

**PEMBUATAN NANOSELULOSA DARI TONGKOL JAGUNG
MENGUNAKAN METODE HIDROLISIS ASAM**

(Skripsi)

Oleh

IDA PURWATI



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

2025

ABSTRAK

PEMBUATAN NANOSELULOSA DARI TONGKOL JAGUNG MENGUNAKAN METODE HIDROLISIS ASAM

Oleh :

Ida Purwati

Jagung merupakan salah satu jenis tanaman yang memiliki pengaruh besar bagi Indonesia karena jagung termasuk bahan pangan utama setelah beras. Pada umumnya, jagung hanya dimanfaatkan bagian dagingnya saja, sedangkan bagian lainnya kurang dimanfaatkan secara optimal, salah satunya adalah tongkol jagung. Tongkol jagung mengandung 40%-60% selulosa sehingga memiliki potensi besar dalam pembuatan nanoselulosa.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah tongkol jagung sebagai bahan baku pembuatan nanoselulosa menggunakan metode hidrolisis asam dengan variasi prahidrolisis, variasi delignifikasi, variasi bleaching, serta variasi asam sulfat 20%, 30%, dan 40%. Hasil dari nanoselulosa selanjutnya dianalisis menggunakan SEM, XRD, dan FTIR.

Pada hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran nanoselulosa pada variasi P3D1F1B1As 20% berkisar antara 106,3,3– 137,9 nm, sedangkan untuk ukuran nanoselulosa pada P3D1F1B1As 30% berkisar antara 128,3–160,0 nm, dan pada P3D1F1B2As 30% berkisar antara 168,1-329,72 nm.

Kata Kunci : Jagung, Tongkol Jagung, Nanoselulosa, Hidrolisis Asam

ABSTRACT

MANUFACTURING NANOCELLULOSE FROM CORN COBS USING THE ACID HYDROLYSIS METHOD

By

Ida Purwati

Corn is a type of plant that has a big influence on Indonesia because corn is the main food ingredient after rice. In general, only the flesh part of corn is used, while other parts are not used optimally, one of them is the corn cob. Corn cobs contain 40% -60% cellulose so they have great potential in productions of nanocellulose.

This research aims to utilize corncob waste as raw material for making nanocellulose using the acid hydrolysis method with variations in pre-hydrolysis, variations in delignification, variations in bleaching, and variations in sulfuric acid of 20%, 30% and 40%. The results of nanocellulose were then analyzed using SEM, XRD, and FTIR.

The research results show that the size of nanocellulose in the 20% P3D1F1B1As variation ranges between 106.3– 137.9 nm, while the size of the nanocellulose in the 30% P3D1F1B1As ranges between 128.3–160.0 nm, and in the 30% P3D1F1B2As ranges between 168.1-329.72 nm.

Keywords: Corn, Corn cob, Nanocellulose, Acid Hydrolysis

**PEMBUATAN NANOSELULOSA DARI TONGKOL JAGUNG
MENGUNAKAN METODE HIDROLISIS ASAM**

Oleh

IDA PURWATI

Skripsi

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

Pada

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



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

2025

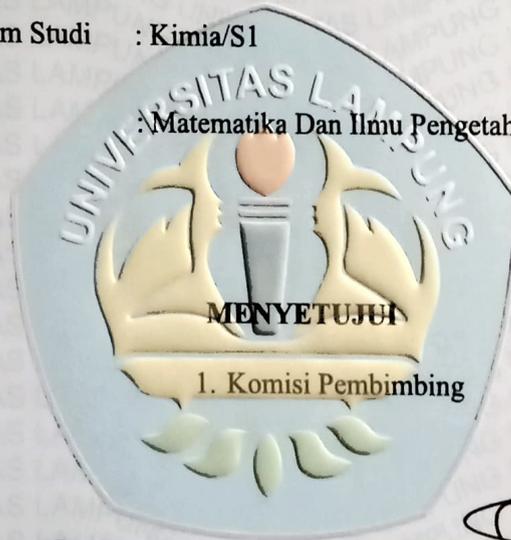
Judul Skripsi : **PEMBUATAN NANOSELULOSA DARI
TONGKOL JAGUNG MENGGUNAKAN
METODE HIDROLISIS ASAM**

Nama Mahasiswa : Ida Purwati

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011037

Jurusan/Program Studi : Kimia/S1

Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Eng Supto Dwi Yuwono, S.Si., M.T

NIP. 197407052000031001

Ulin Herlina, M.T

NIP. 198102112005022002

2. Ketua Jurusan FMIPA Universitas Lampung

Dr. Mita Rihyanti, S.Si., M.Si

NIP. 197205302000032001

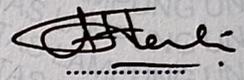
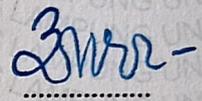
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

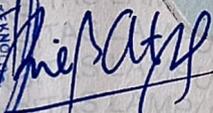
Ketua : Prof. Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T



Sekertaris : Ulin Herlina, M.T

Penguji
Bukan Pembimbing : Dian Septiani Pratama, S.Si., M.Si

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 Januari 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :
Nama : Ida Purwati
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011037
Jurusan : Kimia
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul “ **Pembuatan Nanoselulosa dari tongkol jagung menggunakan metode hidrolisis asam** “adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika Sebagian atau seluruh data didalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 30 Januari 2025



Ida Purwati menyatakan,

Ida Purwati
NPM.2017011037

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ida Purwati, lahir di Sidodadi, Lampung Timur pada tanggal 21 juni 2001 dan merupakan anak kelima dari enam bersaudara, putri dari Bapak Tajuri (alm) dan Ibu Partiwi. Saat ini penulis bertempat tinggal di Dusun 1 Sidodadi Lehan, Lampung Timur. Penulis mengawali pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Sukadana pada tahun 2008 dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2016 telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sukadana, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Sukadana dan lulus pada tahun 2019. Setelah lulus pada tahun 2019, penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, sebagai mahasiswa jurusan Kimia melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP)

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis telah mengikuti kegiatan organisasi Kader Muda Himaki (KAMI) FMIPA Unila pada tahun 2020-2021 dan Koperasi Mahasiswa Unila (KOPMA). Selanjutnya pada periode kepengurusan tahun 2021-2022, penulis menjadi anggota aktif Biro Usaha Mandiri (BUM) Himpunan Mahasiswa Kimia FMIPA Unila. Tahun 2023, Penulis mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Pekon Srimulyo, Kabupaten Lampung Barat. Pada tahun yang sama, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dan menyelesaikan riset pada tahun 2024 di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang, Lampung.

MOTTO

“Bukan Ilmu yang Mendatangimu, Tapi Kamu Yang Mendatangi Ilmu”
(Imam Malik)

*“Ketahuilah Bahwa Kemenangan Bersama Kesabaran,
Kelapangan Bersama Kesempitan, dan Kesulitan Bersama
Kemudahan”*
(HR. Tirmidzi)

*“Sukses Bukanlah Kunci Kebahagiaan. Kebahagiaanlah
Kunci Sukses. Jika Anda Mencintai Apa yang Anda
Kerjakan, Anda Akan Menjadi Orang Sukses”*
(Albert Schweitzer)



Dengan mengucap alhamdulillahirobbil alamin, puji syukur kehadiran 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 kupersembahkan karya sederhana ini sebagai wujud cinta, bakti, serta tanggung jawabku teruntuk:

Kedua orang tuaku Bapak Tajuri (Alm) dan Ibu Partiwí, yang telah membesarkan, mendidik, mendo'akan, serta memberikan kasih sayang dan motivasi selama ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang selalu diberikan.

Seluruh kakakku, Ali Usman, Rusli Maulana, Tri Wibowo, dan Dewi Lasmini Ningsih, yang selalu mendukung penuh, dan memberikan semangat.

Pembimbing penelitianku Prof. Dr. Eng Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T., Ulin Herlina, M.T., dan Dr. Fathan Bahfie, S.T., M.Si serta seluruh dosen Jurusan Kimia, yang telah dengan sabar membimbing, mendidik, memberikan banyak Ilmu, dan pengalamannya kepadaku selama menempuh pendidikan dan penelitian di kampus.

Seluruh rekan-rekan saudara-saudariku keluarga besar Kimia 2020 yang selalu mewarnai hari-hari selama menjalani perkuliahan.

Dan almamater yang kbanggakan, Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, nikmat, dan kasih sayang-Nya. Shalawat serta salam teruntuk Nabi Muhammad SAW, semoga kelak kita termasuk umat yang mendapat syafa'at beliau di yaumul akhirnanti. Dengan berbekal keyakinan, ketabahan, serta ilmu pengetahuan dan pengalaman yang telah diperoleh, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "**Pembuatan Nanoselulosa dari Tongkol Jagung Menggunakan Metode Hidrolisis Asam**". Skripsi ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, 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 doa yang tulus, penulis mengucapkan terima kasih 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, ayah dan ibu yang sangat berjasa karena selalu mendukung, mendoakan, memotivasi, menjadi tempat berkeluh kesah, dan selalu berusaha memberikan yang terbaik kepada penulis. Ucapan terima kasih 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. Kakak penulis, Ali Usman, Rusli Maulana, Tri Wibowo, Dewi Lasminingsih yang selalu memberikan semangat dan doa. Terima kasih tidak pernah lelah dalam memberikan dukungan penuh dan kasih sayang kepada penulis.
4. Mas Pendi Pratama terimakasih selalu menemani, memberikan semangat dan dorongan penulis selama menjalani perkuliahan. Semoga selalu menjadi motivasi penulis untuk terus berjuang.
5. Prof. Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T., selaku pembimbing pertama atas segala kebaikan, ilmu, kesabaran, motivasi, dan bimbingan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Ditengah waktu yang sibuk, selalu berusaha meluangkan waktu dan senantiasa memberikan dukungan kepada penulis sehingga penulis tidak pernah kehilangan semangat hingga berada dititik ini. Semoga Allah selalu memberikan perlindungan dan keberkahan atas semua yang telah bapak berikan.
6. Ulin Herlina, M.T., selaku pembimbing kedua atas segala saran, dan bimbingan yang sangat bermanfaat kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Atas ilmu yang selama ini diberikan. Semoga Allah memberikan ridha-Nya dan membalas semua kebaikan ibu.
7. Dr. Fathan Bahfie, S.T., M.Si., selaku pembimbing lapangan atas segala saran dan bimbingan yang sangat bermanfaat kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Atas ilmu yang selama ini diberikan. Semoga Allah memberikan ridha-Nya dan membalas semua kebaikan bapak.
8. Ibu Dian Septiani Pratama, S.Si, M.Si., selaku pembahas atas kritik, saran, dan ilmu yang bermanfaat. Atas segala kesediaannya untuk memberikan yang terbaik kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga Allah berikan keberkahan atas semua yang telah ibu diberikan.
9. Bapak Dr. Sonny Widiarto, M.Sc., selaku Pembimbing Akademik atas segala bantuan dan dukungan kepada penulis selama perkuliahan.
10. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

11. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia atas ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat dan berharga kepada penulis selama menjadi mahasiswa jurusan kimia.
12. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan kepada penulis.
13. Teman seperjuangan penelitian Sri Pawitri, atas bantuan, dukungan, dan kerjasama dalam menjalankan penelitian. Semoga sukses selalu.
14. Teman sekaligus kakak penulis, Wahyu Komarudin, atas semangat, dukungan, dan tempat bercerita. Terimakasih atas waktu luang yang telah diberikan untuk penulis.
15. Evi widyatari, selaku teman berjuang, yang senantiasa menemani penulis selama bimbingan
16. Teman-teman SMA Negeri 1 Sukadana, Tiara Mustika, Siti Khadijah, Martono, Siti Surani, Ina Fitriyani, atas dukungan, semangat, energi positif, dan motivasi yang diberikan untuk penulis. Terimakasih atas kesediaan waktunya hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi.
17. Teman-teman penulis, Hamida, Sabrina Zulaika, Gita Fitria, Ester Monika, Agil Sri Wahyuni, Alda Nurmala Dewi dan Senna Febriyanti atas segala bantuan, dukungan, dan waktu yang telah kita habiskan bersama-sama selama ini. Terima kasih atas kesediaan hatinya untuk berbagi cerita dan pengalaman selama perkuliahan dan perantauan.
18. Teman-teman Chemistry'20 atas segala keceriaan, kebersamaan, semangat, dan energi positif yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
19. Almamater tercinta Universitas Lampung.
20. Last but not least, teruntuk diriku yang telah berjuang dan tidak pernah menyerah. Selalu optimis dalam menghadapi setiap tantangan dan rintangan selama menjalani 4 tahun perkuliahan, terima kasih 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.

Terima kasih 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, 30 Januari 2025

Penulis

Ida Purwat

NPM.2017011037

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Jagung	4
2.1.1. Klasifikasi Jagung	4
2.1.2. Tongkol Jagung.....	5
2.1.3. Lignin	7
2.1.4. Hemiselulosa.....	8
2.1.5. Selulosa	9
2.2. Nanoselulosa.....	11
2.2.1. Aplikasi Nanoselulosa	11
2.2.2. Sintesis Nanoselulosa.....	13
2.3. Uji Karakterisasi	14
2.3.1. FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>).....	14
2.3.2. SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	15
2.3.3. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	15
III. METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu Dan Tempat.....	16
3.2 Alat Dan Bahan	16

3.2.1	Alat.....	16
3.2.2	Bahan	16
3.3	Prosedur Kerja	17
3.3.1.	Preparasi Sampel Tongkol Jagung.....	20
3.3.2.	Isolasi α -Selulosa Dari Tongkol Jagung	20
3.3.3.	Penentuan Kadar α -Selulosa Menggunakan Metode Uji SNI 0444:2009 dan Penentuan Kadar Lignin Menggunakan Metode SNI 0492:2008	22
3.3.4.	Pembuatan Nanoselulosa dari α -Selulosa Menggunakan Metode Hidrolisis Asam	24
3.3.5.	Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	24
3.3.6.	Analisis SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	24
3.3.7.	Analisis FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>).....	25
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1.	Preparasi Sampel	26
4.2.	Isolasi α -Selulosa Dari Tongkol Jagung.....	26
4.3.	. Penentuan Kadar α -Selulosa dan Kadar Lignin.....	28
4.4.	Pembuatan Nanoselulosa.....	30
4.5.	Karakterisasi Nanoselulosa dari Tonggol Jagung	31
4.5.1.	Analisis FTIR.....	31
4.5.2.	Analisis XRD	33
4.5.3.	Analisis SEM	34
V.	SIMPULAN DAN SARAN	37
5.1.	Simpulan.....	37
5.2.	Saran	37
	DAFTAR PUSTAKA	38
	LAMPIRAN.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. kandungan tongkol jagung	7
2. Komposisi unsur anorganik pada tongkol jagung	7
3. Variasi larutan prahidrolisis selulosa.....	20
4. Rincian variasi isolasi selulosa.....	21
5. Kadar alfa selulosa dan lignin	29
6. Perbandingan data analisis FTIR.....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1 Jagung.....	5
2 Tongkol jagung.....	6
3 Struktur Lignin	8
4 Struktur hemiselulosa	9
5 Stuktur selulosa	9
6 Tongkol jagung.....	26
7 Hasil delignifikasi Na_2SO_4 dan hasil pemutihan CH_3COOH	27
8 Hasil delignifikasi NaOH dan hasil pemutihan CH_3COOH	27
9 Hasil delignifikasi Na_2SO_4 dan hasil pemutihan H_2O_2	28
10 Hasil delignifikasi NaOH dan hasil pemutihan H_2O_2	28
11 Hasil Nanoselulosa	30
12 Spektum IR Nanoselulosa	32
13 Hasil XRD Nanoselulosa	34
14. Hasil SEM	35

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman jagung masuk ke dalam tanaman serealia dari keluarga *poacease*, yang tumbuh dengan baik di negara tropis seperti Indonesia. Karena jagung adalah komoditas utama di Indonesia setelah beras, maka produksi jagung di Indonesia meningkat sangat tinggi. Dari tingginya produksi ini, terlihat bahwa limbah yang dihasilkan memiliki kapasitas yang besar, salah satunya adalah limbah tongkol jagung (Chairunnisa *et al.*, 2018). Tongkol jagung memiliki kandungan kimia seperti selulosa (40-60%), hemiselulosa (20-30%) dan lignin (15-30%). Zat-zat kimia tersebut dapat berguna apabila dimanfaatkan dengan tepat khususnya selulosa (Shofiyanto, 2008).

Selulosa, adalah salah satu polimer alami yang paling melimpah, telah muncul sebagai biopolimer yang banyak digunakan. Secara kimia, selulosa terdiri dari ikatan glukosa yang tersusun dalam rantai linier, dengan C-1 dari setiap molekul glukosa berikatan dengan C-4 dari molekul glukosa yang berdekatan. Struktur linier selulosa berkontribusi pada sifat kristalinnya, sehingga relatif tidak larut dalam air. (Effendi *et al.*, 2015).

Selulosa dapat dimodifikasi menjadi nanoselulosa yang memiliki sifat yang lebih baik. Nanoselulosa merupakan selulosa dengan ukuran kurang dari 100 nm. Nanoselulosa memiliki keunggulan dibandingkan dengan selulosa, antara lain densitasnya rendah, memiliki reaktivitas kimia yang tinggi, kekuatan dan modulusnya tinggi. Sifat-sifat tersebut membuat nanoselulosa memiliki potensi dengan nilai guna tinggi dan dapat diaplikasikan lebih meluas. Karena

kemampuan ini, nanoselulosa dapat digunakan sebagai filler penguat polimer, penguat membran, pengental untuk dispersi, media pembawa obat, dan implan (Loelovich, 2012).

Banyak penelitian telah mencoba mensintesis nanoselulosa dari bahan baku serat selain kayu. salah satu limbah yang sering digunakan adalah limbah pertanian termasuk ampas tebu, kulit kacang kedelai, daun nanas, jerami, gandum, tongkol jagung, dan sebagainya. Menurut (Ningtyas *et al.*, 2020), nanoselulosa dapat diekstraksi dari bahan baku sumber selulosa, diantaranya dengan metode hidrolisis asam, enzimatis dan mekanik. Pada penelitian terdahulu ekstraksi selulosa metode hidrolisis asam menggunakan asam sulfat menghasilkan nanoselulosa berukuran 290,4 nm (Julianto *et al.*, 2017), sedangkan pada metode mekanis yaitu hidrotermal (Li *et al.*, 2012) dan ultrasonikasi (Hu *et al.*, 2017) menghasilkan ukuran nanoselulosa yang lebih kecil 50 – 250 nm (Li *et al.*, 2012). Saat ini metode yang paling banyak digunakan adalah hidrolisis asam karena mudah dan mempunyai sifat yang lebih baik (Filson *et al.*, 2009). Selain itu, Metode ini akan menghilangkan bagian amorf selulosa dan nanoselulosa yang diperoleh memiliki sifat kristalinitas, luas permukaan yang besar dan kekuatan mekanik yang tinggi (Biao *et al.*, 2011).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memanfaatkan limbah tongkol jagung sebagai bahan baku pembuatan nanoselulosa menggunakan metode hidrolisis asam dengan variasi konsentrasi asam sulfat. Nanoelulosa yang telah didapatkan kemudian dilakukan analisis kuantitatif menggunakan FTIR, SEM dan XRD

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Membuat nanoselulosa dari tongkol jagung menggunakan metode hidrolisis asam
2. Untuk mengetahui struktur morfologi pada nanoselulosa tongkol jagung.

3. Untuk mengetahui karakteristik nanoselulosa dari tongkol jagung setelah proses pemutihan menggunakan CH_3COOH dan H_2O_2 .

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi baru dalam memanfaatkan limbah tongkol jagung untuk mengurangi dampak buruk pada lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jagung

2. 1. 1. Klasifikasi Jagung

Jagung (*Zea mays L.*) merupakan salah satu jenis tanaman pangan yang penting selain padi dan gandum sebagai sumber karbohidrat (Castro *et al.*, 2021). Jagung tidak hanya digunakan sebagai sumber karbohidrat, tetapi juga ditanam sebagai pakan ternak (baik tongkol maupun batang), sumber minyak (dari biji), sumber tepung (dari biji, juga disebut tepung jagung atau maizena), dan bahan baku industri. Jagung Sudah menjadi makanan pokok di beberapa tempat di Indonesia dan sekarang menjadi sumber makanan tambahan yang serbaguna (Suarni, 2011)

Menurut (Rukmana, 2007) kedudukan tanaman jagung dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisio : Spermatophyta
Subdivisio : Angiospermae
Kelas : Monocotyledoneae
Ordo : Poales
Famili : Poaceae (Graminae)
Genus : *Zea*
Spesies : *Zea mays L.*

Tanaman jagung termasuk kedalam family Poaceae dan Genus *Zea* yang terdiri dari akar, batang, daun, bunga, dan biji (Ul *et al.*, 2020). Tanaman jagung

memiliki akar serabut yang menyebar ke samping dan ke bawah sepanjang kira-kira 25 cm. Batangnya berwarna hijau sampai keunguan dan berbentuk bulat dengan penampang melintang 2-2,5 cm. Tanaman itu tingginya 125 hingga 250 cm. Batang terdiri dari buku-buku yang dibatasi oleh ruas. Pelepah dan helaian daun terdiri dari daun. Helaian daun memanjang dengan ujung meruncing, dan ada spicula di antara pelepah dan helaian daun untuk mencegah air hujan atau embun masuk ke pelepah daun (Haryadi, 1980). Setiap tongkol memiliki sekitar 200-400 butir dan setiap tongkol memiliki 10-14 deret biji berkeping tunggal berderet di sekitarnya (Harjadi, 1991).

Dibandingkan dengan jenis tanaman serealia lainnya, jagung memiliki adaptasi yang luas (Kabir, 2019) sehingga dapat tumbuh di berbagai kondisi iklim. Jagung juga merupakan tanaman biji-bijian dengan jumlah produksi tahunan tertinggi (Malti *et al.*, 2011).



Gambar 1. Jagung (Koswara, 2009)

2. 1. 2. Tongkol Jagung

Tongkol jagung atau janggol, merupakan bagian dari buah jagung setelah biji dipipil. Tongkol jagung diperoleh dari limbah industri pertanian yang tersedia dalam jumlah besar mencapai 18,95 juta ton (Bustami, 2012). Presentase limbah

dari tongkol jagung akan menyebabkan penumpukkan limbah yang sangat besar apabila dilihat dari tingginya produksi jagung di Indonesia. Limbah dari tongkol jagung selama ini tidak dimanfaatkan dengan baik. Limbah tongkol jagung kebanyakan digunakan sebagai bahan bakar tradisional, bahkan ada yang hanya dibakar begitu saja. Limbah tongkol jagung memiliki potensi manfaat lain dari pada dibakar begitu saja.



Gambar 2. Tongkol Jagung

Tongkol jagung adalah limbah lignoselulosik yang mengandung lignin (15–30%), hemiselulosa (20–30%), dan selulosa (40–60). Tongkol jagung membantu menyimpan makanan untuk pertumbuhan biji jagung. Tongkol jagung biasanya memiliki garis tengah 3-5 cm, dan ukuran terbesar dapat mencapai 7.5 cm dengan biji berkisar antara 8 dan 42 cm. Kandungan pada tongkol jagung dapat dilihat pada tabel 1. Serta komposisi unsur anorganik tongkol jagung dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 1 kandungan tongkol jagung

Analisis	Nilai (%)
Kadar selulosa	61,41
Kadar lignin	19,89
Kadar bahan lainnya	19,04

Sumber : darliah, 2008

Tabel 2 Komposisi unsur anorganik pada tongkol jagung

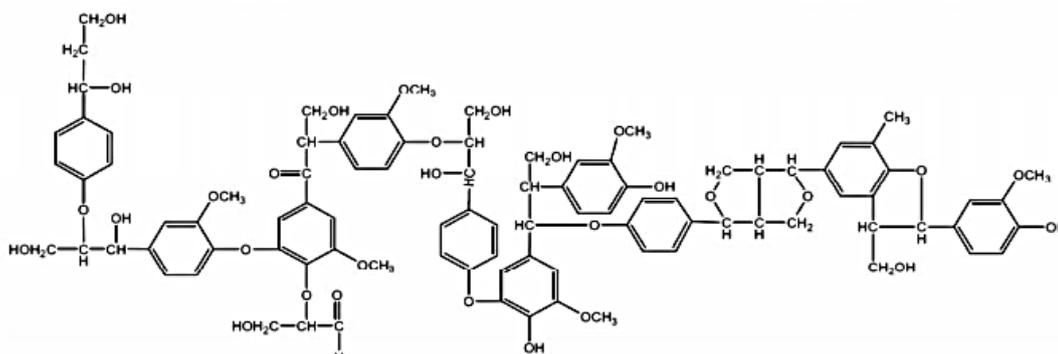
Unsur anorganik	Kandungan (g/kg)
Si	5,33
Al	0,18
Fe	0,08
Ca	0,23
Mg	0,55
Na	0,1
K	10,38
Ti	0,003
Mn	0,01
P	1,11
Ba	0,11
Sr	0,002
S	0,14

Sumber : Lee and Shah, 2013

2. 1. 3. Lignin

Lignin adalah molekul besar yang sangat kompleks yang disusun dengan polimer dari monomer fenolik. Selama proses hidrolisis selulosa dan hemiselulosa, lignin adalah dinding primer sel tanaman yang melindungi selulosa dan hemiselulosa (Putu *et al.*, 2020). Lignin membantu tanaman hidup mengatur transportasi cairan, yang memungkinkan pohon berkontak langsung dengan cahaya matahari dan

memperkuat dinding sel dan mencegah kerobohan (Heru, 2016). Lignin dapat memperlambat proses penggilingan, yang menyebabkan ikatan yang lebih rendah, kerapatan, dan kekuatan kertas, dan menyebabkan pulp menjadi gelap. Oleh karena itu, lignin tidak diinginkan dalam pembuatan kertas.



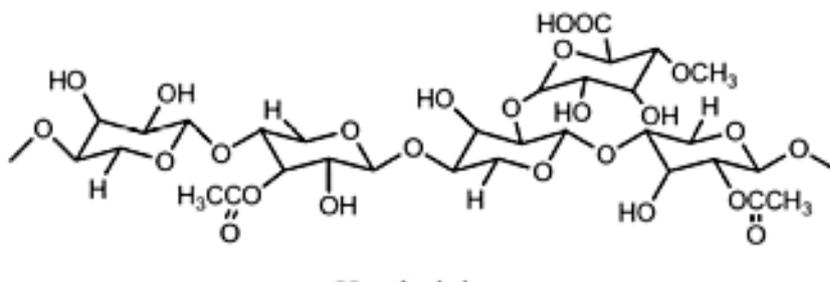
Gambar 3. Struktur Lignin (Heru, 2016)

Struktur jaringan lignin. Sifat fisik dan kimia lignin sangat dipengaruhi oleh gugus hidroksil fenolik. Gugus ini mempercepat sambungan eter dan degradasi oksidatif. Hal ini memperjelas kemampuannya dalam kereaktifan polimer lignin dalam berbagai variasi reaksi. Akibatnya, katalisator asam sulit diakses. Untuk meningkatkan efisiensi hidrolisis asam encer, struktur lignin harus dihancurkan dengan larutan basa. Proses delignifikasi adalah prosedur umum untuk menghancurkan struktur lignin (Putu, 2020).

2.1. 4. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan kelompok polisakarida heterogen yang melimpah di alam setelah selulosa. Komponen polisakaridanya, baik linear maupun bercabang, banyak ditemukan tidak sama pada tumbuhan tingkat tinggi. Hemiselulosa diklasifikasikan sebagai xilan, manan, arabinogalaktan, dan arabinan berdasarkan komposisi gulanya (Saha, 2003). Atruktur dinding sel tumbuhan terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Karena strukturnya yang

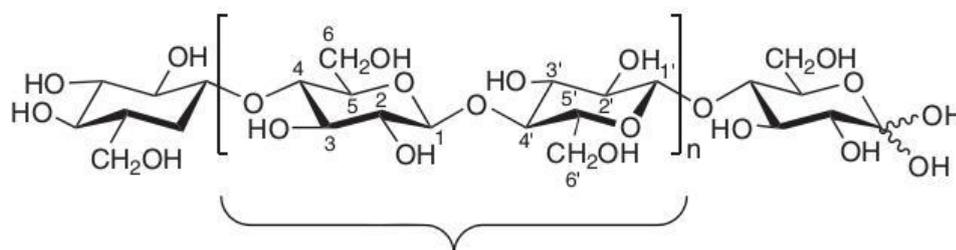
bercabang, hemiselulosa lebih mudah dihidrolisis karena daerah amorf yang terbentuk lebih besar (Brasseur *et al.*, 2014).



Gambar 4. Struktur hemiselulosa (Mathews *et al.*, 2015))

2. 1. 5. Selulosa

Selulosa merupakan polimer alam yang paling melimpah di alam, bersifat biokompatibel, dan ramah lingkungan karena mudah terdegradasi, tidak beracun, serta diperbarui. Meskipun demikian, selulosa masih belum dapat dimanfaatkan di berbagai bidang karena kesukaran dalam pemrosesan akibat adanya ikatan hidrogen intra dan antar molekul yang kuat pada struktur selulosa (Song *et al.*, 2008). Struktur selulosa terlihat pada Gambar 5



Gambar 5. Struktur selulosa (perez *et al.*, 2010)

Selulosa termasuk polimer hidrofilik dengan tiga gugus hidroksil reaktif tiap unit hidroglukosa tersusun atas ribuan gugus anhidroglukosa yang melalui ikatan 1,4- β -glukosa membentuk molekul berantai yang panjang dan linier. Gugus hidroksil pada selulosa dimanfaatkan untuk memodifikasi selulosa dengan memasukkan

gugus fungsi tertentu pada selulosa melalui teknik pencangkakan (Klemm *et al.*, 1998). Dengan memilih monomer yang tepat, maka kekuatan mekanik dan stabilitas termal material berbasis selulosa yang dimodifikasi dengan teknik pencangkakan dapat ditingkatkan (Princi *et al.*, 2005). Struktur kimia dari monomer yang tercangkok ke selulosa akan mempengaruhi sifat dari selulosa tersebut. Reaktifitas selulosa dapat ditingkatkan melalui proses pengembangan selulosa. Pengembangan selulosa merupakan tahapan yang diperlukan pada proses esterifikasi selulosa. Penyerapan air atau pelarut tertentu dapat menyebabkan pengembangan selulosa. Pengembangan selulosa dapat mempermudah pereaksi mencapai daerah kristalin. Kecepatan asetilasi pada selulosa yang telah mengalami pengembangan meningkat sekitar tiga kali lebih cepat daripada selulosa yang tidak mengalami pengembangan.

Berdasarkan derajat polimerisasi (DP) dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida (NaOH) 17,5%, selulosa dapat dibagi atas tiga jenis (Nuringtyas, 2010), yaitu :

1. α - Selulosa (*Alpha Cellulose*) adalah selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan DP (Derajat Polimerisasi) 600 – 15000. α - selulosa dipakai sebagai penduga dan atau tingkat kemurnian selulosa. Semakin tinggi kadar alfa selulosa, maka semakin baik mutu bahannya.
2. Selulosa β (*Betha Cellulose*) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP (Derajat Polimerisasi) 15 – 90, dapat mengendap bila dinetralkan.
3. Selulosa γ (*Gamma Cellulose*) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP (Derajat Polimerisasi) kurang dari 15, kandungan utamanya adalah hemiselulosa

2.2. Nanoselulosa

Nanoselulosa adalah nanofiber yang dapat terurai secara hayati dengan berat yang ringan, kepadatan rendah (sekitar 1,6 g/cm³) dan sifat kekuatan yang sangat baik. Salah satu hal yang menarik perhatian adalah ukuran serat nanoselulosa, yang biasanya memiliki panjang beberapa mikrometer dan diameter kurang dari 100 nm (Phantong, 2018)

2.2.1. Aplikasi Nanoselulosa

Nanoselulosa sudah banyak diaplikasikan diberbagai bidang seperti biomedis, kosmetik, dan pertanian.

a. Bidang Medis

Nanoselulosa bersifat biokompatibilitas dan nontoksik, sehingga dapat digunakan dalam aplikasi biomedis (Gumrah, 2017). Nanoselulosa sering digunakan untuk penghantaran obat pada biomedis untuk keperluan farmasi. Sistem penghantaran obat yang efektif menunjukkan beberapa fitur penting, seperti penargetan, peningkatan kelarutan, pelepasan obat yang terkontrol, stabilitas obat, dan efek terapeutik. Karena stabilitas koloidnya, rasio permukaan-volume yang tinggi, dan muatan permukaan negatifnya, selulosa nanokristal dapat digunakan sebagai eksipien dan pembawa farmasi. Ini memungkinkan mereka untuk memuat obat bermuatan atau netral, mengontrol pelepasan senyawa aktif, dan mengangkut gen ke sel target (Trache, 2020)

b. Bidang kosmetik

Selulosa nanokristal dapat digunakan dalam produk kosmetik seperti lotion, sabun, perawatan rambut, agen anti drip (tidak mudah rusak) dan pewarna. Perusahaan kosmetik termasuk L'Oréal menunjukkan minat pada nanomaterial yang bersifat biokompatibel, biodegradabilitas dan nanomaterial berbasis bahan biologis (kleem, 2018).

c. Bidang Pertanian

pada sektor pertanian telah digunakan untuk melindungi benih, tanaman, dan bahan makanan. Sifat mekanik dan penghalang pada nanoselulosa, memiliki kemampuan untuk dapat terurai secara hayati, dan aplikasinya untuk melindungi tanaman membuat lapisan dan film berbahan dasar nanoselulosa sangat berharga. Nanoselulosa digunakan sebagai pelapis pada saat memanen dan menyimpan tanaman serta melindungi tanaman atau bagian tanaman yang mudah rusak. Lapisan dan film berbahan dasar nanoselulosa melindungi produk pertanian baik dalam bentuk segar maupun sudah menjadi olahan. (Lavicoli *et al.*, 2017).

d. Sel Surya

Dengan sifat yang sangat baik dan biodegradable, nanoselulosa menarik untuk aplikasi di berbagai bidang seperti bahan nanokomposit, bahan modifikasi permukaan, dan kertas transparan dengan fungsi khusus (Abitbol, 2016). Selain sifat mekanik yang sangat baik, kertas nanoselulosa juga transparan, jernih secara optik, dan dapat dilipat. Kertas transparan tersebut dapat diterapkan pada perangkat elektronik, layar fleksibel, sirkuit fleksibel, dan sel surya (Iwamoto, 2005), (Hu, 2013), (Okahisa, 2009), (Salas, 2014).

Sel surya saat ini berkembang menjadi salah satu energi terbarukan yang potensial, hal tersebut dikarenakan sel surya bersumber dari sinar matahari menjadikan kelimpahan sumber energinya sangat menjanjikan hingga dapat menjadi energi alternatif di daerah yang kekurangan pasokan energi listrik seperti daerah terpencil dan terluar Indonesia. Perkembangan fabrikasi sel surya telah melalui beberapa generasi. Generasi awal menggunakan kristal dan polikristal silikon (Dang *et al.*, 2018; Schindler *et al.*, 2018; Bhattacharya & John, 2019). Efisiensi tertinggi diperoleh dari generasi kedua yaitu multijunction sel (Yamaguchi *et al.*, 2021; Baiju & Yarema, 2022).

2.2.2. Sintesis Nanoselulosa

Hidrolisis asam adalah cara untuk membuat nanokristal selulosa, dimana selulosa dipisahkan dari bahan yang mengandung selulosa melalui proses delignifikasi, kemudian diikuti dengan reaksi hidrolisis yang menggunakan asam kuat seperti asam sulfat dan asam klorida. Namun, kualitas nanoselulosa yang dihasilkan dipengaruhi oleh konsentrasi asam dan suhu hidrolisis. Seperti yang ditunjukkan oleh penelitian yang telah dilakukan, konsentrasi asam yang terlalu tinggi akan menyebabkan selulosa menjadi rusak secara keseluruhan (Barbash *et al.*, 2017) sementara konsentrasi asam yang lebih rendah tidak dapat masuk ke matriks selulosa untuk memulai reaksi hidrolisis (Chang *et al.*, 2010), sementara suhu yang terlalu rendah membutuhkan waktu yang lebih lama dan suhu yang terlalu tinggi sulit untuk dikendalikan (Li *et al.*, 2001)

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mengisolasi nanoselulosa yaitu metode hidrolisis asam, dimana selulosa pertama diisolasi dari serat tongkol jagung melalui proses pelepasan lignin dan hemiselulosa menggunakan perlakuan asam yaitu HCl, kemudian dilanjutkan dengan perlakuan alkali, yaitu NaOH dan diikuti dengan perlakuan pemutihan (*bleaching*) dengan menggunakan H₂O₂ dan asam asetat (CH₃COOH) (Emmanuel *et al.*, 2019). Selanjutnya selulosa dikonversikan menjadi nanokristal selulosa melalui hidrolisis asam dengan menggunakan H₂SO₄. Dua jenis asam yang paling umum digunakan untuk hidrolisis asam adalah asam klorida (HCl) dan H₂SO₄. HCl menghasilkan nanokristal yang mendekati netral dengan kelarutan terbatas dalam air, sedangkan H₂SO₄ menghasilkan produk yang lebih stabil pada jarak pH yang luas (Islam *et al.*, 2014). Metode yang mudah dan cepat ini digunakan untuk menghasilkan nanokristal selulosa dengan sifat yang lebih baik (Wulandari, 2016)

2.3. Uji Karakterisasi

2.3.1. FTIR (*Fourier Transform Infra red*)

Spektroskopi *Infra Red* (IR) adalah salah satu metode identifikasi yang dapat digunakan untuk menganalisis senyawa baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dapat menentukan struktur polimer dan kopolimer, sedangkan analisis kuantitatif didasarkan pada hukum Lambert Beer (Skoog, 1998). Vibrasi terjadi ketika molekul terkena radiasi infra merah. Energi yang diserap oleh molekul menyebabkan getaran amplitudo pada atom-atom yang terikat dalam molekul meningkat (Fessenden, 1986). Perubahan vibrasi atom menentukan dasar analisis infra merah. Vibrasi biasanya diklasifikasikan menjadi vibrasi ulur dan vibrasi tekuk. Vibrasi ulur terjadi ketika dua atom bergerak sepanjang sumbu ikatan, sedangkan vibrasi tekuk terjadi ketika sudut antara dua ikatan berubah. Empat jenis vibrasi tekuk adalah scissoring, rocking, wagging, dan twisting (Khopkar, 1990). Pita serapan pada panjang gelombang tertentu dihasilkan oleh ikatan, tetapi pita serapan yang dihasilkan akan berbeda jika ikatan mengalami vibrasi ulur atau tekuk. Pita serapan khas yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi suatu senyawa (Skoog, 1998).

Spektrum infra merah akan dihasilkan dari pengukuran IR. Gugus fungsional dapat ditemukan di daerah spektrum antara 1400 dan 4000 cm^{-1} . Meskipun korelasi antara suatu pita dan suatu gugus fungsional tidak dapat ditentukan secara akurat, setiap senyawa memiliki pita serapan yang berbeda. Jadi, daerah serapan yang berbeda ini dinamakan daerah sidik jari (Fessenden, 1986). Metoda FTIR memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode IR konvensional yaitu rasio sinyal terhadap kebisingan yang lebih rendah, kemampuan untuk mendeteksi sinyal vibrasi molekul yang lemah, jumlah sampel yang diperlukan yang lebih sedikit, dan kemampuan untuk mendeteksi sampel dengan absorbansi yang tinggi (Khopkar, 1990).

2.3.2. SEM (*Scanning Electron microscopy*)

Dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM), morfologi permukaan sampel diperiksa secara menyeluruh. Gambar yang dihasilkan memiliki struktur tiga dimensi dan resolusi tinggi, yang menjadikannya alat yang sangat berguna untuk analisis sampel (Goldstein *et al.*, 2012). Sebagian besar mikrograf nanoselulosa yang diisolasi berbentuk serat. Penggumpalan serat nanoselulosa sering terjadi, jadi ketika morfologi permukaan diperiksa, akan terlihat ukuran yang lebih besar. Menurut (Bhattacharya *et al.*, 2008) panjang serat selulosa berkisar 100 μm -1 mm, dan diameternya berkisar antara 15-20 μm (Elanthikal *et al.*, 2010).

2.3.3. XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD merupakan salah satu metode karakteristik material yang paling sering digunakan. XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan menentukan parameter struktur kisi dan untuk mendapatkan ukuran partikel. Ketika sinar-X terdifraksi dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut, pola difraksi yang terbentuk menunjukkan karakterisasi sampel. Alat XRD terdiri dari tiga komponen utama: sumber sinar-X, material uji (sampel) dan detektor. Sumber sinar-X terletak pada tabung sinar-X dan menghasilkan panjang gelombang antara 0,1 sampai 100 $\times 10^{-10}$ m. Material uji harus dalam bentuk padatan halus (bubuk), dan detektor berfungsi untuk mendeteksi sudut sinar-X yang telah direfleksikan pada material uji (Krisnawan, 2009).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dari bulan november 2023 hingga bulan Juni 2024 di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Lampung Selatan. Sampel tongkol jagung diambil dari perkebunan di kabupaten Pesawaran. Karakterisasi nanoselulosa dilakukan menggunakan FTIR, SEM, dan XRD.

3.2 Alat Dan Bahan

3.2.1 Alat

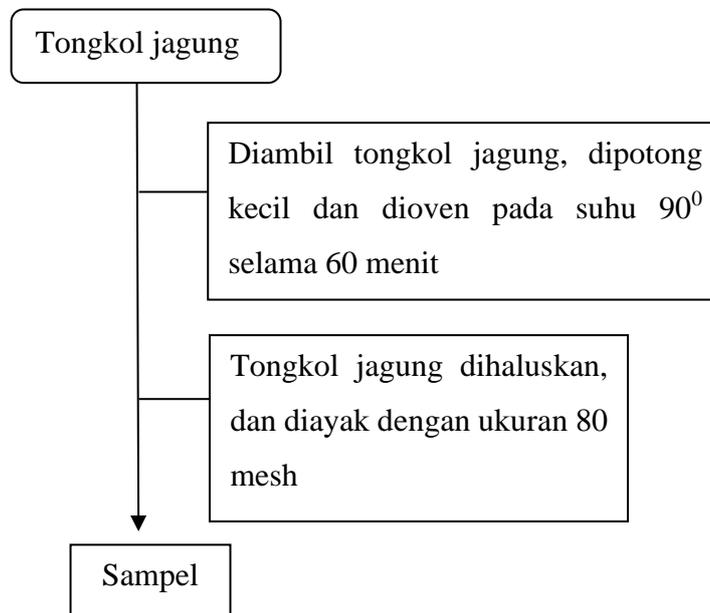
Alat-alat yang digunakan adalah : gelas beker, erlenmeyer, corong pemisah, pipet tetes, gelas ukur, oven, refluks, kertas saring, indikator universal, aluminium foil, neraca analitik, stirer, gunting, blender, penangas, saringan, stopwatch, buret, batang pengaduk, lemari asam, sentrifuse, ultrasonikasi, freezer-drying, FTIR, SEM, dan XRD

3.2.2 Bahan

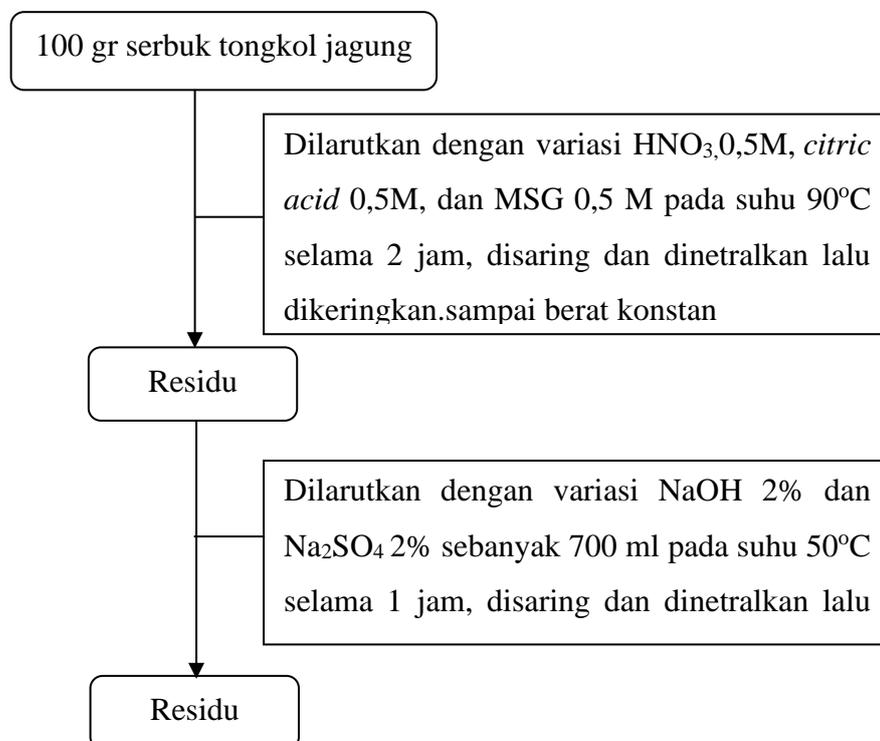
Bahan-bahan yang digunakan adalah tongkol jagung, larutan HNO_3 0,5 M, asam sitrat 0,5 M, larutan NaOH 2%, larutan NaOH 17,5%, Na_2SO_4 2%, *Mononatrium glutamat* (MSG) 17,5%, H_2O_2 10%, CH_3COOH 10%, larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,5 N, larutan *ferro amonium sulfat* 0,1 N, larutan H_2SO_4 20%, 30% dan 40% serta akuades.

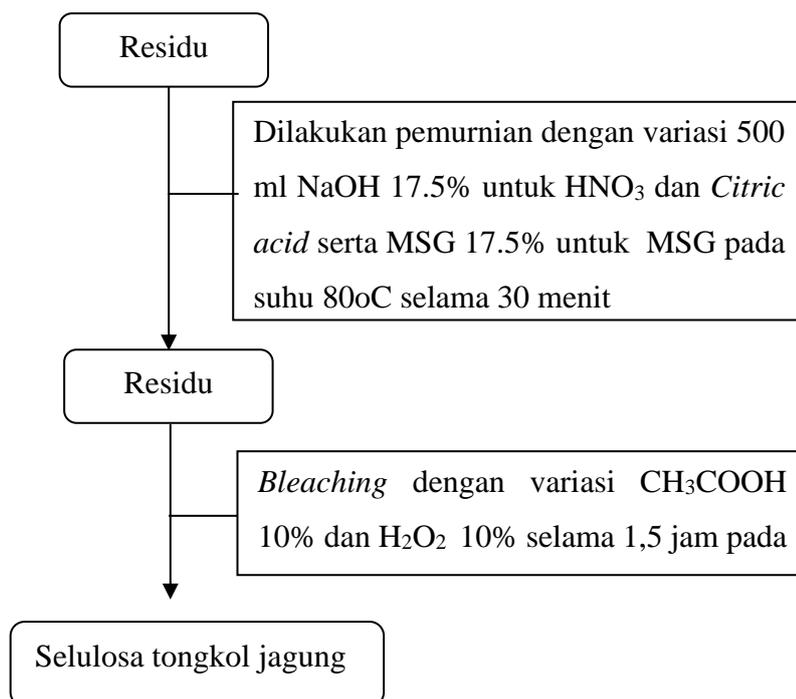
3.3 Prosedur Kerja

1. Preparasi Sampel Tongkol Jagung

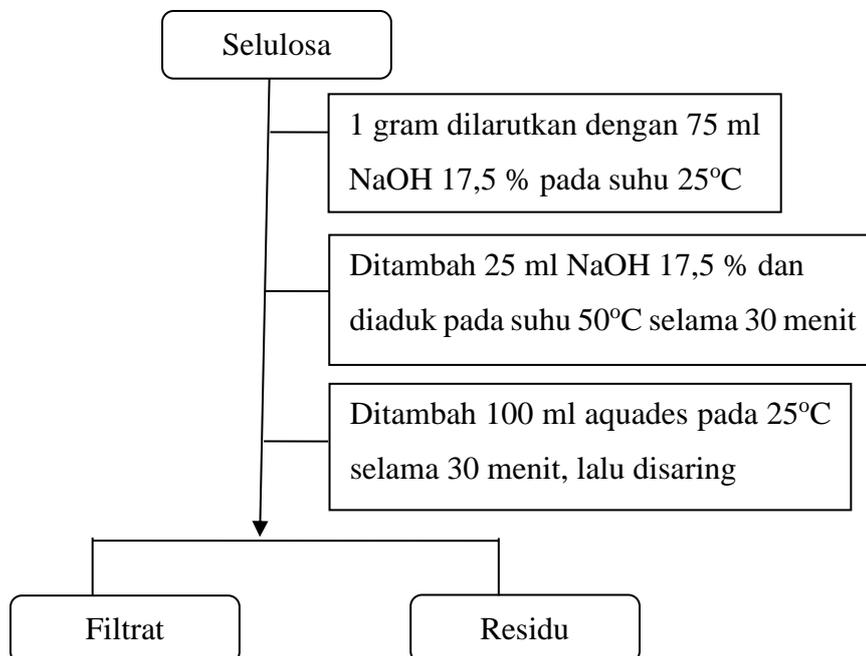


2. Isolasi α -Selulosa Dari Tongkol Jagung

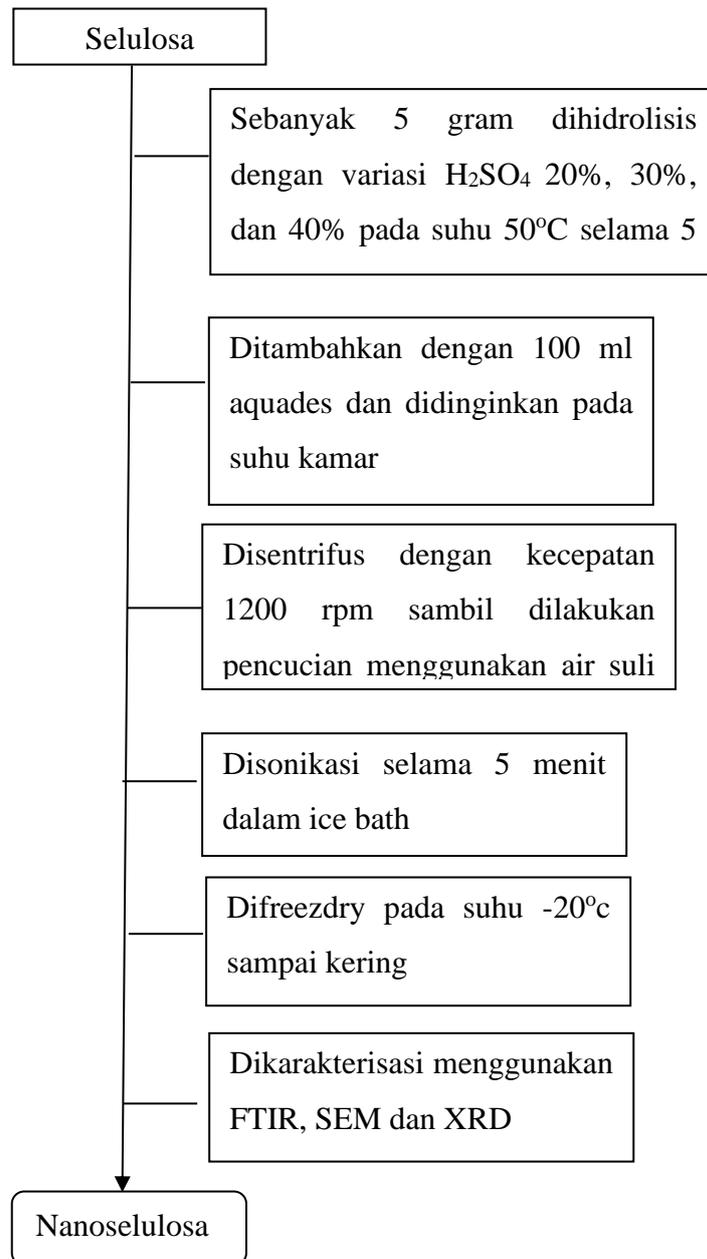




3. Penentuan Kadar α -Selulosa Menggunakan Metode Uji SNI 0444:2009 dan Penentuan Kadar Lignin Menggunakan Metode SNI 0492:2008



4. Pembuatan Nanoselulosa



3.3.1. Preparasi Sampel Tongkol Jagung

Tongkol jagung dipotong-potong hingga ukurannya menjadi lebih kecil. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 90°C selama 60 menit. Lalu dihaluskan, kemudian diayak menggunakan saringan dengan ukuran 80 mesh untuk memperoleh ukuran tongkol jagung antara 0,177 mm - 0,25 mm.

3.3.2. Isolasi α -Selulosa Dari Tongkol Jagung

Proses isolasi α -Selulosa dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu tahap prahidrolisis asam, delignifikasi, pemurnian dan bleaching. Setiap tahap dilakukan variasi dan perlakuan yang berbeda-beda. Variasi isolasi selulosa dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Variasi larutan prahidrolisis selulosa

NO	Sampel	Massa Sampel	Pelarut prahidrolisis
1.	Tongkol jagung	100 g	Asam sitrat 0,5 M
2	Tongkol jagung	100 g	HNO ₃ 0,5 M
3	Tongkol jagung	100 g	MSG (<i>monosodium glutamat</i>) 0,5 M

Proses prahidrolisis dilakukan dengan melarutkan sampel dengan 1 L pelarut asam lalu dipanaskan menggunakan hotplate stirer pada suhu 90°C dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 2 jam. Hasil pemanasan kemudian disaring dan residu yang dihasilkan dicuci sampai pH netral, lalu dikeringkan sampai berat konstan.

Selanjutnya dilakukan proses delignifikasi. Proses delignifikasi dilakukan dengan menggunakan dua variasi pelarut yaitu NaOH 2% dan Na₂SO₄ 2%. rincian variasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 rincian variasi isolasi selulosa

Prahidrolisis					Asam Sitrat (P1)				
Delignifikasi		NaOH 2% (D1)			Na ₂ SO ₄ 2% (D2)				
Pemurnian		NaOH 17,5% (F1)			NaOH 17,5% (F2)				
Bleaching		H ₂ O ₂ 10% (B1)	CH ₃ COOH 10% (B2)		H ₂ O ₂ 10% (B1)	CH ₃ COOH 10% (B2)			
Prahidrolisis					HNO ₃ (P2)				
Delignifikasi		NaOH 2% (D1)			Na ₂ SO ₄ 2% (D2)				
Pemurnian		NaOH 17,5% (F1)			NaOH 17,5% (F2)				
Bleaching		H ₂ O ₂ 10% (B1)	CH ₃ COOH 10% (B2)		H ₂ O ₂ 10% (B1)	CH ₃ COOH 10% (B2)			
Prahidrolisis					MSG (<i>Monosodium Glutamat</i>) (P3)				
Delignifikasi		NaOH 2% (D1)			Na ₂ SO ₄ 2% (D2)				
Pemurnian		MSG 17,5% (F2)			MSG 17,5% (F2)				
Bleaching		H ₂ O ₂ 10% (B1)	CH ₃ COOH 10% (B2)		H ₂ O ₂ 10% (B1)	CH ₃ COOH 10% (B2)			

Hasil prahidrolisis selanjutnya dilarutkan menggunakan variasi 700 ml NaOH 2% dan 700 ml Na₂SO₄ 2% kemudian dipanaskan menggunakan hotplate stirer pada suhu 50°C dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 1 jam. Disaring lalu dilakukan pencucian residu sampai netral dan dikeringkan.

Selanjutnya dilakukan pemurnian dengan variasi larutan NaOH 17,5% dan MSG 17,5%. Hasil sampel yang telah di delignifikasi selanjutnya dilakukan pemurnian menggunakan variasi NaOH 17,5% 500 ml dan MSG 17,5% 500 ml lalu dipanaskan menggunakan hotplate stirer pada suhu 80°C dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 30 menit. Disaring lalu dilakukan pencucian residu sampai netral dan dikeringkan. Setelah tahap pemurnian, dilakukan proses bleaching dengan menggunakan variasi 500 ml H₂O₂ 10% dan 500 ml CH₃COOH 10% dipanaskan menggunakan hotplate stirer pada suhu 60°C dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 1,5 jam. Disaring lalu dilakukan pencucian residu sampai netral dan dikeringkan.

3.3.3. Penentuan Kadar α -Selulosa Menggunakan Metode Uji SNI 0444:2009 dan Penentuan Kadar Lignin Menggunakan Metode SNI 0492:2008

Satu gram sampel masing-masing dilarutkan dengan 75 ml NaOH 17,5 %, dilakukan pemanasan pada suhu 25°C. kemudian diaduk sampai terdispersi sempurna. Pulp lalu ditambahkan dengan NaOH 17,5 % sebanyak 25 ml dan langsung dilakukan pengadukan. Panaskan kembali pada suhu 50°C selama 30 menit. Tambahkan 100 ml aquades lalu suhu pemanas diturunkan menjadi 25°C dan diaduk, biarkan diatas pemanas selama 30 menit, diaduk kembali suspensi dan disaring menggunakan kertas saring.

Filtrat pertama yang dihasilkan kemudian dibuang sekitar 10-20 ml, diambil sekitar 100 ml filtrat dan masukan ke dalam labu bundar 250 ml. Pulp hasil penyaringan kemudian dinetralkan menggunakan aquades lalu dioven pada suhu 100°C selama 50 menit. 100 ml filtrat kemudian ditambahkan 50 ml H₂SO₄ pekat lalu goyangkan labu secara perlahan. Biarkan larutan tetap panas selama 15 menit. Selanjutnya panaskan filtrat pada suhu 125°C kemudian tambahkan 50 ml aquades lalu dinginkan pada suhu ruang. Filtrat selanjutnya ditambahkan 2-4 tetes indikator ferroin dan titrasi dengan larutan ferro ammonium sulfat (FAS) 0,1 N sampai berwarna ungu. Apabila dihasilkan pulp dengan kelarutan tinggi, maka titrasi kembali menggunakan campuran 5 ml kalium dikromat, 10 ml filtrat dan 30 ml asam sulfat. Lakukan titrasi blanko sebagai pembanding dengan mengganti filtrat pada sampel dengan 12,5 mL larutan natrium hidroksida 17,5% dan 12,5 mL akuades. Hasil analisis yang dapat ditentukan keadaan yang paling optimum menggunakan rumus berikut:

$$X = 100 - \frac{6,85 (V_1 - V_2) \cdot N \cdot 20}{A \cdot W}$$

Dimana :

X = α -selulosa, dinyatakan dalam persen (%);

V₁ = volume titrasi blanko, dinyatakan dalam mililiter (mL);

V₂ = volume titrasi filtrat pulp, dinyatakan dalam mililiter (mL);

N = normalitas larutan ferro ammonium sulfat;

A = volume filtrat pulp yang dianalisa, dinyatakan dalam mililiter (mL);

W = berat kering contoh uji pulp, dinyatakan dalam gram (g).

Untuk menentukan kadar lignin menggunakan metode SNI 0492:2008 dilakukan dengan mengambil 1 gr sampel dimasukkan dalam labu bundar 100 ml, dilarutkan dalam 15 ml H₂SO₄ 72%, lalu diaduk 2-3 menit kemudian tutup dengan kaca arloji dan diamkan selama 2 jam pada suhu ruang. Selanjutnya tambahkan 560 ml aquades lalu direfluks selama 4 jam, dan didiamkan selama 24 jam sampai lignin mengendap sempurna. Sampel kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring yang sebelumnya telah diketahui beratnya. Endapan lalu di oven dengan kertas saring pada suhu 100°C. Bobot lignin dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$L = \frac{A}{B} \times 100\%$$

Dimana :

A = Endapan Lignin (gram)

B = Berat Sampel (gram)

3.3.4. Pembuatan Nanoselulosa dari α -Selulosa Menggunakan Metode Hidrolisis Asam

Lima gram sampel dihidrolisis menggunakan larutan asam sulfat dengan variasi konsentrasi 20%, 30% dan 40% (b/v) dengan perbandingan 1:20 selama 5 jam pada suhu 50°C. Hidrolisis didinginkan dengan menambahkan 100 ml aquades ke dalam campuran reaksi sampai suhu kamar. Campuran kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 1200 rpm sampai netral. Suspensi kemudian disonikasi selama 5 menit kedalam sonikator. Suspensi yang baru dihasilkan kemudian difreeze-dry pada suhu -20°C

3.3.5. Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisis XRD digunakan untuk mengukur kisi kristal yang terbentuk dan derajat kristalnya serta melihat pengaruh variasi asam terhadap derajat kristal yang dihasilkan dari serbuk nanoselulosa. (Mohkami dan Talaepour, 2011).

Persen kristalinitas dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\% \text{ kristalinitas} = (I_{002} - I_{am} / I_{002}) \times 100\%.$$

Selain itu, ukuran kristal dihitung dengan rumus

$$D_{hkl} = k\lambda / (B_{hkl} \cos \Theta).$$

Keterangan:

I_{002} = intensitas maksimum puncak kristal pada 2Θ antara 22° dan 23°

I_{am} = intensitas maksimum puncak kristal pada 2Θ antara 18° dan 19°

D_{hkl} = ukuran kristal

k = konstanta Scherrer (0,84)

3.3.6. Analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM berfungsi untuk mengetahui morfologi permukaan pada nanoselulosa.

Sampel yang akan dianalisis ditempelkan dengan menggunakan conducting glue

pada tempat sampel (sampel holder). Hand blower digunakan pada sampel agar sampel dapat menempel dengan baik pada *conducting glue* yang ada di tempat bahan. Lalu dilakukan coating, proses coating ini untuk melapisi sampel dengan Pt dan Au agar sampel tidak rusak saat discanning. Lalu dilakukan perbesaran 50.000x.

3.3.7. Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Analisis FTIR berfungsi untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung pada nanoselulosa. Sampel nanoselulosa dikarakterisasi menggunakan FTIR dengan cara di scanning pada bilangan gelombang $500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ pada suhu ruang.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Adapun simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada pembuatan nanoselulosa menggunakan metode hidrolisis asam dengan variasi H_2SO_4 20%, 30%, dan 40% diperoleh hasil nanoselulosa terbaik pada konsentrasi 20% yang ditandai dengan warna yang lebih putih serta kadar α -selulosa sebesar 68% dan kadar lignin 32%.
2. Hasil morfologi nanoselulosa diperoleh hasil terbaik pada MSG dengan variasi H_2SO_4 20% dengan diameter 106,3,3 nm – 137,9.
3. Pada hasil analisis XRD didapatkan bahwa pada nanoselulosa MSG 20%, MSG 30%, dan asam sitrat dihasilkan struktur kristal dengan sudut 2θ 22° , Sedangkan pada analisis FTIR menunjukkan pada ikatan O-H, C-H, C=C, dan C-O, mengindikasikan bahwa nanoselulosa mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin.

5.2. Saran

Pada proses delignifikasi sebaiknya dilakukan pencampuran antara NaOH 2% dan Na_2SO_4 2% agar kandungan selulosa yang didapatkan lebih tinggi dan tingkat keberhasilan yang didapatkan lebih baik dari penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abitbol, T., Rivkin, A, Cao, Y, Nevo, Y, Abraham, E, Ben-Shalom, T, Lapidot, S. and Shoseyov, O. 2016. Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. *Curr. Opin. Biotechnol.* 39 76–88.
- Acosta, C., Luz, M.D, Soto, S, Bardo H, Islas, R, Jesús R, Félix, R, Celia, S, Tarín, B, Salomon, Ruíz, A, and Victor, G. 2021. Morpho-physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) affected by drought during its vegetative stage. *Agro Productividad* 14(8) 71-77.
- Akbar, F.A., Nasra, E, Kurniawati, D, Beri, D, Sanjaya, H. 2023. Isolasi dan Karakterisasi α -selulosa Dari Kulit Buah Matoa (*Pometia Pinnata*). *Chemistry Journal Of Universitas Negeri Padang* 12(2) 78-82
- Alves, L., Medronho, B, Filipe, E, Antunes, Maria, P, García, F, Ventura, J, João, P, Araújo, Romano, A, and Lindman, B. 2015. Unusual Extraction and Characterization of Nanocrystalline Cellulose from Cellulose Derivatives. *Molecular Liquids* 210:106-112.
- ASRA, R., Rusdi, R., & Nofrianti, R. 2020. Physicochemical Study of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) peel Extract as Coloring Agent in Tablet Formulation. *Pharmaceutical And Sciences*, 3(1), 22-32
- Baiju, A., & Yarema, M. 2022. Status and Challenges of Multi-Junction Solar cell technology. *Frontiers in Energy Research*, 1-17
- Barbash, O, Yashchenko, and. Kedrovskaya, A. 2017 Preparation and Properties of Nanocellulose from Peracetic Flax Pulp. *J. Sci. Res. Reports* 16:1–10,
- Beek, W.J.E., Wienk, M.M, and Janssen, R.A.J. 2005. Hibrida polymer solar cells based on zinc oxide. *Materials Chemistry* 15:2985-2988

- Bhattacharya, D., Germinario, L.T, and Winter W.T. 2008. Isolation, preparation and characterization of cellulose microfibrils obtained from bagasse. *Carbohydr Polym.* 73:371-377
- Bhattacharya, S., and John, S. 2019. Beyond 30%. Conversion Efficiency in Silicon Solar Cells: A Numerical Demonstration. *Scientific Reports* 9: 12482–12497.
- Biao, H., Li-rong, T, Da-song D, Wen, O, Tao, L, and Xue-rong, C. 2011. Preparation of Nanocellulose with Cation–Exchange Resin Catalysed Hydrolysis. *Biomaterials Science And Engineering* 6: 139-152
- Brasseur, C., Bauwens, J, Tarayre, C, Mattéotti, C, Thonart, P, Destain, J, and De Pauw, E. 2014. MALDI-TOF MS Analysis of Cellodextrins and Xylo oligo saccharides Produced by Hindgut Homogenates of *Reticulitermes santonensis*. *Molecules*, 19:4.
- Brito, B. S. L., Pereira, F. V, and Jean, J. P. B. 2012 ‘Preparation , morphology and structure of cellulose nanocrystals from bamboo fibers. *Cellulose* 19:1527–1536
- Bundgaard, E., and Krebs, F.C. 2007. Low band gap polymers for organic photovoltaics. *Solar Energy Materials & Solar Cells.* 91:954-985.
- Chang, C. P., Wang, I. C, Hung, K. J, and Perng, Y. S. 2010. Preparation and characterization of nanocrystalline cellulose by acid hydrolysis of cotton linter. *Taiwan J. For. Sci.* 25:251–264
- Chairunnisa, Magfirah, Ciptandi, and Fajar. 2018. Pengolahan Material Limbah Bonggol Jagung Sebagai Produk Aksesoris Fesyen.. *Jurnal ATRAT. Bandung: Institut Seni Budaya Indonesia* 6:3
- Dang, C., Labie, R, Simoen, E, and Poortmans, J. 2018. Detailed structural and electrical characterization of plated crystalline silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 184:57–66.
- Darliah, Y. 2008. *Produksi Xilosa dari Tongkol Jagung (Zea mays L.) dengan Hidrolisis Asam Klorida*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Dumanli, G. 2017. Nanocellulose and its composites for biomedical applications. *Current Medicinal Chemistry* 24:512-528.

- Effendi, D.B, Rosyid, N.H.R, Nandiyanto, A.B.D, and Mudzakir, A. 2015
Review : Sintesis Nanoselulosa. *Jurnal Integrasi proses* 5:61–74.
- Elanthikal, S., Gopala, K.U, Varghese, S, and Guthrie, J.I. 2010. Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: Isolation and Characterization. *Carbohydr Polym.* 80:852-859
- Fengel dan Wegener. 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-reaksi*.
Terjemahan oleh Sastrohamidjojo, H, Yogyakarta: Gajah Mada University Press: Yogyakarta. 729 hlm
- Fessenden, Ralf J. dan Joan S. 1986. *Kimia Organik jilid 3*. Penerbit Erlangga. Jakarta. 525 hlm
- Filson, P.B., Dawson-Andoh, B.E, and Schwegler-Berry, D. 2009. Enzymatic-mediated production of cellulose nanocrystals from recycled pulp. *Green Chemistry* 1808-1814.
- Galiwango, E., Nour, S, Rahman, A, Ali, H, Al-Marzouqi, Mahdi, M, Abu-Omar Abbas A, and Khaleel. 2019. Isolation and Characterization of Cellulose and α -cellulose From Date Palm Biomass Waste. *Heliyon* 5:2405-8440
- Hong chang H.A.N. 2015. *Study of Agro-composite Hemp/Polypropylene: Treatment of Fibers, Morphological and Mechanical Characterization*.
Mechanical Systems and Materials Universite de Technologie Troyes 1705-1710 hlm
- Hardian, A., Mudzakir, A, and Sumarna, O. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Kristal Cair Ionik Berbasis Garam Fatty Imidazolium Sebagai Elektrolit Redoks pada Sel Surya Tersensitasi Zat Warna. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia* 1:7-16.
- Harjadi, S. S. 1991. *Pengantar Agronomi*. PT. Gramedia. Jakarta. 197 hlm
- Hu, L., Zheng, G, Yao, J, Liu, N, Weil, B, Eskilsson, M, Karabulut, E, Ruan, Z, Fan, S, Bloking, J.T, McGehee, M.D, Wagberg, L, and Cui, Y. 2013.
Transparent and conductive paper from nanocellulose fibers. *Energy Environ. Sci.* 6:513–518.
- Hidayatullah, I., Idyanti, E.M, Kusumawati, E, Elizabeth, L. 2016 Nanocellulose Production From Empty Palm Oil Fruit Bunches (EPOFB) Using Hydrolysis Followed by Freeze Drying. *Chemical engineering* 21:52-61.

- Islam, M. M., Alam, A., Patrucco, A., Montarsolo, and Zoccola, M. 2014
Preparation of nanocellulose: *A review. AATCC J. Res* 1:17–23.
- Iwamoto, S., Nakagaito, A.N, Yano, H, and Nogi, M. 2005. Optically transparent composites reinforced with plant fiber-based nanofibers. *Appl. Phys* 81:1109–1112.
- Julianto, H., Farid, M, and Rasyida, A. 2017. Ekstraksi Nanoselulosa dengan Metode Hidrolisis Asam sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Teknik ITS* 6:2.
- Kabir, S.H., Das, A.K, Rahman, M.S, Singh, S.K, Morshed, M, and Marma, A.S.H. 2019. Effect of genotype on proximate composition and biological yield of maize (*Zea mays* L.). *AAES* 4:185-189.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*, A. Saptorahardjo (penerjemah). Penerbit UI. Jakarta. 429 hlm
- Klemm. 2018. Nanocellulose as a natural source for groundbreaking applications in materials science: Today's state. *Materials Today* 21:720-748.
- Krisnawan, A. 2009. Karakterisasi Sampel Paduan Magnesium Jenis A29 1D dengan Berbagai Variasi Waktu Milling Menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) dan Difraksi (XRD). *Skripsi*. Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah
- Lavicoli, V., Leso, D. H, Beezhold, and. Shvedova, A. A. 2017. Nanotechnology in agriculture: Opportunities, Toxicological Implications, and Occupational Risks. *Toxicology and applied pharmacology* 329:96-111.
- Lee, S, and Shah, Y. T. 2013. *Biofuels and Bioenergy: Processes and Technologies*. Boca Raton, Taylor and Francis Group, LLC 323 hlm
- Li, J., Wei, X, Wang, Q. 2012. Homogeneous isolation of nanocellulose from sugarcane bagasse by high pressure homogenization. *Carbohydrate Polymers* 90:1609– 1613
- 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.

- Li, X., Ding, E, and Li, G. 2001. A Method of Preparing Spherical Nano-Crystal Cellulose with Mixed Crystalline Forms of Cellulose I and II. *Chinese J. Polym. Sci* 19:291–296
- Loelovich, M. 2012 Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology* 2:9-13
- Malti, Ghosh, Kaushik, Ramasamy, Rajkumar, and Vidyasagar. 2011. Comparative Anatomy of Maize and its Application. *Bio- resorces and Stress Management* 2:250-256
- Mathews, S. L., Pawlak, J., & Grunden, A. M. (2015). Bacterial Biodegradation and Bioconversion of Industrial Lignocellulosic Streams. *Applied Microbiology and Biotechnology* 99:2939–2954
- Muljani, S., Candra, A, and Faiqoh, I. 2023. Sintesis karakterisasi selulosa kristal dari batang tembakau. *Teknik Kimia* 17:46-51.
- Ningtyas, K. R., Muslihudin, M, and Sari, I N. 2020. Sintesis Nanoselulosa dari Limbah Hasil Pertanian dengan Menggunakan Variasi Konsentrasi Asam. *Penelitian Pertanian Terapan* 20: 142-147
- Nuringtyas, Rini, T. 2010. *Karbohidrat. Gajah Mada University Press.* Yogyakarta. 33 hlm
- Okahisa, Y., Yoshida, A, Miyaguchi, S.H, and Yano. 2009. Optically Transparent Woodcellulose Nanocomposite as a Base Substrate For Flexible Organic Lightemitting Diode Displays, *Compos. Sci. Technol* 69:1958–1961.
- Perez, S., and Samain, D. 2010. Structure and Engineering of Celluloses. *Advances in Carbohydrate. Chemistryand Biochemistry* 64:25-116.
- Phanthong, P., Reubroycharoen, P, Hao, X, Xu, G, Abudula, A, and Guan, G. 2018. Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion* 1:32-43.
- Princi, E., Vicini, S, Proietti, N, and Capitani, D. 2005. Grafting Polymerization On Cellulose Based Textiles: a ¹³C Solid State NMR Characterization. *European Polymer Journal* 41:1196-1203.
- Putu, N., Ayuni, S, and Hastini, P. N. 2020. Serat Sabut Kelapa Sebagai Bahan Kajian Pembuatan Bioetanol Dengan Proses Hidrolisis Asam. *Sains dan Teknologi* 2:102–110

- Rukmana, R. 2007. *Jagung manis. Kanisius*. Yogyakarta. 79 hlm
- Salas, C., NypelÖ, T, Rodriguez-Abreu, C., Carrillo, C, Rojas, O.J. 2014
Nanocellulose properties and applications in colloids and interfaces, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci* 19:383–396.
- Schindler, F., Fell, A, Müller, R, Benick, J, Richter, A, Feldmann, F, Glunz, S. W. 2018. Towards the efficiency limits of multicrystalline silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 185:198–204
- Shanmugarajah, B., Peck Loo Kiew, Irene Mei Leng Chew, Thomas Shean Yaw Choong, and Khang Wei Tan. 2015 Isolation of Nano Crystalline Cellulose (NCC) from Palm Oil Empty Fruit Bunch (EFB): Preliminary Result on FTIR and DLS Analysis. *Chemical Engineering Transactionsn* 45:1705-1710.
- Shofiyanto, E., 2008. *Hidrolisis Tongkol Jagung Oleh Bakteri Selulolitik Untuk Produksi Bioetanol Dalam Kultur Campuran*. Skripsi. Bogor: IPB.
- Silverio, H. A., Neto, W. P. F, Dantas, N. O, D. Pasquini. 2012. Extraction and Characterization of Cellulose Nanocrystals From Corncob For Applications
- Skoog, D. 1998. Principles Instrumental Analysis. 5th edition. New York: John Wiley and Sons.as reinforcing agent in nanocomposites. *Industrial Crops and Products* 44: 427-436.
- Song, Y., Zhou, J, Zhang, L, Wu, X. 2008. Homogenous Modification of Cellulose With Acrylamide in NaOH/urea Aqueous Solutions. *Carbohydrate Polymers* 73:18-25.
- Suryanto H. 2017. Analisis struktur serat selulosa dari bakteri. Jurusan Teknik Mesin : Politeknik Negeri Malang. *Pros. SNTT Politek. Negeri Malang* 3:17–22,
- Suryanto, H. 2016. Review Serat Alam : *Komposisi, Struktur, Dan Sifat Mekanis*. *Researchgate*. Malang. 13 hlm
- Ul-Allah, S.; Ijaz, M; Nawaz, A; Sattar, A; Sher, A; Naeem, M; Shahzad, U; Nawaz, F, and Mahmood, K. 2020. Potassium Application Improves Grain Yield and Alleviates Drought Susceptibility in Diverse Maize Hybrids. *Plants* 9(1):75

- Wulandari, W. T., Rochliadi, A, and Arcana, I. M. 2016. Nanocellulose Prepared by Acid Hydrolysis of Isolated Cellulose From Sugarcane Bagasse in IOP Conference Series. *Materials Science and Engineering* 107:1.
- Yamaguchi, M., Dimroth, F., and Geisz, J. F. 2021. Multi-Junction Solar Cells Paving the Way for Super High-Efficiency. *Appl. Phys* 129: 240901-240915
- Yuliarto, B. 2006. *Energi Surya : Alternatif Sumber Energi Masa Depan di Indonesia*. Berita Iptek. Diakses tanggal 12 Juni 2012
- Zhou, Y. M. 2012. Effect of Nanocellulose Isolation Techniques on the Formation of Reinforced Poly (vinyl alcohol) *Nanocomposite Films* 6:794–804.
- Zou, J., Fu, Z, Chen, L, and Ren, 2021. The Effect of Microstructure on the Mechanical Properties of Corn Cobs. *Micron* 146. 103070.