

**PENGARUH LAMA SONIKASI TERHADAP NANOSELULOSA
MESOKARP KELAPA SAWIT**

(SKRIPSI)

Oleh

**REZA JIBRANI NOVRIZAL
2114231053**



**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

THE EFFECT OF SONICATION DURATION ON NANOCELLULOSE FROM OIL PALM MESOCARP FIBER

By

REZA JIBRANI NOVRIZAL

Palm mesocarp fiber waste has high potential to be processed into nanocellulose through a series of chemical and physical processes, one of which is sonication. This study aims to determine the effect of sonication duration on the moisture content, solubility, and microscopic characteristics of the nanocellulose produced. The process of making nanocellulose includes flour making, delignification, bleaching, acid hydrolysis, and sonication. Sonication was performed with a frequency of 20 kHz at time variations of 0, 5, 10, and 15 minutes. The working principle of sonication utilizes ultrasonic waves that create cavitation - the formation and rupture of micro-bubbles - resulting in high shear forces that break the fiber wall into nano-sized particles. Results showed that 10 min sonication (K2) gave the best values with the highest moisture content (6.15%) and highest solubility (9.09%), although statistically not significantly different from the other treatments. Morphological analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) showed that before sonication, the fibers were still elongated, large in diameter, and parallel; whereas after sonication, the fibers became shorter, irregular, with a broken structure and rougher surface, indicating the disintegration of fibrils to the nano-scale. Thus, sonication for 10 min is considered the most effective to produce nanocellulose from oil palm mesocarp fibers with physical and morphological characteristics suitable for industrial applications.

Keywords: Nanocellulose, oil palm mesocarp, sonication, SEM.

ABSTRAK

PENGARUH LAMA SONIKASI TERHADAP NANOSELULOSA MESOKARP KELAPA SAWIT

Oleh

REZA JIBRANI NOVRIZAL

Limbah serat mesokarp kelapa sawit berpotensi tinggi diolah menjadi nanoselulosa melalui rangkaian proses kimia dan fisik, salah satunya sonikasi. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh lama sonikasi terhadap kadar air, kelarutan, dan karakteristik mikroskopis nanoselulosa yang dihasilkan. Proses pembuatan nanoselulosa meliputi pembuatan tepung, delignifikasi, bleaching, hidrolisis asam, dan sonikasi. Sonikasi dilakukan dengan frekuensi 20 kHz pada variasi waktu 0, 5, 10, dan 15 menit. Prinsip kerja sonikasi memanfaatkan gelombang ultrasonik yang menciptakan kavitasi—pembentukan dan pecahnya gelembung mikro—sehingga menimbulkan gaya geser tinggi yang memecah dinding serat menjadi partikel berukuran nano. Hasil menunjukkan bahwa sonikasi 10 menit (K2) memberikan nilai terbaik dengan kadar air tertinggi (6,15%) dan kelarutan tertinggi (9,09%), meskipun secara statistik tidak berbeda nyata dengan perlakuan lain. Analisis morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memperlihatkan bahwa sebelum sonikasi, serat masih memanjang, berdiameter besar, dan sejajar; sedangkan setelah sonikasi, serat menjadi lebih pendek, tidak beraturan, dengan struktur pecah dan permukaan lebih kasar, menandakan disintegrasi fibril ke skala nano. Dengan demikian, sonikasi selama 10 menit dinilai paling efektif menghasilkan nanoselulosa dari serat mesokarp kelapa sawit dengan karakteristik fisik dan morfologi yang sesuai untuk aplikasi industri.

Kata kunci: Nanoselulosa, mesokarp kelapa sawit, sonikasi, SEM.

**PENGARUH LAMA SONIKASI TERHADAP NANOSELULOSA
MESOKARP KELAPA SAWIT**

Oleh

REZA JIBRANI NOVRIZAL

Skripsi

**Sebagai Salah satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**Judul : PENGARUH LAMA SONIKASI
TERHADAP NANOSELULOSA
MESOKARP KELAPA SAWIT**

Nama : Reza Jibrani Novrizal

Nomor Induk Mahasiswa : 2114231053

Jurusan : Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas : Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati, M. Sc.
NIP. 19611129 198703 2 010

Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si.
NIP. 19690225 199403 1 002

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA.
NIP. 19721006 199803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati, M.Sc.

Sekretaris

: Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si.

Penguji Bukan
Pembimbing

: Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 19641118 198902 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 04 Agustus 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Reza Jibrani Novrizal

NPM : 2114231053

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi materi yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 04 Agustus 2025
Yang membuat pernyataan

A yellow rectangular stamp is placed over the signature. It contains a black and white portrait of a man on the left, a red circular emblem in the center, and the alphanumeric code 'D8AMX444719104' at the bottom.

Reza Jibrani Novrizal
2114231053

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bekasi pada tanggal 9 Juli 2003 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Syahril dan Ibu Novieta Andriyane.

Penulis menyelesaikan pendidikan tingkat Sekolah Dasar di SD Negeri Aren Jaya XI Kecamatan Bekasi Timur, Kota Bekasi pada tahun 2015, tingkat Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 11 Bekasi, Kecamatan Bekasi Timur, Kota Bekasi pada tahun 2018, tingkat Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Tambun Utara, di Kecamatan Tambun Utara, Kabupaten Bekasi pada tahun 2021. Penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi di Universitas Lampung di Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada bulan Januari-Februari 2024 di Desa Marga Jadi, Kecamatan Mesuji Timur, Kabupaten Mesuji. Penulis Melakukan Praktik Umum (PU) di PT. Madubaru (PG-PS Madukismo), Bantul, Yogyakarta, dengan judul “Mempelajari Penerapan Sanitasi Pada Proses Produksi Gula Kristal Putih di PT. Madubaru PG-PS Madukismo” pada bulan Juli-Agustus 2024. Penulis mengikuti organisasi HMJ THP sejak tahun 2022-2023 sebagai Anggota Bidang Pendidikan dan Penalaran.

SANWACANA

Bismillahirrohmanirrahim

Alhamdulillah rabbil'alamiin, puji serta Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena telah melimpahkan rahmat serta karunianya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “PENGARUH LAMA SONIKASI TERHADAP NANOSELULOSA MESOKARP KELAPA SAWIT” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Hasil Pertanian pada Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama proses penyusunan skripsi ini penulis seringkali mengalami kesulitan, penulis mendapatkan banyak dukungan, saran, bimbingan serta doa terbaik selama penyusunan skripsi sehingga penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada berbagai pihak diantaranya kepada :

1. Bapak Dr. Ir Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S. T .P., M. T .A., C. EIA. selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Hidayati. M.P., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Ibu Prof. Dr. Dra. Maria Erna Kustyawati M. Sc. Selaku dosen pembimbing pertama yang senantiasa memberikan dukungan baik secara materi, bimbingan serta saran kepada penulis selama penyusunan proposal penelitian hingga penyelesaian skripsi.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang

senantiasa memberikan dukungan, bimbingan serta saran kepada penulis selama penyusunan proposal hingga penyelesaian skripsi.

6. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo. M.Si., selaku dosen pembahas yang senantiasa memberikan masukan dan saran kepada penulis selama penyusunan proposal hingga penyelesaian skripsi.
7. Seluruh Bapak dan ibu dosen pengajar, staf dan karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas semua ilmu dan dukungan selama perkuliahan.
8. Cinta pertamaku, Bapak Syahrial dan Ibunda ku tersayang Novieta Andriyane. Terimakasih atas segala pengorbanan serta tulus kasih yang diberikan. Mereka mampu senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan sampai meraih gelar sarjana. Semoga bapak dan ibu sehat, panjang umur dan bahagia selalu. Putra pertamamu akhirnya sarjana.
9. Adik perempuanku Kayla Diva Novrizal dan adik laki-laki ku Raffa Atthallah Novrizal, terimakasih telah memberikan semangat kepada kakakmu dan menjadi salah satu alasan untuk penulis melalui proses skripsi hingga selesai.
10. Sahabat penulis Anya, Annisa, Azahra, Diva, Fajar, Fariz, Nashrananda, Rafi, Salma, Sulthan, Tiara, dan Vania terimakasih telah senantiasa menemani serta memberikan support kepada penulis.
11. Teman-teman seperjuangan (Ikhwan Sholeh), Adit, Akrom, Arifin, Barok, Diaz, Emerson, Fiktor, Filsa, Gani, Ical, Nanda, Radit, Robin, dan Taufik yang telah kebersamai selama menjalani perkuliahan dari awal hingga akhir.
12. Keluarga besar TIP angkatan 2021 terimakasih atas perjalanan kebersamaan serta seluruh cerita baik maupun duka selama ini.
13. Semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan skripsi. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan bagi pembaca.

Bandar Lampung, 04 Agustus 2025

Reza Jibrani Novrizal

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
 I. PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang dan Masalah	1
1.2. Tujuan.....	3
1.3. Kerangka Pikiran.....	4
1.4. Hipotesis	5
 II. TINJAUAN PUSTAKA.....	 6
2.1. Serat Mesokarp.....	6
2.2. Hidrolisis Asam.....	7
2.3. Sonikasi	8
2.4. Nanoselulosa.....	10
2.5. <i>Scanning Electron Microscop</i> (SEM)	12
 III. METODE PENELITIAN	 14
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	14
3.2. Bahan dan Alat	14
3.3. Metode Penelitian.....	14
3.4. Pelaksanaan Penelitian	15
3.4.1. Pembuatan Tepung dan Delignifikasi Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS).....	15
3.4.2. <i>Bleaching</i> Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)	17
3.4.3. Hidrolisis Asam Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS).....	18
3.4.4. Sonikasi Selulosa Serat Mesokarp Kelapa Sawit	19

3.5. Pengamatan.....	20
3.5.1. Kadar Air.....	20
3.5.2. Kelarutan	20
3.5.3. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1. Hidrolisis Asam.....	23
4.2. Sonikasi Selulosa Serat Mesokarp Kelapa Sawit	24
4.3. Kadar Air Nanoselulosa Serat Mesokarp Kelapa Sawit.....	26
4.4. Kelarutan Nanoselulosa Serat Mesokarp Kelapa Sawit	27
4.3. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) Nanoselulosa Serat Mesokarp Kelapa Sawit.....	29
V. KESIMPULAN DAN SARAN	32
5.1. Kesimpulan.....	32
5.2. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Serat mesokarp kelapa sawit	6
2. Mekanisme ultrasonikasi pada selulosa	9
3. Rantai selulosa	11
4. Bagian-bagian alat SEM	13
5. Diagram alir pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit.....	16
6. Diagram alir bleaching tepung mesokarp serat kelapa sawit	17
7. Diagram alir proses hidrolisis asam serat mesokarp kelapa sawit	18
8. Sonikasi selulosa serat mesokarp kelapa sawit	19
9. Hasil serat mesokarp kelapa sawit pada beberapa tahapan proses.....	22
10. Hasil hidrolisis asam serat mesokarp kelapa sawit	23
11. Nanoselulosa hasil sonikasi dengan perbedaan lama waktu	25
12. Karakterisasi SEM nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit dengan perbesaran 100x dan 1000x.....	30
13. Serat mesokarp.....	40
14. Proses grinding.....	40
15. Penimbangan serat 100 gr	40
16. Proses delignifikasi	40
17. Pengukuran pH setelah delignifikasi.....	40
18. Proses hidrolisis asam	40
19. Proses penyaringan hasil hidrolisis asam.....	40

20. Hasil selulosa hidrolisis asam	40
21. Pengaturan alat sonikator	40
22. Proses sonikasi	40
23. Hasil setelah sonikasi	40
24. Hasil sonikasi setelah dikeringkan.....	40
25. Pengovenan cawan.....	41
26. Cawan dalam desikator	41
27. Penimbangan cawan kosong	41
28. Penimbangan sampel.....	41
29. Penimbangan ulangan kesatu	41
30. Penimbangan sampel 1 gr	41
31. Pengujian kelarutan.....	41
32. Sampel yang larut.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil uji BNT 5% kadar air nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit	26
2. Hasil analisis sidik ragam kelarutan nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit.....	28
4. Hasil uji parameter kadar air serat mesokarp.....	42
5. Analisis ragam pada kadar air nanoselulosa serat mesokarp	42
6. Hasil uji BNT taraf 5% parameter kadar air	42
7. Hasil uji parameter kelarutan serat mesokarp	43
8. Analisis ragam pada kelarutan nanoselulosa serat mesokarp	43

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas hasil pertanian yang terbesar di Indonesia. Buah kelapa sawit terdiri dari tiga lapisan yaitu eksokarp (kulit luar), mesokarp (serabut), dan endokarp (cangkang pelindung biji) yang kaya minyak. Buah kelapa sawit matang dan siap dipanen untuk diolah menjadi minyak kelapa sawit (CPO) dan produk turunannya. Indonesia merupakan negara produsen minyak sawit terbesar di dunia dengan total produksi sebesar 42,04 juta ton pada tahun 2017. Produksi minyak sawit (CPO) dari tahun 2014 sampai dengan 2018 selalu mengalami peningkatan dengan kisaran antara 1,35 sampai dengan 10,96% (Badan Pusat Statistik, 2018). Sebanyak 60% dari produksi CPO Indonesia diekspor dan sisanya untuk konsumsi dalam negeri. Peningkatan produksi CPO tersebut tentu akan meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan pada proses produksi. Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit baik berupa limbah padat maupun limbah cair (Andi dkk, 2014).

Berdasarkan persentase, pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah padat berupa tandan kosong 22% dari porsi tandan buah segar (TBS), serat mesokarp 13%, cangkang 4,5%, abu 0,01%, dan limbah cair sekitar 0,62-0,77 m³/ton (37-40%) TBS dan produk utama sekitar 20% (Andi dkk, 2014). Selain minyak sawit yang menjadi produk utama, serat mesokarp kelapa sawit juga memiliki potensi besar dalam

berbagai aplikasi industri. Serat mesokarp memiliki kandungan utama yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Hartanto dan Ratnawati, 2010). Serat mesokarp biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar *boiler* hingga menjadi energi listrik. Menurut Ginanjar (2019), berdasarkan data yang diperoleh dari pabrik kelapa sawit PT. Sentosa Prima Agro, *boiler* memerlukan energi panas yang berasal dari proses pembakaran bahan bakar dengan komposisi antara 70% serat mesokarp dan 30% cangkang yang sesuai dengan kebutuhan guna menghasilkan uap yang cukup dan stabil. Namun apabila ingin menghasilkan nilai tambah, serat mesokarp harus di proses terlebih dahulu yaitu dengan cara pembuatan tepung dan delignifikasi menggunakan pelarut asam (NaOH), *bleaching*, hidrolisis dengan asam (H_2SO_4), dan sonikasi.

Serat mesokarp mengandung selulosa sebagai komponen utama. Selulosa dalam serat mesokarp akan dimanfaatkan dalam bentuk serbuk yang berguna untuk pembuatan nanoselulosa serat mesokarp yang bertujuan untuk pengecilan ukuran agar serat mudah di proses dalam tahap berikutnya. Setelah itu, tepung akan dilakukan proses delignifikasi untuk membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polimer sakarida menjadi monomer gula (Mosier dkk, 2005). Hidrolisis asam dilakukan pada suhu dan waktu tertentu untuk menghasilkan struktur polimer selulosa pada serat menjadi komponen yang lebih sederhana dan lebih reaktif. Asam yang biasa digunakan dalam proses hidrolisis asam adalah asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasinya 2-5% dalam kondisi pekat pada suhu sekitar 100-120°C selama 1-2 jam (Taherzadeh dan Karimi, 2007).

Serbuk selulosa yang telah terfermentasi kemudian akan melalui proses sonikasi untuk membuat nanokristal selulosa dari serat mesokarp kelapa sawit. Metode sonikasi merupakan metode dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik dimana generator listrik ultrasonik akan membuat sinyal listrik kemudian diubah menjadi getaran fisik atau gelombang ultrasonik sehingga memiliki efek kavitasi pada serat yang menyebabkan perpecahan molekul-molekul serat tersebut. Metode sonikasi ini sering digunakan karena memiliki beberapa keunggulan. Keunggulan tersebut

meliputi memiliki ukuran partikel yang sangat kecil sehingga mencegah terjadinya proses *creaming* atau sedimentasi selama masa penyimpanan, menghasilkan luas permukaan yang besar sehingga dapat mempercepat penetrasi bahan aktif dan memudahkan penyebarannya serta berwarna transparan (Tardos, 2005). Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan nanoselulosa meliputi suhu, lama waktu reaksi, dan konsentrasi asam (Fika, 2016).

Menurut Endang dan Ari (2020), nanoteknologi merupakan suatu ilmu yang mempelajari tentang memodifikasi atau memanipulasi material dengan karakteristik spesifik yang tidak terlihat pada skala atom dengan ukuran yang biasanya. Teknologi nano bisa aplikasikan dalam pemanfaatan serat mesokarp, yang diolah melalui proses fermentasi menjadi nanomaterial yang berbentuk serbuk dengan sifat fungsional yang lebih baik salah satunya alatnya adalah *Scanning Electron Microscopy* (SEM). *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk memvisualisasikan struktur nano serat mesokarp secara detail, memungkinkan identifikasi morfologi serta ukuran pada skala nano. Melalui teknik ini, sifat-sifat serat dapat dianalisis dan ditingkatkan untuk aplikasi seperti pakan, bahan komposit, biomedis ataupun energi. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk memvisualisasikan struktur nano serat mesokarp secara detail, memungkinkan identifikasi morfologi serta ukuran pada skala nano. Melalui teknik ini, sifat-sifat serat dapat dianalisis dan ditingkatkan nilai tambahnya untuk aplikasi seperti pakan, bahan komposit, biomedis ataupun energi.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kadar air nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit.
2. Mengetahui kelarutan nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit.
3. Mengetahui karakteristik mikroskopis serbuk nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

1.3. Kerangka Pikiran

Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit baik berupa limbah padat maupun limbah cair (Silalahi & Suprijanto, 2017). Serat mesokarp biasanya digunakan sebagai bahan bakar boiler dan belum dimanfaatkan secara optimal. Kandungan kimia serat mesokarp meliputi selulosa, lignin, dan hemiselulosa. Selulosa dalam serat mesokarp akan dibuat menjadi partikel dengan ukuran nano yang difokuskan dalam penelitian ini.

Serat mesokarp akan melalui beberapa proses utama untuk menghasilkan selulosa yang berukuran nano, yang disebut nanoselulosa. Beberapa proses utamanya yaitu pembuatan tepung dan delignifikasi, *bleaching*, hidrolisis asam, dan sonikasi. Pembuatan tepung serat mesokarp merupakan tahap awal dalam pemanfaatan limbah lignoselulosa menjadi produk bernilai tinggi. Pembuatan tepung ini bertujuan untuk mempermudah proses ekstraksi selulosa sehingga luas permukaannya meningkat dan mempermudah penetrasi bahan kimia dalam proses delignifikasi dan hidrolisis (Johar dkk, 2012). Selanjutnya masuk ke tahap delignifikasi yang bertujuan untuk menghilangkan lignin dan sebagian hemiselulosa sehingga mendapatkan selulosa murni yang akan diproses lebih lanjut menjadi nanoselulosa. Delignifikasi menggunakan NaOH yang berfungsi untuk memurnikan selulosa serta menghasilkan warna selulosa yang lebih cerah (Isroi dkk, 2012).

Hidrolisis selulosa setelah proses delignifikasi bertujuan untuk memecah rantai polimer selulosa sehingga menghasilkan nanokristal selulosa menggunakan asam sulfat dengan suhu dan waktu tertentu. Penelitian oleh Lailan dkk (2015) menunjukkan bahwa proses hidrolisis asam dilakukan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi 2% (v/v) dengan waktu hidrolisis selama 2 jam dan suhu 120°C . Setelah melalui proses hidrolisis, serat mesokarp akan melalui proses selanjutnya untuk menjadi nanoselulosa dimana serat bisa dipecah menjadi partikel

yang berukuran nano, yang memiliki luas permukaan spesifik yang sangat tinggi sesuai karakteristik nanoselulosa dengan melalui proses sonikasi. Sonikasi merupakan metode ekstraksi yang digunakan untuk menghasilkan ukuran serat menjadi ukuran mikro atau nano dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang menciptakan efek kavitasi atau perpecahan serat (Tardos, 2005). Kemudian, serat tersebut akan dianalisis menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk menganalisis morfologi mikrostruktur nanoselulosa (Zhou dkk, 2006).

Nanoselulosa dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti dalam industri kertas tisu wajah dan biomedis. Penelitian yang dilakukan Edwin dkk (2022) menunjukkan bahwa nanoselulosa yang di sintesis menggunakan metode hidrolisis asam (H_2SO_4) dapat dijadikan sebagai bahan penguat kertas tisu wajah karena memiliki ikatan hidrogen yang melimpah. Pengaplikasian nanoselulosa hasil hidrolisis asam ini menghasilkan sifat fisik tisu wajah yang baik serta karakteristik struktur nanoselulosa yang optimal. Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yulia dkk (2021) menunjukkan bahwa aplikasi enkapsulasi nanoselulosa memiliki rasio yang luas permukaan ke volume yang tinggi dan juga menunjukkan sifat polimerisasi yang tinggi. Nanoselulosa juga memiliki sifat kekuatan mekanik yang tinggi, biokompatibilitas, *biodegradable*, dan *non-toksik*, bermanfaat untuk sistem penghantaran obat yang baik, menggunakannya sebagai eksipien atau pembawa.

1.4. Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Terdapat kadar air nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit dari lama waktu sonikasi.
2. Terdapat kelarutan nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit dari lama waktu sonikasi.
3. Terdapat karakteristik mikroskopis nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit yang diamati menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Serat Mesokarp

Mesokarp adalah daging buah yang berserabut. Serat mesokarp yang disebut sabut atau serabut sawit (*mesocarp fiber*) adalah serat yang terdapat pada daging buah kelapa sawit berbentuk serabut panjang antara 3-4 cm. Serat mesokarp merupakan hasil limbah dari proses pengolahan kelapa sawit yang masih belum banyak dimanfaatkan namun potensinya sangat besar untuk dijadikan nilai tambah. Pemanfaatan dari serat mesokarp kelapa sawit dapat berguna untuk papan tripleks, kayu lapis, meja datar, maupun hanya sebagai bahan bakar ketel uap. Selain itu, serat mesokarp juga memiliki potensi untuk dijadikan pakan ternak melalui proses pengolahan tertentu seperti fermentasi untuk menghaluskan permukaan serat agar mudah dicerna oleh hewan (Haryanto, 2014). Yulia dkk (2021) menyebutkan bahwa serat mesokarp sawit mengandung senyawa selulosa sebesar 41,92%, lignin 21,71%, dan hemiselulosa 11,36%. Serat mesokarp kelapa sawit akan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Serat mesokarp kelapa sawit
Sumber : Dokumentasi pribadi

Serat mesokarp memiliki karakteristik fisik dan kimia yang mendukung penggunaannya dalam berbagai industri. Secara fisik, serat mesokarp umumnya berwarna coklat karena kandungan lignin dan hemiselulosa yang tinggi. Serat ini memiliki densitas yang relatif rendah dan fleksibilitas yang baik, sehingga mudah diolah dalam proses produksi. Beberapa sifat fisikokimia penting dari serat mesokarp, seperti kemampuan menyerap air, kekuatan tarik, dan stabilitas termal, menjadikannya bahan yang ideal dalam pembuatan produk berbasis biokomposit dan pengembangan nanoselulosa (Yulia dkk, 2021).

Pemanfaatan serat mesokarp dalam berbagai aplikasi industri semakin menarik perhatian, terutama karena sifatnya yang terbarukan dan keberlanjutan produksinya. Keunggulan serat mesokarp dibandingkan sumber serat lainnya mencakup ketersediannya yang melimpah, terutama dari limbah kelapa sawit, serta kemampuan serat ini untuk diperbarui dan diurai secara alami. Hal ini menjadikan serat mesokarp sebagai bahan baku berkelanjutan yang sangat diminati dalam penelitian dan pengembangan produk ramah lingkungan. Dengan meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan dan pengurangan limbah, pemanfaatan serat mesokarp kelapa sawit untuk menghasilkan nanoselulosa semakin relevan (Ilyas dkk, 2019).

2.2. Hidrolisis Asam

Hidrolisis asam merupakan tahap penting dalam pembuatan nanoselulosa yang berfungsi untuk memecah struktur makro selulosa menjadi fraksi-fraksi kecil berukuran nano. Pada proses ini, asam sulfat (H_2SO_4) pekat umumnya digunakan karena memiliki kemampuan tinggi untuk menyerang bagian amorf dari serat selulosa, sehingga menghasilkan partikel kristalin berupa nanokristal selulosa. Proses ini biasanya dilakukan dengan konsentrasi H_2SO_4 sekitar 2% dengan suhu 100-120°C dan waktu reaksi sekitar 2 jam (Habibi dkk, 2010). Konsentrasi dan waktu reaksi yang tepat sangat penting untuk mendapatkan hasil nanoselulosa dengan ukuran dan stabilitas dispersi yang baik.

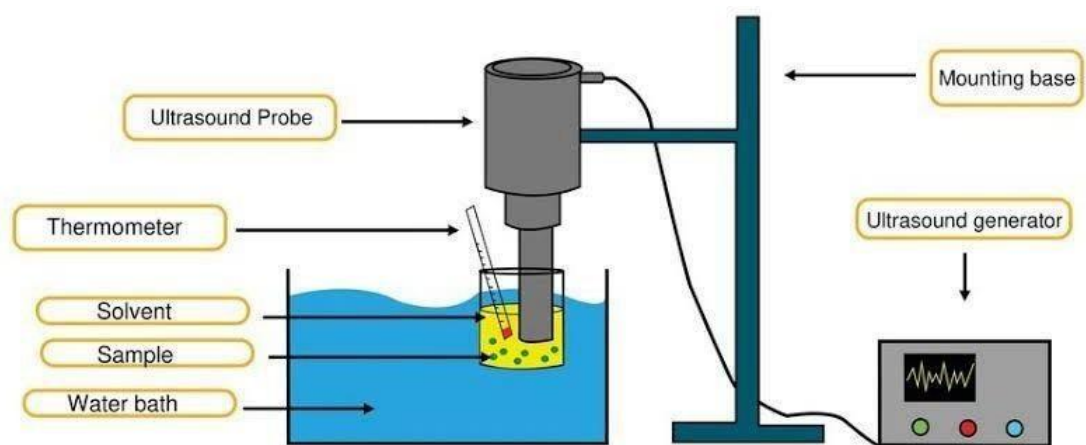
Sebelum tahap hidrolisis, serat mesokarp harus melalui proses delignifikasi terlebih dahulu untuk menghilangkan lignin dan sebagian hemiselulosa. Hal ini bertujuan agar H_2SO_4 dapat secara selektif menyerang selulosa tanpa terhambat oleh senyawa lignin yang bersifat hidrofobik dan tidak mudah terurai. Setelah proses hidrolisis selesai, suspensi nanoselulosa biasanya dicuci dan dinetralkan pH nya menggunakan air. Salah satu keunggulan dari penggunaan asam sulfat adalah kemampuannya menghasilkan partikel nanoselulosa yang stabil karena gugus sulfat yang terikat pada permukaan partikel mampu memberikan muatan negatif, sehingga mencegah aglomerasi atau penggumpalan partikel nanoselulosa yang saling menempel (Siqueira dkk, 2010).

Penggunaan serat mesokarp sebagai bahan baku pembuatan nanoselulosa dinilai potensial karena kandungan selulosanya yang cukup tinggi dan ketersediannya yang melimpah sebagai limbah agroindustri dari kelapa sawit. Penelitian yang dilakukan oleh Aripin dkk (2015) menunjukkan bahwa hidrolisis asam terhadap serat mesokarp menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran di bawah 100 nm dan memiliki kristalinitas tinggi, yang menjadikannya cocok untuk aplikasi komposit, film, dan bahan pengemas ramah lingkungan. Oleh karena itu, kombinasi antara delignifikasi dan hidrolisis asam menggunakan H_2SO_4 menjadi metode yang efisien dan banyak diterapkan dalam pengembangan nanoselulosa dari limbah agroindustri seperti serat mesokarp kelapa sawit.

2.3. Sonikasi

Gelombang ultrasonik didefinisikan sebagai gelombang suara yang memilki frekuensi diluar respon pendengaran manusia. Batas pendengaran normal antara 16-18 kHz dan ultrasonik memiliki batas frekuensi antara 20 kHz hingga 100 MHz. Medan ultrasonik akan menghasilkan efek kimia dan fisika yang diakibatkan oleh meledaknya gelembung kavitasi mikro yang disebabkan getaran ultrasonik, sehingga efek tersebut yang berdampak terjadinya proses sonokimia. Gelombang ultrasonik

dapat merambat dalam media padat, cair, dan gas. Sonikasi mengandalkan energi gelombang yang menyebabkan proses kavitasi, yaitu proses pembentukan gelembung-gelembung kecil akibat adanya transmisi gelombang ultrasonik. Sonikasi setelah hidrolisa asam pada selulosa berfungsi untuk menyebarkan produksi nanokristal selulosa (Narjes dkk, 2012). Li dkk (2012) menggunakan metode mekanik dengan cara ultrasonikasi untuk memperoleh nanoselulosa yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme ultrasonikasi pada selulosa
Sumber : Li dkk (2012).

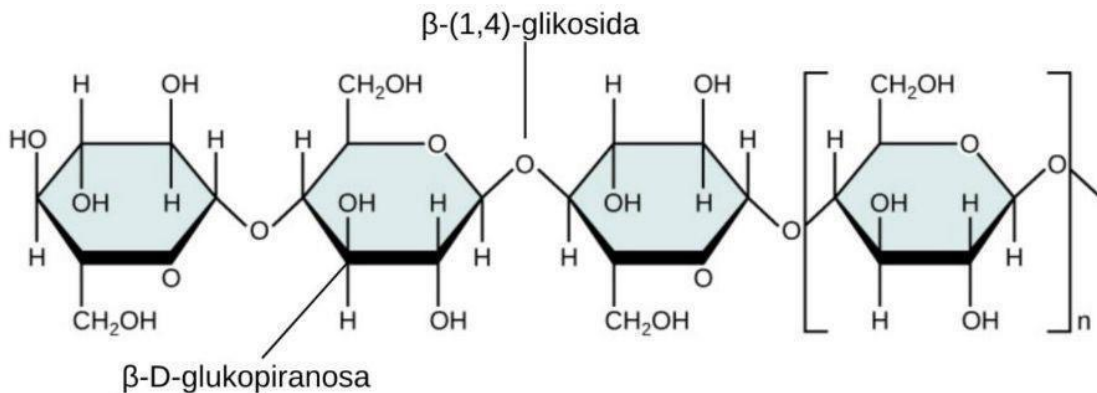
Mekanisme ultrasonikasi pada Gambar 2. merupakan proses sonikasi tipe *probe* yang menghasilkan gelombang ultrasonik berfrekuensi tinggi (20-40 kHz) melalui getaran ujung *probe* yang akan mengubah energi listrik menjadi getaran mekanis dan mengatur amplitudo, frekuensi, serta waktu proses sonikasi. Prinsip kerjanya adalah gelombang ultrasonik dari *probe* menciptakan efek kavitasi, yaitu pembentukan dan pecahnya gelembung mikro yang menghasilkan gaya geser tinggi sehingga dapat memecah dinding sel, mendispersi partikel, dan mempercepat reaksi kimia. Selama kavitasi, energi potensial pada ekspansi gelembung dikonversi kedalam energi kinetik dari *probe* yang bergerak melalui bagian dalam gelembung dan menembus permukaan selulosa. *Probe* ini menghantam permukaan dengan energi

yang luar biasa yang dapat menyebabkan kerusakan parah pada titik benturan dan menghasilkan bentuk yang baru dengan permukaan yang sangat reaktif. Di dalam sistem ini keduanya daerah kristal dan amorf sama-sama terbentur secara terus menerus. Tetapi kristalinitas pada selulosa hanya menurun sekitar 11% (Li dkk, 2012).

Li dkk (2012) melaporkan bahwa ultrasonik memiliki efek yang sama pada penyulingan. Sonikasi menyebabkan kavitasi yang mengarah untuk melonggarkan amorf dan kerusakan kristal pada daerah dinding sel. Sebaliknya, daerah kristal sedikit rusak dan mempertahankan kerapatan strukturnya. Kristalinitas meningkat sampai waktu sonikasi 20 menit karena sebagian besar daerah amorf terhidrolisa. Akan tetapi, ketika waktu sonikasi melebihi 20 menit, secara signifikan degradasi terjadi pada daerah kristal yang mengurangi produksi kristal. Hasil ini mengindikasikan bahwa pretreatment ultrasonikasi dapat meningkatkan selektivitas degradasi dari selulosa amorf.

2.4. Nanoselulosa

Selulosa merupakan salah satu komponen utama penyusun tumbuhan, selulosa biasanya terdapat di dinding sel buah dan sayuran, seperti di dalam kayu, ranting, dan daun (Buchanan dkk, 2021). Menurut Fengel dan Wegener (1983), selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ merupakan polisakarida yang terdiri dari unit glukosa berikatan β -1,4-glikosidik yang berikatan dengan ikatan β -D-glukopiranososa, dimana n merupakan derajat polimerisasi selulosa dan merupakan komponen struktural utama pada dinding sel tumbuhan. Pada umumnya, kandungan selulosa berkisar antara 40-50% dari berat kering bahan berlignoselulosa yang banyak terkandung dalam tumbuhan berkayu. Selulosa yang diubah menjadi nanoselulosa memiliki ukuran serat dalam skala nanometer, sehingga memiliki permukaan yang lebih luas dan kekuatan mekanik yang tinggi dibandingkan dengan selulosa dalam bentuk makro. Potensi aplikasi nanoselulosa sangat luas, meliputi industri kertas, komposit, tekstil, biomedis hingga sebagai bahan pengental. Adapun rantai selulosa disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rantai selulosa
Sumber : Rysa (2022)

Selulosa yang terdapat dalam tumbuhan tidak dalam bentuk yang murni tetapi masih berbentuk dalam lignoselulosa yang dimana adalah gabungan dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Serat selulosa jumlahnya sangat melimpah di alam. Selulosa memiliki sifat mekanik yang baik, tahan terhadap pelarut organik, dan memiliki kemampuan membentuk ikatan hidrogen yang kuat antara rantai-rantainya. Selulosa juga tidak larut dalam air karena strukturnya yang kristalin dan memiliki ikatan yang tinggi terhadap molekul air (hidrofilik). (Hooshmand dkk, 2014).

Menurut Ningtyas dkk (2020), nanoselulosa merupakan produk yang dihasilkan dari selulosa dalam bentuk nanofiber atau nanopartikel yang memiliki ukuran nanometer (umumnya dengan diameter di bawah 100 nm). Nanoselulosa memiliki sifat tidak beracun, hidrofilik, memiliki kekuatan yang tinggi, dan kompatibel dengan organ tubuh manusia, sehingga dimanfaatkan dalam bidang biomedis. Salah satu aplikasinya berbentuk implan pada kerangka untuk rehabilitasi ligamen dan tendon yang terluka. Proses pembentukan selulosa menjadi nanoselulosa dilakukan melalui berbagai metode, seperti hidrolisis asam, enzimatik, dan mekanik (Mathew dkk, 2012).

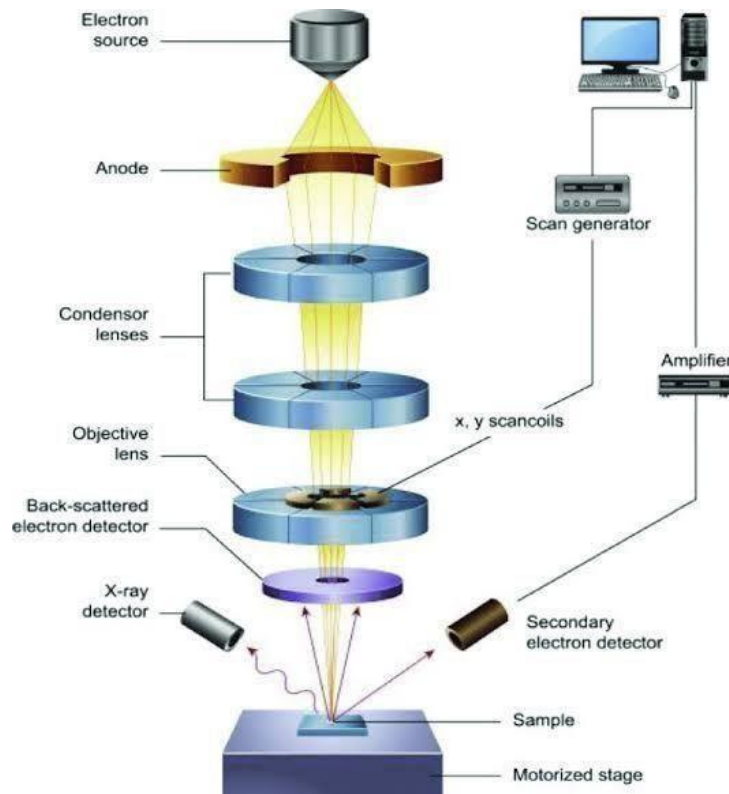
Menurut Lin dkk (2019), secara konvensional, nanoselulosa dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori berbeda yaitu nanokristal selulosa (CNC), nanofiber selulosa

(CNF), dan nanoselulosa bakteri (BNC) menurut morfologi dan asal-usulnya. Kategori nanokristal selulosa maupun nanofiber selulosa diperoleh melalui pendekatan *top-down* dengan menghancurkan bahan tanaman seperti kayu, kapas, ataupun limbah agroindustri melalui perawatan kimia atau mekanis. Misalnya, hidrolisis asam yang merupakan salah satu pendekatan sintesis kimia yang paling umum untuk menghasilkan fragmen nanokristal selulosa yang sangat kristalin atau seperti jarum. Nanokristal selulosa ini memiliki diameter sekitar 5-20 nm dan panjang sekitar 100-300 nm. Sebaliknya, teknik pemotongan mekanis (misalnya, homogenisasi tekanan tinggi, penggilingan dan *cryocrushing*) akan menghancurkan serat selulosa menjadi unit skala nano sub-strukturalnya, menghasilkan nanofiber selulosa yang lebih panjang yang panjangnya mikrometer. Nanoselulosa bakteri disintesis melalui pendekatan *bottom-up* dengan memanfaatkan kultur bakteri *Komagataeibacter xylinus* untuk menghasilkan nanomaterial dengan sifat yang fleksibel, hidrofilik, dan memiliki viskoelastisitas tinggi (Gopi dkk, 2019).

2.5. Scanning Electron Microscop (SEM)

Metode analisis umumnya menampilkan hasil berupa grafik seperti difraktogram pada XRD (*X-Ray Diffraction*). Namun, pengembangan metode karakterisasi telah menghasilkan instrumen yang mampu menampilkan morfologi dan ukuran sampel dengan pembesaran yang dapat disesuaikan. Instrumen tersebut berupa mikroskop elektron yang mulai dikembangkan sejak diketahui bahwa elektron dapat dibelokkan oleh medan magnet pada tahun 1890. Pada penelitian ini, pengamatan dilakukan pada dua perbesaran yang berbeda yaitu, perbesaran 100x dan 1000x. Perbesaran 100x digunakan untuk mengamati gambaran morfologi secara umum, sehingga terlihat distribusi partikel, kekompakan struktur, dan adanya retakan atau pori-pori yang besar. Sementara itu, perbesaran 1000x digunakan untuk mengamati detail permukaan serta struktur yang lebih halus pada sampel, seperti ukuran partikel, bentuk serat, dan tekstur permukaan yang tidak tampak pada perbesaran rendah.

Salah satu mikroskop elektron tersebut berupa *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang skematiknya disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagian-bagian alat SEM
Sumber : Ayyad (2011).

Prinsip kerja SEM adalah penggunaan cahaya dengan resolusi $2000 \text{ \AA}$ untuk memperbesar sudut visual melalui lensa optik. Berdasarkan Gambar 4., penembak elektron diadaptasi dari tabung sinar katoda, sehingga berkas elektron yang dihasilkan ditarik oleh anoda dan diteruskan melalui lensa magnetik menuju detektor elektron hamburan balik (pantul). Pada bagian ini, citra sampel sudah mulai membentuk meskipun hasil yang diperoleh belum cukup jelas. Oleh karenanya, penggunaan detektor elektron sekunder akan meningkatkan kualitas citra sampel, sehingga pengamat dapat mengetahui struktur morfologi secara spesifik. SEM berfungsi untuk menganalisis morfologi mikrostruktur dan karakterisasi komposisi kimia (Zhou dkk, 2006).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2025 sampai bulan Juni 2025 yang bertempat di Laboratorium Pengolahan Hasil Pertanian, Laboratorium Analisis Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Adapun karakterisasi *Scanning Electron Microscop* (SEM) dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu serat mesokarp kelapa sawit PTPN VII, NaOH, asam sulfat (H_2SO_4), H_2O_2 , aquades, NaOH, dan alkohol.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan, *grinder*, baskom, kompor, talenan pisau, kain saring, oven, loyang, *hotplate*, erlenmeyer, cawan petri, cawan porselen, capitan, alumunium foil, gelas ukur, *beaker glass*, pipet tetes, mikropipet, termometer, pH meter digital, spatula, pengaduk kaca, sonikator, dan *Scanning Electron Microscop* (SEM).

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan faktor tunggal dan 5 ulangan sehingga total unit percobaan sebanyak 16 unit. Faktor tunggal dalam penelitian ini adalah perlakuan waktu sonikasi yang terdiri dari 4 taraf,

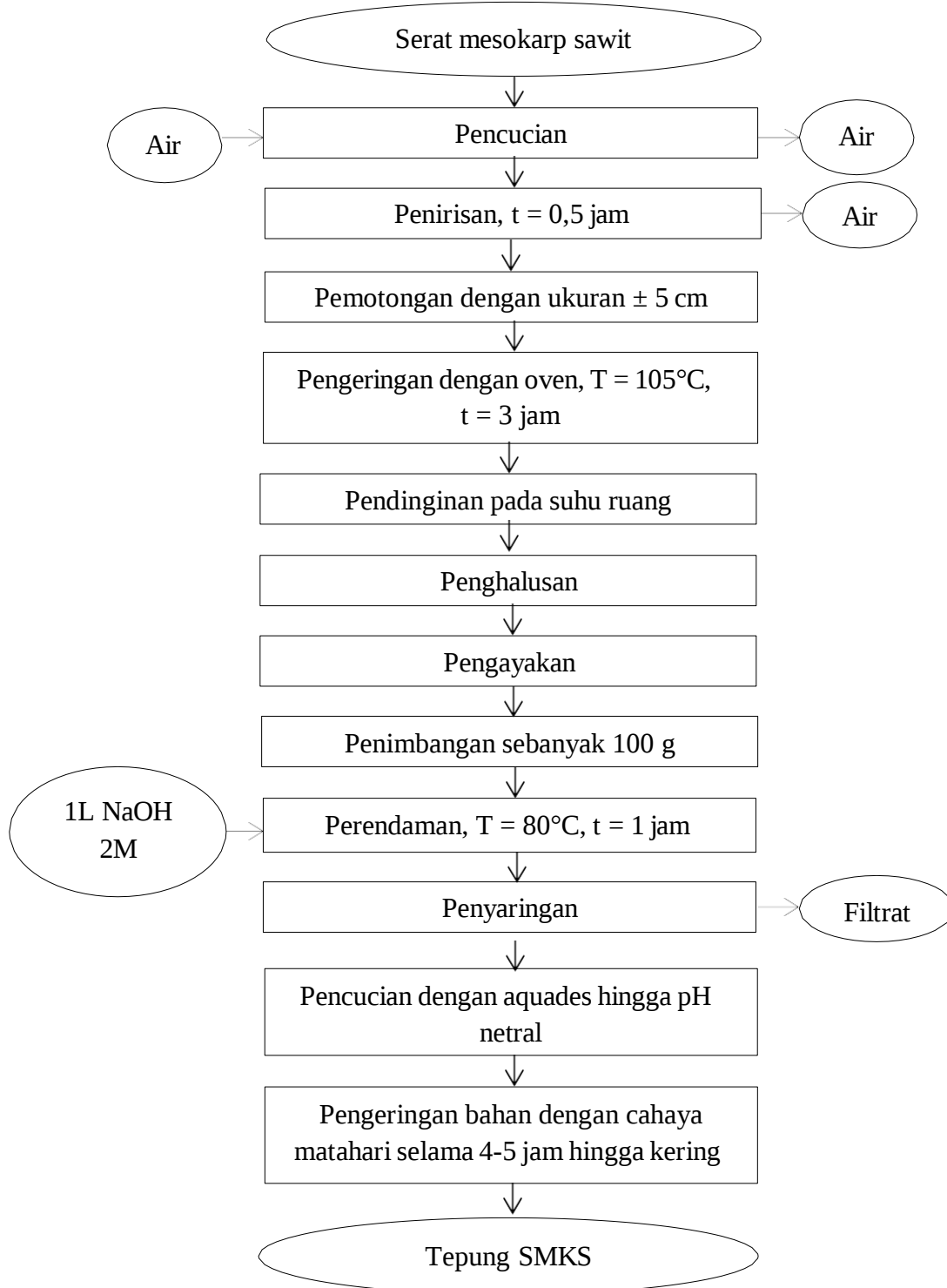
yaitu K0 (0 menit atau perlakuan hidrolisis asam), K1 (5 menit), K2 (10 menit), dan K3 (15 menit). Data dianalisis sidik ragam untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh antar perlakuan dan diuji lanjut dengan Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf 5%.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit, kemudian proses *bleaching* serat mesokarp kelapa sawit, lalu proses hidrolisis asam serat mesokarp kelapa sawit, dan proses sonikasi serat mesokarp kelapa sawit. Hasil proses sonikasi serat mesokarp kelapa sawit kemudian dilakukan pengamatan kadar air, kelarutan, dan analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

3.4.1. Pembuatan Tepung dan Delignifikasi Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)

Pembuatan tepung SMKs ini mengikuti prosedur pada penelitian (Bakar, 2009). SMKs sebanyak 500 g dicuci menggunakan air. Setelah dicuci, SMKs ditiriskan selama 30 menit. Kemudian SMKs dipotong-potong dengan ukuran kurang lebih 5 cm. Selanjutnya, SMKs dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 3 jam. SMKs yang telah kering, dihaluskan menggunakan *grinder* dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh, selanjutnya tepung SMKs ditimbang sebanyak 100 g dan dilakukan tahap delignifikasi yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin menggunakan metode basa dengan cara direndam pada larutan NaOH 2 M sebanyak 1 L selama 1 jam pada suhu 80°C. Selanjutnya SMKs disaring dan dicuci kembali menggunakan aquades hingga pH netral. Setelah itu, SMKs dikeringkan menggunakan cahaya matahari hingga kering sekitar 4-5 jam. Diagram alir pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit disajikan pada Gambar 5.

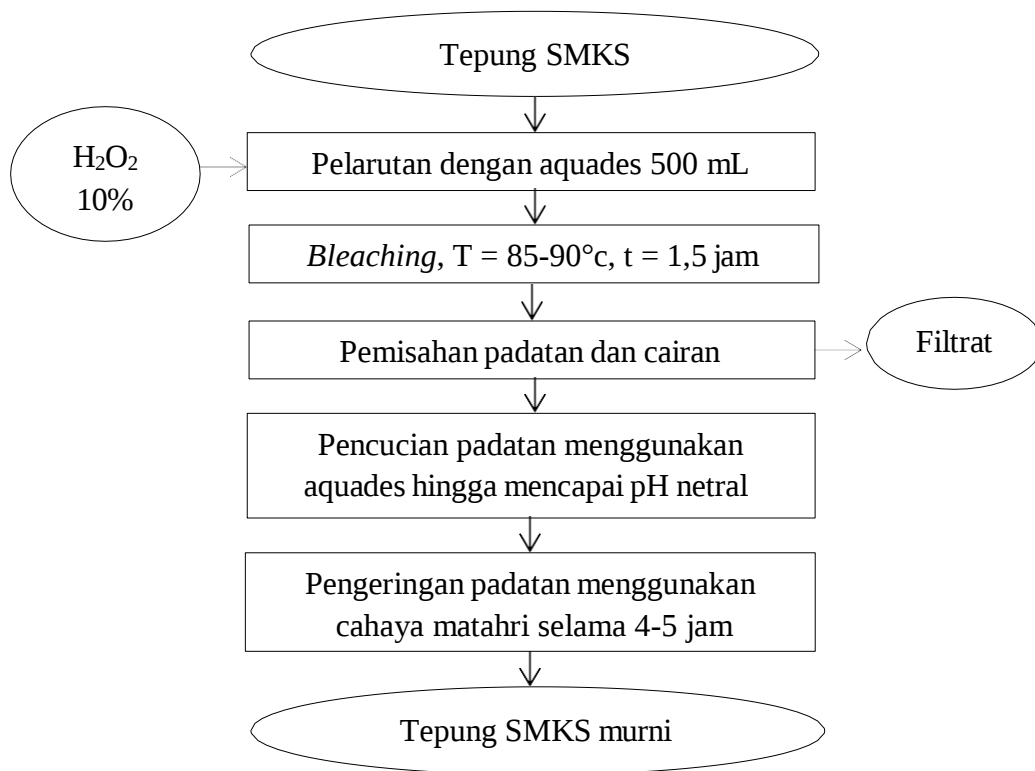


Gambar 5. Diagram alir pembuatan tepung dan delignifikasi serat mesokarp kelapa sawit

Sumber : Bakar (2009) (dimodifikasi).

3.4.2. Bleaching Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)

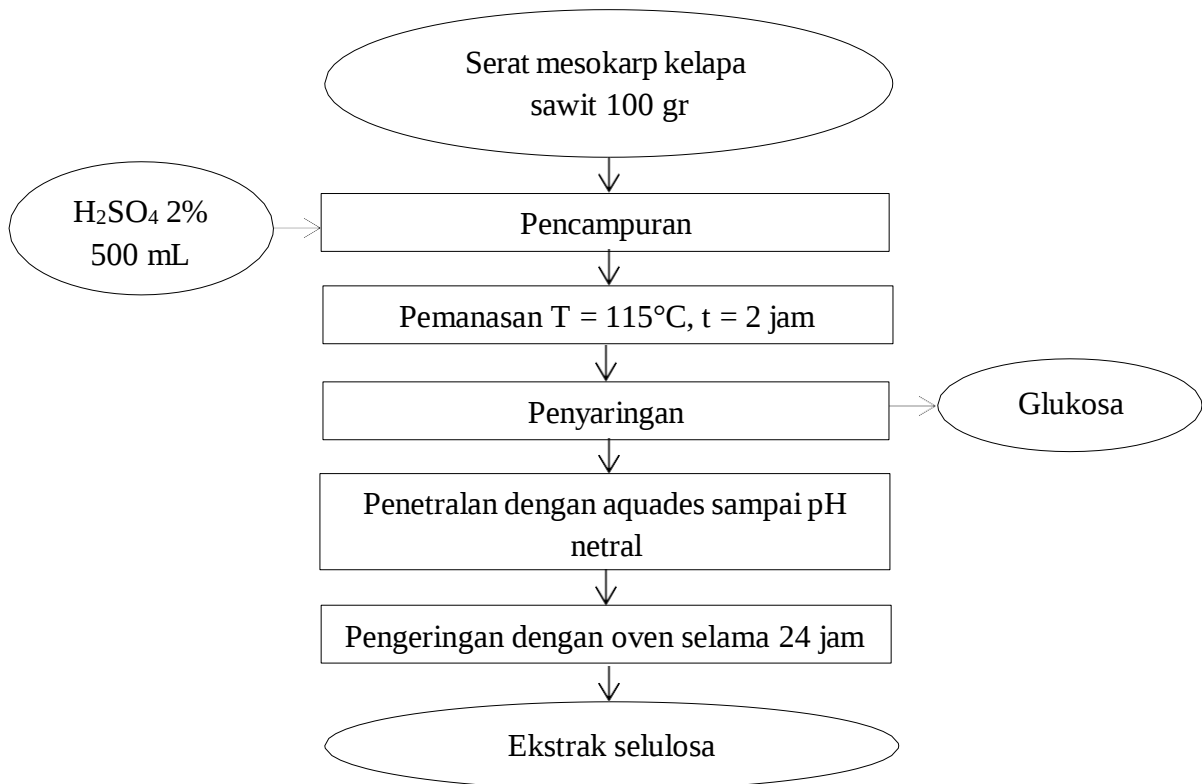
Proses *bleaching* SMKS ini mengacu pada penelitian (Dewanti, 2018). Upaya menghilangkan pigmen dan sisa lignin setelah tahap delignifikasi maka tepung SMKS dilakukan proses lanjutan yaitu proses *bleaching* dengan hidrogen peroksida (H_2O_2). Tepung SMKS dilarutkan dengan larutan H_2O_2 10% (b/v) dalam 500 mL akuades. *Bleaching* dilakukan dengan pemanasan pada suhu 85-90°C selama 1,5 jam. Selulosa yang didapatkan kemudian dicuci hingga pH netral dan dikeringkan menggunakan cahaya matahari hingga kering sekitar 4-5 jam. Selanjutnya, selulosa ditimbang untuk mengetahui berat akhirnya. Diagram alir *bleaching* SMKS disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir *bleaching* tepung mesokarp serat kelapa sawit
Sumber : Dewanti dkk (2018).

3.4.3. Hidrolisis Asam Serat Mesokarp Kelapa Sawit (SMKS)

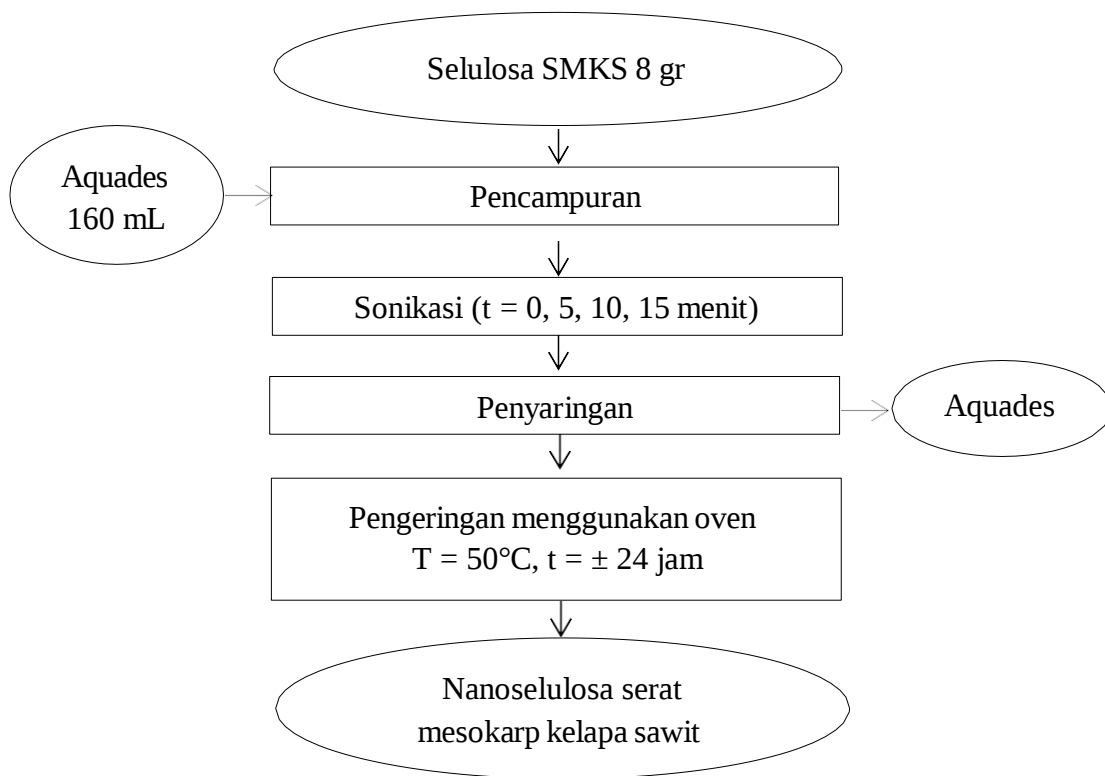
Proses hidrolisis asam ini mengacu pada penelitian Ni'mah dkk (2016). Proses hidrolisis asam berawal dari tepung serat mesokarp kelapa sawit murni ditimbang sebanyak 100 gram dan dicampur dengan H_2SO_4 2% 500 mL kemudian dipanaskan selama 2 jam dengan suhu 115°C . Setelah dipanaskan, serat mesokarp kelapa sawit disaring dan diterangkan dengan aquades sampai pH netral dan dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam sehingga didapatkan ekstrak selulosa. Diagram alir proses hidrolisis asam SMKs disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir proses hidrolisis asam serat mesokarp kelapa sawit
Sumber : Luthfi (2024).

3.4.4. Sonikasi Selulosa Serat Mesokarp Kelapa Sawit

Sonikasi selulosa serat mesokarp kelapa sawit dilakukan dengan berbagai perlakuan waktu yaitu 0, 5, 10 dan 15 menit. Berawal dari sampel yang ditimbang dengan berat 8 gram dan dilakukan pencampuran aquades dengan perbandingan 1 : 20 yaitu sebanyak 160 mL. Sonikator harus dilakukan sterilisasi menggunakan aquades sebelum digunakan. Setelah itu, sampel dimasukkan kedalam alat sonikasi dengan frekuensi 20 kHz dan perlakuan masing-masing waktu. Setelah selesai, sonikator harus di sterilisasi kembali setelah dipakai. Hasil sampel yang telah di sonikasi kemudian di saring untuk diambil ekstrak nanoselulosa nya dan dikeringkan menggunakan oven selama ± 24 jam dengan suhu 50°C . Setelah itu, didapatkan nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit. Diagram alir proses sonikasi selulosa serat mesokarp kelapa sawit disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Sonikasi selulosa serat mesokarp kelapa sawit
Sumber : Isroi dkk (2020).

3.5. Pengamatan

Parameter yang akan diamati pada penelitian nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit ini yaitu pengujian kadar air (SNI ISO 287:2017), dan kelarutan. Kemudian akan dilakukan analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang berfungsi untuk menganalisis morfologi mikrostruktur dan karakterisasi komposisi kimia (Zhou dkk, 2006).

3.5.1. Kadar Air

Pengukuran kadar air (SNI 03-2105-2006). Cawan kosong yang akan digunakan dikeringkan dalam oven selama 2 jam, kemudian didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang. Sampel ditimbang sebanyak 2 g dan kemudian dimasukkan ke dalam cawan. Sampel dipanaskan pada suhu 105°C selama 16 jam. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator selama 30 menit kemudian ditimbang kembali. Persentase kadar air dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat awal sampel (g)} - \text{Berat akhir}}{\text{Berat awal sampel (g)} - \text{Berat cawan kosong}} \times 100\%$$

3.5.2. Kelarutan

Nanoselulosa umumnya tidak larut dalam air dan alkohol secara kimia seperti garam atau gula, namun nanoselulosa dapat terdispersi dalam air dan alkohol dimana nanoselulosa akan terdispersi sebagai partikel koloid. Metode yang digunakan untuk menguji kelarutan nanoselulosa serat mesokarp ini yaitu metode AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*). Nanoselulosa akan ditimbang sebanyak 1 gram dan dilakukan pencampuran dengan aquades hingga 100 ml dan diaduk agar larut. Kemudian, disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan bagian yang tidak larut. Selanjutnya, diukur volume larutan yang dihasilkan dan dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kelarutan} = \frac{\text{Berat sampel yang larut}}{\text{Volume air yang dihasilkan}} \times 100\%$$

3.5.3. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Pengamatan menggunakan mikroskop elektron (SEM) digunakan untuk melihat struktur permukaan nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit dengan pembesaran tinggi dan resolusi yang sangat tajam. SEM bekerja dengan cara menembakkan berkas elektron ke permukaan sampel. Saat elektron mengenai permukaan sampel, terjadi interaksi antara elektron dengan atom-atom di permukaan tersebut, sehingga menghasilkan sinyal berupa elektron sekunder, elektron pantul, atau sinar X. Sinyal ini kemudian ditangkap oleh detektor dan diubah menjadi gambar digital yang menunjukkan bentuk dan struktur permukaan nanoselulosa secara detail (Egerton, 2020). Pada penelitian ini, untuk melihat morfologi nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit digunakan dua perbesaran yang berbeda. Perbesaran yang digunakan adalah perbesaran 100x dan perbesaran 1000x untuk melihat perbedaan antara dua perlakuan yaitu perlakuan hidrolisis asam (tanpa sonikasi) dan perlakuan sonikasi pada nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kadar air terbaik dari nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit adalah pada perlakuan K2 dengan waktu sonikasi 10 menit yang menghasilkan persentase kadar air sebesar 6,15% berdasarkan uji BNT 5% yang berbeda nyata dengan perlakuan K0 dengan waktu sonikasi 0 menit atau perlakuan hidrolisis asam yang menghasilkan persentase kadar air sebesar 4,03%.
2. Perlakuan lama waktu sonikasi pada parameter kelarutan tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap hasil pengamatan dibandingkan dengan perlakuan tanpa sonikasi (K0). Kelarutan terbaik dari nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit adalah pada perlakuan K2 dengan waktu sonikasi 10 menit yang menghasilkan nilai rata-rata 9,09%. Selain itu, perlakuan K0 (hidrolisis asam) menunjukkan perbedaan nyata dengan perlakuan fermentasi (F1 dan F2) yang mengalami penurunan kelarutan.
3. Pengamatan morfologi nanoselulosa serat mesokarp kelapa sawit melalui analisis SEM dengan perbesaran 100x dan 1000x, pada proses sonikasi menghasilkan ukuran yang lebih pendek, tidak beraturan, dan terfragmentasi dibandingkan dengan proses hidrolisis asam (tanpa sonikasi) yang menghasilkan serat dengan ukuran relatif panjang, besar, dan teratur.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan pada saat melakukan proses penyaringan sebisa mungkin serat yang tersaring dapat terambil agar residu yang terbuang tidak banyak. Selain itu, disarankan untuk melakukan uji coba lanjutan pada aplikasi nanoselulosa dalam pembuatan produk tertentu untuk mengetahui performa nanoselulosa secara praktis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K. 2018. *Berbagai metodologi dalam penelitian pendidikan dan manajemen*. CV. Gunadarma Ilmu. Gowa. 12 (1) : 327-378.
- Andi, H., Norsamsi, P., dan Novy, P. P. 2014. Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit. *Konversi*. 3 (2) : 20-29.
- AOAC International. 2005. *Offiial Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. 18 (1) : 54-58
- Aripin , A. R., Ibrahim, N. A., dan Zainuddin, N. 2015. Persiapan nanokristal selulosa dari serat mesokarp kelapa sawit melalui hidrolisis asam. *Jurnal Teknologi*. 77 (28) : 47-51.
- Ayyad, O, D. 2011. Novel strategies the synthesis of metal nanoparticle and nanostructure. *Thesis*. Universitas de Barcelona. Barcelona. 1 (1) : 21-58.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2018*. Indonesia Oil Palm Statistic. 1 (1) : 3-18.
- Badan Standarisasi Nasional. 2006. *Papan Partikel -Spesifikasi (SNI 03-2105-2006)*. Jakarta : BSN. 1 (1) : 10-19.
- Badan Standarisasi Nasional. 2010. SNI ISO 2164:2010. *Selulosa – Penentuan kandungan zat yang larut dalam air panas*. Jakarta : BSN. 1 (1) : 6-24.
- Bakar, A. 2009. Penentuan kadar arsen dan besi dalam tepung serat sawit yang telah dipucatkan menggunakan HCIO₄ dan arang dari limbah pabrik kelapa sawit. *Journal of The Indonesian Society of Integrated Chemistry*. 1 (1): 27-33.
- Buchanan, B., Gruissem, W., dan Jones, R. L. 2021. Selulosa sebagai Komponen Utama Pembentuk Dinding Sel Tanaman. *Carbohydrate Polymers Journal*. 252 : 117-146.

- Bondancia, T. J., Cerqueira, D. A., Souza, F. V., dan Meireles, S. 2017. Production of cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse and their characterization. *Carbohydrate Polymers*. 157 (1) : 76-83.
- Dewanti, D. P. 2018. Potensi selulosa dari limbah tandan kosong kelapa sawit untuk bahan baku bioplastik ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19 (1) : 45-47.
- Edwin, S., Yassi, N. A., Agnesia, P. 2022. Studi Awal Penggunaan Nanoselulosa Sebagai Bahan Baku Pembuatan Kertas. *Jurnal Teknologi Agro Industri*. 9 (2) : 21-29.
- Egerton, R. F. 2020. *Physical principles of electron microscopy*. Springer. New York. 1 (2) 578-580.
- Endang, W., Ari, M. 2020. Optimasi pembuatan nanoselulosa dari rumput alang-alang. *Jurnal fluida*. 13 (2) : 59-64.
- Fika, A. 2016. Studi pembuatan nanokristal selulosa dari selulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melalui proses sonikasi-hidrotermal. *Thesis*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 35-49.
- Fitriani, D., Rahayu, W. P., dan Syah, D. 2023. Pengaruh kombinasi fermentasi dan hidrolisis terhadap peningkatan kelarutan protein pada bahan pangan lokal. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 18(1) : 45-52.
- Fengel, D. dan Wegener, G. 1983. *Kayu : Ultrastruktur, Reaksi Reaksi*, Terjemahan oleh Hardjono Sastrohamidjojo, Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 1 (1) : 269-271.
- Ginanjari, T. 2019. Analisa kebutuhan bahan bakar boiler dengan melakukan uji kalori pada pabrik kelapa sawit PT. Sentosa Prima Agro. *Jurnal Mahasiswa Prodi Teknik Mesin*. 1 (1) : 1-6.
- Gopi, S., Balakrishnan, P., Chandradhara, D., Poovathankandy, D. dan Thomas, S. 2019. General Scenarios of Cellulose and Its Use in The Biomedical Field. *Materials Today Chemistry*. 13 : 59-78.
- Gunam, I. B., Buda, I. M., dan Guna. 2010. Pengaruh perlakuan delignifikasi dengan larutan NaOH dan konsentrasi substrat jerami padi terhadap produksi enzim selulas dari *Aspergillus niger*. *Jurnal Biologi*. 14 (1) : 55-61.
- Habibi, Y., Lucia, L. A., dan Rojas, O. J. 2010. Cellulose nanocrystals : Chemistry, self-assembly, and applications. *Chemical Reviews*. 110 (6) : 3479-3500.

- Haryanto, B. 2014. *Perkembangan penelitian nutrisi ruminansia*. Balai Penelitian Ternak. Bogor. 1 (2) : 15-23.
- Hooshmand, S., Aitomaki, Y., Skrifvars, M., Mathew, A., dan Oksman, K. 2014. All-Cellulose Nanocomposite Fibers Produced by Melt Spinning Cellulose Acetate Butyrate and Cellulose Nanocrystals. *Cellulose Journal*. 21 (4) : 2665-2687.
- Hospodavova, V., Singovszka, E., dan Stevulova, N. 2018. *Characterization of cellulose fibers from agricultural by-products for their further processing*. Procedia Engineering. 200 : 469-476.
- Ilyas, R., Sapuan, A., dan Ibrahim, R. 2019. Nanocellulose : The Next Super Versatile Material For The World. *Cellulose-Reinforced Nanofibre Composite : Production, Properties and Applications*. Hal. 261-298.
- Isroi, Sudiarmanto, dan Syamsu, K. 2012. Delignifikasi dan karakterisasi pulp serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku kertas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. 5 (1) : 37-44.
- Isroi, Ishola, M., Milati, R., Syamsiah, S., dan Cahyanto, M. 2020. Isolation and characterization of nanocellulose from oil palm empty fruit bunch. *IOP Conf. Series : Earth dan Environmental Science*. 443 (1) : 12-20.
- Johar, N., Ahmad, I., dan Dufresne, A. 2012. Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk. *Industrial Crops and Products*. 37 (1) : 93-99.
- Jonoobi, M., Oladi, R., Oksman, K., dan Zahraei, M. 2015. Different preparation methods and properties of nanostructured cellulose from various natural resources and residue : a review. *Cellulose*. 22 : 935-969.
- Kargarzadeh, H., Mariano, M., Thomas, S., dan Defresne, A. 2018. Advances in cellulose nanomaterials. *Cellulose*. 25 : 2151-2189.
- Lailan, N., Angga, A., Muhammad, Z. 2015. Pembuatan bioetanol dari limbah serat kelapa sawit melalui proses pretreatmen, hidrolisis asam dan fermentasi menggunakan ragi tape. *Info Teknik*. 16 (2) : 227-242.
- Li, W., Liu, S., dan Yue, J. 2012. Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly (vinyl alcohol) composites. *Ultrasonics Sonochemistry*. (19) : 479-485.

- Lin, K., Enomae, T., dan Chang, F. 2019. Cellulose Nanocrystal Isolation from Hardwood Pulp Using Various Hydrolysis Condition. *Molecules*. 24 (3724) : 1-15.
- Liu, F., Wang, D., dan Sun, C. 2018. Effect of ultrasound on the physicochemical and functional properties of walnut protein. *Food Chemistry*. 246 : 50-56.
- Luthfi, H. 2024. Potensi prebiotik selulosa serat mesokarp kelapa sawit terhadap pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dan *Eschericia coli*. *Skripsi*. Universitas Lampung. 32-24.
- Mathew, A. P., Oksman, K., Pierron, D., dan Harmand, M. 2012. Fibrous Cellulose Nanocomposite Scaffolds Prepared by Partial Dissolution for Potential Use as Ligament or Tendon Substitutes. *Carbohydrate Polymers*. 87 : 2291-2298.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., dan Elander, R. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*. 96 : 673-686.
- Narjes, H., Mitra, B, dan Reza, J. 2012. Extraction of cellulose nanocrystals from kenaf usic acid hydrolysis and sonication. *Carbohydrate Polymers*. 87 (2) : 1026-1030.
- Ni'mah, L., Ghofur, A, dan Samiawi, A. K. 2016. Pemanfaatan serat kelapa sawit untuk pembuatan gasohol (premium-bioetanol) dengan pre-treatmen lignocelulotic material dan fermentasi dengan menggunakan ragi tape dan npk. *Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*. Universitas Lambung Mangkurat. 1 (1) : 12-23.
- Ningtyas, K.R., Muslihudin, M., dan Sari, I. N. 2020. Sintesis nanoselulosa dari limbah hasil pertanian menggunakan variasi konsentrasi asam. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 20 (2).142-147.
- Pranoto, Y., Rochima, E., dan Lestari, P. 2020. Peran mikroorganisme dalam peningkatan sifat fungsional hasil fermentasi. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. 13 (2) : 101-109.
- Sari, D. P., Lestari, P., dan Andriani, R. 2021. Pengaruh lama fermentasi terhadap karakteristik fisikokimia tepung singkong termodifikasi. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. 14 (2) : 95-103.
- Setiawan, H., Yuliani, S., dan Ramadhan, R. 2019. Modifikasi fermentasi untuk peningkatan kelarutan protein dan pati dari umbi lokal. *Jurnal Pangan dan Gizi*. 10 (1) : 78-85.

- Silalahi, R., dan Suprijanto, B. 2017. *Pemanfaatan limbah kelapa sawit untuk energi alternatif*. Deepublish. Yogyakarta. 1 (2) : 15-23.
- Siqueira, G., Bras, J., dan Dufresne, A. 2010. Cellulosic bionanocomposites : A review of preparation, properties and applications. *Polymers*. 2 (4) : 728-765.
- Siro, I., dan Plackett, D. 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials. A Review. *Celullose*. 17 : 459-494.
- Sun, R., dan Tomkinson, J. 2022. Comparative study of lignins isolated by alkali and ultrasound-assisted alkali treatments from wheat straw. *Ultrasonic Sonochemistry*. 9 (2) : 85-93.
- Tardos, T. F. 2005. *Applied surfactants : Surfactants in nanoemulsion*. Weinheim : Wiley-VCH. Hal. 285-286.
- Tischer, P. C., Sierakowski, M. R., dan Westfahl, H. 2020. Nanostructural reorganization of cellulose microfibrils by ultrasonication. *Cellulose*. 17 (3) : 595-605.
- Trache, D., Tarchoun, A. F., Derradji, M., dan Hamidon, T. 2020. Nanocellulose : from fundamentals to advanced applications. *Frontiers in Chemistry*. 8 (1) : 392-396.
- Wahyuni, E., Putri, R., dan Nuraini, A. 2022. Aktivitas enzim amilase dan pengaruhnya terhadap kelarutan bahan hasil fermentasi. *Jurnal Bioteknologi Tropis*. 7 (1) : 59-67.
- Yulia, G., Ratnaningsih, E. S., dan Fitri, K. 2021. Aplikasi enkapsulasi selulosa nanopartikel pada nanomedicine. *Jurnal Chemica Isola*. 1 (2) : 58-64.
- Zhou, W., Apkarian, R. P., Wang, Z., dan Joy, D. 2006. Fundamentals of Scanning Electron Microscopy (SEM). *Springer*. New York. 1-2.