkan padatan yang didapat dalam oven pada suhu 60 °C.

3.3.9. Karakterisasi Hidrogel

3.3.9.1. Kemampuan pembengkakan

Sebanyak 1 g (W_0) sampel hidrogel kering direndam dalam 40 mL akuades pada suhu kamar selama 24 jam. Selanjutnya, hidrogel dipisahkan dari air yang tersisa menggunakan saringan 100 mesh, lalu ditimbang berat konstannya (W_t).

Kemudian, hitung *swelling ration*nya menggunakan persamaan 6.

$$SR = \frac{w_t - w_0}{w_0} \times 100\% \quad (6)$$

3.3.9.2. Karakterisasi FTIR

Sampel hidrogel kering dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada hidrogel. Kemudian, dibandingkan dengan sampel nanoselulosa sebelum sintesis untuk melihat perbedaan gugus fungsi antara keduanya. Hasil analisis berupa sinyal kromatogram antara hubungan persentase transmittan terhadap panjang gelombang.

3.3.9.3. Kemampuan hidrogel menyerap vitamin C

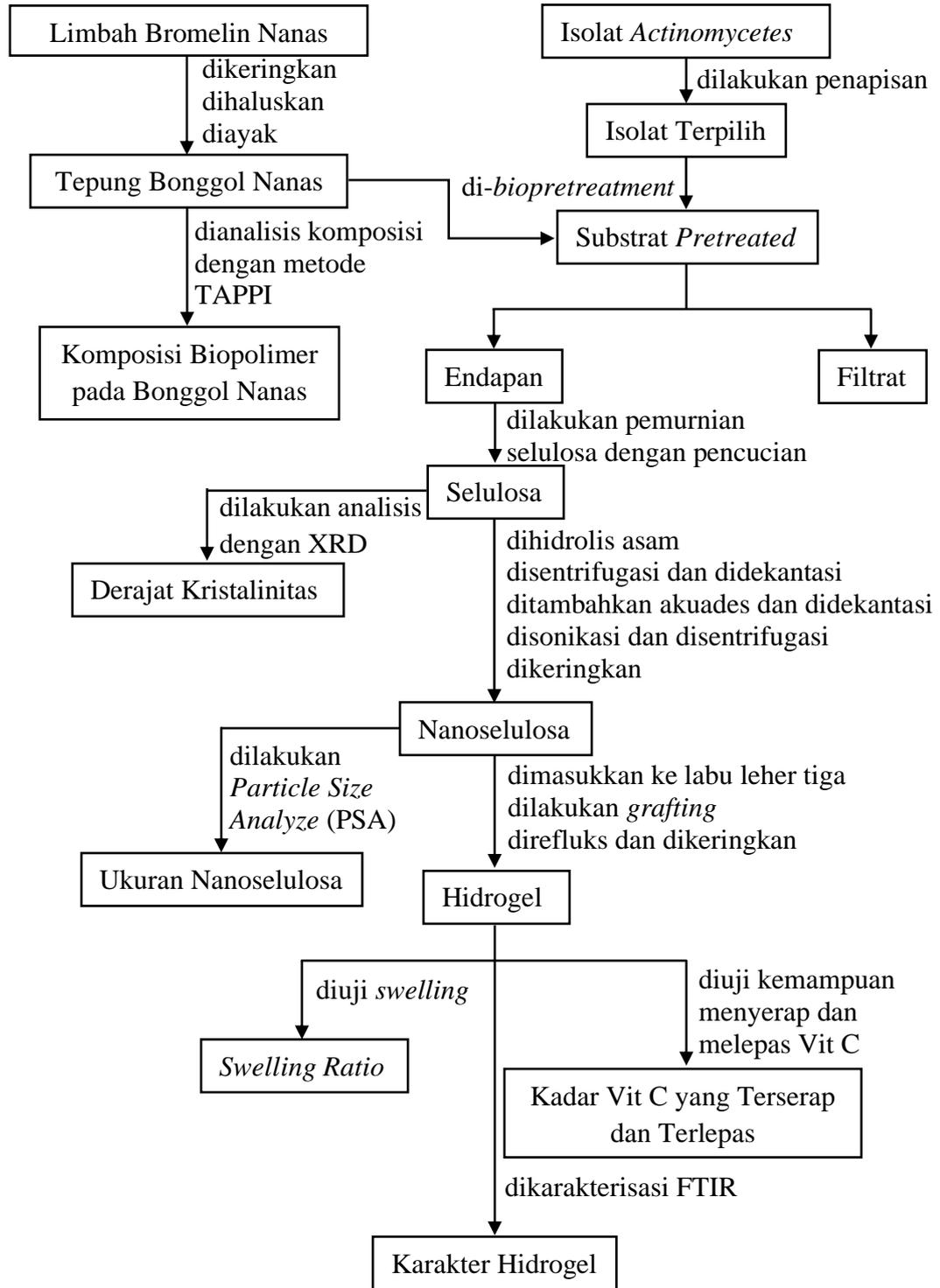
Hidrogel kering direndam dalam 15 mL larutan vitamin C 100 mg/L, lalu dilakukan variasi waktu secara berturut-turut selama 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Kemudian, vitamin C yang terserap dalam hidrogel dilepaskan melalui perendaman dalam akuades selama 72 jam. Selanjutnya, dititrasikan dengan larutan standar iod (I_2) dengan indikator amilum 1%. Proses diakhiri dengan menghitung kadar vitamin C % (b/b) melalui persamaan 18.

3.3.9.4. Kemampuan hidrogel melepas vitamin C

Pelepasan dilakukan dengan metode difusi dimana hidrogel yang telah menyerap vitamin C sebelumnya direndam dalam akuades 25 mL. Waktu pelepasan dihitung menggunakan hidrogel dengan waktu penyerapan optimum, perubahan kadar vitamin C dalam larutan diamati setelah 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam. Kemudian, masing-masing disaring dan diukur kadar vitamin C yang dilepaskan melalui titrasi iodimetri.

3.4. Diagram Alir

Gambar berikut adalah diagram alir dari prosedur penelitian ini.



Gambar 4. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

1. Komposisi limbah bromelin nanas yang telah dianalisis dengan metode TAPPI didapatkan jumlah karbohidrat total sebesar 50,21% dan total lignin sebesar 39,16%.
2. Isolat ActM-12 memiliki kemampuan xilanolitik dengan indeks aktivitas sebesar 2,50. Kemampuan enzim xilanase pada isolat tersebut membantu degradasi hemiselulosa sehingga selulosa dapat diisolasi dan dimanfaatkan dalam produksi nanoselulosa.
3. Partikel selulosa mengalami peningkatan luas permukaan setelah dilakukan hidrolisis dan sonikasi, dengan perolehan ukuran menjadi 1.235 nm.
4. Hasil analisis FTIR membuktikan proses kopolimerisasi dalam sintesis hidrogel berhasil, ditandai dengan terbentuknya gugus baru berupa gugus N-H dan gugus C=O. Hidrogel kering yang diperoleh sebanyak 13,242 g dengan kemampuan menyerap air sebesar 22,75 g/g dan persentase pembengkakan sebesar 2.275%.
5. Penyerapan vitamin C oleh hidrogel optimal pada 24 jam dengan perolehan kadar vitamin C sebesar 19,87 mg/g. Kemudian, hidrogel memiliki kemampuan melepaskan vitamin C yang terperangkap dalam jaringan, dengan pola pelepasan yang terus meningkat. Vitamin C yang terlepas pada jam ke-6 sebesar 14,89 mg/g, bertambah 1,71 mg/g pada jam ke-12, lalu menjadi sebesar 18,92 mg/g pada jam ke-18, dan setelah 24 jam terlepas sebanyak 19,31 mg/g.

5.2. Saran

Penelitian ini telah menghasilkan nanokomposit hidrogel dengan memanfaatkan nanoselulosa dari limbah bromelin nanas sebagai material utama. Terjadi peningkatan kristalinitas pada selulosa setelah melalui tahap hidrolisis dengan asam. Namun, disarankan untuk penelitian selanjutnya agar dapat melakukan proses sonikasi dengan daya yang lebih besar dan meningkatkan durasi waktu sonikasi untuk mendapatkan ukuran partikel berupa nano yang lebih kecil. Perubahan ukuran menjadi nanopartikel juga dapat dilakukan secara fisika melalui metode *Top-Down* yang tidak mengubah sifat bahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, S. H. 2012. Nanotechnology for Agriculture: Application of Hydrogel for Irrigation Efficiency. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 6(1): 1-8.
- Ali A., Abdallah D. M., André D., Jean-Louis T., and Riad B. 2020. Physical and Chemical Characteristics of Rice Straw. *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 17: 115-121.
- Antika, R. A. 2021. *Pembuatan Mikrokomposit Hidrogel Berbahan Dasar Limbah Onggok Singkong dari Residu Fraksi Selulosa*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Anwar, B., Nurkomarasari, R., dan Yayan S. 2021. Pengaruh Crosslinker N,N'-Methylenbisakrilamida (MBA) terhadap Kinerja Kopolimer Superabsorben Selulosa Bakterial Nata de Soya - Asam Akrilat yang disintesis menggunakan Radiasi Microwave. *Chemica Isola*. 1(1): 1-8.
- BPS Lampung. 2020. *Produksi Buah-buahan Tahun 2020*. Badan Pusat Statistik. Lampung.
- Borjesson, M., and Westman, G. 2015. *Crystalline Nanocellulose – Preparation, Modification, and Properties*. Department of Chemistry and Chemical Engineering. Gothenburg.
- Chang, C. and Zhang, L. 2011. Cellulose-Based Hydrogels: Present Status and Application Prospects. *Carbohydrate Polymers*. 84(1): 40-53.
- Daquioag, J. E. L., and Penuliar, G. M. 2021. Isolation of Actinomycetes with Cellulolytic and Antimicrobial Activities from Soils Collected from An Urban Green Space in the Philippines. *International Journal of Microbiology*. 2(1): 2-14.
- Favier, V., Chanzy, H., and Cavaille, J. Y. 1995. Polymer Nanocomposites Reinforced by Cellulose Whiskers. *Macromolecules*. 28(18): 6365-6367.
- Gulrez, S. K. H. , Al-Assaf, S., and Phillips, G. 2011. *Methods of Preparation, Characterisation and Applications in Molecular and Environmental*

Bioengineering. Carpi, A. In Tech 646.

- Hamid, A. S. B., Chowdhury, Z. Z., Karim, M. Z., and Ali, M. E. 2016. Catalytic Isolation and Physicochemical Properties of Nanocrystalline Cellulose (NCC) Using HCl-FeCl₃ System Combined with Ultrasonication. *Bio-Resources*. 11(2): 3840-3855.
- Hamzah, A. F. A., Hamzah, M. H., Man, H. C., H., Jamali, Nur S., Siajam, S. I., and M. Heikal I. 2021. Recent Updates on The Conversion of Pineapple Waste (*Ananas comosus*) to Value-Added Products, Future Perspectives and Challenges. *Agronomy*. 11(221): 2-27.
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T. C., dan Suparno, O. 2010. Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Litbang Pertanian*. 29(4): 121-130.
- Huang, C., Xu, C., Meng, X., Wang, L., and Zhou, X. 2022. Isolation, Modification, and Characterization of the Constituents (Cellulose, Hemicellulose, Lignin, et al.) in Biomass and Their Bio-Based Applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 10(5): 1-4.
- Ioelovich, M. 2012. Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology*. 2(2): 9-13.
- Isikgor, F. H., and Becer, C. R. 2015. Lignocellulosic Biomass: a Sustainable Platform for The Production of Bio-Based Chemicals and Polymers. *Polymer Chemistry*. 6(25): 4497-4559.
- Jo, W. S., Park, H. N., Cho, D. H., Yoo, Y. B., and Park, S. C. 2011. Optimal media conditions for the detection of extracellular cellulase activity in *Ganoderma neo-japonicum*. *Mycobiology*. 39(2): 129-132.
- Khasanah, I. S. 2013. *Sintesis Selulosa- G -Poliakrilamida melalui Teknik Kopolimerisasi Cangkok dan Taut- Silang*. IPB. Bogor
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., and Stroeve, P. 2009. Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 48(8): 3713-3729.
- Kunzler, J.F. 2003. *Hydrogels: Encyclopedia of Polymer Science*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Kurniati, D. I., Ardiningsih, P., dan Nofiani, R. 2019. Isolasi dan Aktivitas Antibakteri *Actinomyces* Berasosiasi dengan Koral. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 8(2): 46-51.

- Li, W., Yue, J., and Liu, S. 2012. Preparation of Nanocrystalline Cellulose Via Ultrasound and Its Reinforcement Capability for Poly(Vinyl Alcohol) Composites. *Ultrasonics Sonochemistry*. 19(3): 479-485.
- Malek, N. A., Jalal, A., Chowdhury, K., and Zainuddin, Z. 2014. *Selective Isolation of Actinomycetes from Mangrove Forest of Pahang*. Malaysia.
- Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., and Jeff, Y. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties, and Nanocomposites. In *Chemical Society Reviews*. 40(7): 3941-3994.
- Neethu, T. M., Dubey, P. K., and Kaswala, A. R. 2018. Prospects and Applications of Hydrogel Technology in Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(5): 3155-3162.
- Ningtyas, K. Rimadhanti, Muslihudin, M., dan Sari, I. N. 2020. Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 20(2): 142-147.
- Nuraeni, W., Daruwati, I., W, E. M., dan Sriyani, M. E. 2013. Verifikasi Kinerja Alat *Particle Size Analyzer* (PSA) Horiba Lb-550 untuk Penentuan Distribusi Ukuran Nanopartikel. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. 268-269.
- Nur, H. S., Meryandini, A., dan Hamim. 2009. Pemanfaatan Bakteri Selulolitik dan Xilanolitik yang Potensial untuk Dekomposisi Jerami Padi. *Journal of Tropical Soils*. 14(1): 71-80.
- Nurminabari, I. S. 2019. Pengaruh Konsentrasi Penstabil dan Sukrosa Terhadap Karakteristik Sari Bonggol Nanas (*Ananas Comosus* L. Merr) Instan dengan Metode Kokristalisasi. *Pasundan Food Technology Journal*. 6(2): 95.
- Oke, I. 2010. Nanoscience in Nature: Cellulose Nanocrystals. *SURG Journal*. 3(2): 77-80.
- Ostrowska-Czubenko, J., and Gierszewska-Drużyńska, M. 2009. Effect of Ionic Crosslinking on The Water State in Hydrogel Chitosan Membranes. *Carbohydrate Polymers*. 77(3): 590-598.
- Pardo, M. E. S., Cassellis, M. E. R., Escobedo, R. M., and García, E. J. 2014. Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. 3(2): 53-56.
- Pérez, J., Muñoz-Dorado, J., De La Rubia, T., and Martínez, J. 2002. Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose and Lignin: An overview. *International Microbiology*. 5(2): 53-63.

- Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., and Guan, G. 2018. Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*. 1(1): 32–43.
- Purba, F., Suparno, O., Suryani, A., dan Is Fatimah. 2018. Hidrolisat Kolagen dari Limbah Padat Kulit Samak sebagai *Coating Superabsorbent* pada Pupuk Lambat-Urai. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 28(1): 82-93.
- Putama Mursal, I. L. 2018. Karakterisasi XRD dan SEM pada Material Nanopartikel serta Peran Material Nanopartikel dalam *Drug Delivery System*. *Pharma Xplore: Jurnal Ilmiah Farmasi*. 3(2): 214-221.
- Rahayuningdyah, D. Wuragil, Lyrawati, D., dan Widodo, F. 2020. Pengembangan Formula Hidrogel Balutan Luka Menggunakan Kombinasi Polimer Galaktomanan dan PVP. *Pharmaceutical Journal of Indonesia*. 5(02): 117-122.
- Rismanto, Ngangi, J., dan Moko, E. 2020. Analisis Komponen Serat Jerami Padi Menggunakan Pretreatment secara Biologis dan Kimiawi. *Nukleus Biosains*. 1(1): 26-30.
- Sani, A. M., Musa H., M.B., Ibrahim, S.A. Isah, and M. Abubakar. 2022. Synthesis and Characterization of Cellulose-Poly (Acrylamide-CoAcrylic Acid) Graft Copolymer Hydrogel from Rice Straw. *International Journal of Science for Global Sustainability Fugusau*. 8 (1): 62-73.
- Saini, A., Aggarwal, N. K., Sharma, A., and Yadav, A. 2015. Actinomycetes: A Source of Lignocellulolytic Enzymes. *Enzyme Research*. 2015: 2-15.
- Sannino, A., Demitri, C., and Madaghiele, M. 2009. Biodegradable Cellulose-Based Hydrogels: Design and Applications. *Materials*. 2(2): 353-373.
- Satria, H. dan Nurhasanah. 2010. Substrat Limbah Jerami Padi. *Jurnal Sains MIPA*. 16(3): 135-142.
- Schacht, C, Carsten Zedzl, and G. B. 2008. From Plant Materials to Ethanol by Means of Supercritical Fluid Technology. *The Journal of Supercritical Fluids*. 46(3): 299-321.
- Seprianto. 2017. Isolasi dan Penapisan Bakteri Selulolitik dari Berbagai Jenis sebagai Penghasil Enzim Selulase. *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*. 1(2): 64-70.
- Sharma, R., Bisen, D. P., Shukla, U., and Sharma, B. G. 2012. X-ray diffraction: A Powerful Method of Characterizing Nanomaterials. *Recent Research in Science and Technology*. 4(8): 77-79.

- Silaban, I. dan Rahmanisa, S. 2016. Pengaruh Enzim Bromelin Buah Nanas (*Ananas comosus* L.) terhadap Awal Kehamilan. *Majority*. 5(4): 80-85.
- Singh, Y. D. and Satapathy, K. B. 2018. Conversion of Lignocellulosic Biomass to Bioethanol: An Overview with a Focus on Pretreatment. *International Journal of Engineering and Technologies*. 15: 17-43.
- Suryadi, H., Judono, J. J., Putri, M. R., Ecclesia, A. D., Ulhaq, J. M., Agustina, D. N., and Sumiati, T. 2022. Biodelignification of Lignocellulose Using Ligninolytic Enzymes from White-Rot Fungi. *Heliyon*. 8(2): 08865.
- Sutini, S., Widihastuty, Y. R., dan Murdowo, M. R. 2021. Optimasi Produksi Fermentable Sugar dengan Hidrolisis Enzimatis Limbah Daun Nanas (*Ananas comosus* [L] Merr) sebagai Bahan Baku Biofuel Ramah Lingkungan. *Proceedings National*. 119-123.
- Tuti, W. A., Darwis, W., Wibowo, R. H., dan Sipriyadi. 2019. Potensi Bakteri Xilanase Asal Serasa hutan Mangrove Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Prosiding Semirata BKS PTN Wilayah Barat Bidang MIPA*. 867-872.
- Ullah, F., Othman, M. B. H., Javed, F., Ahmad, Z., and Akil, H. M. 2015. Classification, Processing and Application of Hydrogels: A Review. *Materials Science and Engineering*. 1(57): 414-433.
- Utarti, E., Suwanto, A., Suhartono, M. T., dan Meryandini, A. 2020. Identifikasi Aktinomiset Selulolitik dan Xilanolitik Indigenous. *Berkala Sainstek*. 8(1): 1-5.
- Valli, S., Sugasini, S. S., Aysha, O. S., Nirmala, P., Vinoth Kumar, P., and Reena, A. 2012. Antimicrobial Potential of *Actinomycetes* Species Isolated from Marine Environment. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2(6): 469-473.
- Vanholme R., Demedts B., Morreel K., Ralph J., and Boerjan W. 2010. Lignin Biosynthesis And Structure. *Plant Physiol*. 153(3): 895-905.
- Walker, G. M. 2012. *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. University of Abertay Dundee. Dundee.
- Wibisono, Y. 2017. *Biomaterial dan Bioproduk*. UB Press. Malang.
- Widiastuti, E. dan Marlina, A. 2020. Studi Awal Pembuatan Nano Serat Selulosa Alang-Alang (*Imperata cylindrica* (L.) Beauv.) sebagai Bahan Pengikat Komposit. *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar, Bandung* (26-27 Agustus 2020). 682-686.

Yahia, L. 2015. History *and* Applications of Hydrogels. *Journal of Biomedical Sciences*. 4(2): 1-23.

Zohuriaan-Mehr, M. J., *and* Kabiri, K. 2008. Superabsorbent Polymer Materials: A Review. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*. 17(6): 451-477.