

**PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI JENIS ASAM ORGANIK
TERHADAP KARAKTERISTIK NANOSELULOSA YANG DIHASILKAN
DARI LIMBAH KULIT KACANG EDAMAME (*Glycine max* L. Merrill)**

SKRIPSI

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1
Program studi Kimia**



Oleh:
Muhammad Sapto Wahyudi
20106030056

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2024

HALAMAN JUDUL

**PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI JENIS ASAM ORGANIK
TERHADAP KARAKTERISTIK NANOSELULOSA YANG DIHASILKAN
DARI LIMBAH KULIT KACANG EDAMAME (*Glycine max* L. Merrill)**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1
Program studi Kimia**



Oleh:
Muhammad Sapto Wahyudi
20106030056

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI



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-2188/Un.02/DST/PP.00.9/12/2024

Tugas Akhir dengan judul : Pengaruh Penggunaan Variasi Jenis Asam Organik Terhadap Karakteristik Nanoselulosa yang Dihasilkan Dari Limbah Kulit Kacang Edamame (Glycine max L. Merrill)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MUHAMMAD SAPTO WAHYUDI
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030056
Telah diujikan pada : Senin, 11 November 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Ika Qurrotul Afifah, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 674f17af21e10



Penguji I

Dr. Holilah, S.Si., M.Si.
SIGNED

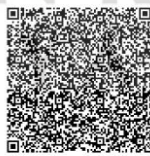
Valid ID: 67525db663a44



Penguji II

Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M.Si.,
M. Biotech
SIGNED

Valid ID: 67456f904711e



Yogyakarta, 11 November 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 6752ba25e592d

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Sapto Wahyudi
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030056
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pengaruh Penggunaan Variasi Jenis Asam Organik Terhadap Karakteristik Nanoselulosa yang Dihasilkan dari Limbah Kulit Kacang Edamame (*Glycine max* L. Merrill)”** adalah hasil karya pribadi yang tidak mengandung plagiarisme dan tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang penulis ambil sebagai acuan dengan tata cara yang dibenarkan secara ilmiah. Jika terbukti pernyataan ini tidak benar, maka penulis siap mempertanggungjawabkan sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 11 Desember 2024



Muhammad Sapto Wahyudi
NIM. 20106030056

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

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 : Muhammad Sapto Wahyudi

NIM : 20106030056

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Variasi Jenis Asam Organik Terhadap Karakteristik Nanoselulosa yang Dihasilkan Dari Limbah Kulit Kacang Edamame (*Glycine max* L. Merrill)

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

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 25 November 2024

Pembimbing I

Ika Qurrotul Afifah, M.Si.
NIP: 19911128 201903 2 001

Pembimbing II



TT ELEKTRONIK

Dr. Holilah, S.Si., M.Si.
NIP: 199102102023212019



Dokumen ini diandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR, silakan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

NOTA DINAS KONSULTASI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

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 : Muhammad Sapto Wahyudi

NIM : 20106030056

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Variasi Jenis Asam Organik Terhadap Karakteristik Nanoselulosa yang Dihasilkan Dari Limbah Kulit Kacang Edamame (*Glycine max* L. Merrill)

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Cibinong, 26 November 2024

Penguji I



TT ELEKTRONIK

Dr. Holilah, S.Si., M.Si.

NIP: 1991021020232112019



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR/E. Silakan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

NOTA DINAS KONSULTASI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

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 : Muhammad Sapto Wahyudi

NIM : 20106030056

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Variasi Jenis Asam Organik Terhadap Karakteristik Nanoselulosa yang Dihasilkan Dari Limbah Kulit Kacang Edamame (*Glycine max* L. Merrill)

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Cibinong, 26 November 2024

Penguji II

Dr. Esti Wahyu Widowati, M.Si.

NIP: 197608302003122001

ABSTRAK**Pengaruh Penggunaan Variasi Jenis Asam Organik Terhadap Karakteristik Nanoselulosa yang Dihasilkan dari Limbah Kulit Kacang Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill)**

oleh:

Muhammad Sapto Wahyudi**20106030056****Pembimbing I: Ika Qurrotul Afifah, M.Si.****Pembimbing II: Dr. Holilah, S.Si., M.Si.**

Kacang edamame merupakan komoditas dengan produksi tinggi, namun menghasilkan limbah kulit yang cukup banyak. Limbah kulit edamame ini mengandung lignoselulosa yang dapat diolah menjadi nanoselulosa, suatu material bernilai tambah dengan aplikasi luas di berbagai bidang. Produksi nanoselulosa konvensional menggunakan asam anorganik memiliki kekurangan, sehingga diperlukan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi jenis asam organik (asam sitrat, asam laktat, asam format, dan asam maleat) terhadap karakteristik nanoselulosa yang dihasilkan dari limbah kulit edamame. Metode penelitian meliputi isolasi selulosa dari kulit edamame, hidrolisis dengan variasi asam organik, dan ultrasonikasi. Karakterisasi nanoselulosa meliputi ukuran partikel, derajat kristalinitas, komponen kimiawi, morfologi, dan sifat termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis asam organik berpengaruh signifikan terhadap karakteristik nanoselulosa. Ukuran partikel nanoselulosa berkisar antara 7,595 hingga 17,517 nm. Asam sitrat dan asam maleat menghasilkan esterifikasi ringan pada struktur kimianya, asam maleat menghasilkan kristalinitas tertinggi (67,24%) dan ukuran partikel terkecil (rata-rata 7,59 nm), sedangkan asam laktat menghasilkan stabilitas termal terbaik (suhu dekomposisi 380,18°C). Penelitian ini memberikan wawasan baru mengenai potensi limbah kulit edamame sebagai sumber nanoselulosa dan pengaruh jenis asam organik dalam proses isolasinya dengan menerapkan prinsip green chemistry. Nanoselulosa dari kulit edamame ini berpotensi diaplikasikan dalam berbagai bidang, terutama dalam pembuatan biokomposit.

Kata Kunci: *nanoselulosa, nanoselulosa kristalin, kulit kacang edamame, hidrolisis asam, ultrasonikasi*

ABSTRACT***The Effect of Using Various Types Organic Acids on The Characteristics of Nanocellulose Produced from Edamame Bean Husk (Glycin max (L.) Merrill)***

by:

Muhammad Sapto Wahyudi**20106030056****Supervisor I: Ika Qurrotul Afifah, M.Si.****Supervisor II: Dr. Holilah, S.Si., M.Si.**

Edamame cultivation generates substantial quantities of husk waste, a rich source of lignocellulose that can be valorized through the extraction of nanocellulose, a high-value material with diverse applications. This study explored the production of nanocellulose from edamame pod waste using a green chemistry approach, employing organic acids (citric acid, lactic acid, formic acid, and maleic acid) as alternatives to conventional inorganic acids. The isolated cellulose was subjected to acid hydrolysis using the various organic acids, followed by ultrasonication. Characterization of the resulting nanocellulose revealed the significant influence of the type of organic acid on its physicochemical properties, including particle size (ranging from 7.595 to 17.517 nm), crystallinity, and thermal stability. Maleic acid yielded nanocellulose with the highest crystallinity (67.24%) and smallest particle size (7.59 nm), while lactic acid treatment resulted in the highest thermal stability, exhibiting a decomposition temperature of 380.18°C. This study highlights the potential of edamame husk waste as a sustainable source of nanocellulose and the effectiveness of organic acids in facilitating its environmentally friendly production.

Keywords: *nanocellulose, crystalline nanocellulose, edamame bean husk, acid hydrolysis, ultrasonication*

MOTTO

"Jangan takut gagal, karena yang tidak pernah gagal hanyalah orang-orang yang tidak pernah melangkah. Jangan takut salah, karena dengan kesalahan yang pertama kita dapat menambah pengetahuan untuk mencari jalan yang benar pada langkah yang kedua"

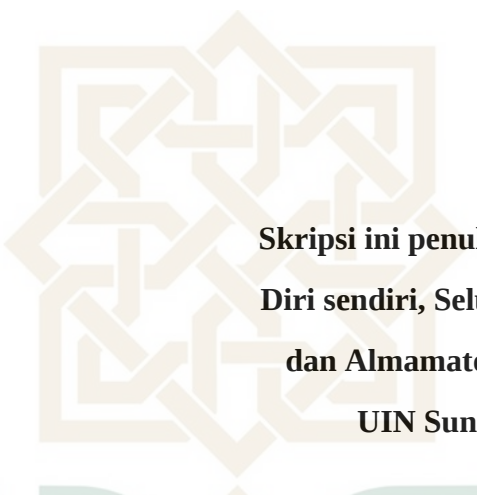
(Prof. Dr. H. Abdul Malik Karim Amrullah/Buya Hamka)

~ Talk Less Do More ~

(Muhammad Sapto Wahyudi)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN



**Skripsi ini penulis persembahkan untuk
Diri sendiri, Seluruh Keluarga, Sahabat
dan Almamater Program Studi Kimia
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, taufiq dan hidayah-Nya kepada kita semua, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Pengaruh Penggunaan Variasi Jenis Asam Organik Terhadap Karakteristik Nanoselulosa yang Dihasilkan dari Limbah Kulit Kacang Edamame (Glycine max L. Merrill)*” dengan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Kimia di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Proses penyusunan skripsi ini tentunya melibatkan bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Hj. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia yang telah memberikan motivasi serta pengarahan selama masa studi.
3. Ibu Ika Qurrotul Afifah, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi ke-1 yang secara ikhlas dan sabar meluangkan waktunya untuk memberikan motivasi, nasihat, bimbingan, serta dukungan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Holilah, M.Si. selaku Pembimbing Skripsi ke-2 yang secara ikhlas dan sabar meluangkan waktunya untuk memberikan motivasi, nasihat, bimbingan, serta dukungan kepada penulis dalam penyusunan dan proses penelitian skripsi ini.
5. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Teman-teman seperjuangan program studi kimia angkatan 2020 atas kebersamaan, semangat, dan bantuannya selama masa studi.
7. Teman-teman di laboratorium penelitian bionanokomposit, laboratorium terpadu biomassa dan bioproduk, Kawasan Sains dan Teknologi (KST)

BRIN Cibinong yang telah membantu dan berdiskusi selama masa penelitian skripsi ini.

8. Seluruh dosen program studi kimia UIN Sunan kalijaga yang telah memberikan motivasi dan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Segenap peneliti dan operator alat karakterisasi di Kawasan Sains dan Teknologi (KST) BRIN Cibinong yang telah membantu proses pengambilan data untuk skripsi ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan kimia secara khusus.

Yogyakarta, 21 Oktober 2024



Muhammad Sapto Wahyudi

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
NOTA DINAS KONSULTASI	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
MOTTO	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
A. Tinjauan Pustaka	6
B. Landasan Teori	10
C. Hipotesis Penelitian	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
A. Waktu dan Tempat Penelitian	31
B. Peralatan Penelitian	31
C. Bahan Penelitian	31
D. Cara Kerja Penelitian.....	31
E. Teknik Analisis Data	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Isolasi Selulosa	57
4.2 Sintesis Nanoselulosa	60
4.3 Analisis Komponen Lignoselulosa.....	62
4.4 Analisis Gugus Fungsional.....	64
4.5 Analisis Kristalinitas	67

4.6 Analisis Morfologi	70
4.7 Analisis Stabilitas Termal dan Kadar Air.....	74
4.8 Pengaruh Penggunaan Asam Organik Terhadap Hasil Karakterisasi	78
BAB V PENUTUP	80
A. Kesimpulan.....	80
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN.....	104



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kacang Edamame (<i>Glycine max</i> L. Merrill.) (Pinterest).....	10
Gambar 2.2 Struktur Senyawa Lignoselulosa (Zhou <i>et al.</i> , 2010).....	12
Gambar 2.3 Struktur Polimer Selulosa (Lu <i>et al.</i> , 2014)	13
Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Hidrolisis Selulosa (Michelin <i>et al.</i> , 2020).....	19
Gambar 2.5 Mekanisme Proses Ultrasonikasi (Shen <i>et al.</i> , 2023).....	21
Gambar 2.6 Ultrasonik Probe (Clark & Macquarrie, 2002)	22
Gambar 4.1 Mekanisme reaksi antara lignoselulosa dengan NaOH (Mzinyane <i>et al.</i> , 2023)	57
Gambar 4. 2 Mekanisme reaksi antara lignin dengan H ₂ O ₂ dalam proses bleaching (Bajpai, 2018)	58
Gambar 4.3 Limbah kulit kacang edamame (a), hasil perlakuan delignifikasi (b), dan selulosa kulit kacang edamame (c)	59
Gambar 4.4 Mekanisme reaksi hidrolisis selulosa menggunakan larutan asam organik (Lelekakis <i>et al.</i> , 2014).....	61
Gambar 4. 5 Nanoselulosa kulit kacang edamame perlakuan asam sitrat (a), asam laktat (b), asam maleat (c), dan asam format (d).....	62
Gambar 4.6 Spektrum FTIR untuk limbah kulit kacang edamame (EH), hasil perlakuan delignifikasi (EH-A), selulosa kulit kacang edamame (EH-C), dan nanoselulosa kulit kacang edamame (NS).....	64
Gambar 4.7 Pola difraksi untuk limbah kulit kacang edamame (KE), hasil perlakuan delignifikasi (KE-A), selulosa kulit kacang edamame (KE-Sel), dan nanoselulosa kulit kacang edamame (NS)	67
Gambar 4.8 Hasil analisis morfologi SEM pada skala pengukuran 50 dan 100 μ m untuk limbah kulit kacang edamame (a dan d), hasil perlakuan delignifikasi (b dan e), dan selulosa kulit kacang edamame (c dan f).....	70
Gambar 4. 9 Hasil analisis morfologi TEM dan distribusi ukuran partikel untuk nanoselulosa kulit kacang edamame perlakuan asam sitrat (NS-AS) (a), asam laktat (NS-AL) (b), asam maleat (NS-AM) (c), dan asam format (NS-AF) (d).....	72
Gambar 4.10 Hasil analisis termogravimetri (TGA) (a) dan derivatif termogravimetri (DTG) (b) untuk limbah kulit kacang edamame (KE), hasil perlakuan delignifikasi (KE-A), selulosa kulit kacang edamame (KE-Sel), dan nanoselulosa kulit kacang edamame (NS)	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kisaran bilangan gelombang (cm^{-1}) dari berbagai kelompok fungsional (Coates, 2000).....	24
Tabel 4.1 Hasil uji komposisi lignoselulosa untuk limbah kulit kacang edamame, selulosa kulit kacang edamame, dan nanoselulosa kulit kacang edamame.....	63
Tabel 4.2 Indeks kristalinitas untuk limbah kulit kacang edamame, hasil perlakuan delignifikasi, selulosa kulit kacang edamame, dan nanoselulosa kulit kacang edamame	68
Tabel 4.3 Hasil uji kadar air untuk limbah kulit kacang edamame, hasil perlakuan delignifikasi, selulosa kulit kacang edamame, dan nanoselulosa kulit kacang edamame	75
Tabel 4.4 Identifikasi suhu awal dan akhir degradasi, penurunan bobot, dan residu untuk limbah kulit kacang edamame, hasil perlakuan delignifikasi, selulosa kulit kacang edamame, dan nanoselulosa kulit kacang edamame.....	77
Tabel 4.5 Ringkasan hasil pengaruh penggunaan variasi asma organik terhadap karakteristik nanoselulosa	78



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengujian FTIR.....	104
Lampiran 2. Data hasil pengujian XRD.....	108
Lampiran 3. Data hasil pengujian SEM.....	111
Lampiran 4. Data hasil pengujian TEM.....	112
Lampiran 5. Data hasil pengujian TGA.....	113
Lampiran 6. Data hasil pengujian DTG.....	115
Lampiran 7. Hasil pengujian kadar air.....	117
Lampiran 8. Perhitungan indeks kristalinitas.....	117
Lampiran 9. Foto Penelitian.....	118

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Edamame merupakan jenis kedelai sayuran hijau yang menjadi bahan makanan populer di banyak negara karena mengandung banyak protein, isoflavon, dan vitamin (Dhakal *et al.*, 2021). Spesies kedelai ini sama dengan kedelai agronomi, tetapi merupakan kultivar yang dipilih karena rasanya yang manis, ringan dan teksturnya yang renyah (McPherson *et al.*, 2008). Edamame berasal dari Jepang dan telah berhasil dikembangkan di Indonesia. Menurut Daneswari *et al.* (2017), produksi edamame di Indonesia saat ini mencapai 7,5 ton per hektar dengan total produksi tahunan sebesar 907.031 ton. Sementara itu, potensi produktivitas edamame sebenarnya bisa mencapai 10 hingga 12 ton per hektar.

Salah satu produsen kacang edamame yang ada di Indonesia yakni PT Lumbung Padi yang memiliki mitra sebanyak 1500 petani di wilayah Garut mampu mencapai hasil panen sebesar 7 sampai 12 ton per minggu. Aktivitas produksinya menghasilkan limbah hingga mencapai 1,5 sampai 2 ton setiap minggunya berupa daun, batang, kulit dan kacang edamame yang tidak memenuhi kualitas (Kusdiana *et al.*, 2019). Edamame pada umumnya dijual dengan dua cara, yaitu menjual dengan kulit atau bijinya saja. Umumnya limbah kulit edamame hanya dibuang dengan cara dibakar atau digunakan sebagai pakan ternak, sehingga dalam penelitian ini kulit edamame digunakan sebagai sumber lignoselulosa yang dimanfaatkan dalam pengembangan material berbasis selulosa.

Pada serat alami lignoselulosa, selulosa berada dalam bentuk mikrofibril yang berdampingan dengan komponen non-struktural lain seperti lilin, pektin, serta garam anorganik dan nitrogen. Keseluruhan komponen tersebut terikat bersama oleh hemiselulosa dan lignin (Ng *et al.*, 2015). Selulosa merupakan polisakarida struktural terbanyak di bumi dan komponen utama tumbuhan tingkat tinggi. Senyawa ini juga ditemukan pada organisme lain seperti bakteri dan alga. Selulosa alami selalu berbentuk serat semikristalin dengan rasio aspek yang bervariasi tergantung sumber dan lingkungannya (Eyley & Thielemans, 2014; Moon *et al.*, 2011). Dinding sel tumbuhan adalah sumber utama selulosa yang

berkontribusi sekitar 40% terhadap fraksi karbon tumbuhan (Heinze, 2015). Selulosa tersusun dari ribuan monomer anhidroglukosa yang terhubung melalui ikatan 1,4- β -glikosida membentuk rantai polimer yang panjang dan linear. Polimer ini merupakan jenis polimer hidrofilik dengan adanya tiga gugus hidroksil reaktif tiap unit anhidroglukosa. Keberadaan gugus hidroksil pada selulosa dapat dimanfaatkan untuk memodifikasi strukturnya melalui reaksi kimia lebih lanjut, yaitu dengan memasukkan gugus fungsi tertentu (Klemm *et al.*, 1998). Selulosa sebagai polimer alami terbanyak di bumi, merupakan sumber utama material terbarukan, terutama dalam bentuk serat tumbuhan. Estimasi produksi selulosa tahunan mencapai lebih dari $7,5 \times 10^{10}$ ton, menunjukkan potensinya sebagai sumber daya berkelanjutan yang signifikan dalam berbagai industri dan aplikasi (Habibi *et al.*, 2010a). Oleh karena itu pengembangan material berbasis selulosa sangat menjanjikan untuk dilakukan.

Perkembangan pesat di bidang nanoteknologi telah meningkatkan minat terhadap nanoselulosa, terutama karena sifatnya yang menguntungkan dan efisiensi energinya. Potensi nanoselulosa sebagai bahan baku bernilai tambah telah mendorong penggunaannya dalam produksi zat aditif untuk berbagai industri penting, termasuk makanan, cat, tekstil, pembuatan kertas, pengemasan, energi dan elektronik, aplikasi biomedis, sensor, pelapis, kosmetik dan farmasi (Habibi *et al.*, 2010; Lin & Dufresne, 2014). Nanomaterial berbasis selulosa dan lignoselulosa memiliki beberapa kelebihan yakni bersifat terbarukan, hidrofilik, ramah lingkungan. Sifat yang dimiliki oleh material ini sangat baik seperti daya tarik tinggi, kekakuan dan modulus young yang tinggi, *biodegradable* dan berpotensi menggantikan bahan berbasis fosil (Mavelil-Sam *et al.*, 2017).

Menurut Mbakop *et al.* (2021), nanoselulosa dapat dihasilkan melalui proses degradasi selulosa. Metodenya melibatkan perlakuan mekanik seperti homogenisasi tekanan tinggi dan ultrasonikasi, perlakuan biologi dengan melibatkan mikroorganisme yang menghasilkan enzim, serta perlakuan kimiawi melalui reaksi oksidasi dan hidrolisis asam. Dalam penelitian ini digunakan metode kombinasi untuk menghasilkan nanoselulosa yakni melalui perlakuan hidrolisis asam serta ultrasonikasi.

Hidrolisis asam memiliki keunggulan ditinjau dari kebutuhan energi yang cukup rendah, serta nanokristal yang dihasilkan memiliki kristalinitas selulosa yang baik (Mbakop *et al.*, 2021). Saat ini, nanoselulosa umumnya diproduksi melalui hidrolisis asam selulosa non-kristal menggunakan asam mineral pekat atau asam anorganik seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), dan asam fosfat (H_3PO_4). Penggunaan asam anorganik menimbulkan permasalahan baru yakni sulitnya untuk penggunaan kembali sisa asam dari proses hidrolisis, rendahnya stabilitas termal nanoselulosa yang dihasilkan, rendemen produk yang dihasilkan rendah, serta sulitnya memfungsikan selulosa karena keberadaan gugus pengganggu seperti sulfat (Chen *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2012). Oleh sebab itu dalam penelitian ini digunakan pendekatan *green chemistry* yang lebih memperhatikan aspek lingkungan dengan menggunakan asam organik sebagai agen hidrolisis selulosa untuk menghasilkan nanoselulosa. Beberapa keuntungan penggunaan asam organik sebagai agen penghidrolisis yakni lebih ramah lingkungan karena sifat korosifnya yang rendah, menghasilkan rendemen produk yang lebih tinggi, tahapan pemrosesan yang lebih sederhana, reproduktibilitas yang baik, serta biaya produksi lebih rendah (Cao *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2014).

Penggunaan asam organik untuk menghasilkan nanoselulosa telah banyak dilaporkan diantaranya oleh Filson & Dawson-Andoh (2009), yang memproduksi selulosa nanokristal dari selulosa kayu mikrokristalin komersil Avicel, dan bubur kertas daur ulang menggunakan hidrolisis asam maleat terkombinasi sono-kimia. Hidrolisis dengan bantuan sono-kimia asam maleat menghasilkan nanokristal selulosa yang berbentuk silinder. Braun & Dorgan (2009), memproduksi nanoselulosa kristalin dengan bahan baku pulp kapas menggunakan agen penghidrolisis asam klorida, asam asetat, dan asam butirat. Nanoselulosa yang dihasilkan memiliki dimensi yang mirip dengan yang diperoleh melalui hidrolisis asam klorida tetapi dengan indeks polidispersitas diameter yang lebih sempit. Produk yang diperoleh lebih hidrofobik dan dapat terdispersi dalam pelarut organik karena lebih dari separuh gugus hidroksil pada permukaan digantikan oleh gugus ester. Yan *et al.* (2015), memproduksi nanosfer selulosa (berbentuk bola) dari serat lyocell menggunakan agen penghidrolisis campuran asam klorida dan

asam format. Produk yang dihasilkan memiliki rendemen yang tinggi (84,4-86,6%), distribusi ukuran sempit (19-29 nm), stabilitas termal yang baik (T_{max} 365,4 °C), dispersi yang baik dalam air dan mengalami peningkatan hidrofobisitas.

Salah satu pengaplikasian nanoselulosa yakni dapat dijadikan sebagai membran biokomposit untuk pemisahan limbah. Nanoselulosa berperan sebagai zat penguat melalui pembentukan ikatan antarmuka pada matriks polimer, akan tetapi memiliki kelemahan yakni adanya ikatan hidrogen yang menjadikannya hidrofilik. Material nanokomposit umumnya memiliki sifat hidrofobik (Masruchin & Subyakto, 2012). Oleh karena itu diperlukan modifikasi pada struktur nanoselulosa sebelum digunakan sebagai material penguat komposit melalui beberapa cara yakni reaksi esterifikasi, amidasi, asetilasi, atau eterifikasi untuk meningkatkan sifat hidrofobisitasnya (Habibi *et al.*, 2010). Penggunaan asam organik dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengaruh terhadap karakteristik nanoselulosa sehingga lebih mudah dalam proses pengaplikasian.

Pada penelitian ini dilakukan pengkajian terkait pengaruh variasi jenis asam organik terhadap karakteristik nanoselulosa yang dihasilkan dari limbah kulit kacang edamame. Asam organik, seperti asam sitrat, asam asetat, asam maleat, dan asam laktat digunakan dalam penelitian ini sebagai alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi keterbatasan dari penggunaan asam anorganik. Parameter yang dikarakterisasi meliputi ukuran partikel, derajat kristalinitas, komponen kimiawi, morfologi, dan sifat termal. Karakteristik nanoselulosa yang dihasilkan dianalisis menggunakan berbagai teknik, seperti mikroskop elektron pemindaian untuk mengamati morfologi dalam skala mikro, mikroskop elektron transmisi untuk mengamati morfologi dalam skala nano, difraksi sinar-X, spektroskopi inframerah, dan analisis termogravimetri.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yakni sebagai berikut

1. Jenis asam organik yang digunakan dalam penelitian ini yakni asam sitrat, asam laktat, asam format, dan asam maleat.
2. Parameter analisis meliputi ukuran partikel, derajat kristalinitas, komponen kimiawi, morfologi, dan sifat termal.

3. Kondisi reaksi yang digunakan dalam penelitian ini dibuat seragam yakni konsentrasi asam sebesar 5,5M, waktu reaksi 6 jam, dan suhu reaksi 80°C.
4. Perlakuan mekanis berupa ultrasonikasi digunakan dalam kondisi yang sama yakni selama 6 x 15 menit, dengan amplitudo output 60%, dan pulse power 40%.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan variasi jenis asam organik terhadap karakteristik nanoselulosa kulit edamame yang dihasilkan ditinjau dari parameter ukuran partikel, komponen kimia, morfologi, kristalinitas, dan stabilitas termal?.
2. Apakah ada korelasi antara nilai konstanta disosiasi asam dengan hasil analisis gugus fungsi, kristalinitas, ukuran partikel dan stabilitas termal yang diperoleh?.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh jenis asam organik terhadap karakteristik nanoselulosa yang dihasilkan serta mengidentifikasi jenis asam organik yang menghasilkan nanoselulosa paling optimal.
2. Menganalisis korelasi antara nilai konstanta disosiasi asam dengan hasil analisis gugus fungsi, kristalinitas, ukuran partikel dan stabilitas termal nanoselulosa yang diperoleh.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Memberikan informasi ilmiah terkait pengaruh penggunaan variasi jenis asam organik terhadap karakteristik nanoselulosa yang diisolasi dari limbah kulit kacang edamame (*Glycine max* (L.) Merrill).
2. Dapat dijadikan sebagai referensi bagi penelitian lanjutan terkait nanoselulosa dari limbah biomassa lain dengan menggunakan pendekatan *green chemistry* yang lebih ramah lingkungan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pemaparan hasil yang telah disampaikan, dapat disimpulkan beberapa hal untuk penelitian ini diantaranya yaitu:

1. Penggunaan variasi jenis asam organik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik nanoselulosa kulit edamame yang dihasilkan. Hasil analisis FTIR penggunaan asam sitrat dan maleat menghasilkan esterifikasi ringan pada struktur nanoselulosa yang dihasilkan berkaitan dengan jenis asam poliprotik. Hasil penentuan indeks kristalinitas nanoselulosa menunjukkan bahwa penggunaan variasi asam organik menghasilkan kristalinitas yang tidak jauh berbeda nilainya dibandingkan bentuk selulosanya nilai tertinggi diperoleh dari penggunaan asam maleat yakni 67.24%. Hasil analisis morfologi dan ukuran partikel menunjukan seluruh variasi asam organik menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran dibawah 20 nm dengan ukuran paling kecil 7,59 nm dihasilkan dari penggunaan asam maleat. Stabilitas termal nanoselulosa hasil penggunaan variasi asam organik paling baik dihasilkan dari penggunaan asam laktat dengan massa degradasi sebesar 33,47% dan bobot akhir 62,13%. Sementara asam organik yang paling optimal menghasilkan nanoselulosa diperoleh dari penggunaan asam maleat.
2. Nilai konstanta disosiasi asam (pK_a) dari jenis asam organik yang digunakan sebagai agen hidrolisis memiliki korelasi dengan hasil yang diperoleh, jenis asam organik dengan nilai pK_a terkecil memiliki kekuatan asam yang lebih besar sehingga lebih kuat dalam mendegradasi fase amorf yang dimiliki oleh selulosa. Jenis asam dengan kekuatan paling kuat ditunjukkan oleh asam maleat dengan pK_a 1,83. Berdasarkan hasil analisis XRD dan TEM penggunaan asam maleat menghasilkan kristalinitas paling tinggi (67.24%) dan ukuran partikel terkecil (7,59 nm).

B. Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan sebagai pengembangan lanjutan terkait topik dan mengatasi keterbatasan penelitian ini yakni perlu dilakukan optimasi kondisi reaksi yang meliputi parameter konsentrasi asam, jenis asam organik, waktu reaksi, suhu reaksi, waktu dan daya ultrasonikasi sehingga dapat diperoleh kondisi optimum untuk menghasilkan nanoselulosa. Selain itu penelitian lanjutan mengenai penggunaan asam maleat sebagai agen penghidrolisis karena menghasilkan nanoselulosa dengan karakteristik terbaik serta pengaplikasian nanomaterial berbasis nanoselulosa kulit kacang edamame sebagai membran pemisah limbah perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, K., & Yano, H. (2009). Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber. *Cellulose*, 16(6), 1017–1023. <https://doi.org/10.1007/S10570-009-9334-9>
- Adisarwanto, T. (2014). *Kedelai Tropika Produktivitas 3 ton/ha T. Adisarwanto*. Penebar Swadaya Grup.
- Alemдар, A., & Sain, M. (2008). Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues: wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technology*, 99(6), 1664–1671. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.04.029>
- Ávila Ramírez, J. A., Fortunati, E., Kenny, J. M., Torre, L., & Foresti, M. L. (2017). Simple citric acid-catalyzed surface esterification of cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1358–1364. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.008>
- Azizah, Y., & Marziah, A. (2022). Hidrolisis Ampas Tebu (Baggase) Menggunakan HCl Menjadi Cellulosa Powder. In *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)* (Vol. 3, Issue 3).
- Bäckdahl, H., Risberg, B., & Gatenholm, P. (2011). Observations on bacterial cellulose tube formation for application as vascular graft. *Materials Science and Engineering: C*, 31(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2010.07.010>
- Bajpai, P. (2018). Pulp Bleaching. *Biermann's Handbook of Pulp and Paper*, 465–491. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814240-0.00019-7>
- Bodin, A., Bäckdahl, H., Fink, H., Gustafsson, L., Risberg, B., & Gatenholm, P. (2007). Influence of cultivation conditions on mechanical and morphological properties of bacterial cellulose tubes. *Biotechnology and Bioengineering*, 97(2), 425–434. <https://doi.org/10.1002/BIT.21314>
- Bondancia, T. J., De Aguiar, J., Batista, G., Cruz, A. J. G., Marconcini, J. M., Mattoso, L. H. C., & Farinas, C. S. (2020). Production of Nanocellulose Using Citric Acid in a Biorefinery Concept: Effect of the Hydrolysis Reaction Time and Techno-Economic Analysis. *Industrial and Engineering*

- Chemistry Research*, 59(25), 11505–11516.
<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c01359>
- Börjesson, M., & Westman, G. (2015). Crystalline Nanocellulose — Preparation, Modification, and Properties. *Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends*. <https://doi.org/10.5772/61899>
- Braun, B., & Dorgan, J. R. (2009). Single-step method for the isolation and surface functionalization of cellulosic nanowhiskers. *Biomacromolecules*, 10(2), 334–341. <https://doi.org/10.1021/bm8011117>
- Brindley, G. W., & Brown, G. (1982). Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification. *Clays and Clay Minerals*, 30(1), 80–80. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1982.0300113/METRICS>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. In *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (Vol. 45, Issue 4, pp. 289–299). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Burhani, D., & Septevani, A. A. (2018). Isolation of nanocellulose from oil palm empty fruit bunches using strong acid hydrolysis. *AIP Conference Proceedings*, 2024. <https://doi.org/10.1063/1.5064291>
- Cao, R., Liu, X., Guo, J., & Xu, Y. (2021). Comparison of various organic acids for xylo-oligosaccharide productions in terms of pKa values and combined severity. *Biotechnology for Biofuels*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01919-9>
- Carreira-Casais, A., Otero, P., Garcia-Perez, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., Soria-Lopez, A., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2021). Benefits and Drawbacks of Ultrasound-Assisted Extraction for the Recovery of Bioactive Compounds from Marine Algae. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17). <https://doi.org/10.3390/IJERPH18179153>
- Chandra, J. C. S., George, N., & Narayanankutty, S. K. (2016). Isolation and characterization of cellulose nanofibrils from arecanut husk fibre.

- Carbohydrate Polymers*, **142**, 158–166.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.01.015>
- Chang, R. (2010). *Chemistry* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chen, L., Wang, Q., Hirth, K., Baez, C., Agarwal, U. P., & Zhu, J. Y. (2015). Tailoring the yield and characteristics of wood cellulose nanocrystals (CNC) using concentrated acid hydrolysis. *Cellulose*, **22**(3), 1753–1762.
<https://doi.org/10.1007/S10570-015-0615-1/FIGURES/5>
- Chen, L., Zhu, J. Y., Baez, C., Kitin, P., & Elder, T. (2016). Highly thermal-stable and functional cellulose nanocrystals and nanofibrils produced using fully recyclable organic acids. *Green Chemistry*, **18**(13), 3835–3843.
<https://doi.org/10.1039/c6gc00687f>
- Chen, W., Li, Q., Wang, Y., Yi, X., Zeng, J., Yu, H., Liu, Y., & Li, J. (2014). Comparative study of aerogels obtained from differently prepared nanocellulose fibers. *ChemSusChem*, **7**(1), 154–161.
<https://doi.org/10.1002/CSSC.201300950>
- Chirayil, C. J., Joy, J., Mathew, L., Mozetic, M., Koetz, J., & Thomas, S. (2014). Isolation and characterization of cellulose nanofibrils from *Helicteres isora* plant. *Industrial Crops and Products*, **59**, 27–34.
<https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2014.04.020>
- Chitanu, G. C., Rinaudo, M., Desbrieres, J., Milas, M., & Carpov, A. (1999). Behavior of Nonalternating Maleic Acid Copolymers in Aqueous Solution. *Langmuir*, **15** (12), 4150–4156.
- Clark, J. H., & Macquarrie, D. J. (2002). *Handbook of green chemistry and technology*. Blackwell Science.
- Collazo-Bigliardi, S., Ortega-Toro, R., & Chiralt Boix, A. (2018). Isolation and characterisation of microcrystalline cellulose and cellulose nanocrystals from coffee husk and comparative study with rice husk. *Carbohydrate Polymers*, **191**, 205–215. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2018.03.022>
- Daneswari, A., Mulyono, & Agung, A. (2017). *Pengaruh Dosis Kompos Pelepah Salak Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Edamame (Glycine max (L.) Merrill) di Tanah Regosol*.

- Dassanayake, R. S., Gunathilake, C., Jackson, T., Jaroniec, M., & Abidi, N. (2016). Preparation and adsorption properties of aerocellulose-derived activated carbon monoliths. *Cellulose*, 23(2), 1363–1374. <https://doi.org/10.1007/S10570-016-0886-1>
- Deepa, B., Abraham, E., Cordeiro, N., Mozetic, M., Mathew, A. P., Oksman, K., Faria, M., Thomas, S., & Pothan, L. A. (2015). Utilization of various lignocellulosic biomass for the production of nanocellulose: a comparative study. *Cellulose*, 22(2), 1075–1090. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0554-x>
- Dhakal, K., Zhu, Q., Zhang, B., Li, M., & Li, S. (2021). Analysis of Shoot Architecture Traits in Edamame Reveals Potential Strategies to Improve Harvest Efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 12, 614926. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.614926/BIBTEX>
- Dhali, K., Ghasemlou, M., Daver, F., Cass, P., & Adhikari, B. (2021). A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability. In *Science of the Total Environment* (Vol. 775). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145871>
- Dominko, R., Goupil, J. M., Bele, M., Gaberscek, M., Remskar, M., Hanzel, D., & Jamnik, J. (2005). Impact of LiFePO₄ / C Composites Porosity on Their Electrochemical Performance. *Journal of The Electrochemical Society*, 152(5), A858. <https://doi.org/10.1149/1.1872674>
- Du, H., Liu, C., Wang, D., Zhang, Y., Yu, G., Si, C., & Peng, H. (2017). Sustainable Preparation and Characterization of Thermally Stable and Functional Cellulose Nanocrystals and Nanofibrils via Formic Acid Hydrolysis. *Journal of Bioresources and Bioproduct*, 2 (1), 10–15.
- Dufresne, A., Cavaille, J. Y., & Vignon, M. R. (1997). *Mechanical Behavior of Sheets Prepared from Sugar Beet Cellulose Microfibrils*. *Journal of Applied Polymer Science*. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1761543>
- El-Saied, H., Basta, A. H., & Gobran, R. H. (2004). Research Progress in Friendly Environmental Technology for the Production of Cellulose Products

- (Bacterial Cellulose and Its Application). *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 43(3), 797–820. <https://doi.org/10.1081/PPT-120038065>
- Eyley, S., & Thielemans, W. (2014). Surface modification of cellulose nanocrystals. *Nanoscale*, 6(14), 7764–7779. <https://doi.org/10.1039/C4NR01756K>
- Fahma, F., Iwamoto, S., Hori, N., Iwata, T., & Takemura, A. (2010). Isolation, preparation, and characterization of nanofibers from oil palm empty-fruit-bunch (OPEFB). *Cellulose*, 17(5), 977–985. <https://doi.org/10.1007/S10570-010-9436-4>
- Fahma, F., Iwamoto, S., Hori, N., Iwata, T., & Takemura, A. (2011). Effect of pre-acid-hydrolysis treatment on morphology and properties of cellulose nanowhiskers from coconut husk. *Cellulose*, 18(2), 443–450. <https://doi.org/10.1007/S10570-010-9480-0>
- Fan, M., Dai, D., & Huang, B. (2012). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Natural Fibres*. www.intechopen.com
- Filson, P. B., & Dawson-Andoh, B. E. (2009). Sono-chemical preparation of cellulose nanocrystals from lignocellulose derived materials. *Bioresource Technology*, 100(7), 2259–2264. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.09.062>
- Filson, P. B., Dawson-Andoh, B. E., & Schwegler-Berry, D. (2009). Enzymatic-mediated production of cellulose nanocrystals from recycled pulp. *Green Chemistry*, 11(11), 1808–1814. <https://doi.org/10.1039/B915746H>
- Focher, B., Palma, M. T., Canetti, M., Torri, G., Cosentino, C., & Gastaldi, G. (2001). Structural Differences Between Non-Wood Plant Cellulose: Evidence from Solid State NMR, Vibrational Spectroscopy and X-Ray Diffractometry. *Industrial Crops and Products*, 13 (3), 193–208.
- Galiwango, E., Abdel Rahman, N. S., Al-Marzouqi, A. H., Abu-Omar, M. M., & Khaleel, A. A. (2019). Isolation and characterization of cellulose and α -cellulose from date palm biomass waste. *Heliyon*, 5(12). <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2019.E02937>

- Goldstein, J., Newbury, D., Joy, D., Lyman, C., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L., & Michael, J. (2012). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A Text for Biologists, Material Scientists, and, Geologists*. https://www.academia.edu/37560066/Scanning_electron_microscopy_and_x_ray_microanalysis_Goldstein_Newbury_pdf
- Goodhew, P. J. (2011). General Introduction to Transmission Electron Microscopy (TEM). *Aberration-Corrected Analytical Transmission Electron Microscopy*, 1–19. <https://doi.org/10.1002/9781119978848.CH1>
- Gould, J. M. (1985). Studies on the mechanism of alkaline peroxide delignification of agricultural residues. *Biotechnology and Bioengineering*, 27(3), 225–231. <https://doi.org/10.1002/BIT.260270303>
- Gregory, A., & Bolwell, G. P. (1999). Hemicelluloses. *Comprehensive Natural Products Chemistry*, 599–615. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091283-7.00084-9>
- Grieshop, C. M., Kadzere, C. T., Clapper, G. M., Flickinger, E. A., Bauer, L. L., Frazier, R. L., & Fahey, G. C. (2003). Chemical and nutritional characteristics of United States soybeans and soybean meals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(26), 7684–7691. <https://doi.org/10.1021/JF034690C>
- Habibi, Y., Lucia, L. A., & Rojas, O. J. (2010). Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications. *Chemical Reviews*, 110(6), 3479–3500. <https://doi.org/10.1021/CR900339W>
- Halim, R., Hosikian, A., Lim, S., & Danquah, M. K. (2010). Chlorophyll extraction from microalgae: A review on the process engineering aspects. *International Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2010/391632>
- Hamid, S. B. A., Zain, S. K., Das, R., & Centi, G. (2016). Synergic effect of tungstophosphoric acid and sonication for rapid synthesis of crystalline nanocellulose. *Carbohydrate Polymers*, 138, 349–355. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.023>

- Hatakka, A. (2001). Biodegradation of Lignin. *Biopolymers Online*.
<https://doi.org/10.1002/3527600035.BPOL1005>
- Heinze, T. (2015). Cellulose: Structure and Properties. *Advances in Polymer Science*, 271, 1–52. https://doi.org/10.1007/12_2015_319
- Holilah, H., Bahruji, H., Ediati, R., Asranudin, A., Jalil, A. A., Piluharto, B., Nugraha, R. E., & Prasetyoko, D. (2022). Uniform rod and spherical nanocrystalline celluloses from hydrolysis of industrial pepper waste (*Piper nigrum* L.) using organic acid and inorganic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 204, 593–605.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.045>
- Holilah, H., Prasetyoko, D., Ediati, R., Bahruji, H., Jalil, A. A., Asranudin, A., & Anggraini, S. D. (2021). Hydrothermal assisted isolation of microcrystalline cellulose from pepper (*Piper nigrum* L.) processing waste for making sustainable bio-composite. *Journal of Cleaner Production*, 305, 127229.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127229>
- Huang, Y. B., & Fu, Y. (2013). Hydrolysis of cellulose to glucose by solid acid catalysts. *Green Chemistry*, 15(5), 1095–1111.
<https://doi.org/10.1039/C3GC40136G>
- Imai, T., & Sugiyama, J. (1998). Nanodomain of I α and I β Cellulose in Algal Microfibrils. *Macromolecules*, 31 (18), 6275–6279.
- Ishikawa, A., Okano, T., & Sugiyama, J. (1994). Fine Structure and Tensile Properties of Ramie Fibers in the Crystalline Form of Cellulose I, II, III. *Wood Research*, 38 (2), 16–18.
- Isogai, A. (2021). Emerging Nanocellulose Technologies: Recent Developments. *Advanced Materials*, 33(28). <https://doi.org/10.1002/adma.202000630>
- Jacobsen, S. E., & Wyman, C. E. (2000). Cellulose and hemicellulose hydrolysis models for application to current and novel pretreatment processes. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 84–86, 81–96.
<https://doi.org/10.1385/ABAB:84-86:1-9:81>

- Jaggi, N., & Vij, D. (2006). Handbook of Applied Solid State Spectroscopy. *Handbook of Applied Solid State Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1007/0-387-37590-2>
- Jedvert, K., & Heinze, T. (2017). Cellulose modification and shaping – a review. *Journal of Polymer Engineering*, 37(9), 845–860. <https://doi.org/10.1515/POLYENG-2016-0272>
- Jespersen, N. D., Brady, J. E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (Sixth). John Wiley and Sons, Inc.
- Jiang, J., Zhu, Y., & Jiang, F. (2021). Sustainable isolation of nanocellulose from cellulose and lignocellulosic feedstocks: Recent progress and perspectives. *Carbohydrate Polymers*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118188>
- John, M. J., & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 343–364. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2007.05.040>
- Jordan, J. H., Easson, M. W., Dien, B., Thompson, S., & Condon, B. D. (2019). Extraction and characterization of nanocellulose crystals from cotton gin motes and cotton gin waste. *Cellulose*, 26(10), 5959–5979. <https://doi.org/10.1007/S10570-019-02533-7/METRICS>
- Jufrinaldi, J. (2018). ISOLASI SELULOSA DARI BAGAS TEBU MELALUI PEMANASAN IRADIASI GELOMBANG MIKRO. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2), 83. <https://doi.org/10.32493/JITK.V2I2.1683>
- Kalia, S., Kaith, B. S., & Kaur, I. (2009). Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—A review. *Polymer Engineering & Science*, 49(7), 1253–1272. <https://doi.org/10.1002/PEN.21328>
- Kargarzadeh, H., Ioelovich, M., Ahmad, I., Thomas, S., & Dufresne, A. (2017). *Methods for Extraction of Nanocellulose from Various Sources*.
- Karimi, S., Tahir, P. M., Karimi, A., Dufresne, A., & Abdulkhani, A. (2014). Kenaf bast cellulosic fibers hierarchy: a comprehensive approach from micro to nano. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 878–885. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.09.106>

- Karolina, R., Indra, Balyan, M., & Pulungan Ilfa H. (2022). *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) TM 3000: TEORI DAN APLIKASINYA*. <https://www.researchgate.net/publication/370953162>
- Kathirselvam, M., Kumaravel, A., Arthanarieswaran, V. P., & Saravanakumar, S. S. (2019). Isolation and characterization of cellulose fibers from *Thespesia populnea* barks: A study on physicochemical and structural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.044>
- Kaushik, M., Fraschini, C., Chauve, G., Putaux, J.-L., & Moores, A. (2015). Transmission Electron Microscopy for the Characterization of Cellulose Nanocrystals. *The Transmission Electron Microscope - Theory and Applications*. <https://doi.org/10.5772/60985>
- Kerr, R. W. (1950). *Chemistry And Industry Of Starch: Second Edition*. Academic Press Inc., Publishers. <https://archive.org/details/cftri.1409chemistryindustr0000ralp/page/n5/mode/2up>
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). Fourier transform infrared spectroscopy: Fundamentals and application in functional groups and nanomaterials characterization. In *Handbook of Materials Characterization* (pp. 317–344). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9
- Kirk, R. E., Othmer, D. F., Kroschwitz, J. I., & Howe-Grant, M. (1991). *Encyclopedia of Chemical Technology: Fourth Edition*. New York: Wiley. https://archive.org/details/encyclopediaofch0000unse_j4h2
- Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., & Dorris, A. (2011). Nanocelluloses: a new family of nature-based materials. *Angewandte Chemie (International Ed. in English)*, 50(24), 5438–5466. <https://doi.org/10.1002/ANIE.201001273>
- Klemm, D., Philipp, B., Heinze, T., Heinze, U., & Wagenknecht, W. (1998). Comprehensive Cellulose Chemistry. *Comprehensive Cellulose Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/3527601929>

- Konovsky, J., Lumpkin, T. A., & McClary, D. (1994). *EDAMAME: THE VEGETABLE SOYBEAN*.
- Kriswiyanti Artati, E., & Irvina H, F. W. (2012). *Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Asam Terhadap Kinetika Reaksi Hidrolisis Pelapah Pisang (Musa Paradisiaca L)*.
- Kunusa, W. R., Isa, I., Laliyo, L. A. R., & Iyabu, H. (2018). FTIR, XRD and SEM Analysis of Microcrystalline Cellulose (MCC) Fibers from Corncores in Alkaline Treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012199>
- Kusdiana, Z. M., Purwasih, R., & Romalasari, A. (2019). *Pemanfaatan Limbah Kacang Edamame (Glycin max (L.) Merrill) Menjadi Pupuk Kompos di PT Lumbung Padi*.
- Lelekakis, N., Wijaya, J., Martin, D., & Susa, D. (2014). The effect of acid accumulation in power-transformer oil on the aging rate of paper insulation. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 30(3), 19–26. <https://doi.org/10.1109/MEI.2014.6804738>
- Li, Z., Fei, B., & Jiang, Z. (2014). Comparison of Dilute Organic and Sulfuric Acid Pretreatment for Enzymatic Hydrolysis of Bamboo. *BioResources*, 5652–5661.
- Lin, F., Waters, C. L., Mallinson, R. G., Lobban, L. L., & Bartley, L. E. (2015). Relationships between biomass composition and liquid products formed via pyrolysis. *Frontiers in Energy Research*, 3(OCT), 161064. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2015.00045/BIBTEX>
- Lin, N., & Dufresne, A. (2014). Nanocellulose in biomedicine: Current status and future prospect. *European Polymer Journal*, 59, 302–325. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2014.07.025>
- Liu, C. F., Ren, J. L., Xu, F., Liu, J. J., Sun, J. X., & Sun, R. C. (2006). Isolation and characterization of cellulose obtained from ultrasonic irradiated sugarcane bagasse. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 5742–5748. <https://doi.org/10.1021/JF060929O>

- Liu, C., Li, B., Du, H., Lv, D., Zhang, Y., Yu, G., Mu, X., & Peng, H. (2016). Properties of nanocellulose isolated from corncob residue using sulfuric acid, formic acid, oxidative and mechanical methods. *Carbohydrate Polymers*, 151, 716–724. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.025>
- Lu, B., Xu, A., & Wang, J. (2014). Cation does matter: How cationic structure affects the dissolution of cellulose in ionic liquids. *Green Chemistry*, 16(3), 1326–1335. <https://doi.org/10.1039/C3GC41733F>
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... (2016). فاطمی, ح. Does Chip Size of the Lignocellulosic Bagasse Influence Lignin Degradation with NaOH treatment. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 8(2), 765–769. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Mahardika, M., Abral, H., Kasim, A., Arief, S., & Asrofi, M. (2018). Production of nanocellulose from pineapple leaf fibers via high-shear homogenization and ultrasonication. *Fibers*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/fib6020028>
- Malik, N. S., Ahmad, M., & Minhas, M. U. (2017). Cross-linked β -cyclodextrin and carboxymethyl cellulose hydrogels for controlled drug delivery of acyclovir. *PLOS ONE*, 12(2), e0172727. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0172727>
- Mandal, A., & Chakrabarty, D. (2014). Studies on the mechanical, thermal, morphological and barrier properties of nanocomposites based on poly(vinyl alcohol) and nanocellulose from sugarcane bagasse. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(2), 462–473. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.05.003>
- Mansoorianfar, M., Khataee, A., Riahi, Z., Shahin, K., Asadnia, M., Razmjou, A., Hojjati-Najafabadi, A., Mei, C., Orooji, Y., & Li, D. (2020). Scalable fabrication of tunable titanium nanotubes via sonoelectrochemical process for biomedical applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2019.104783>

- Martelli-Tosi, M., Assis, O. B. G., Silva, N. C., Esposto, B. S., Martins, M. A., & Tapia-Blácido, D. R. (2017). Chemical treatment and characterization of soybean straw and soybean protein isolate/straw composite films. *Carbohydrate Polymers*, 157, 512–520. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.013>
- Martelli-Tosi, M., Masson, M. M., Silva, N. C., Esposto, B. S., Barros, T. T., Assis, O. B. G., & Tapia-Blácido, D. R. (2018). Soybean straw nanocellulose produced by enzymatic or acid treatment as a reinforcing filler in soy protein isolate films. *Carbohydrate Polymers*, 198, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.053>
- Ma'Ruf, A., Pramudono, B., & Aryanti, N. (2017). Lignin isolation process from rice husk by alkaline hydrogen peroxide: Lignin and silica extracted. *AIP Conference Proceedings*, 1823(1), 20013. <https://doi.org/10.1063/1.4978086/584776>
- Mason, T. J., & Lorimer, J. P. (2002). Applied Sonochemistry. *Applied Sonochemistry*. <https://doi.org/10.1002/352760054X>
- Masruchin, N., & Subyakto, S. (2012). Investigation Characteristics of Pulp Fibers as Green Potential Polymer Reinforcing Agents. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 131723. <https://doi.org/10.17146/JSMI.2012.13.2.907>
- Maurya, D. P., Singla, A., & Negi, S. (2015). An overview of key pretreatment processes for biological conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol. *3 Biotech*, 5(5), 597–609. <https://doi.org/10.1007/S13205-015-0279-4>
- Mavelil-Sam, R., Deepa, B., Deepa, B., Koshy, R. R., Koshy, R. R., Mary, S. K., Mary, S. K., Pothan, L. A., Pothan, L. A., & Thomas, S. (2017). Rheological Properties of Nanocomposites Based on Cellulose Nanofibrils and Cellulose Nanocrystals. *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites*, 481–521. <https://doi.org/10.1002/9783527689972.CH14>
- Mbakop, S., Nthunya, L. N., & Onyango, M. S. (2021). Recent Advances in the Synthesis of Nanocellulose Functionalized–Hybrid Membranes and Application in Water Quality Improvement. *Processes* 2021, Vol. 9, Page 611, 9(4), 611. <https://doi.org/10.3390/PR9040611>

- McPherson, R. M., Johnson, W. C., Fonsah, E. G., & Roberts, P. M. (2008). Insect Pests and Yield Potential of Vegetable Soybean (Edamame) Produced in Georgia. *Journal of Entomological Science*, 43(2), 225–240. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-43.2.225>
- Mhlongo, J. T., Nuapia, Y., Motsa, M. M., Mahlangu, T. O., & Etale, A. (2022). Green chemistry approaches for extraction of cellulose nanofibers (CNFs): A comparison of mineral and organic acids. *Materials Today: Proceedings*, 62, S57–S62. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.088>
- Michelin, M., Gomes, D. G., Romání, A., Polizeli, M. de L. T. M., & Teixeira, J. A. (2020). Nanocellulose production: Exploring the enzymatic route and residues of pulp and paper industry. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 15). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules25153411>
- Mohammed, M. A. A., Salmiaton, A., Wan Azlina, W. A. K. G., & Mohamad Amran, M. S. (2012). Gasification of oil palm empty fruit bunches: A characterization and kinetic study. *Bioresource Technology*, 110, 628–636. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.01.056>
- Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., & Youngblood, J. (2011). Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*, 40(7), 3941–3994. <https://doi.org/10.1039/C0CS00108B>
- Mulyadi, I. (2019). ISOLASI DAN KARAKTERISASI SELULOSA : REVIEW. *Jurnal Saintika Unpam : Jurnal Sains Dan Matematika Unpam*, 1(2), 177. <https://doi.org/10.32493/JSMU.V1I2.2381>
- Mussatto, S. I., Rocha, G. J. M., & Roberto, I. C. (2008). Hydrogen peroxide bleaching of cellulose pulps obtained from brewer's spent grain. *Cellulose*, 15(4), 641–649. <https://doi.org/10.1007/S10570-008-9198-4>
- Mzinyane, N. N., Mnqiwu, K. M., & Moukangoe, K. M. (2023). Adsorption of Hexavalent Chromium Ions Using Pine Sawdust Cellulose Fibres. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/app13179798>
- Nandi, S., & Guha, P. (2018). Modelling the effect of guar gum on physical, optical, barrier and mechanical properties of potato starch based composite

- film. *Carbohydrate Polymers*, 200, 498–507.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2018.08.028>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Nasir, M., Hashim, R., Sulaiman, O., & Asim, M. (2017). Nanocellulose: Preparation methods and applications. *Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites: Production, Properties and Applications*, 261–276. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100957-4.00011-5>
- Nechyporchuk, O., Belgacem, M. N., & Bras, J. (2016). Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. In *Industrial Crops and Products* (Vol. 93, pp. 2–25). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.016>
- Ng, H. M., Saidi, N. M., Omar, F. S., Ramesh, K., Ramesh, S., & Bashir, S. (2018). Thermogravimetric Analysis of Polymers. In *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* (pp. 1–29). Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471440264.pst667>
- Ng, H. M., Sin, L. T., Tee, T. T., Bee, S. T., Hui, D., Low, C. Y., & Rahmat, A. R. (2015). Extraction of cellulose nanocrystals from plant sources for application as reinforcing agent in polymers. *Composites Part B: Engineering*, 75, 176–200. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2015.01.008>
- Nguyen, H. D., Thuy Mai, T. T., Nguyen, N. B., Dang, T. D., Phung Le, M. L., & Dang, T. T. (2013). A novel method for preparing microfibrillated cellulose from bamboo fibers. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4(1). <https://doi.org/10.1088/2043-6262/4/1/015016>
- Nugraha, A. B., Nuruddin, A., & Sunendar, B. (2021). Isolasi Nanoselulosa Terkarsilasi dari Limbah Kulit Pisang Ambon Lumut dengan Metode Oksidasi. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(1), 236. <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i1.413>

- Osong, S. H., Norgren, S., & Engstrand, P. (2016). Processing of wood-based microfibrillated cellulose and nanofibrillated cellulose, and applications relating to papermaking: a review. *Cellulose*, 23(1), 93–123. <https://doi.org/10.1007/S10570-015-0798-5>
- Paajanen, A., Ceccherini, S., Maloney, T., & Ketoja, J. A. (2019). Chirality and bound water in the hierarchical cellulose structure. *Cellulose*, 26(10), 5877–5892. <https://doi.org/10.1007/S10570-019-02525-7/TABLES/3>
- Paillet, M., & Dufresne, A. (2001). Chitin whisker reinforced thermoplastic nanocomposites [1]. *Macromolecules*, 34(19), 6527–6530. https://doi.org/10.1021/MA002049V/ASSET/MA002049V.FP.PNG_V03
- Panda, S. K., Mishra, S. S., Kayitesi, E., & Ray, R. C. (2016). Microbial-processing of fruit and vegetable wastes for production of vital enzymes and organic acids: Biotechnology and scopes. *Environmental Research*, 146, 161–172. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.12.035>
- Park, M., Zhang, X., Chung, M., Less, G. B., & Sastry, A. M. (2010). A review of conduction phenomena in Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 195(24), 7904–7929. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2010.06.060>
- Park, S.J. (2015). *Carbon Fibers*. 210. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9478-7>
- Peng, B. L., Dhar, N., Liu, H. L., & Tam, K. C. (2011). Chemistry and applications of nanocrystalline cellulose and its derivatives: A nanotechnology perspective. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 89(5), 1191–1206. <https://doi.org/10.1002/CJCE.20554>
- Pinto, E., Aggrey, W. N., Boakye, P., Amenuvor, G., Sokama-Neuyam, Y. A., Fokuo, M. K., Karimaie, H., Sarkodie, K., Adenutsi, C. D., Erzuah, S., & Rockson, M. A. D. (2022). Cellulose processing from biomass and its derivatization into carboxymethylcellulose: A review. In *Scientific African* (Vol. 15). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01078>
- Poletto, M., Ornaghi Júnior, H. L., & Zattera, A. J. (2014). Native cellulose: Structure, characterization and thermal properties. *Materials*, 7(9), 6105–6119. <https://doi.org/10.3390/ma7096105>

- Poonguzhali, R., Basha, S. K., & Kumari, V. S. (2017). Synthesis and characterization of chitosan-PVP-nanocellulose composites for in-vitro wound dressing application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105(Pt 1), 111–120. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.07.006>
- Prado, K. S., & Spinacé, M. A. S. (2019). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from pineapple crown waste and their potential uses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 410–416. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.10.187>
- Prakash Menon, M., Selvakumar, R., Suresh Kumar, P., & Ramakrishna, S. (2017). Extraction and modification of cellulose nanofibers derived from biomass for environmental application. *RSC Advances*, 7(68), 42750–42773. <https://doi.org/10.1039/C7RA06713E>
- Qazanfarzadeh, Z., & Kadivar, M. (2016). Properties of whey protein isolate nanocomposite films reinforced with nanocellulose isolated from oat husk. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 1134–1140. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.06.077>
- Rånby, B. G. (1951). Fibrous macromolecular systems. Cellulose and muscle. The colloidal properties of cellulose micelles. *Discussions of the Faraday Society*, 11(0), 158–164. <https://doi.org/10.1039/DF9511100158>
- Robles, E., Izaguirre, N., Dogaru, B. I., Popescu, C. M., Barandiaran, I., & Labidi, J. (2020). Sonochemical production of nanoscaled crystalline cellulose using organic acids. *Green Chemistry*, 22(14), 4627–4639. <https://doi.org/10.1039/d0gc01283a>
- Runge, T., & Zhang, C. (2013). Hemicellulose extraction and its effect on pulping and bleaching. *Tappi Journal*, 12(10), 45–52. <https://doi.org/10.32964/TJ12.10.45>
- Saldivar, X., Wang, Y. J., Chen, P., & Hou, A. (2011). Changes in chemical composition during soybean seed development. *Food Chemistry*, 124(4), 1369–1375. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.07.091>

- Samsu, S. (2001). *Membangun Agroindustri Bernuansa Ekspor Edamame (Vegetable Soybean)*.
- Serizawa, T., Kato, M., Okura, H., Sawada, T., & Wada, M. (2016). Hydrolytic activities of artificial nanocellulose synthesized via phosphorylase-catalyzed enzymatic reactions. *Polymer Journal*, 48(4), 539–544. <https://doi.org/10.1038/PJ.2015.125>
- Serna-Cock, L., & Stouvenel, A. R. de. (2007). Lactic acid fermentative production using waste from the harvest of green sugar cane as a substrate. *Interciencia*, 32(5), 328–332.
- Setiawan, B., Bangun, K., & Kardhinata, E. H. (2014). *Respon Beberapa Varietas Kacang Tanah (Arachis hypogaea L.) Terhadap Pupuk Kandang dan NPK*. 2(3), 1093.
- Shanmugasundaram, S. (1991). Vegetable Soybean Research Needs for Production and Quality Improvement. *Proceedings of a Workshop Held at Kenting, Taiwan*.
- Shen, L., Pang, S., Zhong, M., Sun, Y., Qayum, A., Liu, Y., Rashid, A., Xu, B., Liang, Q., Ma, H., & Ren, X. (2023). A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies. In *Ultrasonics Sonochemistry* (Vol. 101). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106646>
- Simon, I., Scheraga, H., & Manley, R. S. J. (1988). Structure of cellulose. 1. Low-energy conformations of single chains. *Macromolecules*, 21(4), 983–990. <https://doi.org/10.1021/MA00182A024>
- Siró, I., & Plackett, D. (2010). Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose* 2010 17:3, 17(3), 459–494. <https://doi.org/10.1007/S10570-010-9405-Y>
- Sjostrand, B., Karlsson, C.-A., Barbier, C., & Henriksson, G. (2023). Hornification in commercial chemical pulps: Dependence on water removal and hornification mechanisms. *BioResources*, 18(2), 3856–3869.
- Soest, V. (1963). Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II. A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin. *Journal of AOAC*

INTERNATIONAL, 46(5), 829–835.
<https://doi.org/10.1093/JAOAC/46.5.829>

- Souza, A. G., Santos, D. F., Ferreira, R. R., Pinto, V. Z., & Rosa, D. S. (2020). Innovative process for obtaining modified nanocellulose from soybean straw. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 1803–1812. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.036>
- Subramanian, K. S., Janavi, G. J., Marimuthu, S., Kannan, M., Raja, K., Haripriya, S., Sharmila, D. J. S., & Moorthy, P. S. (2018). *Scanning Electron Microscopy: Principle, Components and Applications*.
- Supranto. (1998). *Proses Industri Kimia II*. Teknik Kimia FT UGM.
- Suryanto, H., Marsyahyo, E., Irawan, Y. S., & Soenoko, R. (2014). Morphology, Structure, and Mechanical Properties of Natural Cellulose Fiber from Mendong Grass (*Fimbristylis globulosa*). *Journal of Natural Fibers*, 11(4), 333–351. <https://doi.org/10.1080/15440478.2013.879087>
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. *International Journal of Molecular Sciences* 2008, Vol. 9, Pages 1621-1651, 9(9), 1621–1651. <https://doi.org/10.3390/IJMS9091621>
- Tang, J., Li, X., Bao, L., Chen, L., & Hong, F. F. (2017). Comparison of two types of bioreactors for synthesis of bacterial nanocellulose tubes as potential medical prostheses including artificial blood vessels. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(6), 1218–1228. <https://doi.org/10.1002/JCTB.5111>
- Tang, L., Huang, B., Lu, Q., Wang, S., Ou, W., Lin, W., & Chen, X. (2013). Ultrasonication-assisted manufacture of cellulose nanocrystals esterified with acetic acid. *Bioresource Technology*, 127, 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.133>
- TARKOW, H., & FEIST, W. C. (1969). *A Mechanism for Improving the Digestibility of Lignocellulosic Materials with Dilute Alkali and Liquid Ammonia*. 197–218. <https://doi.org/10.1021/BA-1969-0095.CH012>

- Thomas, B., Raj, M. C., Athira, B. K., Rubiyah, H. M., Joy, J., Moores, A., Drisko, G. L., & Sanchez, C. (2018). Nanocellulose, a Versatile Green Platform: From Biosources to Materials and Their Applications. *Chemical Reviews*, 118(24), 11575–11625. <https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMREV.7B00627>
- Topalovic, T., Nierstrasz, V. A., Bautista, L., Jovic, D., Navarro, A., & Warmoeskerken, M. M. C. G. (2007). XPS and contact angle study of cotton surface oxidation by catalytic bleaching. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 296(1–3), 76–85. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2006.09.026>
- Trache, D., & Trache, D. (2018). Nanocellulose as a promising sustainable material for biomedical applications. *AIMS Materials Science* 2018 2:201, 5(2), 201–205. <https://doi.org/10.3934/MATERSCI.2018.2.201>
- Trevorah, R. M., & Othman, M. Z. (2015). Alkali Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Australian Timber Mill Sawdust for Biofuel Production. *Journal of Renewable Energy*, 2015, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/284250>
- Trifol, J., Sillard, C., Plackett, D., Szabo, P., Bras, J., & Daugaard, A. E. (2017). Chemically extracted nanocellulose from sisal fibres by a simple and industrially relevant process. *Cellulose*, 24(1), 107–118. <https://doi.org/10.1007/S10570-016-1097-5>
- Tzanakis, I., Eskin, D. G., Georgoulas, A., & Fytanidis, D. K. (2014). Incubation pit analysis and calculation of the hydrodynamic impact pressure from the implosion of an acoustic cavitation bubble. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(2), 866–878. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2013.10.003>
- Uusi-Tarkka, E. K., Skrifvars, M., & Haapala, A. (2021). Fabricating sustainable all-cellulose composites. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/APP112110069>
- Wada, M., & Okano, T. (2001). Localization of Ia and Ib phases in algal cellulose revealed by acid treatments. *Cellulose*, 8, 183–188.

- Wang, L., Zhu, X., Chen, X., Zhang, Y., Yang, H., Li, Q., & Jiang, J. (2022). Isolation and characteristics of nanocellulose from hardwood pulp via phytic acid pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114921>
- Wang, Q. Q., Zhu, J. Y., Reiner, R. S., Verrill, S. P., Baxa, U., & McNeil, S. E. (2012). Approaching zero cellulose loss in cellulose nanocrystal (CNC) production: Recovery and characterization of cellulosic solid residues (CSR) and CNC. *Cellulose*, 19(6), 2033–2047. <https://doi.org/10.1007/S10570-012-9765-6/FIGURES/10>
- Wang, Z., Yao, Z., Zhou, J., He, M., Jiang, Q., Li, S., Ma, Y., Liu, M., & Luo, S. (2019). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from pueraria root residue. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 1081–1089. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.07.055>
- Williams, D. B., & Carter, C. B. (2009). Transmission electron microscopy: A textbook for materials science. *Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science*, 1–760. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-76501-3/COVER>
- Yadav, P., Chauhan, A. K., Singh, R. B., Khan, S., & Halabi, G. (2021). Organic acids: microbial sources, production, and applications. In *Functional Foods and Nutraceuticals in Metabolic and Non-communicable Diseases* (pp. 325–337). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819815-5.00053-7>
- Yan, C. F., Yu, H. Y., & Yao, J. M. (2015). One-step extraction and functionalization of cellulose nanospheres from lyocell fibers with cellulose II crystal structure. *Cellulose*, 22(6), 3773–3788. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0761-5>
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86(12–13), 1781–1788. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2006.12.013>
- Yang, J., & Hedin, N. (2022). Advances of lab-scale analytical methods for solidification/stabilization technologies. *Low Carbon Stabilization and*

- Solidification of Hazardous Wastes*, 483–495. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824004-5.00006-2>
- Yang, X., & Wang, Z. (2022). Effect of Particle Size and Concentration of Nanocellulose on Thermal Properties of Nanocellulose Aerogel. *Journal of Physics: Conference Series*, 2437(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2437/1/012061>
- Yu, H., Qin, Z., Liang, B., Liu, N., Zhou, Z., & Chen, L. (2013). Facile extraction of thermally stable cellulose nanocrystals with a high yield of 93% through hydrochloric acid hydrolysis under hydrothermal conditions. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(12), 3938–3944. <https://doi.org/10.1039/C3TA01150J>
- Yu, H. Y., Zhang, D. Z., Lu, F. F., & Yao, J. (2016). New Approach for Single-Step Extraction of Carboxylated Cellulose Nanocrystals for Their Use As Adsorbents and Flocculants. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(5), 2632–2643. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00126>
- Zendrato, H. M., Masruchin, N., Nikmatin, S., & Wistara, N. J. (2024). Effective cellulose isolation from torch ginger stem by alkaline hydrogen peroxide – Peracetic acid system. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 131, 376–387. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.10.040>
- Zhang, H., Huang, S., Wei, W., Zhang, J., & Xie, J. (2019). Investigation of alkaline hydrogen peroxide pretreatment and Tween 80 to enhance enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. *Biotechnology for Biofuels*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/S13068-019-1454-3/FIGURES/5>
- Zhang, S., Li, L., & Kumar, A. (2008). *Materials Characterization Techniques*. <https://doi.org/10.1201/9781420042955>
- Zhou, Y., Stuart-Williams, H., Farquhar, G. D., & Hocart, C. H. (2010). The use of natural abundance stable isotopic ratios to indicate the presence of oxygen-containing chemical linkages between cellulose and lignin in plant cell walls. *Phytochemistry*, 71(8–9), 982–993. <https://doi.org/10.1016/J.PHYTOCHEM.2010.03.001>

Zhu, G. Z., Deng, X. L., Hou, M., Sun, K., Zhang, Y. P., Li, P., & Liang, F. M. (2016). Comparative study on characterization and adsorption properties of activated carbons by phosphoric acid activation from corncob and its acid and alkaline hydrolysis residues. *Fuel Processing Technology*, 144, 255–261. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2016.01.007>

