

**ISOLASI DAN KARAKTERISASI NANOSELULOSA
DARI KULIT BUAH LECI (*Litchi Chinensis* Sonn.)
DENGAN PERLAKUAN KIMIA DAN
ULTRASONIKASI**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1
Program Studi Fisika



Diajukan Oleh:

Fany Rizki Nurfadilah

19106020030

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2023

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-212/Un.02/DST/PP.00.9/01/2024

Tugas Akhir dengan judul : Isolasi dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Kulit Buah Leci (Litchi Chinensis Soon.)
dengan Metode Perlakuan Kimia dan Ultrasonikasi

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : FANY RIZKI NURFADILAH
Nomor Induk Mahasiswa : 19106020030
Telah diujikan pada : Rabu, 24 Januari 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Melbi Mahardika, ST.
SIGNED

Valid ID: 65b8a544ceef6d



Penguji I

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 65b8598b9f8ea



Penguji II

Asih Melati, S.Si., M.Sc
SIGNED

Valid ID: 65b855e4b18b3



Yogyakarta, 24 Januari 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 65b8bafa4a95c

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fany Rizki Nurfadilah

NIM : 19106020030

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "ISOLASI DAN KARAKTERISASI NANOSELULOSA DARI KULIT BUAH LECI (Litchi Chinensis Sonn.) DENGAN METODE PERLAKUAN KIMIA DAN ULTRASONIKASI" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 30 Januari 2024

Penulis



Fany Rizki Nurfadilah
NIM. 19106020030

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama	: FANY RIZKI NURFADILAH
NIM	: 19106020030
Judul Skripsi	: ISOLASI DAN KARAKTERISASI NANOSELULOSA DARI KULIT BUAH LECI (Litchi Chinensis Sonn.) DENGAN METODE PERLAKUAN KIMIA DAN ULTRASONIKASI

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 11 Januari 2024

Pembimbing II

Dr. Widayanti, S.Si., M.Si.
NIP. 19760526 200604 2 005

Pembimbing I

Dr. Melbi Mahardika, S.T.
NIP. 19920909 000000 1 301

ISOLASI DAN KARAKTERISASI NANOSELULOSA DARI KULIT BUAH LECI (*Litchi Chinensis* Sonn.) DENGAN METODE PERLAKUAN KIMIA DAN ULTRASONIKASI

Fany Rizki Nurfadilah

19106020030

INTISARI

Buah leci merupakan buah tropis bernilai komersial tinggi sehingga memiliki potensi yang besar di dunia termasuk Indonesia. Produksi tahunan buah leci mencapai 3,3 juta ton per tahun. Meningkatnya produksi buah leci menyebabkan bertambahnya limbah kulit buah leci yang sampai saat ini masih jarang dimanfaatkan. Kulit buah leci mengandung selulosa yang memiliki potensi besar untuk berbagai aplikasi. Selulosa merupakan polimer alam yang terdiri dari monomer D-glukosa yang saling terhubung dengan ikatan β (1 $\rightarrow$ 4) serta memiliki sifat mekanik dan stabilitas termal yang baik. Sifat-sifat tersebut dapat meningkat dalam selulosa berukuran nano atau biasa disebut nanoselulosa. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi nanoselulosa dari kulit buah leci. Selulosa kulit buah leci diisolasi menggunakan perlakuan kimia yaitu proses delignifikasi dan *bleaching*. Komposisi kimia dianalisis dengan metode Van Soest dan analisis FTIR untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing tahapan isolasi selulosa. Perubahan morfologi diidentifikasi dengan FESEM dan perubahan indeks kristalinitas dengan XRD. Dilanjutkan pembuatan nanoselulosa menggunakan gabungan metode kimia dan mekanik yakni hidrolisis asam dengan asam sulfat (H_2SO_4) dan ultrasonikasi selama 10 menit. Ukuran nanoselulosa yang dihasilkan diuji dengan PSA. Hasil uji PSA menunjukkan bahwa perlakuan hidrolisis asam dan ultrasonikasi berhasil menghasilkan serat nanoselulosa, yakni berturut-turut 123,3 nm dan 117,2 nm. Analisis komposisi kimia menunjukkan kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin masing-masing sebesar 17,55%, 8,14%, dan 53,78%. Perlakuan kimia pada sampel menunjukan adanya kenaikan selulosa hingga 74,43% serta penurunan kadar hemiselulosa dan lignin berturut-turut sebesar 7,04% dan 52,72%. Hasil ini didukung oleh hasil karakterisasi FTIR, XRD, dan FESEM.

Kata kunci: Kulit buah leci, selulosa, nanoselulosa, isolasi

**ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF NANOCELLULOSE FROM
LYCHEE FRUIT PEEL (*Litchi chinensis* Sonn.) BY CHEMICAL
TREATMENT AND ULTRASONICATION METHODS**

Fany Rizki Nurfadilah

19106020030

ABSTRAK

Lychee fruit is a tropical fruit of high commercial value so that it has great potential in the world including Indonesia. The annual production of lychee fruit reaches 3.3 million tons per year. The increase in lychee fruit production causes an increase in lychee skin waste which until now is still rarely used. The peel of lychee fruit contains cellulose which has great potential for various applications. Cellulose is a natural polymer consisting of D-glucose monomers that are interconnected by β bonds (1 $\rightarrow$ 4) and have good mechanical properties and thermal stability. These properties can increase in nano-sized cellulose or commonly called nanocellulose. This study aimed to isolate and characterize nanocellulose from lychee peel. Lychee peel cellulose is isolated using chemical treatment, namely delignification and bleaching processes. The chemical composition was analyzed by Van Soest method and FTIR analysis to evaluate the effect of each stage of cellulose isolation. Changes in morphology are identified with FESEM and changes in crystallinity index with XRD. Continued the manufacture of nanocellulose using a combination of chemical and mechanical methods, namely acid hydrolysis with sulfuric acid (H₂SO₄) and ultrasonication for 10 min. The resulting nanocellulose size was tested with PSA. The PSA test results showed that the acid hydrolysis and ultrasonication treatment succeeded in producing nanocellulose fibers, namely 123.3 nm and 117.2 nm respectively. Chemical composition analysis showed cellulose, hemicellulose, and lignin content of 17.55%, 8.14%, and 53.78%, respectively. Chemical treatment of samples showed an increase in cellulose up to 74.43% and a decrease in hemicellulose and lignin levels by 7.04% and 52.72% respectively. These results are supported by the results of FTIR, XRD, and FESEM characterization.

Keywords: lychee fruit peel, cellulose, nanocellulose, insulation

MOTTO

Tidak ada satu pun perjuangan yang tidak melelahkan.

“Dan berikanlah berita gembira kepada orang-orang yang sabar, yaitu yang ketika ditimpa musibah mereka mengucapkan: sungguh kita semua ini milik Allah dan sungguh kepada Nya lah kita kembali”.

QS Al-Baqarah: 155-156.

Selesaikan satu persatu, kita sedang tidak berlomba dengan siapapun. Kita berlomba dengan diri kita sendiri di masa yang telah berlalu. Maka tidak perlu merasa tertinggal karena orang lain. Sebab setiap orang sedang berjuang dengan episode hidupnya masing-masing.

Fany Rizki Nurfadilah

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk :

Allah Subhanahu Wa Ta'ala

Kedua orang tua penulis, Ibu Nunung Nursalimah dan Bapak Dodo Suroso

Suami saya, Yoga Budi Prabowo

Adik saya, Yunita Nurkhakiki Rahimahallah

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Fisika 2019

Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Isolasi dan Karakterisasi Nanoselulosa dari Kulit Buah Leci (*Litchi Chinensis Sonn.*) dengan Metode Perlakuan Kimia dan Ultrasonikasi”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat wajib yang harus dipenuhi oleh mahasiswa program studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Selama penyusunan skripsi, penulis banyak mendapat pembelajaran, dukungan, serta bimbingan dan masukan yang sangat berharga dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Penulis juga menyadari bahwa tanpa bantuan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak, penulisan ini tidak dapat terselesaikan.

Penulis sampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, diantaranya kepada:

1. Orang tua, mertua, dan suami tercinta saya yang selalu memberikan doa dan dukungan yang tak terhingga.
2. Yunita Nurkhakiki Rahimahallah, adik sekaligus partner yang sangat berarti dalam proses penulis hingga selesainya skripsi ini, walaupun sudah lebih dulu berpulang sebelum penulis di wisuda.

3. Bapak Prof. Dr. Phill. Al-Makin, S. Ag., M.A. Selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Dr. Dra. Hj. Khurun Wardati, M.Si. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
5. Ibu Anis Yuniati, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang banyak berperan dalam perkuliahan, penelitian, hingga perlombaan penulis.
6. Pihak Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah menyediakan tempat pelaksanaan penelitian bagi penulis untuk belajar dan melakukan penelitian.
7. Dr. Melbi Mahardika, S.T. dan Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak ilmu, bimbingan, dan saran mengenai penelitian tugas akhir dengan tulus dan sabar.
8. Sahabat-sahabat penulis yang selalu menemani, membantu, dan memberikan dukungan motivasi.

Serta kepada semuanya yang sudah menjadi bagian dari kehidupan penulis, penulis ucapkan terimakasih dari lubuk hati yang paling dalam, semoga Allah balas dengan kebaikan yang berlipat-lipat. Akhir kata, besar harapan penulis, semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan bagi pihak yang membacanya.

Jazaakumullahu Khayran wa Ahsanal Jaza.

Yogyakarta, 16 Desember 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	ix
INTISARI.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 State of the Art	10
2.2 Landasan Teori.....	15
2.2.1 Buah Leci	15
2.2.2 Komposisi Kimia Serat Alam	17
2.2.3 Nanoselulosa	21
2.2.4 Produksi Selulosa dengan Perlakuan Kimia	23
2.2.5 Produksi Nanoselulosa	25
2.2.6 Karakterisasi Material	29
BAB III MOTODE PENELITIAN	43
3.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	43
3.1.1 Alat Penelitian.....	43
3.1.2 Bahan Penelitian.....	44

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	44
3.3 Prosedur Penelitian.....	45
3.3.1 Preparasi Sampel.....	47
3.3.2 Isolasi Selulosa.....	47
3.3.3 Produksi Nanoselulosa	49
3.3.4 Uji Komposisi Kimia	50
3.3.5 Karakterisasi.....	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1 Hasil Penelitian	56
4.1.1 Pengujian Kandungan Kimia	56
4.1.2 Pengujian FTIR	57
4.1.3 Pengujian XRD	57
4.1.4 Pengujian FESEM.....	58
4.1.5 Pengujian PSA	61
4.1.6 Pengujian TEM	62
4.2 Pembahasan.....	64
4.2.1 Pengujian Kandungan Kimia	64
4.2.2 Pengujian FTIR	65
4.2.3 Pengujian XRD	68
4.2.4 Pengujian FESEM.....	70
4.2.5 Pengujian PSA	72
4.2.6 Pengujian TEM	73
4.2.6 Wawasan Islam Tentang Pemanfaatan Limbah	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>State of The Art</i> Penelitian	10
Tabel 2.2 Klasifikasi Buah Leci.....	16
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Buah Leci	16
Tabel 3.1 Alat Penelitian.....	43
Tabel 3.2 Tabel Penelitian.....	44
Tabel 4.1 Kandungan Kimia Kulit Buah Leci	56
Tabel 4.2 Indeks Kristal (%) Varietas Kulit Buah Leci	58
Tabel 4.3 Hasil pengukuran diameter sampel dengan software ImageJ	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema tanaman biomassa lignoselulosa	2
Gambar 1.2 Skema produksi nanoselulosa dari lignoselulosa	5
Gambar 2.1 Skema penelitian Melbi Mahardika, <i>et.al.</i> (2018).....	12
Gambar 2.2 Buah leci.....	15
Gambar 2.3 Struktur kimia hemiselulosa.....	17
Gambar 2.4 Dinding sel tumbuhan	18
Gambar 2.5 Struktur kimia lignin	19
Gambar 2.6 Struktur hierarki selulosa pada tanaman	19
Gambar 2.7 Struktur selulosa.....	20
Gambar 2.8 Berbagai aplikasi nanoselulosa	22
Gambar 2.9 Reaksi pemutusan lignin dan selulosa.....	23
Gambar 2.10 Reaksi penguraian lignin oleh H_2O_2	25
Gambar 2.11 Hidrolisis asam memecah daerah amorf	26
Gambar 2.12 Ultrasonikator probe.....	27
Gambar 2.13 Diagram skematik ultrasonikator	27
Gambar 2.14 Proses terjadinya ultrasonikasi	28
Gambar 2.15 Alat karakterisasi FESEM.....	30
Gambar 2.16 Hasil pengamatan FESEM dari daun kelapa sawit	30
Gambar 2.17 Skema diagram FESEM	31
Gambar 2.18 Alat karakterisasi FTIR	32
Gambar 2.19 Prinsip kerja Interferometer	33
Gambar 2.20 Diagram skematik prinsip kerja FTIR	34

Gambar 2.21 Alat karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i>	35
Gambar 2.22 Fitur dasar XRD	36
Gambar 2.23 Difraksi dari sinar-X oleh bidang atom (A–A' dan B–B').	37
Gambar 2.24 Diagram skematik difraktometer sinar-X.....	38
Gambar 2.25 Prinsip kerja <i>particle size analyzer</i>	40
Gambar 2.26 Foto TEM	41
Gambar 2.27 Skema TEM	42
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	46
Gambar 4.1 Hasil FTIR kulit buah leci.....	57
Gambar 4.2 Hasil XRD kulit buah leci	58
Gambar 4.3 Morfologi sampel sebelum perlakuan kimia perbesaran 800x	59
Gambar 4.4 Morfologi sampel setelah delignifikasi perbesaran 800x.....	60
Gambar 4.5 Morfologi sampel setelah <i>bleaching</i> perbesaran 800x.....	60
Gambar 4.6 Morfologi sampel setelah hidrolisis asam perbesaran 800x.....	61
Gambar 4.7 Hasil uji PSA kulit buah leci sebelum ultrasonikasi	62
Gambar 4.8 Hasil uji PSA kulit buah leci setelah ultrasonikasi	62
Gambar 4.9 Hasil uji TEM kulit buah leci dengan perbesaran 20.000x.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Logbook Penelitian.....	91
Lampiran 2 Tabel Hasil Perhitungan Uji Komposisi Kimia.....	99
Lampiran 3 Laporan Hasil Uji Karakterisasi XRD	101
Lampiran 4 Hasil Pengujian XRD Kulit Buah Leci	102
Lampiran 5 Hasil Pengujian XRD (Lanjutan)	103
Lampiran 6 Hasil Pengujian XRD (Lanjutan)	104
Lampiran 7 Hasil Pengujian XRD Delignifikasi	105
Lampiran 8 Hasil Pengujian XRD <i>Bleaching</i>	108
Lampiran 9 Hasil Pengujian FTIR Raw Kulit Buah Leci	110
Lampiran 10 Hasil Pengujian FTIR Delignifikasi	111
Lampiran 11 Hasil Pengujian FTIR <i>Bleaching</i>	112
Lampiran 12 Laporan Hasil Uji Karakterisasi FESEM	113
Lampiran 13 Hasil Pengujian FESEM Kulit Buah Leci	114
Lampiran 14 Hasil Pengujian FESEM Delignifikasi	115
Lampiran 15 Hasil Pengujian FESEM <i>Bleaching</i>	116
Lampiran 16 Hasil Pengujian FESEM Hidrolisis Asam.....	117
Lampiran 17 Hasil Uji PSA Sebelum Ultrasonikasi	118
Lampiran 18 Hasil Uji PSA Setelah Ultrasonikasi 10 Menit.....	118
Lampiran 19 Hasil perhitungan TEM	119
Lampiran 20 Foto Hasil Uji	122

DAFTAR ISTILAH

<i>ADF (Acid Detergent Fiber)</i>	: Merupakan fraksi dari bahan tanaman yang tersisa setelah larut dalam deterjen asam
<i>ADS (Acid Detergent Soluble)</i>	: Merupakan fraksi dari bahan tanaman yang larut dalam deterjen asam.
<i>Amorf</i>	: Struktur kristal tidak teratur; tidak memiliki pola tertentu dalam susunan atom atau molekul.
<i>BC (Bacterial Cellulose)</i>	: Selulosa yang dihasilkan oleh bakteri, berbeda dengan selulosa yang dihasilkan oleh tanaman.
<i>Biodegradabilitas</i>	: Kemampuan suatu bahan untuk terurai secara alami oleh mikroorganisme dalam lingkungan.
<i>Biorefinery</i>	: Pabrik atau fasilitas yang menggunakan proses biologi untuk menghasilkan berbagai produk kimia, energi, dan material dari bahan biomassa.
<i>Bleaching</i>	: Proses penghilangan warna atau pemutihan, seringkali digunakan dalam industri pulp dan kertas.
<i>Bottom up</i>	: Pendekatan dalam pembuatan material atau struktur yang membangun dari tingkat dasar atau molekuler.
<i>CNC (Cellulose nanocrystals)</i>	: Kristal selulosa yang sangat kecil, digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk material nanokomposit.
<i>CNF (Cellulose nanofibrils)</i>	: Serat selulosa yang sangat halus, umumnya memiliki diameter dalam skala nanometer.
<i>Coplanar</i>	: Dalam satu bidang atau sejajar, merujuk pada posisi atau orientasi yang sejajar.
<i>Corong buncher</i>	: Alat atau perangkat yang digunakan untuk memusatkan atau memfokuskan aliran partikel atau gelombang.
<i>Degradasi</i>	: Proses pemecahan atau perubahan struktur molekul menjadi bentuk yang lebih sederhana.
<i>Delignifikasi</i>	: Proses penghilangan lignin

Depolimerisasi	: Proses pemecahan molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil.
Difraksi	: Penyebaran atau pembelokan gelombang cahaya atau partikel saat melewati suatu celah atau struktur.
Dispersibilitas	: Kemampuan suatu zat untuk terdispersi atau tercampur dengan baik dalam suatu medium.
DSC	: <i>Differential Scanning Calorimetry</i> ; Menganalisis perubahan kalor yang terjadi dalam suatu material seiring dengan perubahan suhu.
EDS	: <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> ; Teknik analisis kimia untuk menentukan komposisi unsur dalam sampel menggunakan sinar-X.
FESEM	: Metode mikroskopi elektron yang menggunakan sumber emisi medan untuk menghasilkan gambar permukaan sampel.
Fluktuasi	: Perubahan acak atau variasi dalam suatu sistem atau parameter.
FTIR	: Teknik analisis spektroskopi inframerah yang menggunakan transformasi Fourier untuk mengidentifikasi ikatan kimia dalam suatu sampel.
Fume Hood	: Alat perlindungan laboratorium yang dirancang untuk mengatur keluarnya gas atau uap berbahaya.
FT	: <i>Fourier Transform</i>
<i>High-shear homogenization</i>	: Proses homogenisasi yang menggunakan kecepatan tinggi untuk meratakan partikel dalam suatu cairan atau suspensi.
Hotplate	: Alat pemanas datar untuk memanaskan sampel atau cairan.
IR	: Spektrum cahaya yang terletak di antara cahaya tampak dan gelombang mikro.
Isolasi	: Proses memisahkan atau mengekstraksi suatu zat dari substansi lain.

Kopolimer	: Kopolimer merupakan polimer yang terdiri atas dua macam atau lebih monomer tak sejenis.
Kristalin	: Materi yang memiliki struktur teratur dan terorganisir.
Kromosfor	: Bagian molekul yang memberikan warna.
Lignoselulosa	: Campuran senyawa lignin dan selulosa, biasanya ditemukan dalam dinding sel tanaman.
Magnetic stirer	: Alat pengaduk yang menggunakan medan magnet untuk menggerakkan stir bar dalam suatu cairan.
Modulus young	: Ukuran kekakuan suatu material dalam tekanan atau tarikan.
Nanoselulosa	: Selulosa dengan ukuran skala nanometer.
<i>Netral Detergent Fiber</i> (NDF)	: Fraksi bahan tanaman yang tidak larut dalam deterjen netral.
<i>Netral Detergent Sulfat</i> (NDS)	: Fraksi bahan tanaman yang tidak larut dalam deterjen sulfat netral.
Probe	: Alat atau sensor yang digunakan untuk mengukur atau memantau suatu parameter.
PSA (<i>Particle Size Analysis</i>)	: Metode untuk mengukur distribusi ukuran partikel dalam suatu sampel.
PVA (<i>Polyvinyl Alcohol</i>)	: Polimer sintetis yang larut dalam air, digunakan dalam berbagai aplikasi.
Raw	: Bahan mentah atau belum diolah.
Selulosa	: Polisakarida yang merupakan komponen utama dinding sel tanaman.
SEM	: <i>Scanning Electron Microscopy</i> ; Memberikan gambaran permukaan dan struktur mikroskopis suatu material dengan resolusi tinggi.
Semikristalin	: Materi yang memiliki sifat kristalin dan amorf.
Sentrifugasi	: Proses memisahkan partikel dalam suatu larutan menggunakan gaya sentrifugal.

<i>State of the Art</i>	: Kajian yang menjadi ciri khas untuk membedakan bidang satu dengan bidang lainnya.
Tanur	: Alat pemanas untuk perlakuan termal atau pembakaran.
Tetrasiklin	: Salah satu jenis antibiotik.
TGA	: <i>Thermogravimetric Analysis</i> ; Mengukur perubahan berat suatu material seiring dengan perubahan suhu.
<i>Top-down</i>	: Pendekatan dalam pembuatan material atau struktur yang dimulai dari tingkat makro dan mengurangnya.
<i>Transmittance</i>	: Kemampuan suatu bahan untuk mentransmisikan cahaya atau energi.
<i>Ultrafine grinding</i>	: Proses penghalusan material menjadi ukuran partikel sangat kecil.
Ultrasonikasi	: Penggunaan gelombang ultrasonik untuk menghasilkan efek mekanis atau kimia dalam suatu cairan.
<i>Wavenumber</i>	: Ukuran dalam spektrum inframerah yang berhubungan dengan panjang gelombang.
XRD	: Metode analisis untuk menentukan struktur kristal suatu material menggunakan sinar-X.

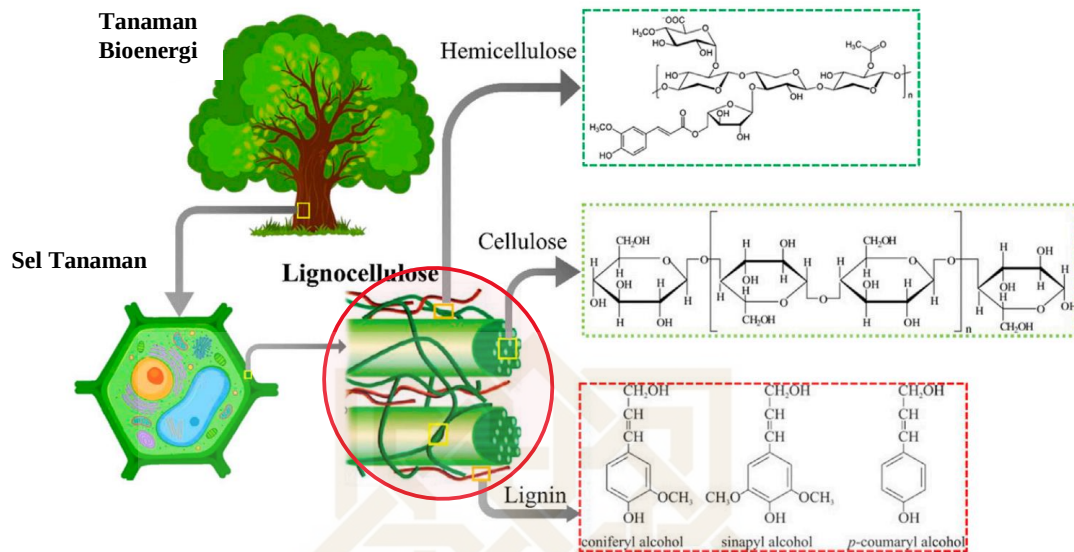
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan bukanlah sebuah fenomena baru yang saat ini kita jumpai, sejak dulu pencemaran lingkungan sudah menjadi salah satu masalah terbesar yang dihadapi oleh manusia. Menurut data dari kementerian lingkungan hidup dan kehutanan, timbunan sampah di Indonesia mencapai 17,027,843.29 ton di tahun 2023. Adapun sampah yang tidak terkelola mencapai 33.26% atau sekitar 5,662,772.33 (ton/tahun). Jenis sampah di Indonesia di dominasi oleh sisa makanan sebesar 43,1%, dan yang kedua sampah plastik sebesar 18,3%.

Pencemaran lingkungan yang semakin meningkat membutuhkan inovasi material yang ramah lingkungan. Seperti dengan mengganti serat sintetis dengan serat alam. Salah satu serat alam yang menjanjikan bersumber dari selulosa. Selulosa merupakan salah satu komponen lignoselulosa dari serat alam bersama dengan lignin dan hemiselulosa seperti yang tertera pada **Gambar 1.1**. Selulosa membentuk struktur dinding sel, sedangkan hemiselulosa membantu dalam ikatan silang antara polimer non-selulosa dan selulosa melalui ikatan kovalen (Sankaran *et al.*, 2021).



Gambar 1.1. Skema tanaman biomassa lignoselulosa (Sankaran *et al.*, 2021)

Lignin dan hemiselulosa memiliki struktur amorf, sedangkan selulosa bersifat semikristalin sehingga memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda (Mahardika *et al.*, 2018). Unsur utama dalam penyusun struktur selulosa yaitu karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O) yang terbentuk melalui ikatan β (1 $\rightarrow$ 4)-glikosidik antara unit D-glukosa (Helmenstine, 2020). Selulosa memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki kekuatan yang relatif tinggi, kekakuan tinggi, densitas rendah, dan stabilitas termal yang baik (Wadzani *et al.*, 2021).

Potensi kulit buah leci sebagai salah satu sumber selulosa dapat menjadi solusi untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Buah leci merupakan buah tropis yang memiliki nilai komersial tinggi karena bentuk, warna, dan rasanya yang unik. Buah leci juga dikenal memiliki banyak manfaat untuk kecantikan dan kesehatan tubuh karena memiliki nilai gizi yang cukup tinggi (Zhao *et al.*, 2020). Saat ini buah leci telah dibudidayakan di lebih dari 20 negara subtropis dan tropis salah satunya adalah Indonesia (Pareek, 2015). Hal tersebut menjadikan buah leci

memiliki potensi besar di dunia hingga menyumbang produksi tahunan sebesar 3,3 juta ton per tahun. Adapun dari satu ton buah leci dapat menghasilkan sekitar 13-22% atau 130-220 kg kulit buah yang hingga saat ini masih jarang dimanfaatkan (Islam *et al.*, 2002). Selain itu, buah leci memiliki sifat yang mudah rusak sehingga memiliki umur simpan yang pendek (Nimitkeatkai *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2020). Hal tersebut menjadikan kulit buah leci dapat dengan mudah menjadi limbah yang apabila ditumpuk terus menerus akan menimbulkan dampak negatif terhadap kebersihan lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia. Untuk itu, diperlukan adanya inovasi baru untuk mengolah limbah kulit buah leci agar meningkatkan nilai guna material. Salah satu potensi yang dapat dimanfaatkan adalah kandungan selulosa yang dimilikinya. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kandungan selulosa yang dimiliki kulit buah leci mencapai 16,70% (Thulasisingh *et al.*, 2021).

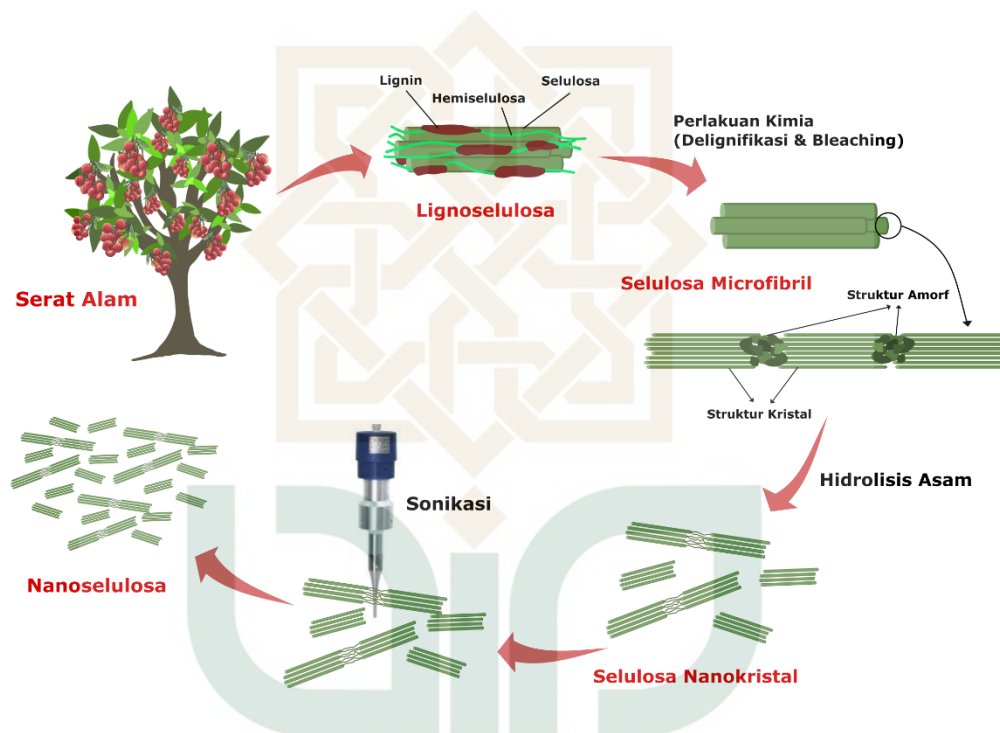
Manfaat selulosa dapat diperluas dengan menggabungkan rantai selulosa menjadi daerah yang sangat teratur, yang kemudian dapat diisolasi sebagai nanoselulosa (Trache *et al.*, 2020). Nanoselulosa memiliki banyak keunggulan sebagai bahan terbarukan, yakni memiliki karakteristik biodegradabilitas, sifat mekanik yang sangat baik, sumber daya yang melimpah, dan modifikasi kimia yang mudah (Mai *et al.*, 2023). Nanoselulosa juga memiliki kristalinitas, modulus young, dan kekuatan mekanik yang tinggi. Modulus young nanoselulosa beberapa kali lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa biasa (Zhuo *et al.*, 2017). Hal ini menjadikan nanoselulosa dapat dimanfaatkan secara luas untuk berbagai aplikasi seperti dalam bidang kemasan (Atta *et al.*, 2022), kosmetik (Bongao *et al.*, 2018), industri kertas (L. Dai *et al.*, 2022), biosensor dan bioelektronik (Farooq *et al.*,

2018; Thomas *et al.*, 2018), nanokomposit, produk biomedis, perekat kayu, superkapasitor, tempat komponen elektronik, baterai, pendukung katalitik, dan elektroaktif polimer (Trache *et al.*, 2020).

Pembuatan nanoselulosa diperlukan adanya selulosa murni yang dapat diperoleh dengan melakukan beberapa tahapan isolasi. Isolasi selulosa umumnya dilakukan dengan menggunakan metode delignifikasi dan *bleaching* (Asrofi *et al.*, 2017; Mahardika *et al.*, 2018). Delignifikasi dilakukan untuk menghilangkan lignin. Adapun *bleaching* dilakukan untuk degradasi lignin yang masih tersisa. Beberapa metode pengisolasian selulosa dengan cara delignifikasi dan *bleaching* yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya antara lain isolasi selulosa dari daun nanas (Mahardika *et al.*, 2018), kulit bawang merah (Rezty Hertiwi *et al.*, 2020a), kulit buah kakao (Riani *et al.*, 2019), biji salak (Hidayat *et al.*, 2018), talas (Midhun Dominic *et al.*, 2022), dan tandan kosong kelapa sawit (Alexandra, 2020).

Setelah dilakukan isolasi selulosa, dilanjutkan dengan pembuatan nanoselulosa dengan cara memecah ukuran selulosa dari mikro menjadi nano. Ukuran nano cenderung lebih unggul karena rasio aspeknya yang tinggi dan luas permukaan spesifik yang besar (Omran *et al.*, 2021). Adapun metode yang digunakan untuk mengisolasi selulosa kulit buah leci adalah gabungan dari metode kimiawi dan mekanik. Metode kimiawi yang dipakai yakni metode hidrolisis asam menggunakan H_2SO_4 . Penggunaan H_2SO_4 merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengisolasi nanoselulosa karena memiliki dispersibilitas yang baik dalam air (Shen *et al.*, 2017). Adapun metode mekanik yang digunakan adalah ultrasonikasi. Produksi nanoselulosa melalui ultrasonikasi adalah cara yang sangat

efektif untuk mendepolimerisasi selulosa (Wadzani *et al.*, 2021). Gabungan metode kimiawi dan mekanik ini dipilih karena lebih efektif dalam memproduksi nanoselulosa tanpa terlalu banyak memakai bahan kimia sehingga akan lebih ramah lingkungan. Skema produksi nanoselulosa pada penelitian ini dijelaskan pada **Gambar 1.2.**



Gambar 1.2. Skema produksi nanoselulosa dari lignoselulosa

Penelitian dari kulit buah leci memiliki potensi kebaruan yang besar dalam segi material maupun metode produksi nanoselulosa. Penelitian dengan material ini masih sangat jarang dilakukan tidak hanya di Indonesia, namun juga di dunia. Rata-rata penelitian sebelumnya hanya sebatas pada daging buah leci dan bijinya saja yang dimanfaatkan sebagai produk kecantikan dan kesehatan (Zhao *et al.*, 2020). Begitu pula metode yang digunakan dalam proses produksi nanoselulosa berbeda dengan penelitian yang sudah ada. Pada penelitian oleh Thulasisingh *et al.*,

(2021) hanya menggunakan metode delignifikasi, bleaching, dan hidrolisis asam untuk mengisolasi selulosa serta karakterisasi menggunakan TGA, DSC, SEM, dan FTIR. Adapun pada penelitian ini memodifikasi penelitian sebelumnya agar dapat menghasilkan kandungan selulosa yang lebih baik dan meminimalisir dampak lingkungan yang dihasilkan akibat bahan kimia. Metode yang digunakan penelitian ini diantaranya uji komposisi kimia dengan metode Van Soest (Mohammed *et al.*, 2012) untuk mengetahui kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin; Isolasi selulosa dengan metode delignifikasi dan *Two-Step Bleaching* untuk mendapatkan selulosa murni; serta pembuatan nanoselulosa dengan metode hidrolisis asam dan ultrasonikasi. Selanjutnya, tiap hasil perlakuan kimia dikarakterisasi dengan FESEM untuk mengetahui morfologi, XRD untuk mengetahui tingkat kristalinitas, FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, PSA dan TEM untuk mengetahui ukuran nano yang terbentuk.

Penelitian yang memanfaatkan buah leci merupakan salah satu bentuk pengamalan rasa syukur kita sebagai manusia terhadap rezeki yang Allah berikan dalam bentuk buah-buahan. Seperti termaktub dalam Al-Qur'an surat Ibrahim ayat 32 yang berbunyi:

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجَ بِهِ مِنَ الثَّمَرَاتِ رِزْقًا لَكُمْ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْفُلْكَ لِتَجْرِيَ فِي الْبَحْرِ بِأَمْرِهِ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْأَنْهَارَ

Artinya: Allah-lah yang telah menciptakan langit dan bumi dan menurunkan air hujan dari langit, kemudian Dia mengeluarkan dengan air hujan itu berbagai buah-buahan menjadi rezeki untukmu; dan Dia telah menundukkan bahtera bagimu supaya bahtera itu, berlayar di lautan dengan kehendak-Nya, dan Dia telah menundukkan (pula) bagimu sungai-sungai. (QS. Ibrahim: 32)

Dalam ayat ini Allah menegaskan akan kekuasaan-Nya dalam mengatur kehidupan di bumi. Mulai dari air yang turun dari langit, hingga tumbuh kebun-kebun yang subur dan mengeluarkan buah-buahan. Semua itu diperuntukkan sebagai rezeki bagi manusia yang hendaknya dipikirkan setiap ciptaannya tersebut melalui akal yang sempurna seperti yang tertera dalam Al-Qur'an surat Ali Imran (3) ayat 190 berikut:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَآخِثِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ

Artinya: “Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal”.

Ayat dalam surat Ali Imran (3) ayat 190 juga menjelaskan bahwa dengan penciptaan alam semesta, hendaknya manusia menyadari tugas sebagai khalifah Allah yakni sebagai orang yang berakal yang berkewajiban memakmurkan bumi serta menjadi rahmat bagi alam sekelilingnya. Baik dengan cara menggali, meneliti, atau memanfaatkan hukum-hukum Allah bagi alam ciptaan-Nya sebagai bentuk dari profil manusia ulul albab (Sofia, 2021). Maka sebagai bentuk pengamalan dari kedua surat ini, penelitian dari kulit buah leci dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan diatas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan komponen kimia dari kulit buah leci pada tiap tahap isolasi selulosa?
2. Bagaimana metode produksi nanoselulosa dari kulit buah leci dan ukuran nanoselulosa yang terbentuk?

3. Bagaimana perubahan karakteristik selulosa dari kulit buah leci pada tiap tahap isolasi selulosa?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dituliskan tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengisolasi dan menganalisis komposisi kimia dari kulit buah leci.
2. Memproduksi nanoselulosa dan menganalisis ukuran nanoselulosa yang terbentuk.
3. Menganalisis karakteristik morfologi, ukuran, kristanilitas, dan gugus fungsi selulosa dari kulit buah leci.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode uji komposisi kimia yang digunakan adalah metode Van Soest.
2. Metode pembuatan nanoselulosa yang digunakan adalah hidrolisis asam dan ultrasonikasi 10 menit.
3. Karakterisasi hasil sintesis menggunakan FESEM, XRD, FTIR, PSA, dan TEM.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagi Mahasiswa

Menambah pengetahuan dan wawasan di bidang nanoselulosa, memberikan alternatif metode produksi nanoselulosa, dan mengetahui potensi dari kulit buah leci sebagai penguat komposit berbagai aplikasi.

2. Bagi Akademik

Memberikan informasi dan referensi bagi peneliti yang akan mengembangkan penelitian nanoselulosa dari kulit buah leci.

3. Bagi Masyarakat

Memberikan kontribusi dalam bidang lingkungan tentang pemanfaatan limbah kulit buah.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai isolasi dan karakterisasi nanoselulosa dari limbah kulit buah leci, dapat disimpulkan bahwa:

1. Isolasi selulosa dari limbah kulit buah leci dengan metode perlakuan kimia seperti delignifikasi dan *bleaching* telah sukses dilakukan dalam penelitian ini. Kulit buah leci yang digunakan memiliki kadar selulosa, hemiselulosa, dan lignin masing-masing sebesar 17,55%, 8,14%, dan 53,78%. Perlakuan kimia pada sampel menunjukkan adanya kenaikan selulosa hingga 74,43% serta penurunan kadar hemiselulosa dan lignin berturut-turut sebesar 7,04% dan 52,72%. Hasil ini didukung juga berdasarkan pengujian oleh FESEM, FTIR, dan XRD.
2. Produksi nanoselulosa berhasil dilakukan dengan menggunakan metode hidrolisis asam dan ultrasonikasi selama 10 menit. Hasil uji PSA menunjukkan bahwa perlakuan hidrolisis asam dan ultrasonikasi tersebut berhasil menghasilkan serat nanoselulosa dengan panjang nanoselulosa yang baik, yakni berturut-turut 123,3 nm dan 117,2 nm. Adapun menurut hasil uji TEM, nanoselulosa yang terbentuk mempunyai ukuran diameter rata-rata 6,0 nm dan panjang 96,6 nm.
3. Hasil karakterisasi morfologi, ukuran, kristanilitas, dan gugus fungsi nanoselulosa dari kulit buah leci adalah sebagai berikut:

- a. Hasil pengamatan morfologi dengan citra FESEM menunjukkan bahwa serat selulosa tanpa proses kimia dapat menghasilkan bentuk serat seperti batang dengan permukaan yang halus. Setelah proses kimia ditemukan sedikit serat yang mulai terpisah dari kumpulan agregat selulosa serta ditemukan pori-pori pada permukaan serat. Hal ini menunjukkan bahwa isolasi selulosa berhasil dilakukan. Selain itu, penghilangan lignin dan hemiselulosa juga dapat dibuktikan dengan berkurangnya diameter serat setelah proses kimia dan hidrolisis asam. Hasil ini mendukung uji komposisi kimia, XRD, dan FTIR yang sudah dilakukan.
- b. Hasil pengujian XRD menunjukkan terjadinya perubahan pola difraksi yang terbentuk pada sudut 2θ yaitu $16,0^\circ$, $22,6^\circ$, dan $34,8^\circ$. Puncak tersebut menunjukkan bahwa selulosa yang terindikasi merupakan selulosa tipe I yang menandakan terbentuknya tatanan kristal pada selulosa. Selain itu, proses kimia telah berhasil mengurangi lignin, hemiselulosa dan zat pengotor lainnya ditunjukkan dengan meningkatnya indeks kristalinitas. Namun, selulosa hasil delignifikasi memiliki indeks kristalinitas yang lebih rendah dibanding dengan sampel sebelum perlakuan kimia. Hal ini kemungkinan pada proses delignifikasi dengan NaOH menyebabkan rusaknya sedikit struktur kristal.
- c. Hasil FTIR menunjukkan adanya puncak sekitar 1429 cm^{-1} , 1316 cm^{-1} , 1162 cm^{-1} , 1029 cm^{-1} dan 896 cm^{-1} . Puncak tersebut menunjukkan

tingkat kemurnian selulosa. Selain itu, ditemukan penurunan intensitas pada 1735 cm^{-1} dan 1504 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa kandungan hemiselulosa dan lignin mengalami penurunan. Hasil ini mendukung pernyataan pada analisis uji komposisi kimia, XRD, dan FESEM yang dilakukan pada penelitian ini.

5.2 Saran

Penelitian nanoselulosa dari kulit buah leci dengan metode yang telah dilaksanakan membutuhkan penelitian lebih lanjut. Berikut merupakan saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlunya karakterisasi FESEM untuk nanoselulosa setelah ultrasonikasi agar dapat mengetahui morfologi yang terbentuk sehingga dapat dibandingkan dengan hasil nanoselulosa setelah perlakuan hidrolisis asam.
2. Perlu adanya variasi metode dan konsentrasi bahan kimia untuk memperoleh selulosa terbaik

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L. A., Jacob, M., Thomas, S., Cvelbar, U., dan Anandjiwala, R. 2011. Extraction of Nanocellulose Fibrils from Lignocellulosic Fibres: a Novel Approach. *Carbohydrate Polymers*, **Vol.86 No.4**: 1468–1475. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.034>
- Aditiawati, P., Dungani, R., dan Amelia, C. 2018. Enzymatic Production of Cellulose Nanofibers From Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) With Crude Cellulase of *Trichoderma* sp. *Materials Research Express*, **Vol.5 No.3**. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aab449>
- Agustin, M. B., Nakatsubo, F., dan Yano, H. 2018. Improving The Thermal Stability of Wood-Based Cellulose by Esterification. *Carbohydrate Polymers*, **Vol.192** : 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.02.071>
- Akinjokun, A. I., Petrik, L. F., Ogunfowokan, A. O., Ajao, J., dan Ojumu, T. V. 2021. Isolation and Characterization of Nanocrystalline Cellulose from Cocoa Pod Husk (CPH) Biomass Wastes. *Heliyon*, **Vol.7 No.4**. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06680>
- Alexandra, N. 2020. *Isolasi dan Karakterisasi Selulosa Fibril dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Hidrolisis Asam*. (Tugas Akhir), Institut Teknologi Kalimantan.
- An, K., Wu, J., Xiao, H., Hu, T., Yu, Y., Yang, W., Xiao, G., dan Xu, Y. 2022. Effect of Various Drying Methods on The Physicochemical Characterizations, Antioxidant Activities and Hypoglycemic Activities of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) Pulp Polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, **Vol.220** : 510–519. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.083>
- Arnata, I. W., Suprihatin, S., Fahma, F., Richana, N., dan Sunarti, T. C. 2020. Cationic Modification of Nanocrystalline Cellulose from Sago Fronds. *Cellulose*, **Vol.27 No.6** : 3121–3141. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02955-3>
- Asrofi, M., Abral, H., Kasim, A., dan Pratoto, A. 2017. XRD and FTIR Studies of Nanocrystalline Cellulose from Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) Fiber. *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials*, **Vol.29** : 9–16. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jnm.29.9>
- Asrofi, M., Abral, H., Kasim, A., Pratoto, A., Mahardika, M., Park, J. W., dan Kim, H. J. 2018. Isolation of Nanocellulose from Water Hyacinth Fiber (WHF) Produced via Digester-Sonication and Its Characterization. *Fibers and Polymers*, **Vol.19 No.8** : 1618–1625. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7953-1>

- Atta, O. M., Manan, S., Shahzad, A., Ul-Islam, M., Ullah, M. W., dan Yang, G. 2022. Biobased Materials For Active Food Packaging: A Review. *Food Hydrocolloids*, **Vol.125**. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107419>
- Aulia, F., dan Gea, S. 2013. Studi Penyediaan Nanokristal Selulosa dari Tandan Kosong Sawit (TKS). In *Jurnal Saintia Kimia*, **Vol.1 No.2**.
- Beyan, S. M., Amibo, T. A., Prabhu, S. V., dan Ayalew, A. G. 2021. Production of Nanocellulose Crystal Derived from Enset Fiber Using Acid Hydrolysis Coupled with Ultrasonication, Isolation, Statistical Modeling, Optimization, and Characterizations. *Hindawi Journal of Nanomaterials*, **Vol.2021**: 1-8 . <https://doi.org/10.1155/2021/7492532>
- Billah, A. 2016. *Investigation of Multiferroic and Photocatalytic Properties of Li Doped BiFeO3 Nanoparticles Prepared by Ultrasonication*. (Tugas Akhir), University of Engineering and Technology.
- Bismarck, A., Mishra, S., dan Lampke, T. 2005. *Plant Fibers as Reinforcement for Green Composites*. In: Mohanty, A.K., Misra, M., and Drzal, L.T. (Ed.), *Natural Fibers, Biopolymer, and Biocomposites*. CRC Press Taylor and Francis group, Boca Raton.
- Bongao, H. C., Russel Gabatino, R. A., Faith Arias, C. H., dan Magdaluyo Jr, E. R. 2018. Micro/Nanocellulose From Waste Pili (*Canarium Ovatum*) Pulp as a Potential Anti-Ageing Ingredient For Cosmetic Formulations. *Material Today: Proceedings*, **Vol.22 No.2020** : 275-280.
- Brundle, C. R., Evans Jr, C. A., dan Wilson, S. 1992. *Encyclopedia of Materials Characterization* (C. R. Brundle, C. A. Evans Jr, dan S. Wilson, Eds.; 1st ed.). Manning Publication Co.
- Callister JR, W. D., dan Rethwisch, D. G. 2018. *Materials Science and Engineering an Introduction* (John Willey dan Sons, Ed.; 10th edition). Hachette Livre - Département Pratique.
- Chen, G., Cherg, S., Hansen, M., Herbert, M., Jiang, W., Liang, X., Lindley, M., Ma, M., Ouyang, D., Ren, X., Shi, S., Qiao, T. X., Warren, G., Xia, Q., Xie, Y., Xu, S., Yang, L., Young, Y., Zhang, T., Young, J. 2006. *Marsland Company, Michigan, The United States Nature and Science*; **Vol.4 No.3**.
- Cheng, Y., Mondal, A. K., Wu, S., Xu, D., Ning, D., Ni, Y., dan Huang, F. 2020. Study on The Anti-Biodegradation Property of Tunicate Cellulose. *Polymers*, **Vol.12 No.12** : 1–17. <https://doi.org/10.3390/polym12123071>
- Costa, A. L. R., Gomes, A., Tibolla, H., Menegalli, F. C., dan Cunha, R. L. 2018. Cellulose Nanofibers From Banana Peels as a Pickering Emulsifier: High-

- Energy Emulsification Processes. *Carbohydrate Polymers*, **Vol.194** : 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.001>
- Costa, D. P. S. T. 2022. *Isolasi Cellulose Nanofibers dari Bagas Sorgum (Sorghum Bicolor L Moench) dengan Ultrafine Grinders*. (Tugas Akhir), Universitas Brawijaya.
- Dai, H., Luo, Y., Huang, Y., Ma, L., Chen, H., Fu, Y., Yu, Y., Zhu, H., Wang, H., dan Zhang, Y. 2023. Recent Advances in Protein-Based Emulsions: The Key Role of Cellulose. In *Food Hydrocolloids*, **Vol.136 No.108260**. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108260>
- Dai, L., Wang, X., Jiang, X., Han, Q., Jiang, F., Zhu, X., Xiong, C., dan Ni, Y. 2022. Role of Nanocellulose In Colored Paper Preparation. *International Journal of Biological Macromolecules*, **Vol.206** : 355–362. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.151>
- Djayanti, S., Kusumastuti, S. A., Fatkhurrahman, J., Purwanto, A., Budiarto, A., dan Suherman, A. L. 2021. Synthesis and Characterization of Cellulose Acetate Membrane From Cotton Spinning Waste. *Makara Journal of Science*, **Vol.253** : 155–161. <https://doi.org/10.7454/mss.v25i3.1219>
- Fahma, F., Hori, N., Iwamoto, S., Iwata, T., dan Takemura, A. 2016. Cellulose Nanowhiskers From Sugar Palm Fibers. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, **Vol.28 No.8** : 566–571. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-188>
- Fahma, F., Lisdayana, N., Abidin, Z., Noviana, D., Sari, Y. W., Mukti, R. R., Yunus, M., Kusumaatmaja, A., dan Kadja, G. T. M. 2020a. Nanocellulose-Based Fibres Derived From Palm Oil By-Products and Their In Vitro Biocompatibility Analysis. *Journal of the Textile Institute*, **Vol.111 No.9** : 1354–1363. <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1694353>
- Farooq, U., Yang, Q., Ullah, M. W., dan Wang, S. 2018. Bacterial Biosensing: Recent Advances In Phage-Based Bioassays and Biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, **Vol.118** : 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.07.058>
- Franco, T. S., Potulski, D. C., Viana, L. C., Forville, E., de Andrade, A. S., dan de Muniz, G. I. B. 2019. Nanocellulose Obtained From Residues of Peach Palm Extraction (*Bactris Gasipaes*). *Carbohydrate Polymers*, **Vol.218** : 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.035>
- Ganesh Kumar, C., Pradeep Kumar, M., Gupta, S., Shyam Sunder, M., Veera Mohana Rao, K., Jagadeesh, B., Swapna, V., dan Kamal, A. 2015. Isolation and Characterization of Cellulose from Sweet Sorghum Bagasse. *Sugar Tech*, **Vol.17 No.4** : 395–403. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0339-9>

- Hakim, L., dan Nawir, D. M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*. **Vol.1 No.1**.
- Helmenstine, A. M. Ph. D. 2020. *What Is Cellulose? Facts and Functions*. Diakses 16 Desember 2022 dari <https://www.thoughtco.com/what-is-cellulose-definition-4777807>.
- Hemmati, F., Jafari, S. M., dan Taheri, R. A. 2019. Optimization of Homogenization-Sonation Technique For The Production of Cellulose Nanocrystals From Cotton Linter. *International Journal of Biological Macromolecules*, **Vol.137** : 374–381. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.241>
- Hidayat, S., Ardiaksa, P., Riveli, N., dan Rahayu, I. 2018. Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose (CMC) From Salak-Fruit Seeds As Anode Binder For Lithium-Ion Battery. *Journal of Physics: Conference Series*, **Vol.1080 No.1**. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1080/1/012017>
- Hidayatullah, I., Maria Widyanti, E., Aztaris, C., Melanitria, A., dan Elizabeth, L. 2022. Kajian Pustaka Sintesis Nanoselulosa Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Filler Pembuatan Tisu Toilet. *Fluida*, **Vol.15 No.1** : 51–59.
- Horiba Scientific. 2022. *A Guidebook to Particle Size Analysis*. Horiba Instruments Incorporated. USA.
- Huang, J., Hou, S., dan Chen, R. 2019. Ionic Liquid-assisted Fabrication of Nanocellulose from Cotton Linter by High Pressure Homogenization. *BioResources*, **Vol.14 No.4** : 7805-7820.
- Iglesias, M. C., Gomez-Maldonado, D., Via, B. K., Jiang, Z., dan Peresin, M. S. 2020. Pulping Processes and Their Effects On Cellulose Fibers and Nanofibrillated Cellulose Properties: A Review. *Forest Products Journal*, **Vol.70 No.1** : 10–21. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-19-00038>
- Inkson, B. J. 2016. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. In *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods* : 17–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X>
- Islam, M. S., Ibrahim, M., Rahman, M.A., Uddin, M.A., dan Biswas, S.K. 2002. Studies on the Fruit Characteristics, Bio-chemical Composition and Storage Behaviour of Litchi Varieties. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **Vol.6 No.1** : 70–72. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.70.72>

- Jayanudin. 2009. Pemutihan Daun Nanas Menggunakan Hidrogen Peroksida. *Jurnal Rekayasa Proses*, **Vol.3 No.1**.
- Karima, R., Yuanita, E., Amalia, B., Arianita, A., Mailisa, T., dan Nugroho, B. 2020. Sintesis Micro-Fibrillated Cellulose dari Serat Tandan Kosong Sawit dengan Hidrolisis Asam Oksalat. *Jurnal Selulosa*, **Vol.10 No.1**. <https://doi.org/10.25269/jsel.v10i01.281>
- Koul, B., dan Singh, J. 2017. Lychee Biology and Biotechnology. *The Lychee Biotechnology*, **Vol.5** : 137–192. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-3644-6>
- Kumar, M., Bishnoi, R. S., Shukla, A. K., dan Jain, C. P. 2019. Techniques for Formulation of Nanoemulsion Drug Delivery System: A Review. *Preventive Nutrition and Food Science*, **Vol.24 No.3** : 225–234. <https://doi.org/10.3746/pnf.2019.24.3.225>
- Lee, B. M., Jeun, J. P., Kang, P. H., Choi, J. H., dan Hong, S. K. 2017. Isolation and Characterization of Nanocrystalline Cellulose from Different Precursor Materials. *Fibers and Polymers*, **Vol.18 No.2** : 272–277. <https://doi.org/10.1007/s12221-017-6548-6>
- Leong, T. S. H., Wooster, T. J., Kentish, S. E., dan Ashokkumar, M. 2009. Minimising Oil Droplet Size Using Ultrasonic Emulsification. *Ultrasonics Sonochemistry*, **Vol.16 No.6** : 721–727. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.02.008>
- Lestari, R. S. D., dan Sari, D. K. 2016. Pengaruh Konsentrasi H₂O₂ Terhadap Tingkat Kecerahan Pulp Dengan Bahan Baku Eceng Gondok Melalui Proses Organosolv. In *Jurnal Integrasi Proses*, **Vol.6 No.1** <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- LSIH UB. 2022. *Micro dan Nano Imaging*. Diakses 22 Desember 2022 dari <https://lsih.ub.ac.id/id/micro-nano-imaging/>
- Mahardika, M., Abrial, H., Kasim, A., Arief, S., dan Asrofi, M. 2018. Production of Nanocellulose from Pineapple Leaf Fibers Via High-Shear Homogenization and Ultrasonication. *Fibers*, **Vol.6 No.2**. <https://doi.org/10.3390/fib6020028>
- Mai, T., Li, D. D., Chen, L., dan Ma, M. G. 2023. Collaboration of Two-Star Nanomaterials: The Applications of Nanocellulose-Based Metal Organic Frameworks Composites. *Carbohydrate Polymers*, **Vol.302** <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120359>
- Mason, T. J., dan Lorimer, J. P. 2022. *Applied Sonochemistry: Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing*. Wiley-VCH.
- Mazela, B., Perdoch, W., Peplińska, B., dan Zieliński, M. 2020. Influence of Chemical Pre-Treatments and Ultrasonication On The Dimensions and

- Appearance of Cellulose Fibers. *Materials*, **Vol.13 No.22** : 1–14. <https://doi.org/10.3390/ma13225274>
- Menzel, C. 2002. *The Lychee Crop In Asia and The Pacific*. Queensland Department of Primary Industries. Bangkok, Thailand.
- Michelin, M., Gomes, D. G., Romani, A., Polizeli, M. de L. T. M., dan Teixeira, J. A. 2020. Nanocellulose Production: Exploring the Enzymatic Route and Residues of Pulp and Paper Industry. *Molecules*, **Vol.25 No.11**. <https://doi.org/10.3390/molecules25153411>
- Midhun Dominic, C. D., Maheswary, S., Neenu, K. V., Sajadi, S. M., dos Santos Rosa, D., Sabura Begum, P. M., Mathew, M., Ajithkumar, T. G., Parameswaranpillai, J., George, T. S., Resmi, V. C., Ilyas, R. A., dan Badawi, M. 2022. Colocasia Esculenta Stems For The Isolation of Cellulose Nanofibers: A Chlorine-Free Method For The Biomass Conversion. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03171-z>
- Mohaiyiddin, M. S., Lin, O. H., Owi, W. T., Chan, C. H., Chia, C. H., Zakaria, S., Villagrancia, A. R., dan Akil, H. M. 2016. Characterization of Nanocellulose Recovery from Elaeis Guineensis Frond For Sustainable Development. *Clean Technologies and Environmental Policy*, **Vol.18 No.8** : 2503–2512. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1191-2>
- Mohammed, M. A. A., Salmiaton, A., Wan Azlina, W. A. K. G., dan Mohamad Amran, M. S. 2012. Gasification of Oil Palm Empty Fruit Bunches: A Characterization and Kinetic Study. *Bioresource Technology*, **Vol.110** : 628–636. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.056>
- Mondal, P. K., dan Mandal, B. K. 2019. A Comparative Study On The Performance and Emissions from A CI Engine Fuelled With Water Emulsified Diesel Prepared By Mechanical Homogenization and Ultrasonic Dispersion Method. *Energy Reports*, **Vol.5** : 639–648. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.05.006>
- Nafisah, A. R., Rahmawati, D., Tarmidzi, F. M., Studi, P., Pangan, T., Sains, J., Kemaritimian, D., dan Kalimantan, T. 2022. Synthesis of Cellulose Nanofiber from Palm Oil Empty Fruit Bunches Using Acid Hydrolysis Method. *Indonesian Journal of Chemical Science*, **Vol.11 No.3**. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Ni, Y., Li, J., dan Fan, L. 2021. Effects of Ultrasonic Conditions On The Interfacial Property and Emulsifying Property of Cellulose Nanoparticles from Ginkgo Seed Shells. *Ultrasonics Sonochemistry*, **Vol.70**. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105335>
- Nimitkeatkai, H., Fong-In, S., dan Potaros, T. 2020. Characterization of Bacterial Cellulose (Nata de coco) from Lychee. *IOP Conference Series: Earth and*

Environmental Science, **Vol.515 No.1**. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/515/1/012063>

- Noremylia, M. B., Hassan, M. Z., dan Ismail, Z. 2022. Recent Advancement In Isolation, Processing, Characterization and Applications of Emerging Nanocellulose: A Review. *International Journal of Biological Macromolecules*, **Vol.206** : 954–976. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.064>
- Nurmilasari. 2021. *Karakterisasi Selulosa Dari Limbah Serat Sagu (Metroxylon Sago) Menggunakan Xrd (X-Ray Diffraction)*. (Tugas Akhir), Universitas Cokroaminoto.
- Orasugh, J. T., Saha, N. R., Sarkar, G., Rana, D., Mondal, D., Ghosh, S. K., dan Chattopadhyay, D. 2018. A Facile Comparative Approach Towards Utilization of Waste Cotton Lint For The Synthesis of Nano-Crystalline Cellulose Crystals Along With Acid Recovery. *International Journal of Biological Macromolecules*, **Vol.109** :1246–1252. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.123>
- Pareek, S. 2015. Nutritional and Biochemical Composition of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) Cultivars. *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, **Vol.17** : 395–418. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00017-9>
- Park, J. M., Kim, P. G., Jang, J. H., Wang, Z., Hwang, B. S., dan DeVries, K. L. 2008. Interfacial Evaluation and Durability of Modified Jute Fibers/Polypropylene (PP) Composites Using Micromechanical Test and Acoustic Emission. *Composites Part B: Engineering*, **Vol.39 No.6** : 1042–1061. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2007.11.004>
- Peng, T., Liu, B., Gao, X., Luo, L., dan Sun, H. 2018. Preparation, Quantitative Surface Analysis, Intercalation Characteristics and Industrial Implications of Low Temperature Expandable Graphite. *Applied Surface Science*, **Vol.444** : 800–810. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.089>
- Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., dan Guan, G. 2018. Nanocellulose: Extraction and Application. *Carbon Resources Conversion*, **Vol.1 No.1** : 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.05.004>
- Prasetya, B., Yopi, Y., Hermiati, E., Rahmani, N., Thontowi, A., Juanssilfero, A. B., dan Wijaya, H. 2020. Teknologi Biokilang Biomassa Lignoselulosa Untuk Mendukung Pengembangan Ekonomi Sirkular : Perkembangan Global dan Tantangan Implementasi di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Bioteknologi 2020* : 27–48.

- Pratama, A. P. 2015. *Peningkatan Nilai Arang Tempurung Kelapa Produksi Petani Untuk Industri Pemurnian Air Sumur Galian/Bor Yang Terkontaminasi Fe Di Kota Dumai*. (Tugas Akhir), UIN Suska Riau.
- Purba, M. P. B. 2018. *Sintesis Dan Karakterisasi Cmc Carboxymethyl Cellulose) Dari Selulosa Batang Pisang Raja (Musa Paradisiaca) Dengan Variasi Natrium Monokloroasetat*. (Tugas Akhir), Universitas Sumatera Utara.
- Puspitasari, S. 2017. *Preparasi dan Karakterisasi Beads Alginat: Selulosa Xantat dari Ampas Tebu Melalui Metode Gelasi Ionik dengan CaCO_3 Sebagai Porogen*. (Tugas Akhir), Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Putera, R. D. H. 2012. *Ekstraksi Serat Selulosa dari Tanaman Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) dengan Variasi Pelarut*. (Tugas Akhir), Universitas Indonesia.
- Qin, Y., Wang, D., Fu, J., Zhang, Z., Qin, Y., Hu, G., dan Zhao, J. 2021. Agrobacterium Rhizogenes-Mediated Hairy Root Transformation As an Efficient System For Gene Function Analysis in Litchi Chinensis. *Plant Methods*, **Vol.17 No.1**. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00802-w>
- Raia, R. Z., Iwakiri, S., Trianoski, R., de Andrade, A. S., dan Kowalski, E. L. 2021. Effects of Alkali Treatment On Modification of The Pinus Fibers. *Revista Materia*, **Vol.26 No.1**. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620210001.1236>
- Ramahdita, G., Ilmiati, S., Suryanegara, L., Khalid, A., dan Chalid, M. 2017. Preparation and Characterization for Sorghum-Based Micro-Fibrillated Celluloses. *Macromolecular Symposia*, **Vol.371 No.1** : 69–74. <https://doi.org/10.1002/masy.201600040>
- Razali, N. A. M., Sohaimi, R. M., Othman, R. N. I. R., Abdullah, N., Demon, S. Z. N., Jasmani, L., Yunus, W. M. Z. W., Ya'acob, W. M. H. W., Salleh, E. M., Norizan, M. N., dan Halim, N. A. 2022. Comparative Study on Extraction of Cellulose Fiber from Rice Straw Waste from Chemo-Mechanical and Pulpig Method. *Polymers*, **Vol.14 No.3**. <https://doi.org/10.3390/polym14030387>
- Rezty Hertiwi, L., Afni, A. N., Lailiyah, N., dan Sanjaya, G. M. 2020a. Ekstraksi Dan Karakterisasi Nanoselulosa Dari Limbah Kulit Bawang Merah. *Journal Education and Chemistry* **Vol.2 No.1**.
- Riani, P., Syafrinal, dan Putri, A. 2019. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dari Limbah Kulit Kakao (Theobroma Cacao L.) Dengan Metode Inversi Fasa Untuk Adsorpsi Logam Timbal. *6th ACE Conference* : 1018-1027.

- Rizkiansyah, R. Z., Mardiyati, dan Steven. 2018. Pengaruh Variasi Konsentrasi Hidrolisis Asam Sulfat Terhadap Sifat Mekanik Plastik Selulosa Teregenerasi Dari Kapas Limbah Tekstil Dengan Pelarut Naohurea. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **Vol.19 No.3** :105–112.
- Rosdiana, N. S. , P.B. Sarjono, dan Nies S. Mulyani. 2013. Aktivitas Fusarium Oxysporum dalam Menghidrolisis Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Variasi Temperatur. *Chem Info*, **Vol.1 No.1** : 220–225.
- Sa'adah, N. 2020. *Pengaruh Ultrasonikasi Terhadap Karakteristik Nanopartikel Ekstrak Pegagan (Centella asiatica L.)*. (Tugas Akhir), UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Salem, D. M. S. A., dan Ismail, M. M. 2022. Characterization of Cellulose and Cellulose Nanofibers Isolated from Various Seaweed Species. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, **Vol.48 No.4** : 307–313. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.11.001>
- Sankaran, R., Markandan, K., Khoo, K. S., Cheng, C. K., Ashokkumar, V., Deepanraj, B., dan Show, P. L. 2021. The Expansion of Lignocellulose Biomass Conversion Into Bioenergy via Nanobiotechnology. In *Frontiers in Nanotechnology*, **Vol.3**. <https://doi.org/10.3389/fnano.2021.793528>
- Seddiqi, H., Oliaei, E., Honarkar, H., Jin, J., Geonzon, L. C., Bacabac, R. G., & Klein-Nulend, J. 2021. Cellulose and its derivatives: towards biomedical applications. In *Cellulose*, **Vol. 28 No. 4** : 1893–1931. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03674-w>
- Septevani, A. A., Burhani, D., dan Sudiyarmanto, S. 2018. Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, **Vol.40 No.2** : 71-78. <https://doi.org/10.24817/jkk.v40i2.3508>
- Septevani, A. A., Evans, D. A. C., Annamalai, P. K., dan Martin, D. J. 2017. The use of cellulose nanocrystals to enhance the thermal insulation properties and sustainability of rigid polyurethane foam. *Industrial Crops and Products*, **Vol.107** : 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.039>
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Mudzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia* (1st ed.). UPI Press.
- Shen, X.-J., Huang, P.-L., Chen, J.-H., Wu, Y.-Y., Liu, Q.-Y., dan Sun, R.-C. 2017. Acid-vs. TEMPO-treated NC. *BioResources*, **Vol.12 No.4**.
- Sihag, S., Sheetal, Yadav, M., dan Pal, J. 2022. Extraction and Characterization of Nanocellulose from Wheat Straw: Facile Approach. *Journal of Water and*

- Environmental Nanotechnology*, **Vol.7 No.3** : 317–331.
<https://doi.org/10.22090/jwent.2022.03.007>
- Singh, Y., Meher, J. G., Raval, K., Khan, F. A., Chaurasia, M., Jain, N. K., dan Chourasia, M. K. 2017. Nanoemulsion: Concepts, Development and Applications In Drug Delivery. *Journal of Controlled Release*, **Vol.252** : 28–49. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.03.008>
- Sofia, W. N. 2021. Interpretasi Imam Al-Maraghi dan Ibnu Katsir Terhadap Qs. Ali Imran Ayat 190-191. *Tafkir: Interdisciplinary Journal of Islamic Education*, **Vol.2 No.1** : 41–57. <https://doi.org/10.31538/tijie.v2i1.16>
- Souza, A. G., Santos, D. F., Ferreira, R. R., Pinto, V. Z., dan Rosa, D. S. 2020. Innovative Process For Obtaining Modified Nanocellulose from Soybean Straw. *International Journal of Biological Macromolecules*, **Vol.165** :1803–1812. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.036>
- Sulfida, D. 2020. *Analisis Ekstrak Selulosa Dari Rumput Laut Merah Hypnea spinella*. (Tugas Akhir), UIN Ar-Raniry.
- Summerscales, J., Dissanayake, N. P. J., Virk, A. S., dan Hall, W. 2010. A review of bast fibres and their composites. Part 1 - Fibres as reinforcements. In *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **Vol.41 No.10** :1329–1335. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.06.001>
- Suryanegara, L., Kusumaningrum, W. B., dan Zalesti, J. 2020. Microfibrillated Cellulose from Sweet Sorghum (*Shorghum Bicolor* (L.) Moench) Fiber By Twin Screw Extruder and Its Charateristics On Polylactic Acid Biocomposites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **Vol.935 No.1** :. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012059>
- Suryanto, H. 2016. *Review Serat Alam: Komposisi, Struktur, dan Sifat Mekanis*. <https://www.researchgate.net/publication/309421383>
- Syafri, E., Jamaluddin, Sari, N. H., Mahardika, M., Amanda, P., dan Ilyas, R. A. 2022. Isolation and Characterization of Cellulose Nanofibers from Agave Gigantea By Chemical-Mechanical Treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, **Vol.200** : 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.111>
- Tang, C. Y., & Yang, Z. 2017. Transmission Electron Microscopy (TEM). In *Membrane Characterization* :145–159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00008-5>
- Tarafdar, J. C., dan Adhikari, T. 2015. Nanotechnology in Soil Science. *Soil Science an Introduction*, **Vol.27**.

- Thain, S. 2022. *IR Spectroscopy and FTIR Spectroscopy: How an FTIR Spectrometer Works and FTIR Analysis*. Diakses pada 7 April 2023 dari <https://www.technologynetworks.com/analysis/articles/ir-spectroscopy-and-ftir-spectroscopy-how-an-ftir-spectrometer-works-and-ftir-analysis-363938>
- Thaiyibah, N., Alimuddin, dan Panggabean, A. S. 2016. Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat-Pvc Dari Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Untuk Adsorpsi Logam Tembaga (Ii). *Jurnal Kimia Mulawarman*, **Vol.14 No.1** : 29–35.
- Thandavamoorthy, R., Devarajan, Y., dan Thanappan, S. 2023. Analysis of The Characterization of NaOH-Treated Natural Cellulose Fibre Extracted from Banyan Aerial Roots. *Scientific Reports*, **Vol.13 No.1**. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39229-9>
- Thomas, B., C. Raj, M., K. B, A., M. H, R., Joy, J., Moores, A., L. Drisko, G., dan Sanchez, C. 2018. Nanocellulose, a Versatile Green Platform: from Biosources to Materials and Their Applications. *Chemical Reviews*, **Vol.118 No.24** :11575–11625. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00627>
- Thulasisingh, A., Kannaiyan, S., dan Pichandi, K. 2021. Cellulose Nanocrystals from Orange and Lychee Biorefinery Wastes and Its Implementation As Tetracycline Drug Transporter. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01168-0>
- Trache, D., Tarchoun, A. F., Derradji, M., Hamidon, T. S., Masruchin, N., Brosse, N., dan Hussin, M. H. 2020. Nanocellulose: from Fundamentals to Advanced Applications. *Frontiers in Chemistry*, **Vol.8**. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00392>
- Unkelbach, Dr. G., dan Hirth, Prof. Dr. T. 2022. Products and applications of different lignins from biorefineries. *EFB Bioeconomy Journal*, **Vol.2 No. 100036**. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2022.100036>
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for Dietary Fiber Neutral Detergent Fiber and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science* **Vol.74 No.10** : 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wadzani, S., Danladi, A., Sunmonu, O. K., dan Isiaku, U. S. 2021. Isolation and Characterization of Nanocellulose from Pineapple Leaf Fibres via Chemo-Mechanical Method. *Science World Journal*, **Vol.15 No.2** : 100–105.
- Widiarto, S., Pramono, E., Suharso, Rochliadi, A., dan Arcana, I. M. 2019. Cellulose Nanofibers Preparation from Cassava Peels Via Mechanical Disruption. *Fibers*, **Vol.7 No.5**. <https://doi.org/10.3390/FIB7050044>

- Wu, C., McClements, D. J., He, M., Zheng, L., Tian, T., Teng, F., dan Li, Y. 2021. Preparation and Characterization of Okara Nanocellulose Fabricated Using Sonication Or High-Pressure Homogenization Treatments. *Carbohydrate Polymers*, **Vol.225**. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117364>
- Yu, H., Gui, C., Ji, Y., Li, X., Rao, F., Huan, W., dan Li, L. 2022. Changes in Chemical and Thermal Properties of Bamboo after Delignification Treatment. *Polymers*, **Vol.14 No.13**. <https://doi.org/10.3390/polym14132573>
- Zhao, L., Wang, K., Wang, K., Zhu, J., dan Hu, Z. 2020. Nutrient Components, Health Benefits, and Safety of Litchi (Litchi Chinensis Sonn.): A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **Vol.19 No.4** : 2139–2163. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12590>
- Zhou, L., Feng, X., Yang, Y., Chen, Y., Tang, X., Wei, S., & Li, S. 2019. Effects of High-Speed Shear Homogenization on the Emulsifying and Structural Properties of Myofibrillar Protein Under Low-fat Conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **Vol.99 No.14** : 6500–6508. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9929>
- Zhuo, X., Wei, J., Xu, J. F., Pan, R. T., Zhang, G., Guo, Y. L., Dong, X. Y., Long, L., dan Li, Y. F. 2017. Nanocellulose Isolation from *Amorpha Fruticosa* By an Enzyme-Assisted Pretreatment. *Applied Environmental Biotechnology*, **Vol.2 No.2** : 37–42. <https://doi.org/10.26789/AEB.2017.01.005>