

**BIOKONVERSI SELULOSA PADA AMPAS TEBU (*Bagasse*) MENJADI
NANOKOMPOSIT HIDROGEL DENGAN MEMANFAATKAN ENZIM
HIDROLITIK DARI *INDIGENOUS COMPOSTING Actinomyces***

(Skripsi)

Oleh

OLIVIA NOVIANTI



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

ABSTRAK

BIOKONVERSI SELULOSA PADA AMPAS TEBU (*Bagasse*) MENJADI NANOKOMPOSIT HIDROGEL DENGAN MEMANFAATKAN ENZIM HIDROLITIK DARI *INDIGENOUS COMPOSTING Actinomycetes*

Oleh

Olivia Novianti

Ampas tebu yang dihasilkan dari proses produksi pada industri gula, sangat melimpah di Indonesia. Ampas tebu merupakan biomassa berlignoselulosa yang memiliki kandungan yang terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang memiliki potensi sebagai bahan baku alternatif selulosa untuk dimanfaatkan menjadi produk berharga sebagai bahan sediaan obat. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk menambah alternatif pemanfaatan limbah ampas tebu dengan cara mengonversi ampas tebu menjadi produk nanokomposit selulosa. Penelitian ini dilakukan perlakuan awal terhadap ampas tebu dengan asam sulfat; *pretreatment* oleh isolat *Actinomycetes* terpilih; analisis *X-Ray Diffraction*(XRD) dan konversi selulosa menjadi nanokomposit hidrogel. Konversi dilakukan melalui metode pencangkakan dan penautan-silang nanokomposit selulosa menggunakan akrilamida sebagai monomer, ammonium persulfat sebagai inisiator, dan N,N-metilen-bis akrilamida sebagai pengikat silang. Hasil analisis komponen biomassa ampas tebu menunjukkan bahwa ampas tebu mengandung 28,44% lignin; 48,08% selulosa; dan 23,48% senyawa lainnya. Isolat *Actinomycetes* terpilih dengan kode Act-4 memiliki indeks xilanolitik sebesar 1,29 yang digunakan sebagai agen *bio-pretreatment*. Indeks kristalinitas dari ampas tebu setelah *pretreatment* sebesar 54,64%. Nanoselulosa yang dihasilkan untuk ukuran rata-rata yaitu sebesar 49,92 nm. Reaksi kopolimerisasi berupa nanokomposit hidrogel kemudian dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hidrogel mampu menyerap air mencapai 3022% pada suhu ruang. Hasil analisis FTIR dari hidrogel menunjukkan keberhasilan dari reaksi kopolimerisasi dibuktikan dengan terbentuknya puncak pada bilangan gelombang 1647 cm^{-1} yang merupakan gugus C=O. Hidrogel yang diinfuskan antibiotik amoksisilin mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* ATCC 25922 dan *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. Berdasarkan hasil penelitian ini disimpulkan bahwa nanokomposit hidrogel memiliki potensi untuk aplikasi sebagai bahan sediaan obat.

Kata kunci: Ampas tebu, *Pretreatment*, *Actinomycetes*, kopolimerisasi, nanokomposit hidrogel, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*

ABSTRACT

BIOCONVERSION OF CELLULOSE ON BAGASSE INTO HYDROGEL NANOCOMPOSITES BY UTILIZING HYDROLYTIC ENZYMES FROM INDIGENOUS COMPOSTING *Actinomycetes*

By

Olivia Novianti

Bagasse, produced from the sugar industry's production process, is abundant in Indonesia. Bagasse is a lignocellulosic biomass that contains hemicellulose, cellulose, and lignin, which has the potential as an alternative raw material for cellulose to be used as a valuable product as a medicinal preparation. This research aimed to add alternative utilization of bagasse waste by converting bagasse into cellulose nanocomposite products. In this research, pretreatment of bagasse with sulfuric acid was carried out; pretreatment by selected *Actinomycetes* isolates; X-Ray Diffraction (XRD) analysis and conversion of cellulose into hydrogel nanocomposites. The conversion was carried out by grafting and cross-linking cellulose nanocomposites using acrylamide as the monomer, ammonium persulfate as the initiator, and N, N-methylene-bisacrylamide as the crosslinker. The analysis of the components of bagasse biomass showed that bagasse contained 28.44% lignin, 48.08% cellulose, and 23.48% other compounds. Selected *Actinomycetes* isolates with the code Act-4 have a xylanolytic index of 1.29 which is used as a bio-pretreatment agent. The crystallinity index of bagasse after pretreatment was 54.64%. The resulting nanocellulose has an average size of 49.92 nm. The copolymerization reaction in the form of a hydrogel nanocomposite was then characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The hydrogel can absorb water up to 3022% at room temperature. The results of the FTIR analysis of the hydrogels indicated the success of the copolymerization reaction as evidenced by the formation of a peak at wave number 1647 cm⁻¹, which is the C=O group. The hydrogel infused with the antibiotic amoxicillin inhibited the growth of *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. Based on the results of this study, it concluded that hydrogel nanocomposites have the potential for application as medicinal preparations.

Keywords: Bagasse, Pretreatment, *Actinomycetes*, copolymerization, hydrogel nanocomposites, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*

**BIOKONVERSI SELULOSA PADA AMPAS TEBU (*Bagasse*) MENJADI
NANOKOMPOSIT HIDROGEL DENGAN MEMANFAATKAN ENZIM
HIDROLITIK DARI *INDIGENOUS COMPOSTING Actinomyces***

Oleh

Olivia Novianti

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 AMPAS
TEBU (BAGASSE) MENJADI NANOKOMPOSIT
HIDROGEL DENGAN MEMANFAATKAN
ENZIM HIDROLITIK DARI *INDIGENOUS*
*COMPOSTING Actinomyces***

Nama : **Olivia Novianti**

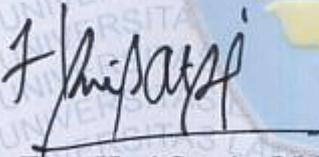
No Pokok Mahasiswa : **1817011051**

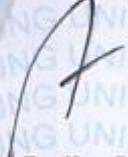
Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

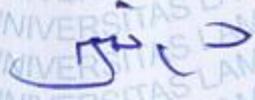


1. **Komisi Pembimbing**


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


Dra. Aspita Laila, M.S.
NIP. 196009091988112001

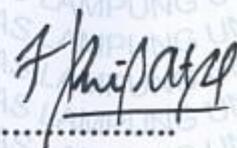
2. **Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung**


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

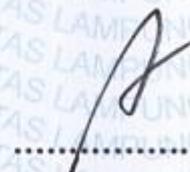
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

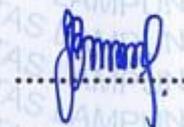
Ketua : **Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.**



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



Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.**

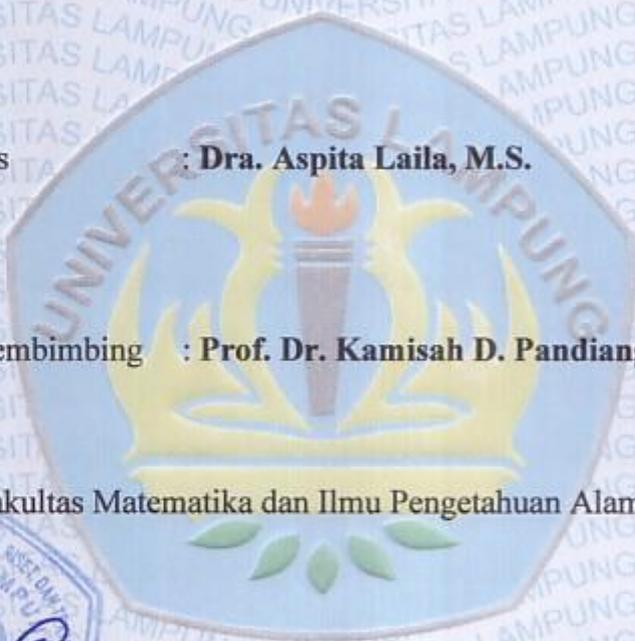


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Surtpto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 197407052000031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **18 Januari 2023**



**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Olivia Novianti
NPM : 1817011051
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“BIOKONVERSI SELULOSA PADA AMPAS TEBU (*Bagasse*) MENJADI NANOKOMPOSIT HIDROGEL DENGAN MEMANFAATKAN ENZIM HIDROLITIK DARI *INDIGENOUS COMPOSTING Actinomycetes*”** 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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 03 Februari 2023

Menyatakan,



Olivia Novianti

NPM. 1817011051

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Olivia Novianti, lahir di Way Halim pada tanggal 30 November 2000. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Hermanto dan Ibu (Almh) Inah pertiwi. Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Dasar selama 6 tahun di SDN 5 Kertosari dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2015 telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Tanjungsari dan pada tahun 2018 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Tanjung Bintang. Pada tahun 2018 penulis diterima sebagai mahasiswa jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP).

Selama menempuh pendidikan sebagai mahasiswa di Universitas Lampung, penulis aktif dalam kegiatan organisasi. Organisasi yang diikuti penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai anggota Bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO) pada periode 2019 dan periode 2020. Selain itu, penulis juga pernah menjadi anggota Sirkulasi dan Periklanan (Ruslan) pada periode 2019 dan Redaktur Media Cetak pada periode 2020 UKMF Pers Mahasiswa Natural Unila, pada periode 2021 penulis pernah menjadi anggota komisi III kelembagaan DPM FMIPA Unila. Pada tahun 2021, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Malangsari, Kec. Tanjungsari, Kab. Lampung Selatan, dan menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Pada tahun 2022 Penulis pernah menjadi asisten praktikum Biokimia Biologi. Kemudian sebagai bentuk aplikasi bidang ilmu di dunia kerja, penulis telah menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Biokonversi Selulosa Pada Ampas Tebu (*Bagasse*) Menjadi Nanokomposit Hidrogel Dengan Memanfaatkan Enzim Hidrolitik Dari *Indigenous Composting Actinomycetes*”.

MOTTO

“Dan hanya kepada tuhanmulah hendaknya kamu berharap.”

[Al-Insyirah:8]

“Apabila sesuatu yang kau senangi tidak terjadi, maka senangilah apa yang terjadi.”

[Ali Bin Abi Tholib]

“Percaya pada dirimu sendiri dan segala kemampuan sekecil apapun.”

[Kim Namjoon]

“Semua pengalaman yang kamu alami membuat kamu berkembang.”

[Jeon Jungkook]

“Kamu ga harus sempurna di mata semua orang cukup jadi versi terbaik dari dirimu sendiri.”

[Olivia Novianti]

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

Dengan mengucap *Alhamdulillah rabbil 'alamin* atas ridho Allah dengan segala rasa syukur kupersembahkan karya kecil ini kepada:

Keluargaku tercinta

Bapak Hermanto, (Almh.) Mamak Inah Pertiwi, Ibuk Suyati, dan Adik-adikku tercinta yang selalu mendoakan dan mendukung penulis.

Dengan rasa hormat kepada:

Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., Ibu Dra. Aspita Laila, M.S., dan Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si. serta seluruh dosen Kimia FMIPA Unila yang telah membimbing dan memberikan ilmu serta nasehatnya hingga penulis mencapai gelar sarjana.

Sahabat-sahabatku dan semua orang baik yang telah mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.

Almamater Universitas Lampung

Dan untuk diriku sendiri yang telah mampu melewati sampai di titik ini, kamu hebat.

SANWACANA

Alhamdulillah Segala puji bagi Allah SWT. Atas segala rahmat dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Biokonversi Selulosa Pada Ampas Tebu (*Bagasse*) Menjadi Nanokomposit Hidrogel Dengan Memanfaatkan Enzim Hidrolitik Dari *Indigenous Composting Actinomyces*”**. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada program studi Kimia FMIPA Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta saran dan kritik dari berbagai pihak yang terkait. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Hermanto dan kedua Ibuku tercinta, (Almh) Ibu Inah Pertiwi dan Ibu Suyati selaku orang tua serta Rani Arsih, Putri Abiyah, Herlina Cahaya Patrecya dan Kenichi Habibi Al Ghifari selaku adik penulis. Dan semua keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis. Semoga selalu diberikan nikmat sehat, nikmat iman dan dipanjangkan umurnya,. aamiin.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si selaku dosen pembimbing I, terimakasih atas segala bimbingan, motivasi, ilmu, dan saran yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga bapak selalu diberikan nikmat sehat dan nikmat iman dari Allah SWT. Serta dimudahkan segala urusannya, aamiin.
3. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S. selaku dosen Pembimbing II yang sudah banyak memberikan bimbingan, saran, motivasi, serta pengarahan dalam penyusunan skripsi ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Semoga ibu selalu diberikan diberikan nikmat sehat dan nikmat iman dari Allah SWT. Serta diberikan keberkahan dalam setiap langkahnya, aamiin.
4. Ibu Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si. selaku dosen Pembahas yang telah memberikan motivasi, kritik dan saran yang

membangun sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga ibu selalu diberikan nikmat sehat dan nikmat iman dari Allah SWT. Serta diberikan keberkahan dalam setiap langkahnya, aamiin.

5. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih telah memberikan bimbingan dan ilmu secara akademik maupun non akademik, motivasi, dan segala pengalaman kepada penulis selama perkuliahan.
7. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Teman satu bimbingan penelitian penulis, Muhamad Raifar Gunawan, dan Nafisah Nasution. Terimakasih untuk kebersamaannya, kerjasamanya serta bantuannya selama penelitian sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
9. Kakak tingkat satu bimbingan penelitian, Aisyah Tri Setyaningsih, S.Si., Renny Andrelia Antika, S.Si., dan Risma Handayani, S.Si., terimakasih atas ilmu dan saran yang diberikan kepada penulis selama mengerjakan penelitian ini.
10. Adik tingkat satu bimbingan penelitian, Marcella, Rara, Nabila dan Wira terimakasih atas dukungan dan kebersamaannya selama ini.
11. Sahabat-sahabat penulis, Ofriani Fatrika, Ramah Nia Faliha, Risna Milenia Widya Utami, Rista Anggi Pramudia, Nur Mayana Putri, Eka Candra Wati, terimakasih atas bantuan, kerjasama, motivasi, dan dukungan kepada penulis.
12. Teman-teman kimia angkatan 2018, terimakasih telah kebersamaai selama kurang lebih 4 tahun di Jurusan Kimia FMIPA Unila.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang sudah membantu dalam hal penelitian ataupun penyusunan skripsi ini, terima kasih.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan informasi, wawasan, dan ilmu yang bermanfaat. Semoga Allah SWT selalu memberi kita nikmat sehat, kelancaran, serta kemudahan dalam segala urusan, Aamiin.

Bandar Lampung, 03 Februari 2023

Penulis,

Olivia Novianti

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	5
1.3 Manfaat penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Ampas tebu	6
2.2 Lignoselulosa	7
2.2.1 Lignin	7
2.2.2 Hemiselulosa	8
2.2.3 Selulosa	9
2.3 <i>Actinomyces</i>	10
2.4 Enzim Xilanase	11
2.5 <i>Pretreatment</i> Bahan berlignoselulosa	11
2.6 Hidrolisis	12
2.6.1 Hidrolisis Asam	13
2.6.2 Hidrolisis Enzimatik	13
2.7 Nanoselulosa	14
2.8 Akrilamida	15
2.9 Hidrogel	17
2.9.1 Metode Pembuatan Hidrogel	18
2.9.1.1 Metode Polimerisasi Radikal Bebas	18

2.9.1.2 Metode Pengaitan Silang Secara Kimia.....	19
2.9.2 Aplikasi Hidrogel.....	19
2.10 Amoksisilin.....	19
2.11 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (X-RD).....	20
2.12 Analisis <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	21
2.13 Analisis <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	21
2.14 Sediaan obat.....	22
III. METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat.....	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Metode Penelitian	24
3.3.1 Preparasi Sampel	24
3.3.2 Analisis Komponen Ampas Tebu dengan Metode TAPPI.....	24
3.3.1.1 Hidrolisis dengan Asam.....	24
3.3.1.2 Analisis Lignin tidak Larut Asam (<i>Insoluble lignin</i>).....	24
3.3.1.3 Analisis Lignin Larut Asam (<i>Soluble Lignin</i>).....	25
3.3.1.4 Analisis Selulosa.....	25
3.3.3 Penapisan <i>Actinomyces</i>	26
3.3.4 <i>Pretreatment</i> Ampas Tebu.....	26
3.3.5 Pengukuran Indeks Kristalinitas	27
3.3.6 Pembuatan Nanoselulosa	27
3.3.6.1 Hidrolisis Parsial asam.....	27
3.3.6.2 Sonikasi.....	28
3.3.7 Pembuatan Hidrogel	28
3.3.8 Karakterisasi Hidrogel	28
3.3.8.1 Kemampuan pembengkakan.....	28
3.3.8.2 Analisis FTIR	29
3.3.8.3 Uji Penghambatan Pertumbuhan Bakteri	29
3.4 Diagram Alir.....	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31

4.1	Analisis metode TAPPI	31
4.2	Penapisan <i>Actinomyces</i>	33
4.3	<i>Pretreatment</i> Ampas Tebu.....	34
4.4	Pengukuran Indeks Kristalinitas	35
4.5	Pembuatan Nanoselulosa	36
4.6	Pembuatan Hidrogel	38
4.7	Karakterisasi Hidrogel	39
4.7.1	Kapasitas Penyerapan Air	39
4.7.2	Persentase Pembengkakan	39
4.7.3	Uji Penyerapan Amoksisilin	40
4.7.4	Karakterisasi Hidrogel dengan FTIR	40
4.7.5	Uji Penghambatan Pertumbuhan Bakteri.....	41
V. KESIMPULAN.....		45
5.1	Simpulan.....	45
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN		54

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Indeks aktivitas xilanolitik.....	34
2. Diameter zona hambat pertumbuhan bakteri <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i>	43
3. L1. Pengukuran kandungan lignin ampas tebu.....	56
4. L1.2. Data perhitungan kandungan selulosa ampas tebu	57
5. L2. Data indeks xilanolitik	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Lignin	8
2. Struktur Hemiselulosa	9
3. Struktur Selulosa	10
4. <i>Pretreatment</i> lignoselulosa	12
5. Rantai Selulosa	15
6. Mekanisme Produksi Nanoselulosa dengan Ultrasonikasi	15
7. Struktur Kimia Akrilamida	17
8. Diagram Alir	30
9. Persentase lignin dan selulosa ampas tebu	32
10. Hasil penapisan aktivitas xilanolitik isolat <i>Actinomyces</i> (a) Act-1, (b)Act-2, (c)Act-3, (d)Act-4, dan (e)Act-5	33
11. Biomassa ampas tebu tanpa <i>pretreatment</i> , dan setelah <i>pretreatment</i> secara biologi.	34
12. Grafik Pola difraksi ampas tebu sebelum dan sesudah dilakukan <i>pretreatment</i>	35
13. Grafik PSA dari selulosa yang telah dihidrolisis dan sonikasi	37
14. Spektrum FTIR	41
15. Penghambatan pertumbuhan bakteri terhadap (a) <i>E. Coli</i> ATCC 25922; P: bebas amoksisilin; Q: amoksisilin 600 μg ; R: amoksisilin 1200 μg , dan (b) <i>S. Aureus</i> ATCC 25923; X: bebas amoksisilin; Y: amoksisilin 600 μg ; Z: amoksisilin 1200 μg	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkebunan tebu di Indonesia memiliki luas areal sekitar 232 ribu hektar. Menurut Direktorat Jenderal Perkebunan luas perkebunan tebu di Provinsi Lampung pada tahun 2022 memiliki areal perkebunan tebu sekitar 130, 34 hektar. Sebagian besar hasil perkebunan tebu di Lampung diolah secara industri yang meliputi industri gula. Dari proses produksi di pabrik gula, akan dihasilkan limbah ampas tebu sebesar 90% dari total tebu yang diproses dan hasil gula yang dapat dimanfaatkan hanya sebanyak 5%. Sedangkan sisanya meliputi tetes tebu (*molase*) dan air. Banyak sisa produksi ampas tebu ini membuat sebagian masyarakat hanya memanfaatkannya sebagai pakan ternak, bahan baku pembuatan pupuk, *pulp*, *particle board*, dan untuk bahan bakar *boiler* di pabrik gula. Keterbatasan pengetahuan dan kurang pemahamnya masyarakat akan pemanfaatan limbah ampas tebu membuat nilai ekonomis dari limbah ampas tebu yang dihasilkan juga belum tinggi (Herawati dan Melani, 2018).

Ampas tebu dipilih sebagai bahan baku alternatif selulosa karena memiliki beberapa hal yaitu potensi dari limbah ampas tebu yang melimpah. Selain itu pemanfaatan yang belum maksimal dan ampas tebu merupakan biomassa berlignoselulosa yang memiliki kandungan yang terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin yang merupakan senyawa kompleks (Septiyani, 2011).

Bahan lignoselulosa merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Ketersediaannya yang cukup melimpah, terutama sebagai limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan, menjadikan bahan ini berpotensi sebagai salah satu sumber energi melalui proses konversi, baik proses fisika, kimia maupun biologis. Komponen utama dalam bahan lignoselulosa adalah lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Ketiganya

membentuk suatu ikatan kimia yang kompleks yang menjadi bahan dasar dinding sel tumbuhan (Hermiati dkk., 2010).

Lignin dapat membentuk ikatan kovalen dengan beberapa komponen hemiselulosa, seperti ikatan benzil ester dengan grup karboksil dari asam 4-Ometil-D-glukoronik dalam xilan. Ikatan eter yang lebih stabil, yang dikenal dengan nama *lignin carbohydrate complexes* (LCC) yang terbentuk antara lignin dengan grup arabinosa atau galaktosa dalam xilan atau manan karena itu lignin sangat sulit untuk didegradasi. Sehingga keberadaannya memberikan bentuk lignoselulosa yang kompleks dan menghambat degradasi selulosa oleh mikroba ataupun bahan kimia lainnya (Aguado *et al.*, 2006).

Hemiselulosa adalah komponen utama kedua (15-23%) penyusun lignoselulosa. Hemiselulosa merupakan karbon rantai lima C5 (pentosa) atau gula siklik rantai C5 (furanosa) (Girio *et al.*, 2010). Hemiselulosa memiliki fasa amorf dengan xilosa dan glukomanosa sebagai komponen utama penyusun polimer hemiselulosa. Sifat amorf dari hemiselulosa menjadikan proses dekomposisi dari hemiselulosa relatif lebih mudah daripada selulosa. Hemiselulosa mulai larut pada temperatur $>150^{\circ}\text{C}$. Proses dekomposisi hemiselulosa juga menghasilkan asam asetat dan asam glukoronik yang berperan sebagai sumber H^+ dalam proses dekomposisi metode hidrotermal dan beberapa asam organik lainnya yang hanya terbentuk sementara. Pada proses hidrotermal hemiselulosa adalah bagian yang terdekomposisi terlebih dahulu kemudian diikuti oleh lignin (Costa *et al.*, 2014).

Selulosa adalah salah satu polisakarida bahan organik alami yang banyak tersedia dan sangat melimpah. Banyaknya kandungan selulosa yang terdapat di alam dapat dimanfaatkan dan digunakan sebagai preparasi berbagai macam material baru. Beberapa turunan dari selulosa seperti karboksimetil selulosa (CMC) dengan gugus ($-\text{CH}_2\text{COOH}$) yang dapat terikat pada beberapa gugus hidroksil dari monomer glukopiranosida yang bersenyawa dengan batang tubuh selulosa. Ikatan ini memiliki potensi sebagai aplikasi polimer fungsional yang ramah lingkungan. Selulosa juga memiliki sifat yang dapat dibiodegradasi sehingga dapat digunakan sebagai sumber terbarukan. Dalam selulosa, polimer rantai panjang yang terikat bersama dengan dua ikatan hidrogen intramolekul. Dan satu ikatan hidrogen

intramolekul yang berinteraksi melalui interaksi *van der Waals*. Ikatan ini menyebabkan selulosa bersifat mikrofibril, selulosa memiliki bagian kristal yang besar yaitu 2/3 dari total selulosa dan sisanya berupa amorf. Karena hal inilah yang menyebabkan selulosa sulit untuk terlarut dan terdegradasi (Park *et al.*, 2010).

Actinomycetes adalah komponen mikrobiota kompos yang terkenal dan memainkan peran penting dalam habitat dimana dekomposisi bahan organik seperti lignoselulosa, pati, dan kitin, terjadi pada suhu tinggi dan dalam kondisi aerobik. *Actinomycetes* telah menyediakan banyak senyawa bioaktif yang penting secara industri. *Actinomycetes* telah lama dikenal sebagai penghasil enzim, antibiotik, agen anti kanker yang produktif dan berperan penting berperan dalam daur ulang bahan organik (Kumar *et al.*, 2016). *Actinomycetes* adalah bakteri yang memiliki kemampuan tinggi untuk menghasilkan enzim hidrolitik yang dapat diaplikasikan untuk mendegradasi biomassa lignoselulosa. Aktivitas xilanase dari isolat *Actinomycetes* dapat diketahui dengan melakukan skrining. Aktivitas enzim ini menggunakan media agar yang dilengkapi dengan 0,5 % xilan *birchwood* sebagai substrat. Produksi zona bening sekitar isolat pada media agar xilan dianggap sebagai indikasi aktivitas xilanase ekstraseluler (Putri *et al.*, 2019).

Enzim hidrolitik merupakan salah satu enzim potensial yang dapat diterapkan secara luas dalam industri berbasis lignoselulosa. Xilanase adalah enzim hidrolitik yang mempunyai komponen struktural utama dari dinding sel tumbuhan dan hemiselulosa yang paling terbarukan, terdiri dari 1, 4- dengan cabang yang mengandung L-arabinofuranosyl dan residu glukopiranosil. Xilanase dapat berperan dalam hidrolisis xilan (hemiselulosa) menjadi xilo-oligosakarida dan xilosa (Richana, 2002).

Hidrogel tergolong dalam polimer hidrofilik tiga dimensi dengan afinitas yang tinggi terhadap air. Keunggulan dari penggunaan hidrogel yaitu mudah digunakan, mudah dibersihkan, dalam hidrogel memiliki gaya antar molekul yang dapat mengurangi mobilitas molekul dan dapat menghasilkan viskositas yang bagus (Saputro dkk., 2021). Hidrogel sering dikenal dengan gel penyerap air. Hal ini karena hidrogel memiliki struktur hidrofilik yang mampu mengikat dan

dapat mempertahankan air namun tidak dapat larut dalam air. Kapasitas air yang dapat diserap oleh hidrogel mencapai 100 kali lipat dari berat keringnya (Zhang *et al.*, 2006). Banyaknya keunggulan dari hidrogel membuat semakin banyak yang mulai menggunakan hidrogel. Dan mulai berkembang aplikasi hidrogel di berbagai bidang terutama bidang farmasi dan kedokteran, hidrogel diaplikasikan untuk memaksimalkan sistem penghantaran obat (*drug delivery*) (Basir dkk., 2017).

Material penyusun hidrogel adalah polimer hidrofilik yang memiliki ikatan silang, linear, atau bercabang. Material ini dapat terbentuk dari polimer yang larut dalam air menggunakan metode radiasi atau konvensional (Pourjavadi *et al.*, 2007).

Salah satu metode konvensional yang dapat digunakan yaitu metode pencangkakan-penautan silang, metode ini dapat digunakan untuk mensintesis polimer ini. Metode ini melibatkan monomer yaitu akrilamida pada *backbone* dari rantai polimer misalnya nanoselulosa. Selanjutnya dilakukan penginisiasian yang diikuti dengan penautan silang oleh *crosslinked* hidrofilik dengan metilen bis akrilamida hingga terbentuk polimer yang berupa hidrogel sebagai produk akhirnya (Hennink dan Nostrum, 2002).

Nanopartikel adalah partikel yang berukuran antara 1-100 nanometer. Pendekatan paling sederhana untuk membentuk komposit nanopartikel-hidrogel adalah gelasi suspensi nanopartikel yang terbentuk sebelumnya dalam larutan monomer pembentuk hidrogel. Pendekatan ini telah digunakan untuk membentuk komposit opto-mekanik nanopartikel hidrogel yang responsif secara optik. Kombinasi inovatif dari nanopartikel dan hidrogel menciptakan sifat sinergis, unik, dan berpotensi berguna yang tidak ditemukan pada masing-masing komponen. Sifat yang diberikan pada komposit tergantung pada jenis nanopartikel yang digabungkan, yang pada gilirannya ditentukan oleh aplikasi yang diusulkan dari komposit yang dirancang. Nanokomposit dapat digunakan sebagai pengemas aktif, biosensor, antibakteri untuk menjaga keamanan pangan, dan enkapsulasi obat. Pengembangan teknologi ini memanfaatkan nanokomposit dalam industri obat dan pangan untuk meningkatkan stabilitas penyimpanan dan pengantar obat (Maftoonazad dan Ramaswamy, 2019).

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Antika (2021) dengan memanfaatkan selulosa dari serat kasar onggok menjadi mikro komposit hidrogel. Dari penelitian tersebut dihasilkan ukuran komposit hidrogel yang masih mikro dan belum mencapai ukuran nano. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini untuk mengkonversi selulosa dari serat kasar ampas tebu menjadi nanoselulosa hidrogel yang ditambahkan dengan akrilamida. Kemudian hidrogel yang terbentuk dianalisis menggunakan FTIR. Dan dilakukan uji aktivitas antibakteri menggunakan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penapisan *Actinomyces* untuk menghasilkan indeks xilanolitik.
2. Memproduksi selulosa dari ampas tebu dengan metode *pretreatment* secara biologi menggunakan dari isolat *Actinomyces* terpilih.
3. Memurnikan selulosa dari ampas tebu (*bagasse*) dan mengubah ukurannya menjadi nanopartikel.
4. Melakukan sintesis hidrogel dan karakterisasi hidrogel yang diperoleh.

1.3 Manfaat penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu menambah alternatif pemanfaatan limbah ampas tebu dan memberikan inovasi di bidang farmasi dengan *drug delivery system* melalui pemanfaatan nanokomposit hidrogel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ampas tebu

Tebu adalah salah satu tanaman jenis rumput-rumputan, dan termasuk kelas *Monocotyledoneae*, ordo *Glumiflorae*, keluarga *Gramineae* dengan nama ilmiah *Saccharum officinarum* L. Terdapat lima spesies tebu, yaitu *Saccharum spontaneum* (glagah), *Saccharum sinensis* (tebu Cina), *Saccharum barberry* (tebu India), *Saccharum robustum* (tebu Irian) dan *Saccharum officinarum* (tebu kunyah). Tebu adalah bahan baku utama dalam pembuatan gula. Tebu hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis. Sejak ditanam sampai bisa dipanen, umur tanaman tebu mencapai kurang lebih 1 tahun (Andaka, 2011).

Di Indonesia tanaman tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatera. Tebu memiliki sifat morfologi diantaranya bentuk batang konis, susunan antar ruas berbuku, dengan penampang melintang agak pipih, warna batang hijau kekuningan, batang memiliki lapisan lilin tipis, bentuk buku ruas konis terbalik dengan 3-4 baris mata akar, warna daun hijau kekuningan, lebar daun 4-6 cm, daun melengkung kurang dari $\frac{1}{2}$ panjang daun. Ampas tebu atau disebut bagas, adalah hasil samping dari proses ekstraksi cairan tebu. Dari satu pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35 – 40% dari berat tebu yang digiling. Ampas tebu (*bagasse*) merupakan biomassa yang mengandung lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Ampas tebu yang sudah diekstrak gulanya pada bagian gilingan dan salah satu limbah padat dari pabrik gula, biasanya dikirim ke bagian *boiler* untuk dijadikan bahan bakar (Oktavia dkk., 2014). Ampas tebu dihasilkan dari hasil samping dari proses ekstraksi cairan tebu di pabrik gula yang selama ini pemanfaatannya masih terbatas. Pemanfaatan ampas tebu biasanya hanya digunakan untuk makanan ternak, bahan baku pupuk organik, *pulp*, *particle board*, dan juga untuk bahan bakar *boiler* di pabrik gula (Saputri dkk., 2018).

2.2 Lignoselulosa

Biomassa lignoselulosa disusun oleh komponen utama lignin, hemiselulosa, dan selulosa, dengan jumlah yang bervariasi tergantung jenis tanamannya.

Lignoselulosa merupakan komponen utama dari biomassa yang terdapat dalam tanaman yang terbentuk dari proses fotosintesis. Komponen utama dalam lignoselulosa adalah lignin, hemiselulosa, dan selulosa (Martinez *et al.*, 2005).

Polimer selulosa, hemiselulosa, dan lignin berikatan dengan kuat dan secara kimia melalui kekuatan non-kovalen dan saling bertautan melalui ikatan kovalen.

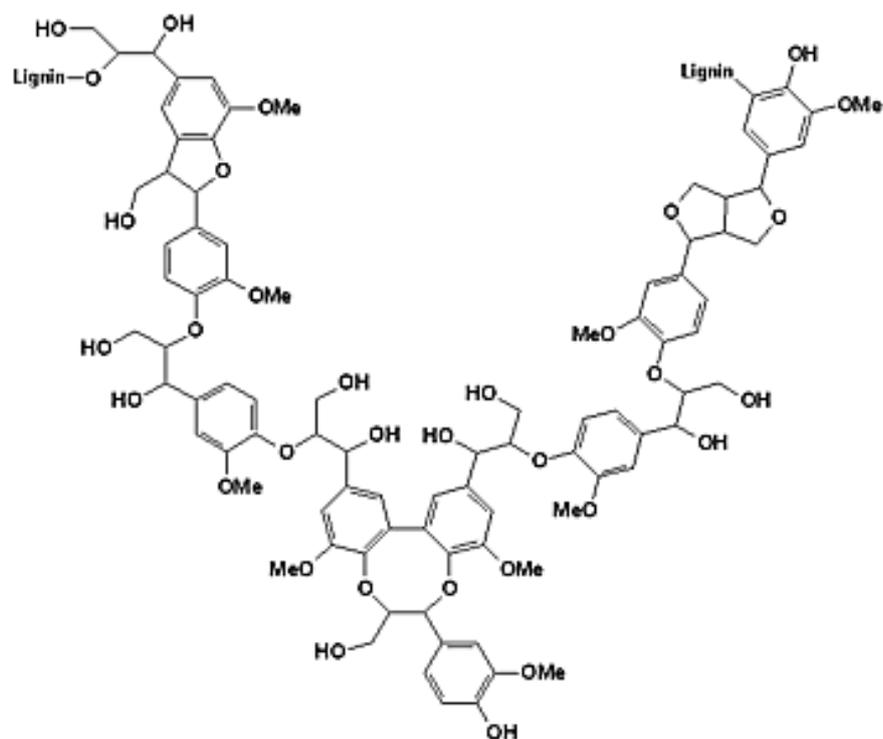
Lignin berikatan dengan hemiselulosa melalui ikatan kovalen tetapi ikatan yang terjadi antara selulosa dengan lignin belum diketahui secara lengkap (Perez *et al.*, 2002).

Bahan lignoselulosa merupakan substrat yang kompleks yang mempunyai tiga kandungan utama terdiri dari campuran polimer karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa), lignin dan senyawa-senyawa yang larut dalam air (abu). Dari komponen yang terpenting untuk dikonversi menjadi produk yang berbasis lignoselulosa adalah polisakaridanya. Namun lignin dengan struktur yang sangat kuat menjadi penghambat dalam konversi polisakaridanya menjadi produk lain. Sumber karbohidrat lain yang terkandung di dalam bahan lignoselulosa adalah hemiselulosa atau yang dikenal juga dengan poliosa, karena terdiri atas berbagai macam gula monomer, yaitu pentosa (xilosa, ribosa, dan arabinosa); heksosa (glukosa, manosa, dan galaktosa); dan asam uronik (4-O-metilglukoronik, D glukoronik, dan D galaktoronik). Hemiselulosa mempunyai rantai polimer yang pendek dan tak berbentuk, sehingga sebagian besar dapat larut dalam air (Samsuri dkk., 2007).

2.2.1 Lignin

Lignin berfungsi sebagai bagian penting dalam distribusi air di tanaman batang. Polisakarida komponen tanaman dinding sel sangat hidrofilik sehingga permeabel terhadap air, sedangkan lignin lebih hidrofobik. Lignin ada dalam semua tumbuhan vaskular, tapi tidak di *Bryophyta*, mendukung gagasan bahwa fungsi

asli lignin dibatasi untuk transportasi air. Lignin sebagai salah satu komponen utama dalam ampas tebu adalah suatu polimer yang kompleks dengan bobot molekul tinggi yang tersusun atas unit-unit fenil propana, yang juga merupakan komponen utama penyusun kayu. Lignin dapat membentuk ikatan kovalen dengan beberapa komponen hemiselulosa, seperti ikatan benzil ester dengan grup karboksil dari asam 4-Ometil-D-glukoronik dalam xilan. Ikatan eter yang lebih stabil, yang dikenal dengan nama LCC (*lignin carbohydrate complexes*) yang terbentuk antara lignin dengan grup arabinosa atau galaktosa dalam xilan atau manan karena itu lignin sangat sulit untuk didegradasi. Sehingga keberadaannya memberikan bentuk lignoselulosa yang kompleks dan menghambat degradasi selulosa oleh mikroba ataupun bahan kimia lainnya (Aguado *et al.*, 2006).

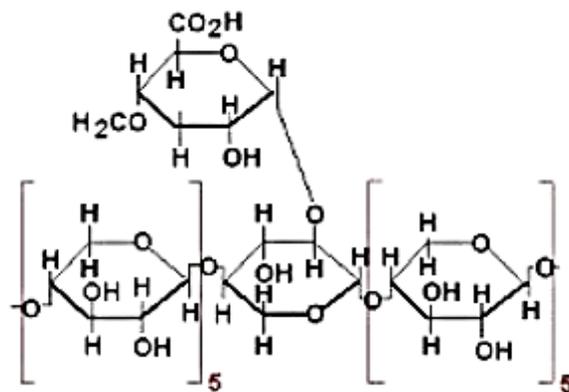


Gambar 1. Struktur Lignin (Widihastuty dkk., 2019).

2.2.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan istilah umum bagi polisakarida yang larut dalam alkali. Hemiselulosa sangat dekat asosiasinya dengan selulosa dalam dinding sel tanaman. Lima gula netral, yaitu glukosa, manosa, dan galaktosa (heksosa) serta

xilosa dan arabinosa (pentosa) merupakan konstituen utama hemiselulosa. Tergolong dalam kelompok polisakarida heterogen dengan berat molekul rendah. Jumlah hemiselulosa biasanya hanya antara 15-30% dari berat kering bahan lignoselulosa. Hemiselulosa relatif lebih mudah dihidrolisis menggunakan asam menjadi monomer yang mengandung glukosa, manosa, galaktosa, xilosa, dan arabinosa (Pasue dkk., 2019).



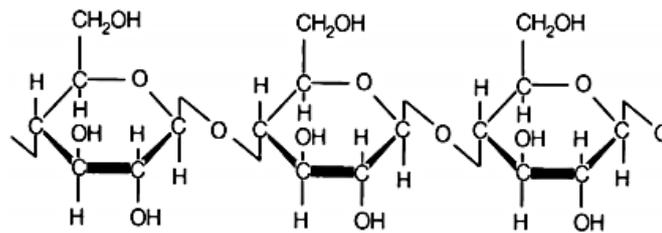
Gambar 2. Struktur Hemiselulosa (Widihastuty dkk., 2019).

2.2.3 Selulosa

Selulosa adalah komponen karbohidrat rantai lurus dengan glukosa sebagai monomer penyusunnya. Dalam selulosa antar monomer dihubungkan oleh ikatan hidrogen. Selulosa tidak dapat larut dalam berbagai pelarut kecuali asam kuat, hal ini karena adanya ikatan hidrogen pada antar gugus hidroksil dalam rantai selulosa. Selulosa termasuk dalam homopolimer karena terdiri atas unit β -D-glukopiranososa yang terikat pada ikatan (1,4)-glikosida, dimana terdapat n yang merupakan derajat polimerisasi selulosa (DP) (Klem *et al.*, 2005). Selulosa mengandung karbon (44,44%) dan hidrogen (6,17%). Pada umumnya kandungan selulosa berkisar 40-50% dari serat kering bahan berlignoselulosa. Variasi selulosa ini dipengaruhi oleh tempat tumbuh, jenis biomassa, umur tumbuhan, letak dalam batang tumbuhan, dan faktor lingkungan. Selulosa terbagi menjadi yaitu α -selulosa, β -selulosa, dan γ -selulosa. Berdasarkan derajat kelarutan dan

derajat polimerisasinya dalam larutan NaOH, α -selulosa adalah bagian yang tidak larut dalam larutan NaOH. Sedangkan β -selulosa adalah bagian yang larut dalam alkali dan mengendap jika dinetralkan. Dan γ -selulosa adalah bagian yang larut dalam alkali dan larut juga jika dinetralkan. α -selulosa adalah bagian yang sering digunakan dalam penentuan tingkat kemurnian selulosa (Sumada dkk., 2011).

Isolasi selulosa dari biomassa umumnya dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai contoh: perlakuan ultrasonikasi, teknologi enzimatik, metode asam, dan metode alkalinasi. Perlakuan dengan teknologi enzimatik dalam isolasi selulosa dapat dilakukan dengan menggunakan sukrosa dan ekstrak ragi untuk mendukung pertumbuhan jamur menghasilkan serat selulosa. Hasil serat kemudian dibekukan dalam *cryo crushing* menggunakan nitrogen cair, dilanjutkan dengan penggerusan dan pencucian untuk mendapatkan serat dalam ukuran mikro (Janardhnan and Sain., 2006)



Gambar 3. Struktur Selulosa (Fuadi dkk., 2015).

2.3 *Actinomycetes*

Actinomycetes merupakan kelompok bakteri gram positif yang banyak terdapat di alam. *Actinomycetes* dikenal sebagai mikroorganisme saprofit pada tanah.

Actinomycetes adalah bakteri yang bersifat uniseluler yang banyak ditemukan di tanah, kompos, air tawar, dan laut. Memiliki peran yang penting dalam dekomposisi bahan organik seperti selulosa dan kitin dalam perputaran bahan organik dan siklus karbon. Koloni *Actinomycetes* membentuk konsistensi yang mirip tepung dan menempel kuat pada permukaan agar-agar, menghasilkan hifa dan conidia/sporangia seperti jamur pada media kultur (Thomas *et al.*, 2013).

Actinomycetes memiliki kemampuan tinggi untuk menghasilkan enzim hidrolitik yang dapat diaplikasikan untuk mendegradasi biomassa lignoselulosa. Aktivitas xilanase dari isolat *Actinomycetes* dapat diketahui dengan melakukan skrining. Aktivitas enzim ini menggunakan media agar yang dilengkapi dengan 1% xilan *birchwood* sebagai substrat. Produksi zona bening sekitar isolat pada media agar xilan dianggap sebagai indikasi aktivitas xilanase ekstraseluler (Putri *et al.*, 2019).

2.4 Enzim Xilanase

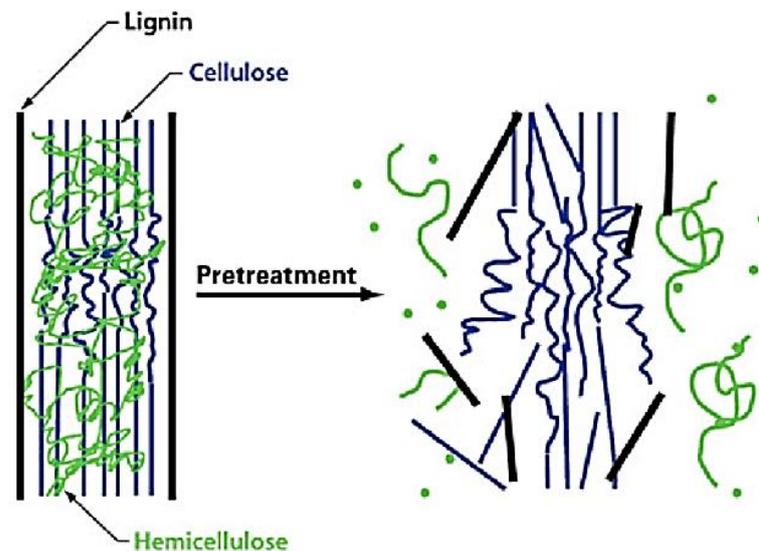
Enzim xilanase adalah enzim ekstraseluler yang dapat menghidrolisis xilan (hemiselulosa) menjadi xilo-oligosakarida dan xilosa. Xilanase dapat dihasilkan dari mikroba melalui proses fermentasi. Aplikasi penggunaan enzim xilanase pada industri diantaranya untuk industri pangan, pakan, dan pemutih bubuk kertas/*pulp*. Enzim xilanolitik merupakan enzim kompleks yang terdiri dari 1,4- β -endoxilanase, β -xilosidase, α -L-arabinofuranosidase, α -glukoronidase, asetil xilan esterase, dan asam fenolat (Yang *et al.*, 2009).

Xilanase merupakan enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh bakteri untuk menghidrolisis xilan (polisakarida) yang terdapat pada media menjadi molekul gula sederhana yang akan dimetabolisme di dalam sel. Penggunaan substrat xilan yang terkandung dalam media sangat berpengaruh terhadap aktivitas dan produktivitas enzim xilanase (Susilowati *et al.*, 2012). Xilanase yang dihasilkan dari mikroba memiliki aplikasi yang luas misalnya dalam bidang peternakan, meningkatkan aroma pada jus dan buah anggur serta likuifaksi buah dan sayur, sebagai agen klasifikasi pada pembuatan *wine*, untuk pemutihan kertas, serta produksi bioetanol (Samsuri *et al.*, 2009).

2.5 Pretreatment Bahan berlignoselulosa

Dalam bahan lignoselulosa terdapat polisakarida. Untuk menghidrolisis polisakarida dalam bahan lignoselulosa dapat dilakukan menggunakan asam atau enzim. Proses hidrolisis selulosa akan dihasilkan gula yang dapat dimanfaatkan.

Selulosa memiliki ikatan yang kuat dengan hemiselulosa dan lignin dalam bahan lignoselulosa. Ikatan lignin yang ada serta adanya struktur kristal pada selulosa ini yang menjadi penghambat agen hidrolitik untuk menghidrolisis selulosa (Cardona *et al.*, 2010). *Pretreatment* bahan lignoselulosa memiliki tujuan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa, mengurangi kristalin selulosa dan meningkatkan porositas bahan sehingga dapat meningkatkan hasil hidrolisis dan proses *Pretreatment* dapat menghasilkan glukosa (Martin *et al.*, 2007). *Pretreatment* dapat dilakukan secara fisika, kimia, biologi, fisikokimia, listrik maupun kombinasi dari cara-cara tersebut (Kumar *et al.*, 2009).



Gambar 4. *Pretreatment* lignoselulosa (Jun Ji *et al.*, 2012).

2.6 Hidrolisis

Hidrolisis adalah suatu proses penguraian polimer menjadi monomer-monomernya oleh molekul air. Pada hidrolisis selulosa, molekul air akan menyerang biomassa dengan ikatan β -1,4-glikosidik yang akan menghasilkan monomer berupa gula penyusun (Nasrulloh, 2009). Pada umumnya reaksinya berjalan lambat, oleh karena itu dibutuhkan katalis yang berupa asam atau enzim. Dalam prosesnya hidrolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu reaksi,

waktu reaksi, dan konsentrasi katalis. Umumnya hidrolisis dibagi menjadi dua yaitu hidrolisis dengan asam dan hidrolisis dengan enzim (Handayani, 2021).

2. 6. 1 Hidrolisis Asam

Pada hidrolisis asam, polimer dari selulosa akan didegradasi menjadi monomer berupa gula penyusunnya. Untuk hidrolisis asam, ada beberapa asam yang umumnya banyak digunakan yaitu asam sulfat, asam perklorat, dan asam klorida. Dalam hidrolisis asam, dapat dibagi menjadi dua proses yaitu hidrolisis asam dengan konsentrasi rendah dan pada suhu tinggi serta hidrolisis asam dengan konsentrasi tinggi dan suhu rendah. Dari kedua pendekatan ini dapat ditentukan berdasarkan beberapa hal, yaitu laju hidrolisis, total biaya produksi, hasil total hidrolisis, dan tingkat degradasi produk (Tahezadeh and karimi, 2008).

Pada proses hidrolisis penambahan asam dengan konsentrasi tertentu akan mempengaruhi kandungan glukosa. Dan jika penambahan melebihi batas optimal maka kandungan dari glukosa akan menurun. Mekanisme dari hidrolisis asam bersifat untuk memecah ikatan selulosa secara acak menjadi produk-produk selain glukosa, seperti hidroksi metil, furfural, asam levulinik, asam asetat, furan, fenolik, dan senyawa lainnya. Kelemahan dari metode hidrolisis menggunakan asam yaitu hasil degradasi gula saat reaksi hidrolisis bersifat korosif bagi lingkungan (Tahezadeh and Karimi, 2008).

2. 6. 2 Hidrolisis Enzimatik

Penggunaan enzim lebih disukai daripada proses menggunakan asam karena enzim dapat bekerja lebih spesifik sehingga tidak akan menghasilkan produk yang tidak diinginkan, dapat digunakan pada kondisi proses yang lebih ringan, dan lebih ramah lingkungan. Pada proses hidrolisis secara enzimatik dapat digunakan enzim selulase atau enzim lainnya yang dapat memecah selulosa menjadi monomer-monomernya. Hidrolisis menggunakan enzim dapat dilakukan dengan mengganti tahap hidrolisis asam dengan tahapan hidrolisis enzim. Keuntungan dari hidrolisis secara enzimatik antara lain tidak terjadi degradasi gula hasil

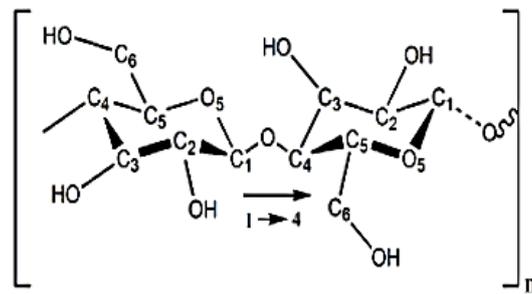
hidrolisis, kondisi proses yang lebih lunak (pH sekitar 4,70-4,80 dan suhu 45-50°C), tidak terjadi reaksi samping, lebih ramah lingkungan, dan tidak melibatkan bahan-bahan yang bersifat korosif (Cheng & Timilsina, 2011).

Hidrolisis enzimatis merupakan proses penguraian monomer-monomer penyusun dari polimer dengan bantuan enzim sebagai katalis. Proses hidrolisis dengan enzim memiliki kelemahan yaitu membutuhkan waktu yang lama dan harga enzim yang cukup mahal jika dibandingkan katalis asam. Namun selain kelemahan, proses hidrolisis dengan enzim juga memiliki beberapa keuntungan yaitu tidak terjadi degradasi gula dari proses hidrolisis, berpotensi memberikan hasil yang tinggi, biaya pemeliharaan alat relatif rendah karena tidak bersifat korosif (Hendriks and Zeeman, 2009).

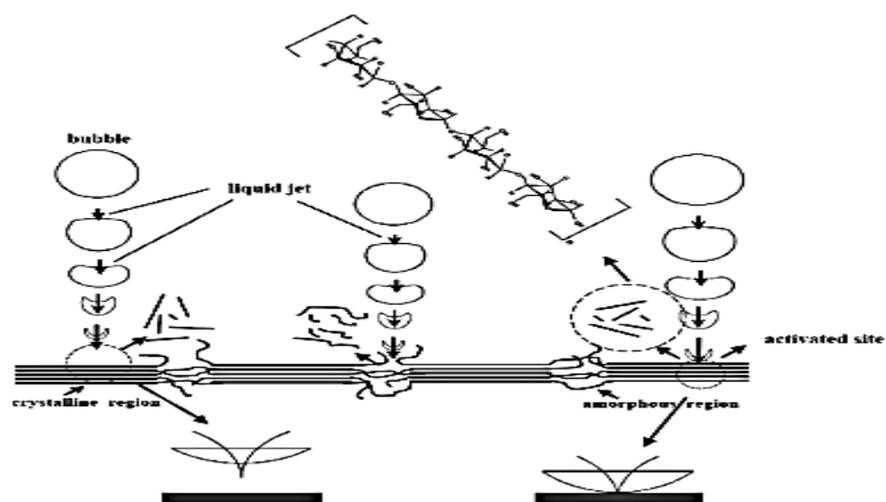
2.7 Nanoselulosa

Partikel nanoselulosa adalah material selulosa jenis baru yang memiliki banyak kegunaan dalam berbagai macam aplikasi, seperti bioteknologi, komposit, adsorben, emulsi, dan dispersi, serta biomedis. Partikel nanoselulosa adalah material jenis baru dari selulosa yang ditandai dengan adanya peningkatan kristalinitas, aspek rasio, luas permukaan, dan peningkatan kemampuan dispersi serta biodegradasi. Adanya kemampuan ini, partikel nanoselulosa dapat digunakan sebagai *filler* penguat polimer, aditif untuk produk-produk *biodegradable*, penguat membran, pengental untuk dispersi, dan media pembawa obat serta implan. Ada beberapa metode untuk sintesis nanoselulosa, yaitu metode mekanik, kimia, dan biologis (Ioelovich, 2012).

Li *et al.*, (2012) menggunakan metode mekanik dengan cara ultrasonikasi untuk memperoleh nanoselulosa. Dengan daya ultrasonikasi pada saat sintesis sebesar 1500W, nanoselulosa yang dihasilkan berukuran 50-250 x 10-20 nm. Li *et al.*, (2012) mengungkapkan bahwa adanya penambahan durasi waktu dalam ultrasonikasi menyebabkan penurunan ukuran dari nanoselulosa yang dihasilkan.



Gambar 5. Rantai Selulosa (Monn dkk., 2011).



Gambar 6. Mekanisme Produksi Nanoselulosa dengan Ultrasonikasi (Li *et al.*, 2012).

2.8 Akrilamida

Akrilamida (sinonim: 2-Propenamida, etilen karboksiamida, akrilik amida, asam propeonik amida, vinil amida) salah satu polimer akrilamida yaitu poliakrilamida. Akrilamida merupakan senyawa kimia berwarna putih, tidak berbau, berbentuk kristal padat yang sangat mudah larut dalam air dan mudah bereaksi melalui reaksi amida atau ikatan rangkapnya. Akrilamida dalam larutan bersifat stabil

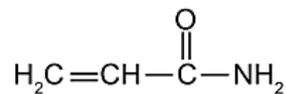
pada suhu kamar dan tidak berpolimerisasi secara spontan. Monomernya cepat berpolimerisasi pada titik leburnya atau dibawah sinar ultraviolet. Akrilamida berfungsi sebagai penukar anion basa lemah dan sebagai donor ligan untuk ion logam. Akrilamida dalam larutan bersifat stabil pada suhu kamar dan tidak berpolimerisasi secara spontan (Harahap, 2006).

Akrilamida (AAM) merupakan salah satu jenis monomer hidrofilik yang merupakan bahan baku paling populer untuk pembuatan polimer poliakrilamida (PAAM) dan sebagai media penunjang dalam elektroforesis. Monomer akrilamida yang mempunyai ikatan rangkap dua dalam struktur molekulnya yang peka terhadap paparan radiasi membentuk radikal bebas. Akhir dari proses reaksi radikal bebas membentuk hidrogel yang mempunyai struktur jaringan tiga dimensi dengan tingkat yang sesuai pada ikatan silang dan memungkinkan masuknya zat organik dan anorganik ke dalamnya, namun demikian hidrogel poliakrilamida mempunyai kelemahan seperti kemampuannya dalam menyerap air (*swelling*) terbatas dan merupakan homopolimer dengan sifat fisik relatif rendah (Erizal dan Rahayu, 2009).

Akrilamida adalah senyawa intermediat yang dicurigai memiliki sifat karsinogenik pada manusia. Dalam bentuk murninya, akrilamida memiliki berat molekul 71,09, titik didih dan titik leleh masing-masing 125 dan 87,5°C. Akrilamida merupakan faktor yang menyebabkan penyakit kanker pada sekitar 2% (100-700 dari 45.000) dalam tiap tahun kasus di dunia, di mana akrilamida memiliki bentuk monomernya bersifat racun terhadap sistem saraf pusat, dan dalam bentuk polimernya akrilamida diketahui tidak bersifat toksik. Akrilamida secara umum digunakan pada pembuatan poliakrilamida. Poliakrilamida komersial mengandung 0,05-5,0% akrilamida (bergantung pada jumlah penggunaan poliakrilamida tersebut) dan sekitar 1 mg/kg residu monomer akrilonitril (Hermanto dan Adawiyah, 2010).

Akrilamida terbentuk dari reaksi yang terjadi pada suhu tinggi antara karbohidrat, protein, asam amino, serta komponen-komponen lain yang berada dalam jumlah kecil. Mekanisme pembentukan akrilamida antara lain:

- a. Terbentuk dari dekarboksilasi atau dehidrasi beberapa asam organik tertentu yang meliputi asam malat dan asam laktat.
- b. Terbentuk dari akrolein atau asam akrilat hasil degradasi karbohidrat, lemak, atau asam amino bebas seperti asparagin, alanin, metionin, dan glutamin yang memiliki struktur mirip akrilamida.
- c. Terbentuk langsung dari asam amino asparagin yang merupakan asam amino dengan struktur mirip dengan akrilamida dan diduga senyawa tersebut yang paling berperan dalam pembentukan akrilamida, karena dapat bereaksi dengan gula pada suhu tinggi (Hermanto dan Adawiyah, 2010).



Gambar 7. Struktur Kimia Akrilamida (Harahap, 2006).

2.9 Hidrogel

Hidrogel adalah jaringan polimer hidrofilik tiga dimensi yang terikat silang dan dapat menyerap sejumlah besar air dan cairan biologis karena memiliki afinitas yang tinggi terhadap air. Hidrogel memiliki sifat hidrofilik yang dapat menentukan kemampuan hidrogel untuk menyerap air. Sifat dan kemampuan hidrogel dalam menyerap air dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis bagian hidrogel dan derajat ikatan silangnya. Ikatan silang pada hidrogel dapat terjadi karena adanya ikatan kovalen, ikatan ionik ataupun ikatan secara fisik seperti ikatan hidrogen dan ikatan *Van Der Waals* (Buddy, 2004).

Hidrogel yang mempunyai kemampuan untuk mengembang di air atau cairan biologi dan menunjukkan fraksi air yang berarti pada strukturnya, tetapi matriks tersebut tidak larut dalam air. Ketika mengembang di air, hidrogel akan tetap mempertahankan bentuk asalnya. Sifat hidrofilik dari hidrogel dipengaruhi oleh adanya gugus-gugus -OH, -COOH, -CONH₂, dan -SO₃H. Sedangkan sifat ketidaklarutannya dalam air dan kemampuan mempertahankan bentuk

dipengaruhi oleh struktur tiga dimensi dari hidrogel. Kemampuan dari hidrogel untuk mengembang di air adalah kesetimbangan antara kekuatan dispersi pada rantai hidrat dengan kekuatan kohesi yang tidak mencegah penetrasi air ke dalam hidrogel. Selain itu, derajat dan sifat ikatan silang serta kekristalan dari polimer turut menentukan sifat mengembang dari hidrogel. Umumnya hidrogel dibuat dari polimer hidrofilik baik dalam bentuk tunggal atau kombinasi dengan polimer lainnya dengan teknik kimia atau radiasi sehingga membentuk ikatan silang (*crosslinking*). Polimer yang digunakan dapat berupa polimer sintesis seperti *polivinil pirolidon* (PVP) dan *polivinil alkohol* (PVA) atau polimer alam (Rizky, 2019).

2. 9. 1 Metode Pembuatan Hidrogel

2. 9. 1. 1 Metode Polimerisasi Radikal Bebas

Metode polimerisasi radikal bebas merupakan tipe umum dari mekanisme polimerisasi rantai yang diinisiasi oleh radikal bebas. Radikal bebas molekul dengan elektron tak berpasangan. Radikal bebas biasanya sangat reaktif. Stabilitas radikal bergantung pada kecenderungan molekul untuk bereaksi dengan senyawa lain. Radikal yang tidak stabil akan bereaksi dengan banyak molekul yang berbeda. Radikal tidak akan mudah bereaksi dengan zat-zat kimia lainnya. Stabilitas dari radikal bebas dapat bergantung dari sifat-sifat molekul tersebut (Rizky, 2019).

Pada polimerisasi radikal bebas, radikal akan menyerang satu monomer dan elektron akan bermigrasi ke bagian molekul lainnya. Radikal baru yang terbentuk akan menyerang monomer lain dan diulangi prosesnya dengan penambahan sejumlah monomer. Polimerisasi rantai radikal bebas meliputi tahap dekomposisi inisiasi, propagasi, dan terminasi (Steven, 2000).

2. 9. 1. 2 Metode Pengaitan Silang Secara Kimia

Pengaitan silang (*cross-linking*) adalah salah satu jenis metode pengikatan secara kimiawi. Penggunaan pengikat silang yaitu sebagai penghubung antara polimer yang satu dengan yang lain. Pada pembuatan hidrogel pengikat silang yang digunakan akan menghasilkan ikatan kovalen pada polimer yang bereaksi. Beberapa bahan kimia yang dapat digunakan sebagai pengikat silang yaitu glutaraldehid, metilen bis akrilamida, dan masih banyak lagi yang lainnya (Adi, 2012). Teknik ini digunakan untuk memodifikasi sifat kimia dan fisika dari polimer alami dan sintesis. Polimer yang memiliki monomer yang panjang berdasarkan strukturnya polimer dapat dikelompokkan menjadi polimer linear, bercabang, dan polimer dengan jaringan tiga dimensi atau sambung silang (Siregar, 2015).

2. 9. 2 Aplikasi Hidrogel

Aplikasi pemanfaatan hidrogel sangat luas dan berkembang pesat. Hidrogel dapat digunakan sebagai pengganti tisu yang lembut, pelapisan pipa saluran tubuh, membran hemodialisis, lensa kontak, enkapsulasi sel, sarana pengangkut obat, bahan pembuat tisu, pembalut luka, organ tubuh buatan/tiruan, dan biosensor (Wijayanti, 2012).

2.10 Amoksisilin

Amoksisilin merupakan obat generik dan termasuk golongan obat penisilin. Amoksisilin merupakan antibiotik β -*lactam* yang berspektrum luas dan sering digunakan untuk mengobati berbagai penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif, seperti infeksi telinga, *Pneumonia*, faringitis, streptokokus, infeksi kulit, infeksi saluran kemih, infeksi *Salmonella*, Infeksi *Chlamydia* dan penyakit *Lyme*.

Amoksisilin banyak digunakan dalam uji antibakteri, untuk mengetahui sensitivitas atau resistansi suatu bakteri terhadap antibiotik amoksisilin dapat dilihat dari ada tidaknya zona hambat yang terbentuk di sekitar koloni. Zona hambat ditandai dengan adanya zona bening yang digunakan sebagai acuan penentuan tingkat resistensi bakteri terhadap antibiotik di mana semakin besar diameter zona bening yang terbentuk maka semakin menghambat pertumbuhan bakteri. Terdapat tiga tingkat resistensi bakteri yaitu sensitif, intermediet, dan resisten. Sensitif apabila terbentuk zona bening; resisten apabila saat pengujian tidak terbentuk zona bening; dan intermediet apabila terbentuk zona bening dengan diameter yang kecil. Amoksisilin termasuk antibiotik yang berspektrum luas dan bersifat bakterisidal (membunuh bakteri) pada bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif (Maida dan Lestari, 2019).

2.11 Analisis X-Ray Diffraction (X-RD)

Difraksi sinar-X merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Dengan berbagai sudut timbul, pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya dengan sebuah data *base* internasional (Zakaria, 2003).

Teknik *X-Ray Diffraction* (XRD) berperan penting dalam proses analisis padatan kristal maupun amorf. XRD dapat digunakan untuk membedakan antara material yang bersifat kristal dengan amorf, mengukur macam-macam keacakan dan penyimpangan kristal, karakterisasi material kristal, dan identifikasi mineral-mineral. Pada kopolimerisasi *graft*, uji XRD dapat digunakan untuk melihat susunan polimer terbentuk. Seandainya terbentuk polimer kristalin, pola difraktogram memiliki puncak dengan sudut tajam pada intensitas tinggi,

sedangkan polimer amorf memiliki puncak tidak tajam (sudut melebar) pada intensitas rendah. Sementara polimer semikristalin memiliki perpaduan puncak dengan sudut tajam dan puncak dengan sudut lebar (Fauzi, 2017).

2.12 Analisis *Particle Size Analyzer* (PSA)

Particle Size Analyzer (PSA) merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk pengujian distribusi ukuran partikel berukuran nanometer. *Particle Size Analyzer* (PSA) adalah 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).

2.13 Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Metode spektroskopi yang umum dipakai untuk meneliti polimer antara lain: *Infra Red* (IR), *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR), *Ultraviolet* (UV), dan Sinar X (*X-Ray*). Spektroskopi yang paling banyak dipakai adalah FTIR. FTIR merupakan teknik yang mudah untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi pada suatu molekul. FTIR merekam interaksi radiasi IR dengan sampel percobaan, menentukan frekuensi dimana sampel menyerap radiasi dan intensitas penyerapannya. Penentuan frekuensi ini mampu mengidentifikasi sampel sehingga gugus fungsinya diketahui yang menyerap cahaya pada frekuensi tertentu (Fauzi, 2017).

Spektroskopi ini umumnya memancarkan sinar inframerah pada bagian spektrum elektromagnetik yang ada pada daerah tampak dan daerah gelombang mikro dengan kerapatan kurang dari 100 cm^{-1} dan panjang gelombang lebih dari $100\ \mu\text{m}$

yang dapat diserap oleh molekul organik kemudian akan diubah menjadi energi putaran molekul. Serapan radiasi inframerah oleh molekul dapat terjadi akibat adanya interaksi vibrasi dari ikatan kimia yang menyebabkan hidrogel.

Spektroskopi ini dapat digunakan untuk melihat spektrum gugus fungsi dari hidrogel kering. Pada daerah gugus fungsi akan muncul puncak serapan dalam spektrum inframerah hal ini menunjukkan bahwa terdapat beberapa gugus fungsi dari senyawa yang dianalisis. Dan bila pada daerah gugus fungsi tidak muncul puncak serapan maka tidak ada gugus fungsi yang terserap pada daerah itu (Handayani, 2021).

2.14 Sediaan obat

Hidrogel merupakan jaringan polimer yang mengembang secara ekstensif dengan air. Nama lain dari gel hidrofilik disebut hidrogel, jaringan yang terdiri dari rantai polimer, yang di mana air adalah yang didispersikan. Dalam pengaplikasiannya hidrogel sering digunakan dalam medis salah satunya, menurut Yang dkk, (2009) dalam penelitiannya berguna sebagai penyembuhan luka, dapat diamati hidrogel yang terkandung dari PVA / kitosan / gliserol hidrogel dibuat dengan iradiasi diikuti dengan *freeze-thawing*, aplikasi hidrogel berhasil digunakan sebagai bahan pembalut dalam perawatan medis untuk luka bakar dan luka karena lingkungan yang basah dapat meningkatkan penyembuhan luka proses (Roy *et al.*, 2011).

Aplikasi lainnya juga hidrogel digunakan untuk penghantaran obat target ke usus besar kombinasi antara polimer kitosan dan poli asam akrilat (PAA). Dalam sistem penghantaran obat yang ditargetkan pada usus besar telah menarik minat yang cukup besar karena sinergi antara polimer ini dapat menawarkan solusi baru untuk perawatan yang ditargetkan pada usus besar. Pada aplikasi hidrogel yang dibuat dalam bentuk film bukal yang digunakan sebagai antibiotik untuk penyakit infeksi. Ini menjadi modifikasi baru dalam sediaan hidrogel yang lebih efektif digunakan untuk infeksi lokal pada mulut (Zhang *et al.*, 2016).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Biokimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Mei sampai Oktober 2022. Analisis *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Universitas Padjajaran, analisis menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain, alat-alat gelas, seperti labu erlenmeyer, gelas ukur, gelas piala, labu leher tiga, pipet tetes. Kemudian alat-alat lainnya, seperti mikropipet, termometer, neraca analitik, *autoclave*, *waterbath*, spatula, batang pengaduk, *hot plate*, oven, gunting, *magnetic stirrer*, ultrasonikator, jarum ose, lemari pendingin, sentrifus, kondensor, refluks, spatula, *Particle Size Analyzer* (PSA), *Fourier Transform Infra Red*(FTIR).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung ampas tebu (*Baggase*), *malt* ekstrak, *yeast* ekstrak, glukosa, agar, xilan *beechwood*, Ammonium Persulfat (APS), Akril Amida (AAM), Metilen Bis-Akrilamida (MBA), amoksisilin, kertas saring, kantung teh, H₂SO₄ 5 M, *congo red*, aseton, metanol, etanol, *Escherichia coli*, dan *Staphylococcus aureus*.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

Ampas tebu sebanyak 1 kg dicuci menggunakan air mengalir kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven selama 1-2 hari. Ampas tebu yang telah kering lalu digiling hingga menjadi serbuk. Selanjutnya serbuk ampas tebu disaring menggunakan saringan besi dengan ukuran 250 mikrometer. Serbuk ampas tebu selanjutnya dianalisis komposisinya menggunakan metode *pretreatment* dan hidrolisis enzimatis oleh isolat *Actinomyces*.

3.3.2 Analisis Komponen Ampas Tebu dengan Metode TAPPI

3.3.1.1 Hidrolisis dengan Asam

Serbuk ampas tebu ditimbang sebanyak 300 mg dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 50 mL, kemudian ditambahkan 10 mL asam sulfat (H_2SO_4) 72% dan dihomogenkan, menggunakan *magnetic stirrer* selama 1,5 jam pada suhu 30°C. Setelah itu, sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL, ditambahkan 170 mL akuades dan dipanaskan menggunakan *autoclave* selama 1 jam pada suhu 121°C. Hasil proses tersebut berupa filtrat (*soluble lignin*) dan endapan (*insoluble lignin*). Endapan dipisahkan dari larutannya dengan disaring menggunakan kertas saring dan didiamkan selama 3 hari agar hasil maksimal. Filtrat ditampung dalam erlenmeyer lain dan digunakan untuk menentukan lignin larut asam serta karbohidrat, sedangkan padatnya digunakan untuk menentukan lignin tidak larut asam (Wijayanti, 2021).

3.3.1.2 Analisis Lignin tidak Larut Asam (*Insoluble lignin*)

Padatan hasil penyaringan dibilas dengan menggunakan 50 mL akuades. Kemudian endapan dikeringkan pada suhu 80°C selama 20 menit. Endapan dikeluarkan dari oven dan dibiarkan dingin hingga suhu ruang. Endapan

ditimbang dan dicatat berat wadah dan residu kering untuk menghitung jumlah lignin tidak larut asam menggunakan persamaan 1.

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

(Wijayanti, 2021).

3.3.1.3 Analisis Lignin Larut Asam (*Soluble Lignin*)

Filtrat hasil hidrolisis diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* pada panjang gelombang 240 nm. Sampel diencerkan menggunakan akuades agar nilai absorbansi berkisar 0,7-1,0. Jumlah lignin larut asam (LLA) dapat dihitung dengan persamaan 2 dan 3.

$$\text{LLA} = \frac{\text{UV abs} \times \text{V filtrat} \times \text{Pengenceran}}{\varepsilon \times \text{ODW sampel} \times \text{Lebar kuvet}} \times 100\% \quad (2)$$

$$= \frac{\text{V sampel} + \text{V pelarut}}{\text{V sampel}} \quad (3).$$

Keterangan :

LLA adalah lignin larut asam (%), UV abs adalah absorbansi *UV-Vis*, volume filtrat adalah filtrat hasil hidrolisis (mL) dan ε adalah absorptivitas biomassa, ODW sampel adalah berat sampel (mg) dan lebar kuvet yang dipakai adalah 1 cm (Wijayanti, 2021).

3.3.1.4 Analisis Selulosa

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 dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah pH mencapai 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 DNS dan diinkubasi selama 15 menit (Wijayanti, 2021).

3.3.3 Penapisan *Actinomycetes*

Uji kemampuan xilanolitik pada isolat *Actinomycetes* dilakukan untuk mengkultur isolat *Actinomycetes*. Pada uji kemampuan selulolitik dan xilanolitik media yang digunakan yaitu ISP-2 dan ditambahkan xilan *birchwood* 0,5 g. Media disterilisasi pada autoclave dengan suhu 121°C selama 15 menit, kemudian dituang pada cawan petri. Isolat murni kemudian ditotolkan pada media yang telah disiapkan dan diinkubasi selama 5-7 hari pada suhu 37°C. Setelah diinkubasi media yang telah ditumbuhi bakteri kemudian disiram dengan menggunakan pereaksi *congo red* ditunggu selama 5 menit kemudian diamati zona bening yang terbentuk dan diukur zona bening yang terbentuk. Zona bening yang terbentuk di sekitar koloni bakteri menunjukkan adanya bahwa bakteri memiliki aktivitas xilanolitik.

Secara kualitatif, besarnya aktivitas xilanolitik dapat dinyatakan sebagai indeks xilanolitik atau Indeks Aktivitas enzim xilanolitik (IAE) yang diperoleh dengan menggunakan rumus persamaan (4) sebagai berikut:

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

Keterangan :

A = diameter zona bening (mm)

B = diameter koloni (mm)

(Wijayanti, 2021).

3.3.4 *Pretreatment Ampas Tebu*

Pretreatment dilakukan dengan memanfaatkan isolat *Actinomycetes* terpilih dengan aktivitas xilanolitik tertinggi untuk menghidrolisis lignoselulosa. Optimasi waktu hidrolisis dilakukan dengan menghidrolisis 3 % tepung ampas tebu oleh isolat *Actinomycetes* terpilih dalam 100 mL media *Yeast Malt Broth*. Dengan komposisi media yaitu ekstrak *yeast* 0,4%, ekstrak *malt* 1%, glukosa 0,4%, selama 7 hari pada 120 rpm. pH awal ditentukan dengan menggunakan

larutan buffer buffer $\text{Na}_2\text{HPO}_4\text{-NaH}_2\text{PO}_4$ 0,2 N pH 7,0 (Satria *et al.*, 2020). Endapan selulosa hasil pretreatment kemudian dibilas dengan menggunakan akuades untuk menghasilkan endapan selulosa yang bebas dari sel-sel bakteri.

3.3.5 Pengukuran Indeks Kristalinitas

Analisis XRD dilakukan pada substrat *pretreatment* ampas tebu yang menghasilkan kadar glukosa yang tertinggi setelah dihidrolisis menggunakan isolat *Actinomyces* menggunakan *Panalytical Xpert Multi-Purpose Diffractometer* dengan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$. Detektor *X'Ceerator* digunakan untuk mengumpulkan data pada rentang sudut $5\text{-}60^\circ/2\theta$. Tegangan dipilih pada 40 kV dengan arus sebesar 30 mA. Indeks kristalinitas selulosa dapat dihitung dengan metode empiris ditunjukkan dalam persamaan (5) berikut.

$$\text{Crl} = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

Crl adalah indeks kristalinitas biomassa (%), I_{002} adalah intensitas difraksi dengan puncak pada daerah $2\theta = 22 - 24^\circ$, dan I_{am} adalah intensitas dari bagian amorf, yaitu pada lembah antara dua puncak pada $2\theta = 18^\circ$ (Wijayanti, 2021).

3.3.6 Pembuatan Nanoselulosa

3.3.6.1 Hidrolisis Parsial asam

Sebanyak 200 mL H_2SO_4 5 M dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL kemudian dipanaskan dengan *hotplate stirrer* hingga suhu mencapai 45°C . Selanjutnya ditambahkan 10 gram serbuk selulosa untuk dihidrolisis dengan cara diaduk menggunakan *stirrer* selama 60 menit pada suhu 45°C . Setelah itu suspensi yang terbentuk disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit. Kemudian didekantasi, endapan yang diperoleh ditambahkan sedikit akuades dan Na_2CO_3 5% b/v hingga diperoleh pH 7 (Antika, 2021).

3.3.6.2 Sonikasi

Hasil endapan yang diperoleh dari hidrolisis enzimatis, dinetralkan dengan ditambah akuades hingga terbentuk suspensi dengan konsentrasi 5%. Suspensi yang dihasilkan kemudian disonikasi dengan frekuensi 40 kHz dan daya 1500 W selama 60 menit (Muharram dkk., 2020). Setelah itu suspensi hasil sonikasi di sentrifus dengan kecepatan 10.000 rpm kemudian didekantasi, dan endapan hasil dekantasi dikeringkan menggunakan *freeze dryer* selama 75 jam. Endapan hasil sonikasi di uji menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran nanoselulosa (Antika, 2021).

3.3.7 Pembuatan Hidrogel

Nanoselulosa yang telah dikeringkan ditimbang seberat 2 g dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor, termometer, dan batang pengaduk. Kemudian ditambahkan akuades sebanyak 70 mL hingga membentuk *pulp* lalu dipanaskan hingga suhu 95°C selama 30 menit. Setelah itu suhu diturunkan hingga suhu 60 °C . Kemudian ditambahkan ammonium peroksidisulfat 0,1 g dan diaduk selama 15 menit. Setelah itu ditambahkan campuran 10 g monomer akrilamida dan 0,01 g metilen bis-akrilamida (MBA) dalam 80 mL akuades. Kemudian dinaikkan suhunya secara perlahan hingga 70°C selama 3 jam. Produk yang dihasilkan kemudian diendapkan menggunakan metanol dan etanol dengan perbandingan 1:1. Selanjutnya direfluks dengan aseton selama 1 jam. Padatan yang dihasilkan kemudian dikeringkan pada suhu 60°C (Antika, 2021).

3.3.8 Karakterisasi Hidrogel

3.3.8.1 Kemampuan pembengkakan

Sebanyak 0,1 g hidrogel kering dimasukkan kedalam 200 mL air suling dan didiamkan selama 24 jam. Persentase pembengkakan dari hidrogel ditentukan berdasarkan persamaan (6):

$$SR = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

SR = persentase pembengkakan / *swelling* (%).

m_1 = berat hidrogel kering (g).

m_2 = berat hidrogel setelah mengembang (g).

(Antika, 2021).

3. 3. 8. 2 Analisis FTIR

Hidrogel kering dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi hidrogel (Antika, 2021).

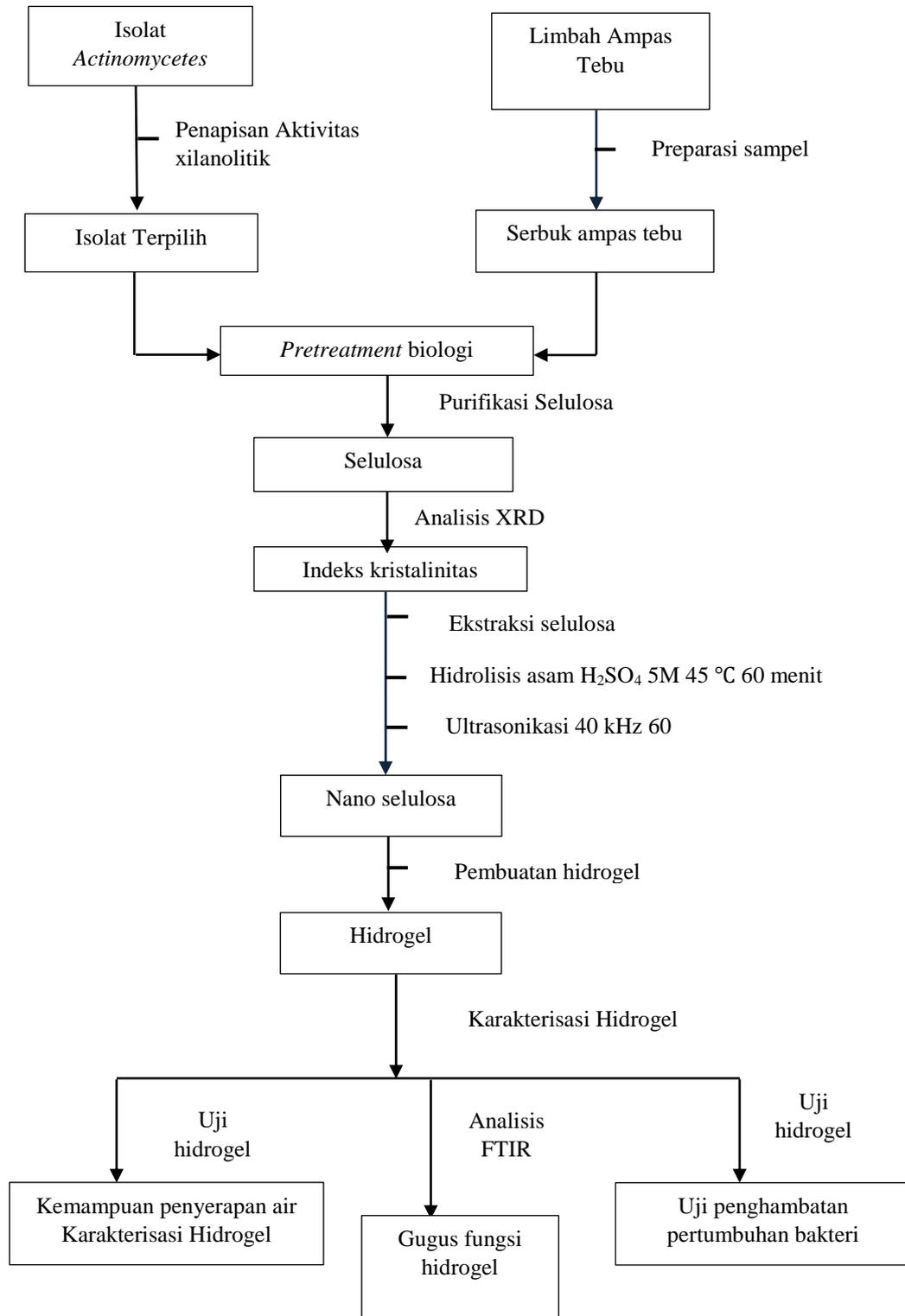
3. 3. 8. 3 Uji Penghambatan Pertumbuhan Bakteri

Hidrogel kering sebanyak 0,1 gram kemudian direndam dengan larutan antibiotik selama 48 jam. Antibiotik yang digunakan sebanyak 600 dan 200 μg .

Selanjutnya hasil hidrogel tersebut diuji terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Digunakan pula hidrogel yang bebas antibiotik sebagai kontrol negatif (Antika, 2021). Uji dilakukan dengan cara, kedua isolat bakteri diremajakan pada media *nutrient agar*. Kemudian, hidrogel yang mengandung antibiotik ditempatkan di atas permukaan media agar, lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Setelah diinkubasi 24 jam kemudian zona bening yang muncul diukur diameternya.

3.4 Diagram Alir

Berikut adalah gambar diagram alir sebagai kerangka dasar penelitian :



Gambar 8. Diagram Alir

V. KESIMPULAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada penapisan *Actinomycetes* diperoleh isolat murni yaitu Act-4 dengan besar indeks xilanolitik sebesar 1,29, hal ini menunjukkan adanya aktivitas xilanolitik pada isolat Act-4.
2. Pada *pretreatment* secara biologi dengan memanfaatkan isolat Act-4 sebagai isolat terpilih dihasilkan selulosa dari lignoselulosa yang terdapat pada ampas tebu.
3. Dihasilkan selulosa yang memiliki ukuran diameter dengan ukuran paling kecil 21,11 nm, rata-rata 49,92 nm dan ukuran paling banyak dihasilkan diameter 52,91 nm, selulosa yang dihasilkan masih dalam rentang ukuran nanometer.
4. Diperoleh hidrogel kering sebanyak 17,25 gram, dengan kapasitas penyerapan air sebesar 30,2 g/g, persentase pembengkakan sebesar 3022,2%. Pada analisis FTIR terbentuk dua puncak pada bagian gelombang 1647 cm^{-1} yang merupakan gugus C=O pada rantai polimer hidrogel.
5. Hidrogel yang diinfuskan antibiotik amoksisilin dengan konsentrasi 600 dan 1200 μg pada bakteri *S. aureus* ATCC 25923 dihasilkan zona hambat 18 dan 25 mm sedangkan pada *E.coli* ATCC 25922 dihasilkan zona hambat 15 dan 17 mm, terbukti dapat menghambat bakteri.

5.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan dan menghasilkan nanokomposit hidrogel dari ampas tebu dengan reaksi kopolimerisasi pencangkakan-penautan silang antara selulosa, akrilamida, dan metilen bis-akrilamida (MBA). Namun terdapat beberapa hal yang perlu disempurnakan pada penelitian ini di masa mendatang antara lain: perlunya dilakukan pengembangan potensi hidrogel dalam uji penyerapannya selain uji penyerapan antibiotik, serta perlunya dilakukan evaluasi pada prosedur pembuatan nanoselulosa agar diperoleh hasil yang lebih seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, S.H. 2012. Aplikasi Hidrogel untuk Efisiensi Irigasi Sumber Daya Lahan. *Teknologi Nano Untuk Pertanian*. 6:1-6.
- Aguado, J, Serrano, D.P, Miguel, G.S., Castro, M.C., dan Madrid, S. 2006. Feedstock Recycling In A Two Step Thermo Catalytic Reaction System, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 79. 415-423.
- Andaka, G. 2011. Hidrolisis Ampas Tebu menjadi Furfural dengan Katalisator Asam Sulfat. *Jurnal Teknologi*. 4 (2): 180-181.
- Antika, R.A. 2021. Pembuatan Mikrokomposit Hidrogel Berbahan Dasar Limbah Onggok Singkong dari Residu Fraksi Selulosa. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Basir, I.F., Mahatmanti, F.W., dan Haryani, S. 2017. Sintesis Komposit Beads Kitosan/Arang Aktif Tempurung Kelapa untuk Adsorpsi Ion Cu(II)'. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 6(2): 181–188.
- Buddy, D.R. 2004. *Biomaterials Science: An Introduction To Materials In Medicine*. Academic Press. Page 100.
- Cardona, C.A., Quintero, J.A., and Paz, I.C. 2010. Production of Bioethanol from Sugarcane Bagasse: Status and Perspectives. *Bioresource Technology*. 101(13): 4754-4766.
- Cheng, J.J., and Timilsina, G.R. 2011. Status and Barries of Advanced Biofuel Technologies: A Review *Renewable Energy*. 36: 3541-3549.
- Costa, A.G., Pinheiro, G.C., Pinheiro, F.G.C., Dos Santos, A.B., Santaella, S.T., and Leitão, R.C. 2014. The Use of Thermochemical Pretreatments to Improve the Anaerobic Biodegradability and Biochemical Methane Potential of The Sugarcane Bagasse. *Chemical Engineering Journal*. 248: 363-372.
- Erizal, and Rahayu. 2009. Thermo-Responsive Hydrogel Of Poli Vinyl Alcohol (PVA) - Con- Isopropyl Acrylamide (Nipaam) Prepared By γ Radiation As A Matrix Pumping/On-Off System. *Indo. J. Chem*. 9(1): 19–27.
- Fauzi, A. 2017. Pembuatan Flokulan Starch-Gpolyacrylamide Dengan Grafting To. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

- Figuroa, A.V., Martinez, C.J., Castro, T., Bolado, E.M., A.G., Maria., M, Alejandro., E, Tani., and 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*. 1-14.
- Fuadi, A., Harismah, K., dan Setiawan, A. 2015. Hidrolisis Enzimatik Kertas Bekas dengan Variasi Pemanasan Awal. *University Research Colloquium*. 1-8.
- Gírio, F.M., Fonseca, C., Carvalheiro, F., Duarte, L.C., Marques, S., and Bogel-Lukasik, R. 2010. Hemicelluloses for Fuel Ethanol: A Review. *Bioresource Technology*. 101(13): 4775-4800.
- Handayani, R. 2021. Pemanfaatan Fraksi Residu Selulosa dari Limbah Padat Kulit Singkong untuk Produksi Mikrokomposit Hidrogel. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Harahap, Y. 2006. Pembentukan Akrilamida dalam Makanan dan Analisisnya. *Majalah Ilmu Kefarmasian*. 3(3): 107-116.
- Hendri, J., Irawan, G., Wasinton, S., and Annisa, G. 2007. Karakteristik Film Polietilen Tergrafting Asam Akrilat Diperoleh dengan Metoda Radiasi Gamma. *Jurnal Berkala MIPA*. 17(2): 33-42.
- Hendriks, A.T., and Zeeman, G. 2009. Preatreatment to Enhance the Digestibility of Lignocellulosic Biomass. *Bioresource Technology*. 100: 10-18.
- Hennink, W.E., and Van Nostrum, C.F. 2002. Novel Crosslinking Methods to Design Hydrogels. *Advanced Drug Delivery Review*. 54: 13-36.
- Herawati, N., dan Melani, A. 2018. Pembuatan Biogasoline dari Ampas Tebu. *Jurnal Distilasi*. 3(1): 16-21.
- Hermanto, S., dan Adawiyah, R. 2010. Analisis Kadar Akrilamida dalam Sediaan Roti Kering Secara KCKT. *Jurnal Kimia Valensi*. 2(1): 354-361.
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T.C., Suparno, O., dan Prasetya, B. 2010. Pemanfaatan Biomassa Lignoselulosa Ampas Tebu untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Litbang Pertanian*. 29(4): 121-130.
- Ioelovich, M. 2012. Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology*. 2(2): 9-13.
- Janardhnan, S., dan Sain, M.M. 2006. Cellulose Microfibril Isolation. *Bioresources*. 1(2):176-188.

- Jun Ji, X., Huang, H., Nie, Z., Qu, L., Xu, Q., Tsao., and George.T. 2012. Fuels and Chemicals from Hemicellulose Sugars. *Biochem Engin/Biotechnol.* 128:199-224.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.P., and Bohn, A. 2005. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International Edition.* 44(22): 3358–3393.
- Kumar, P., Barrett, D.M., Delwiche, M.J., and Stoeve, P. 2009. Methods For Pretreatment of Lignocellulosic and Organic Acid Pretreatment for Enzymatic Hydrolysis Of Wheat Straw. *Biochemical Engineering Journal.* 46(2):126-131.
- Kumar, R.R., and Jadeja, V.J. 2016. Isolation of *Actinomycetes*: A Complete Approach. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.* 5(5): 606–618.
- 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: 479-485.
- Maftoonazad, N., and Ramaswamy, H.S. 2019. Application and Evaluation of a Pectinbased Edible Coating Process for Quality Change Kinetics and Shelf-life Extension of lime fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coating.* 9(5): 285.
- Maida, S., dan Lestari, K.A.P. 2019. Aktivitas Antibakteri Amoksisilin Terhadap Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif. *J. Pijar MIPA.* 14(3): 189-191.
- Mardina, P. 2014. Pengaruh Waktu Hidrolisis dan Konsentrasi Katalisator Asam Sulfat Terhadap Sintesis Fufural dari Jerami Padi. *Konversi.* 2(3):2-4.
- Martin, C., Klinker, H.B., and Thomsen, A.B. 2007. Wet Oxidation As A Pretreatment Method for Enhancing the Enzymatic Convertibility Of Sugarcane Bagasse. *Enzyme and Microbial Technology.* 40(3):426-432.
- Martínez, A.T., Speranza, M., Ruiz-Dueñas, F.J., Ferreira, P., Camarero, S., and Guillén, F. 2005. Biodegradation of Lignocellulosics: Microbial, Chemical, and Enzymatic Aspects of the Fungal Attack of Lignin. *Int Microbiol.* 8:195-204.
- Mas'ud, Z.A., Khotib, M., Farid, M., Nur, A., dan Amroni, M. 2013. Superabsorbent Derived From Cassava Waste Pulp. *International Journal of Recycling of Organic Waste In Agriculture.* 2: 1-8.
- Moad, G., Chiefari., Mayadunne, R.T., Moad, C., Postma, A., Rizzardo, E., and Thang, S. 2002. Initiating Free Radical Polymerization. *Macromol Symp.* (182): 65–80.

- Moon, R.J. 2011. Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties and Nanocomposites. *Chemical Society*. 40: 3941-3994.
- Muharram, H.R., Fahrurrossi, M., dan Sediawan, W.B. 2020. Preparasi dan Karakterisasi Nanokristal Selulosa Melalui Hidrolisis Asam Campuran H₂SO₄ dan HCL dari Jerami Padi. *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Agroindustri*. 239-251.
- Nasrulloh. 2009. Hidrolisis Asam dan Enzimatik Ubi Jalar (*Ipomea Batatas L.*). Menjadi Glukosa Sebagai Substrat Fermentasi Etanol. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Nisak, A. 2018. Optimasi Konsentrasi Nanokristalin Selulosa dari Ampas Tebu (*Sugarcane officinarum*) Sebagai Bahan Alternatif Pembuatan Kapsul Bebas Gelatin. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Nuraeni, W., Daruwati, I., Maria, W.E., 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*. 226-271.
- Oktavia, F.I., Argo, B.D., Lutfi, M., dan Korespondensi, P. 2014. Hidrolisis Enzimatik Ampas Tebu (*Bagasse*) Memanfaatkan Enzim Selulase Dari Mikrofungi *Trichoderma reseei* dan *Aspergillus niger* Sebagai Katalisator Dengan Pretreatment Microwave Enzymatic. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 2. (3): 256-262.
- Park, S., Baker, J.O., Himmel, M.E., Parila, P.A., and Johnson, D.K. 2010. Cellulosa Crystallinity Index: Measurement Techniques and Their Impact on Interpreting Cellulase Performance. *Biotechnology for Biofuels*. 3:1-10.
- Pasue, I., Saleh., Ellen, J., dan Bahri, S. 2019. Analisis Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa Jerami Jagung Hasil di Fermentasi *Trichoderma viride* dengan Masa Inkubasi Yang Berbeda. *Jambura Journal of Animal Science*. 1(2): 62-66.
- Pérez, J., Muñoz-Dorado, J., De-La-Rubia, T., and Martínez, J. 2002. Biodegradation and Biological treatments of Cellulose, Hemicellulose and Lignin. *An Overview Int Microbiol*. 5:53-63.
- Pourjavadi, A.M., Amini-Fazl, S., and Ayyari, M. 2007. Optimization of Synthetic Condition CMC-G-Poly (Acrylic Acid)/Celite composite Superabsorbent by Taguchi Method and Determination of its Absorbancy Under Load. *Express Polymer Letters*. 1(8): 488-494.

- Putri, E., Rukayadi, Y., Sunarti, T.C., and Meryandini, A. 2019. Cellulolytic and Xylanolytic Actinomycetes Selection to Degrade Lignocellulosic Biomass of Robusta Coffee Pulp (*Coffea canephora*). *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 299(1).
- Richana, N. 2002. Produksi dan Prospek Enzim Xilanase dalam Pengembangan Bioindustri di Indonesia. *Buletin AgroBio.* 5(1): 29-36.
- Rizky, P. 2019. Pembuatan Hidrogel Semi Interpenetrating Polymer Network dari Selulosa Bakteri Dan Asam Akrilat Menggunakan Pengikat Silang N,N'-Metilen bis Akrilamida. *Tesis.* Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Roy, N., Saha, N., and Saha, P. 2011. Stability Study of Novel Medicated Hydrogel Wound Dressings. *International Journal of Polymeric Materials.* 62: 150–156.
- Samsuri, M., Gozan, M., Mardias, R., Baiquni, M., Hermansyah, H., Wijanarko, A., Prasetya, B, dan Nasikin, M. 2007. Pemanfaatan Selulosa Bagas untuk Produksi Ethanol Melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xilanase. *Makara Teknologi.* 11(1):17-24.
- Samsuri, M., Gozan, M., Wijanarko., Hermansyah, H., Wulan, P. P. D. K., Dianursanti, Nasikin, M., dan Prasetya, B. 2009. Hydrolysis of Bagas By Cellulose and Xylanase for Bioethanol Production. In Simultaneous Saccharification and Fermentation. *J. Applied Indust Biotechnol.* 2(2): 1979-9784.
- Saputri, L. H., Sukmawan, R., Rochardjo, H.S.B., dan Rochmadi. 2018. Isolasi Nano Selulosa dari Ampas Tebu dengan Proses Blending pada Berbagai Variasi Konsentrasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. 1-6.
- Saputro, M.R., Windhu, W.Y., and Wathoni, N. 2021. Stabilitas Hidrogel dalam Penghantaran Obat. *Majalah Farmasetika.* 6(5): 421.
- Satria, H., Yandri., Nurhasanah., Yuwono, S.D., and Dian, H. 2020. Extracellular Hydrolytic Enzyme Activities of Indigenous *Actinomycetes* on Pretreated Bagasse Using Choline Acetate Ionic Liquid. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology.* 101-503.
- Septiyani, R. 2011. Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Inkubasi Enzim Selulase Terhadap Kadar Gula Eduksi Ampas Tebu. *Skripsi.* Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Siregar, M.S., Tamrin, dan Basuki, W.S. 2015. Modifikasi Karet Alam Siklis (*Cyclic Natural Rubber/CNR*) dengan Teknik Grafting: Menggunakan Monomer Metil Metakrilat dan Inisiator Benzoil Peroksida. *Agrium: Jurnal Ilmu Pertanian.* 17(3).

- Steven, M.P. 2000. *Kimia Polimer Cetakan Pertama*. PT Pradniya Paramita. Jakarta.
- Sudewi, Sri, dan Lolo, W.A. 2016. Kombinasi Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia L.*) dan Daun Sirsak (*Annona muricata L.*) dalam Menghambat Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Ilmiah Farmasi*. 4(2) : 36-42
- Sumada, K., Tamaraa, P.E., dan Alkani, F. 2011. Kajian Proses Isolasi α -Selulosa dari Limbah Batang Tanaman *Manihot eszulentata crants* Yang Efisien. *Jurnal Teknik Kimia*. 5(2).
- Susilowati, P.E., Raharjo, S., Kurniawati, D., Rahim, R., Sumarlin., Ardiyansyah. 2012. Produksi Xilanase dari Isolat Sumber Air Panas Sonai Sulawesi Tenggara Menggunakan Limbah Pertanian. *J. Natur Indonesia*. 14(3) : 199-204.
- Taherzadeh, M., and Karimi, K. 2008. Preatreatment of Lignocellulosic Waste to Improve Etanol and Biogas Production. *International Journal Molecular Science*. 9: 1621-1651.
- Thomas, L., Joseph, A., Arumugam, M., and Pandey, A. 2013. Production , Purification , Characterization, And Over-Expression Of Xylanases From Actinomycetes. *Indian Journal of Experimental Biology*. 51(11): 875–884.
- Wang, X., Fang, G., Hu, C., and Du, T. 2008. Application of Ultrasonic Waves in Activation of Microcrystalline Celulose. *Journal of Applied Polymer Science*. 109:2762-2767.
- Widihastuty, Y.R., dan Ramadhani, A.N. 2019. Hidrolisis Lignoselulosa dari Agricultural Waste Sebagai Optimasi Produksi Fermentable Sugar. *Journal Review*. 3(2).
- Wijayanti, C. 2021. Biokonversi Ampas Tebu Ter-*Pretreatment* dengan Asam Format Menjadi Etanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* melalui Hidrolisis Enzimatis oleh Isolat *Indigenous Actinomycetes* Lokal. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Wijayanti, S.W. 2012. Pengaruh Penambahan Asam Itakonat dan N’N-Metilen Bisakrilamida Terhadap Karakteristik Hidrogel Dari Kitosan. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Yang, W., Ajapur, V.K., Krishnamurthy, K., Feng, H., Yang, R., Rababah, T.M. 2009. Expedited Extraction of Xylan from Corncob by Power Ultrasound. *Int J Agric & Biol Eng*. 2(4): 76-83.

- Zakaria. 2003. Analisis Kandungan Mineral Magnetik pada Batuan Beku dari Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode X-Ray Diffraction. *Skripsi*. Universitas Haluoleo. Kendari.
- Zhang, J.P., A.Li., And A.O.Wang. 2006. Study on Superabsorbent Composite VI. Preparation, Characterization and Swelling Behaviors of Strach Phospate-Graft-Acrylamide/Attapulgite Superabsorbent Composite. *Carbohydrate Polymers*. 65(2): 150-158.
- Zhang, J., Liang, X., Zhang, Y., and Shang, Q. 2016. Fabrication and Evaluation of A Novel Polymeric Hydrogel of Carboxymethyl Chitosan-G-Polyacrylic Acid (CMC-G-PAA) for Oral Insulin Delivery. *RSC Advances*. 6:52858 - 52867.