



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**FIBRILASI SERAT BATANG PISANG (*MUSA PARADISIACA*)
DENGAN TEKNIK PUTARAN TINGGI**

PROYEK AKHIR

Thomas Hermawan

40040221650047

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2025



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**FIBRILASI SERAT BATANG PISANG (*MUSA PARADISIACA*)
DENGAN TEKNIK PUTARAN TINGGI**

PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik**

THOMAS HERMAWAN

40040221650047

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2025

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Proyek Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Thomas Hermawan

NIM : 40040221650047

Tanda Tangan : 

Tanggal : 18 November 2025

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI

Jalan Prof. Sudarto, S.H Tembalang Semarang
Kode Pos 50275
Telp/Fax (024) 7471379
Laman www.vokasi.undip.ac.id
e-mail Vokasi@live.undip.ac.id

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 439/PA/RPM/III/2025

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

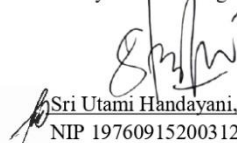
Nama : Thomas Hermawan
NIM : 40040221650047
Judul Proyek Akhir : Fibrilasi Serat Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*)
dengan Teknik Putaran Tinggi
Dosen Pembimbing : Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T.
NIP : 197110301998021001

Isi Tugas:

1. Menyiapkan serat tunggal batang pisang skala makro
2. Melakukan perlakuan serat batang pisang dengan perlakuan fisik, kimia dan mekanik
3. Melaksnakan fibrilasi serat batang pisang ke skala nano dengan teknik putaran tinggi
4. Melakukan pengujian serat berukuran nano dengan pengujian FTIR, pengamatan SEM, dan pengujian XRD
5. Menghasilkan luaran manuskrip publikasi.
6. Menyusun laporan

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 12 Februari 2025
Ketua Prodi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik


Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP 197609152003122001

Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PENGESAHAN

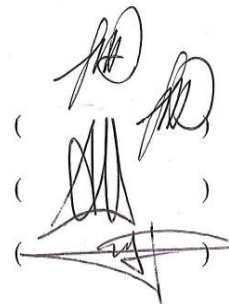
Proyek Akhir ini diajukan oleh:

NAMA : Thomas Hermawan
NIM : 40040221650047
Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Proyek Akhir : Fibrilasi Serat Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*)
Dengan Teknik Putaran Tinggi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T.
Penguji I : Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T.
Penguji II : Alaya Fadlu HM, S.T., M.Eng.
Penguji III : Drs. Ireng Sigit Atmanto, M.Kes.



Semarang, 18 November 2025

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik



Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP. 197609152003122001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Thomas Hermawan
NIM : 40040221650047
Jurusan/Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Proyek Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

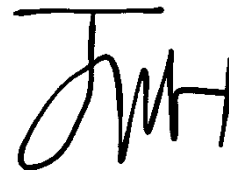
“Fibrilasi Serat Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*) Dengan Teknik Putaran Tinggi”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal :

Yang menyatakan



Thomas Hermawan

MOTTO

Jika ada hal lain yang sangat menakjubkan di dunia ini selain cinta sudah pasti sepakbola.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan penyertaan-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir dengan judul “Fibrilasi Serat Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*) Dengan Teknik Putaran Tinggi.” dengan baik.

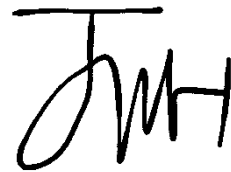
Penyusunan laporan proyek akhir ini tentunya tidak terlepas dari bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Budiono, M.Si selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Sri Utami Handayani S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang, dan selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing selama penyusunan Tugas Akhir.
3. Dr. Seno Darmanto S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing penulis dalam pelaksanaan penelitian dan laporan proyek akhir.
4. Seluruh dosen dan staff pengajar yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
5. Kedua orang tua saya, Make dan Pake yang selalu memberikan dukungan baik materi maupun non materi serta keluarga yang telah senantiasa memberikan doa dan semangat serta dukungan.
6. Teman-teman angkatan 2021 yang selalu mau diajak diskusi dan selalu memberikan motivasi kepada saya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan ilmu dalam penyusunan laporan ini, maka segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Penulis berharap, semoga semua pihak yang telah memberikan bantuan, diberi balasan kebajikan. Aamiin. Semoga laporan ini bisa bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan para pembaca secara umum, baik dari kalangan akademis maupun yang lain.

Semarang, 18 November 2025

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized letters 'TH' followed by a series of loops and a final vertical stroke.

Thomas Hermawan

ABSTRAKSI

Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan serat alam sebagai penguat material komposit yang ramah lingkungan dan ekonomis, seiring dengan meningkatnya kebutuhan alternatif pengganti serat sintetis. Salah satu sumber serat potensial adalah limbah batang pisang (*Musa paradisiaca*) yang melimpah namun pemanfaatannya masih minim, padahal memiliki kandungan selulosa tinggi mencapai 83,3%. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan teknik *high speed stirring* untuk memfibrilasi serat batang pisang guna memaksimalkan potensinya. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *nanofiber* dari serat batang pisang dan mengetahui pengaruh variasi perlakuan capaian nanofiber serat menggunakan pengujian SEM. Metode yang dilakukan meliputi tahap awal yang melibatkan penyisiran serat (*combing*) menggunakan sikat baja, dilanjutkan dengan perlakuan kimia (alkalisasi) menggunakan larutan NaOH 2% selama 6 jam untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa. Serat kemudian melalui proses *steam explosion* dengan variasi tekanan 2 bar dan 2,5 bar selama 60 menit. Tahap akhir adalah fibrilasi mekanik menggunakan mesin *high-speed stirring* dengan kecepatan 10.000 rpm selama 90 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fibrilasi bertahap berhasil mengubah serat batang pisang menjadi *nanofiber*. Perlakuan *steaming* pada tekanan 2 bar menghasilkan diameter serat yang lebih kecil, berkisar antara 30-60 nm, sedangkan tekanan 2,5 bar menghasilkan diameter berkisar antara 53-60 nm. Kesimpulannya, yaitu Variasi tekanan pada perlakuan *steaming* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap dimensi akhir nanofiber yang dihasilkan.

Kata kunci: Nanofiber, Batang Pisang, SEM

ABSTRACT

*Indonesia has great potential in utilizing natural fibers as environmentally friendly and economical reinforcements for composite materials, in line with the increasing need for alternatives to synthetic fibers. One potential source of fiber is banana trunk waste (*Musa paradisiaca*), which is abundant but still underutilized, even though it has a high cellulose content of 83.3%. Therefore, this study applies the high-speed stirring technique to fibrillate banana stem fibers in order to maximize their potential. This study aims to produce nanofibers from banana stem fibers and determine the effect of treatment variations on nanofiber yield using SEM testing. The methods used included an initial stage involving combing the fibers using a steel brush, followed by chemical treatment (alkalization) using a 2% NaOH solution for 6 hours to remove lignin and hemicellulose. The fibers then underwent a steam explosion process with variations in pressure of 2 bar and 2,5 bar bar for 60 minutes. The final stage was mechanical fibrillation using a high-speed stirring machine at a speed of 10,000 rpm for 90 minutes. The results showed that the stepwise fibrillation process successfully converted banana stem fibers into nanofibers. Steaming treatment at a pressure of 2 bar produced smaller fiber diameters, ranging from 30-60 nm, while a pressure of 2,5 bar bar produced diameters ranging from 53-60 nm. In conclusion, pressure variations in the steaming treatment did not have a significant effect on the final dimensions of the nanofibers produced.*

Keywords: Nanofiber, Banana Pseudostem, SEM

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
SURAT TUGAS PROYEK AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAKSI.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Luaran.....	4
1.7 Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5

2.1 Serat Batang Pisang.....	5
2.2 Fibrilasi Serat Alam Skala Nanometer	6
2.3 Aplikasi Perlakuan Fisik Awal untuk Proses Fibrilasi.....	8
2.4 Aplikasi Perlakuan Kimia untuk Proses Fibrilasi	8
2.5 Perlakuan Alkali	9
2.6 Kandungan Kimia Serat Alam.....	10
2.7 Fibrilasi Selulosa	12
2.8 Perlakuan Fisik untuk Fibrilasi Serat Alam	13
2.9 Perlakuan Kimia untuk Fibrilasi Serat Alam	14
2.10 Perlakuan Mekanik untuk Fibrilasi Serat Alam.....	15
2.11 <i>Scanning Electromagnetic Microscope (SEM)</i>	15
2.12 Komposit	16
BAB III METODE PELAKSANAAN.....	18
3.1 Diagram Alir Penelitian	18
3.2 Perlakuan Serat.....	19
3.2.1 Serat Batang Pisang.....	20
3.2.2 Karakteristik Serat Batang Pisang.....	21
3.3 Perlakuan Bahan.....	21
3.4 Perlakuan Fisik.....	23
3.4.1 Penyisiran Serat.....	23
3.4.2 Alat-Alat Yang Digunakan Dalam Perlakuan Fisik.....	24

3.4.3	Perlakuan Kimia.....	25
3.4.4	Perlakuan Mekanik.....	32
3.5	<i>Steam Explosion</i>	33
3.5.1	Alat dan Bahan.....	34
3.5.2	Spesifikasi Mesin <i>Steam Explosion</i>	35
3.5.3	Mekanisme Prinsip Ledakan Uap	36
3.6	<i>High Speed Stirring</i>	38
3.6.1	Spesifikasi Mesin <i>High Speed Stirring</i>	39
3.6.2	Prosedur Penggunaan Mesin <i>High Speed Stirring</i>	39
3.6.3	Pemeriksaan Fisik Peralatan dan Komponen.....	41
3.7	Perhitungan Mesin <i>High Speed Stirring</i> saat beroperasi.....	45
3.8	Karakterisasi Pengujian.....	46
3.8.1	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Hasil dan Pembahasan Perlakuan Penyisiran.....	50
4.1.1	Karakteristik Serat Setelah Dilakukan Penyisiran	50
4.1.2	Analisa Hasil Perlakuan Penyisiran	51
4.2	Hasil dan Pembahasan Perlakuan Alkali.....	52
4.2.1	Karakteristik Serat Setelah Perlakuan Alkali.....	52
4.2.2	Analisa Hasil Perlakuan Alkali	53
4.3	Hasil dan Pembahasan Perlakuan <i>Steaming</i> Serat Batang Pisang.....	53
4.3.1	Hasil Serat <i>Steam Explosion</i> pada Tekanan 2 Bar	53
4.3.2	Hasil Serat <i>Steam Explosion</i> pada Tekanan 2,5 Bar	54

4.3.3	Efek Tekanan 2 bar	55
4.3.4	Efek Tekanan 2,5 bar	55
4.4	Hasil dan Pembahasan Perlakuan <i>High Speed Stirring</i>	56
4.4.1	Karakterisasi Visual Setelah Perlakuan <i>High Speed Stirring</i> Variasi 2 bar.....	56
4.4.2	Karakterisasi Visual Setelah Perlakuan <i>High Speed Stirring</i> Variasi 2,5 bar.....	57
4.4.3	Pengaruh Perlakuan Awal (<i>Steam</i>) terhadap Dispersi Akhir	58
4.4.4	Hasil Proses Penyaringan.....	59
4.4.5	Pengamatan Hasil Penyaringan dan Ukuran Partikel.....	60
4.5	Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 2 bar	61
4.6	Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 2,5 bar	62
4.7	Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 9500 RPM dengan variasi <i>steaming</i> 2 bar	63
4.8	Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 10500 RPM dengan variasi <i>steaming</i> 2 bar	65
4.9	Perhitungan Pada Mesin <i>High Speed Stirring</i>	66
4.8.1	Perhitungan Torsi.....	66
4.8.2	Tekanan Yang Dihasilkan Mata Pisau 8 Sudu.....	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		68
5.1	Kesimpulan.....	68

5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....		70
LAMPIRAN.....		73
	Lampiran Perlakuan Penyisiran dan Kimia.....	73
	Lampiran Perlakuan <i>Steaming</i>	73
	Lampiran Perlakuan <i>High Speed Stirring</i>	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Struktur Selulosa.....	10
Gambar 3. 1 Diagram alir	19
Gambar 3. 2. Serat Batang Pisang	20
Gambar 3. 3 Serat yang belum disisir.....	24
Gambar 3. 4. Sikat baja	25
Gambar 3. 5 NaOH.....	26
Gambar 3. 6 Menimbang serat	27
Gambar 3. 7 Menimbang NaOH.....	27
Gambar 3. 8 Perendaman serat	28
Gambar 3. 9 Serat setelah kering.....	29
Gambar 3. 10 Serat yang akan dimasukkan ke wadah dibungkus dengan kertas saring	30
Gambar 3. 11 Serat yang dimasukkan ke wadah.....	30
Gambar 3. 12 Proses memasukkan serat	31
Gambar 3. 13 Capaian tekanan.....	32
Gambar 3. 14 Hasil serat setelah <i>steaming</i>	32
Gambar 3. 15 <i>Steam Explosion</i>	34
Gambar 3. 16 Boiler	34
Gambar 3. 17 Wadah spesimen silindris dengan selimut <i>wire mesh</i>	34
Gambar 3. 18 Persiapan serat batang pisang yang dibungkus kertas saring untuk perlakuan <i>steaming</i>	35
Gambar 3. 19 Tang	35
Gambar 3. 20 Proses pembentukan uap bertekanan	36

Gambar 3. 21 Holding time	37
Gambar 3. 22 Mesin <i>high speed stirring</i>	39
Gambar 3. 23 Serat masuk tabung.....	40
Gambar 3. 24 Mesin high speed stirring	40
Gambar 3. 25 <i>Inverter</i>	41
Gambar 3. 26 <i>MCB</i>	42
Gambar 3. 27 Motor listrik DC	43
Gambar 3. 28 Rangka, tabung, dan poros.....	44
Gambar 3. 29 Mata pisau.....	45
Gambar 3. 30 Serat yang diuji SEM.....	47
Gambar 3. 31 Prinsip kerja SEM.....	48
Gambar 4. 1 Serat yang belum dilakukan penyisiran (a), serat yang sudah dilakukan penyisiran (b)	50
Gambar 4. 2 Serat yang sedang direndam NaOH (a), serat setelah dilakukan perlakuan alkali dan dikeringkan (b)	52
Gambar 4. 3 Serat steaming variasi 2 bar	54
Gambar 4. 4 Serat steaming variasi 2,5 bar	55
Gambar 4. 5 Spesimen setelah perlakuan putaran tinggi pada perlakuan 2 bar ..	56
Gambar 4. 6 Spesimen setelah perlakuan putaran tinggi pada perlakuan 2,5 bar	57
Gambar 4. 7 Penyaringan serat variasi 2 bar (a), Penyaringan serat variasi 2,5 bar (b).....	59
Gambar 4. 8 Serat yang sudah dikeringkan variasi 2 bar (a), Serat yang sudah dikeringkan variasi 2,5 bar (b)	61

Gambar 4. 9 Hasil uji SEM variasi 2 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)	62
Gambar 4. 10 Hasil uji SEM variasi 2,5 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)	63
Gambar 4. 11 Hasil uji SEM variasi putaran 9500 dengan steaming 2 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)	64
Gambar 4. 12 Hasil SEM variasi putaran 10500 dengan steaming 2 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)	65

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi mesin <i>Steam Explosion</i>	38
Tabel 3. 2 Spesifikasi mesin <i>high speed stirring</i>	40

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Pertama Kali Muncul
		Halaman
Dporos	Diameter poros (m)	64
Dpisau	Diameter pisau (m)	64
l	Panjang poros (m)	64
t	Tinggi tabung (m)	64
r	Jari-jari (m)	64
Ac	Luas penampang pisau (m²)	66
V	Volume (m³)	64
ρ	Massa jenis (kg/m³)	66
Np	Putaran per menit (RPM)	64
ω	Kecepatan sudut (rad/s)	64
v	Kecepatan linier (m/s)	66
P	Daya (Watt)	64
T	Torsi (Nm)	64
p	Tekanan dinamis (Pa)	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masa depan serat alam Indonesia sebagai bahan baku aneka industri cukup baik dan prospektif untuk memenuhi kebutuhan serat, mengurangi impor, dan meningkatkan pemanfaatan. Indonesia dengan keanekaragaman hayatinya yang luas, memiliki potensi besar untuk mengeksplorasi pemanfaatan serat alam sebagai penguat material komposit. teknologi material komposit menjadi berkembang digunakan pada beberapa industri, seperti pada industri otomotif, penerbangan, kelautan, dan konstruksi. Komposit merupakan material yang terbuat dari pencampuran dua atau lebih material yang mempunyai sifat mekanik lebih kuat dari material dasarnya (Hastuti et al., 2021).

Serat alam menawarkan sejumlah keunggulan, termasuk biaya yang relatif lebih murah dan sifat yang ramah lingkungan. Material ini mudah diperbarui dibandingkan dengan serat sintetis. Selain itu, serat alam tahan terhadap korosi, mudah dan aman dalam proses pembuatannya (Huzni et al., 2022).

Tanaman penghasil serat dapat ditanam kembali sehingga meminimalkan eksploitasi sumber daya alam yang tidak terbarukan. Selain itu, proses produksi serat alam umumnya menghasilkan limbah yang lebih sedikit dan lebih mudah terurai secara alami sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Pada tingkat global, serat alam terus mengalami peningkatan permintaan seiring dengan kesadaran yang lebih besar tentang keberlanjutan dan dampak negatif penggunaan bahan sintetis. Menurut laporan *Global Fiber Consumption and Market Trends* (2024), konsumsi serat alami di sektor tekstil diperkirakan akan

tumbuh sebesar 8% per tahun selama lima tahun ke depan, terutama didorong oleh permintaan untuk bahan baku ramah lingkungan.

Contoh serat yang dapat digunakan dalam fibrilasi adalah serat batang pisang. Pisang merupakan tanaman yang mudah ditemukan di iklim tropis terkhusus di Indonesia. Batang pisang merupakan salah satu limbah (buangan) dari perkebunan pisang dapat juga dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pulp, karena mengandung selulosa. Hampir semua tumbuhan yang mengandung selulosa dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pulp. Batang pisang memiliki kandungan selulosa sebesar 83,3 % dan lignin sebesar 2.97 % (Bahri, 2015).

High speed stirring terdiri dari beberapa komponen, yaitu; tabung, sudu pengaduk, *spindle*, *inverter*, rangka dan dudukan (*spacer*). Alat pengaduk ini pada prinsip kerjanya mempunyai fungsi sama dengan pengaduk megnetik untuk daya rendah. Fluida dan serat yang berada pada tabung tangki akan dicampur dan dihaluskan oleh putaran mata pisau untuk mencapai serat yang fibrilasi. Serat yang telah difibrilasi akan diuji menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menggambarkan bentuk permukaan dari sampel yang dianalisis. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan potensi serat batang pisang yang tinggi selulosa, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terkait fibrilasi serat batang pisang

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penulisan laporan tugas akhir yang berjudul “Fibrilasi Serat Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*) dengan Teknik Putaran Tinggi”, terdapat beberapa rumusan masalah, antara lain:

1. Bagaimana cara membuat nanofiber dari serat batang pisang dengan teknik putaran tinggi?

2. Bagaimana pengaruh variasi perlakuan pada hasil serat batang pisang menggunakan pengujian SEM ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan laporan tugas akhir yang berjudul “Fibrilasi Serat Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*) dengan Teknik Putaran Tinggi”, penulis menentukan batasan-batasan masalah, antara lain:

1. Proses pembuatan serat hanya menggunakan tiga tahap, yaitu perlakuan fisik (penyisiran dan *steaming*), perlakuan kimia, dan putaran tinggi (perlakuan mekanik).
2. Serat hasil proses hanya diuji dengan SEM untuk melihat bentuk dan ukurannya.
3. Penelitian ini hanya fokus membuktikan apakah ukuran serat berhasil menjadi nano setelah diproses.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir dengan Judul “Fibrilasi Serat Batang Pisang (*Musa Paradisiaca*) dengan Teknik Putaran Tinggi”, antara lain:

1. Membuat serat batang pisang berukuran nanofiber.
2. Mengetahui pengaruh variasi perlakuan pada hasil serat batang pisang berukuran nano dengan pengamatan SEM.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui seberapa baik serat batang pisang menghasilkan ukuran nano
2. Mengetahui komposisi pada serat batang pisang.

3. Mengetahui seberapa baik hasil serat batang pisang berukuran nano setelah melewati perlakuan fisik, kimia, dan mekanik

1.6 Luaran

Luaran yang diperoleh dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Laporan Tugas Akhir
2. Hasil Pengujian
3. HKI/Paten
4. Draft Paper

1.7 Sistematika Penulisan Laporan

Dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini, sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, Manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini menguraikan dasar teori tentang fibrilasi serat batang pisang untuk komposit beserta landasan teori dari hasil pengujian material komposit yang telah dibuat.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini memuat deskripsi data, tahap pengumpulan data, serta peralatan dan bahan penelitian pembuatan serat dari berukuran makro sampai berukuran nano

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Batang Pisang

Batang pisang (*Musa paradisiaca*) adalah salah satu bagian dari tanaman pisang yang kurang dimanfaatkan oleh masyarakat. Umumnya batang pisang dibuang dan dibakar yang menyebabkan penumpukan sampah. Pentingnya pengelolaan sampah dilakukan untuk mengurangi jumlah sampah dan mengurangi proses pembakaran sampah. Pengelolaan sampah merupakan salah satu kegiatan yang dilakukan dengan cara pengumpulan, pengangkutan, dan pemrosesan daur ulang sampah (Purwandari dkk, 2018). Pohon pisang yang sudah berbuah akan segera mati dan biasanya akan didiamkan hingga menjadi pupuk sehingga bagian-bagian pohon pisang, seperti daun, jantung pisang, dan khususnya batang pisang kurang dimanfaatkan.

Batang pisang sebagai bahan baku serat telah lama digunakan, tetapi pengolahan yang tepat untuk memperoleh serat yang baik masih banyak dilakukan penelitiannya. Setiap pohon pisang mempunyai karakteristik serat yang berbeda sehingga perlu pengolahan yang tepat. Faktor spesies, varietas, dan umur mempengaruhi karakteristik serat batang pisang (Asroni dan Handono, 2018).

Batang pisang memiliki jaringan selular dengan pori-pori yang saling berkaitan sehingga ketika dilakukan proses pengeringan akan menjadi padat. Batang pisang merupakan tanaman dengan daya simpan lama, ditemukan di banyak tempat sebagai limbah pertanian, dan biaya yang dikeluarkan cukup rendah dalam perolehan bahan maupun penanganan bahan yang dilakukan. Bagian luar batang biasanya lebih tua, lebih keras, dan lebih tebal sehingga cenderung mengandung

serat yang lebih kasar dan lebih panjang dengan kadar selulosa yang lebih tinggi. Batang pisang memiliki kandungan α selulosa sebesar 83,3 % dan lignin sebesar 2,97 % (Bahri, 2015)

Fibrilasi Serat Alam adalah hasil pemisahan selulosa dari bahan baku berserat (kayu dan non kayu) dengan berbagai proses pembuatan baik secara mekanis, semi kimia, maupun kimia. Fibrilasi terdiri dari serat - serat (selulosa dan hemiselulosa) sebagai bahan baku kertas dan serat. Proses pembuatan fibrilasi diantaranya dilakukan secara mekanis, kimiawi, kimiamekanis dan semikimiawi.

2.2 Fibrilasi Serat Alam Skala Nanometer

Serat alam skala nanometer merujuk pada serat alam yang telah diproses hingga mencapai *nanosize*. *Nanosize* umumnya memiliki batasan yang diterima secara luas dalam rentang 1–100 nm. Batasan ukuran nano pada 1 hingga 100 nm diatur berdasarkan perbedaan karakteristik dan sifat material dalam skala tersebut. Material yang memenuhi rentang ini dianggap sebagai nanopartikel atau material nanometer dan sifat-sifat uniknya membuatnya sangat berguna dalam aplikasi komposit. Dalam konteks fibrilasi serat alam, skala *nanosize* sangat penting karena dapat mempengaruhi sifat mekanik dan fungsional dari serat tersebut. Dalam pembuatan bahan komposit, mengubah serat alam menjadi skala *nanosize* memiliki beberapa keuntungan utama terkait kekuatan, stabilitas, dan sifat mekanik komposit yang dihasilkan, antara lain: peningkatan luas permukaan, distribusi yang lebih merata, peningkatan sifat mekanik, dan peningkatan ketahanan terhadap air dan degradasi.

2.2.1 Peningkatan Luas Permukaan

Ketika serat alam diubah ke skala nanometer, luas permukaannya meningkat secara signifikan. Peningkatan luas permukaan spesifik pada nanoselulosa secara signifikan meningkatkan area kontak dengan matriks dan memperkuat ikatan antarmuka yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan tarik dan kekakuan kompositan kekuatan tarik, kekakuan, dan ketangguhan komposit (Klemm *et al.* 2011)

2.2.2 Distribusi yang Lebih Merata

Serat dengan *nanosize* dapat terdistribusi lebih merata dalam matriks komposit. Distribusi serat yang lebih baik ini mencegah terjadinya penggumpalan atau kelemahan struktural yang dapat mengurangi kekuatan keseluruhan komposit. Hasilnya, komposit yang dihasilkan lebih homogen dengan sifat mekanik yang konsisten.

2.2.3 Peningkatan Sifat Mekanik

Serat *nanosize* cenderung memiliki sifat mekanik yang lebih baik, seperti kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat dalam ukuran mikro. Dibandingkan dengan serat batang pisang dalam bentuk mikro (modulus 30.67 GPa; kekuatan tarik 240.0 0– 677.04 MPa) (Xu, S., Xiong, C., Tan, W., & Zhang, Y. 2015), *nanocellulose* secara teori dapat mencapai modulus 100–130 GPa (Dufresne, 2013). Hal ini menegaskan bahwa reduksi serat ke skala nano secara signifikan meningkatkan potensi penguatan mekanik pada komposisi.

2.2.4 Peningkatan Ketahanan terhadap Air dan Regradasi

Serat alam berukuran besar biasanya menyerap air lebih banyak, yang dapat menyebabkan degradasi pada bahan komposit. Namun, dengan mem fibrilasi serat ke skala nano, serat alam menjadi lebih tahan terhadap penetrasi air dan degradasi. Hal ini meningkatkan ketahanan komposit terhadap lingkungan yang lembab sehingga memperpanjang umur pemakaian bahan komposit.

Dengan mengubah ukuran serat alam menjadi *nanosize*, komposit yang dihasilkan tidak hanya lebih kuat dan stabil, tetapi juga tahan lama sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan performa tinggi.

2.3 Aplikasi Perlakuan Fisik Awal untuk Proses Fibrilasi

Perlakuan fisik awal untuk proses fibrilasi (mikrofibril) selulosa dilakukan dengan menyisir serat. Proses setelah penyisiran, yaitu memotong serat berukuran 10 cm.

Penyisiran serat dimaksudkan untuk memisahkan bundel serat menjadi serat yang individual, yang kemudian dilanjutkan dengan *steaming* setelah serat melalui perlakuan kimia. Proses ini sering kali melibatkan tekanan dan suhu tinggi, pada hasil serat yang bersih juga menghasilkan permukaan serat yang kasar.

2.4 Aplikasi Perlakuan Kimia untuk Proses Fibrilasi

Perlakuan kimia awal (pra-perlakuan) merupakan tahap krusial untuk keberhasilan proses fibrilasi selulosa. Tujuan utamanya adalah untuk delignifikasi, yaitu memecah dan melarutkan komponen non-selulosa (terutama lignin dan hemiselulosa) yang bertindak sebagai matriks pengikat antar mikrofibril selulosa. Dengan hilangnya matriks ini, struktur serat menjadi lebih longgar sehingga proses

fibrilasi mekanis menjadi lebih efisien.

Metode pra-perlakuan kimia yang paling umum adalah alkalisasi menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). Perlakuan ini terbukti efektif membersihkan permukaan serat, meningkatkan kandungan selulosa, dan mengurangi kadar hemiselulosa.

2.5 Perlakuan Alkali

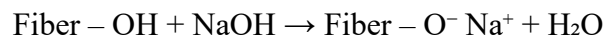
Perlakuan alkali (NaOH) dari serat alami adalah salah satu perlakuan kimia yang telah dikenal untuk meningkatkan kandungan selulosa melalui penghilangan hemiselulosa dan lignin. Perlakuan alkali adalah metode umum untuk membersihkan dan memodifikasi permukaan serat untuk menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan adhesi antarmuka antara serat alami dan matriks polimer.

Mengingat begitu pentingnya perlakuan permukaan sebagai perlakuan awal dalam proses pembuatan komposit berpenguat serat alam, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menjelaskan pengaruh perlakuan serat alkali (NaOH) terhadap kekuatan tarik dan morfologi serat batang pisang.

Untuk mendapatkan komposit dengan karakteristik yang baik dari bahan penguat serat alam, hal yang perlu diperhatikan adalah memperbaiki ikatan antarmuka serat alam dengan resin. Sifat alami serat adalah *hidrophylic*, yaitu suka terhadap air berbeda dari polimer yang *hidrophobic*, yaitu menolak air. Adanya perbedaan sifat tersebut dapat menurunkan kemampuan resin untuk mengikat serat. Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat permukaan serat alam selulosa telah diteliti dimana kandungan optimum air mampu direduksi sehingga sifat alami *hidrophylic* serat dapat memberikan ikatan *interfacial* dengan matrik secara optimal (Bismarck,

dkk. 2002).

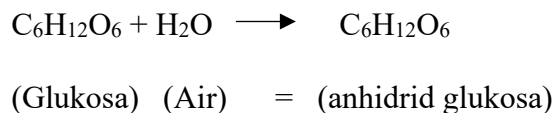
Reaksi dari perlakuan alkali terhadap serat adalah :



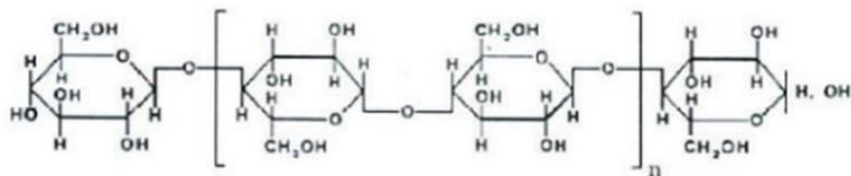
2.6 Kandungan Kimia Serat Alam

2.6.1 Selulosa

Selulosa merupakan suatu senyawa karbohidrat yang dapat ditemukan secara melimpah di alam ini. Selulosa terdapat didalam dinding sel tumbuhan. Selulosa tersusun atas unit-unit glukosa yang berasal dari proses fotosintesis tumbuhan. Kemudian dalam suatu proses yang kompleks, glukosa mengalami modifikasi secara kimia dengan dipindahkannya satu molekul air dari setiap unit sehingga terbentuklah anhidrid glukosa.



2.6.2 Struktur Selulosa



Gambar 2. 1. Struktur Selulosa

Selulosa adalah suatu polimer yang terdiri dari unit-unit anhidrid glukosa yang saling bersambungan ujung-ujungnya secara bersama-sama. Eliminasi bersama membentuk rantai panjang yang dikenal dengan selulosa ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n dengan n (derajat polimerisasi) sekitar 500-10000. Tinjauan bidang glukosa pada selulosa, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.

Molekul-molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai

kecenderungan membentuk ikatan-ikatan hidrogen intra- dan intermolekul. Sehingga berkas-berkas selulosa membentuk agregat bersama-sama dalam bentuk mikrofibril, daerah yang teratur (kristalin) diselingi dengan daerah yang tidak teratur (amorf). Mikrofibril ini membentuk fibril-fibril dan akhirnya terbentuklah serat-serat selulosa karena strukturnya yang berserat dan ikatan-ikatan hidrogen yang kuat menyebabkan selulosa mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan tidak larut dalam kebanyakan pelarut. Meskipun selulosa merupakan karbohidrat, tetapi selulosa bukanlah sumber makanan bagi manusia atau hewan.

2.6.3 Sumber Selulosa

Sumber utama selulosa berasal dari serat kayu, baik *hardwood* maupun *softwood*, di mana produk akhir berupa pulp diperoleh melalui proses yang disebut pulping untuk memisahkan serat tersebut dari komponen lain, seperti lignin (Shackford, L. D, 2003)

Selulosa $C_6H_{12}O_6$ merupakan homopolymer yang terdiri atas unit β -D-glukopiranosida yang terikat bersama-sama oleh ikatan (1,4)-glikosida, di mana n merupakan derajat polimerisasi selulosa (DP) (Klemm dkk, 2005). Selulosa mengandung karbon (44,44%) *hydrogen* (6,17%), dan oksigen (49,39%). Pada umumnya, kandungan selulosa berkisar 40-50% dari berat kering berlignoselulosa (Chen, 2014). Didalam dinding sel tumbuhan terdapat tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Struktur mikrofibril selulosa menyusun inti dinding sel dan berfungsi memberikan kekuatan pada dinding sel. Hemiselulosa berada disekeliling selulosa, berpesran menunjang kekuatan dan sebagai penghubung antara selulosa dan lignin.

2.6.4 Lignin

Lignin adalah suatu polimer yang kompleks dengan berat molekul tinggi, tersusun atas unit-unit fenilpropan. Meskipun tersusun atas karbon, hidrogen, dan oksigen, lignin bukanlah suatu karbohidrat dan bahkan tidak ada hubungannya dengan golongan senyawa tersebut. Sebaliknya, lignin pada dasarnya adalah suatu fenol. Lignin sangat stabil dan sukar dipisahkan dan mempunyai bentuk yang bermacam-macam karenanya susunan lignin didalam tumbuhan tidak menentu.

Lignin terdapat di antara sel-sel dan di dalam dinding sel. Di antara sel-sel, lignin berfungsi sebagai perekat untuk mengikat sel-sel bersama-sama. Dalam dinding sel, lignin sangat erat hubungannya dengan selulosa dan berfungsi untuk memberi ketegaran pada sel. Lignin juga berpengaruh dalam memperkecil perubahan dimensi sehubungan dengan perubahan kandungan air kayu dan juga dikatakan bahwa lignin mempertinggi sifat racun kayu tahan terhadap serangan cendawan dan serangga. Apabila lignin terkena udara, terutama dengan sinar matahari, maka (bersama dengan karbohidrat-karbohidrat tertentu) lama kelamaan lignin cenderung menjadi kuning. Massa yang besar dan kekuatannya rendah karena serat-serat lignin kaku memiliki ikatan antar serat yang lemah.

Lignin bersifat termoplastik, artinya lignin akan menjadi lunak dan dapat dibentuk pada suhu yang lebih tinggi dan keras kembali apabila menjadi dingin. Sifat termoplastik lignin inilah yang menjadi pedoman pembuatan papan keras (*hardboard*) dan lain-lain pada produk kayu yang dimampatkan.

2.7 Fibrilasi Selulosa

Microfibrillated cellulose (mikrofibril selulosa) merupakan selulosa yang

mengalami perlakuan pemisahan serat menjadi mikrofibril-mikrofibril dengan kisaran diameter 10-100 nm. Hingga saat ini, mikrofibril selulosa merupakan bahan yang diminati karena memiliki karakteristik, antara lain memiliki luas permukaan spesifik, kekuatan dan kekakuan yang tinggi, memiliki berat yang rendah, bersifat *biodegradable*, dan *renewable* (Winuprasith & Suphantharika 2013). Karakteristik tersebut membuat mikrofibril selulosa memiliki sifat mekanik yang baik sehingga berpotensi digunakan pada industri komposit, otomotif, *pulp* atau kertas, elektronik, *coating*, dan lain-lain.

Kelebihannya sebagai penguat pada komposit selain mengurangi penggunaan komponen berbasis minyak bumi juga mengurangi abrasi pada komponen, seperti baja dan keramik (Moberg & Rigdahl 2012, Spence *et al.* 2011, Siqueira *et al.* 2010, Siro & Plackett 2010, Nakagaito & Yano 2006). Mikrofibril selulosa dapat dihasilkan melalui beberapa metode, terutama metode mekanik, seperti *homogenization*, *microfluidization*, *microgrinding*, *refining*, *ultrasonication*, *cryocrushing* dan *electrospinning* (Spence *et al.* 2011,)

Pengaplikasian produk komposit polimer serat alam dapat diterapkan dalam berbagai bidang, antara lain konstruksi, furnitur, peralatan olahraga, peralatan elektronik, peralatan komunikasi, pesawat, dan otomotif. Untuk tujuan komersialisasi produk komposit polimer serat alam, faktor yang perlu dipertimbangkan diantaranya adalah ketersediaan bahan baku dan permintaan pasar.

2.8 Perlakuan Fisik untuk Fibrilasi Serat Alam

Perlakuan fisik mempunyai tujuan utama, yaitu untuk mengoptimalkan sifat selulosa dan untuk meningkatkan gaya adhesi antara serat dengan matriks polimer dikarenakan serat alam memiliki kekurangan apabila digunakan sebagai penguat

dalam komposit.

Dalam hal ini, keuntungan utama dari penggunaan selulosa sebagai bahan penguat pada matriks polimer, yaitu: densitas rendah, tidak mudah terkikis, sifat kekakuan tinggi dikarenakan kemampuan pengisian tinggi, mudah didaur ulang, bahan mudah didapat karena banyak tersedia di alam, dan murah. Akan tetapi, serat batang pisang serta serat alam lainnya memiliki kekurangan apabila digunakan sebagai penguat dalam komposit. Serat alam bersifat hidrofilik sehingga menyebabkan gaya adhesi antara serat dan matriks bernilai rendah.

2.9 Perlakuan Kimia untuk Fibrilasi Serat Alam

Perlakuan kimia bertujuan untuk meningkatkan biodegradasi selulosa dengan menghilangkan lignin dan hemiselulosa. Metode ini bertujuan menurunkan tingkat polimerisasi dan kristalinitas komponen selulosa. Perlakuan kimia ini awalnya dikembangkan di industri kertas untuk delignifikasi bahan selulosa agar dihasilkan produk kertas berkualitas (Menon V dan Rao , 2012). Perlakuan berbagai biomassa lignoselulosa, seperti jerami gandum, rumput, kayu keras, dan kayu lunak menggunakan NaOH juga mampu mengurangi kadar lignin menjadi kurang dari 26% (Zhao et al., 2009).

Perlakuan kimia perlu dilakukan terhadap serat alam untuk meningkatkan kompatibilitas serat alam sebagai penguat dalam komposit. Modifikasi kimia secara langsung mempengaruhi struktur serat dan mengubah komposisi kimia serat, mengurangi kecenderungan penyerapan kelembaban oleh serat sehingga memberikan ikatan yang lebih baik antara serat dengan matriks. Hal ini akan menghasilkan sifat mekanik dan termal komposit yang lebih baik.

2.10 Perlakuan Mekanik untuk Fibrilasi Serat Alam

Perlakuan mekanik menggunakan mesin putaran tinggi yang mana mekanisme kerjanya sama, seperti blender. Apabila objek berputar dalam tabung atau silinder yang berisi campuran cairan dan partikel, maka campuran tersebut dapat bergerak menuju pusat rotasi, tetapi hal ini tidak terjadi karena adanya gaya yang berlawanan yang menuju kearah dinding luar silinder atau tabung, gaya tersebut adalah gaya sentrifugal.

Pemanfaatan fibril selulosa dengan sifat mekanik yang tinggi pada komposit polimer mengalami kesulitan dengan adanya ketaksesuaian (*incompability*) dan *disperse* selulosa dalam matriks polimer karena perbedaan sifat antara selulosa yang hidrofilik dengan polimer yang hidrofobik. Dalam pembuatan komposit polimer, selulosa yang digunakan biasanya dikeringkan terlebih dahulu untuk menghilangkan sifat hidrofobiknya. Selulosa yang dikeringkan akan membentuk gumpalan karena *microfibril* selulosa akan saling merekat dengan adanya ikatan hidrogen.

2.11 *Scanning Electromagnetic Microscope (SEM)*

Scanning electron microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari sampel yang dianalisis. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada *optical microscope* (OM). Hal ini disebabkan panjang gelombang de Broglie yang memiliki elektron lebih pendek daripada gelombang OM karena semakin kecil panjang gelombang yang digunakan, maka semakin tinggi resolusi mikroskop. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada OM. Resolusi yang mampu dihasilkan OM hanya 200 nm, sedangkan resolusi yang dapat dihasilkan

SEM mencapai 0.1 – 0.2 nm.

2.12 Komposit

Komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun.

Komposit juga dapat dibagi menjadi tiga pengertian dasar beberapa definisi komposit adalah sebagai berikut:

- a. Tingkat Dasar : Pada molekul tunggal dan kisi kristal, bila material yang disusun dari dua atom atau lebih disebut komposit (contoh senyawa, paduan, polimer dan keramik).
- b. Mikrostruktur : Pada kristal, *phase* dan senyawa, bila material disusun dari dua *phase* atau senyawa atau lebih disebut komposit (contoh paduan Fe dan C)
- c. Makrostruktur : Material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam bentuk dan / atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit.

2.12.1 Karakteristik Komposit

Komposit merupakan paduan dari dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat yang berbeda, maka hasilnya akan diperoleh sifat serta karakteristik yang berbeda pula. Karakteristik dari komposit ditentukan oleh:

1. Karakteristik material penyusun menurut *rule of mixture* sehingga akan berbanding secara proporsional.
2. Bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi

karakteristik komposit.

3. Interaksi antar penyusun menghasilkan peningkatan sifat dari komposit

2.12.2 Klasifikasi komposit

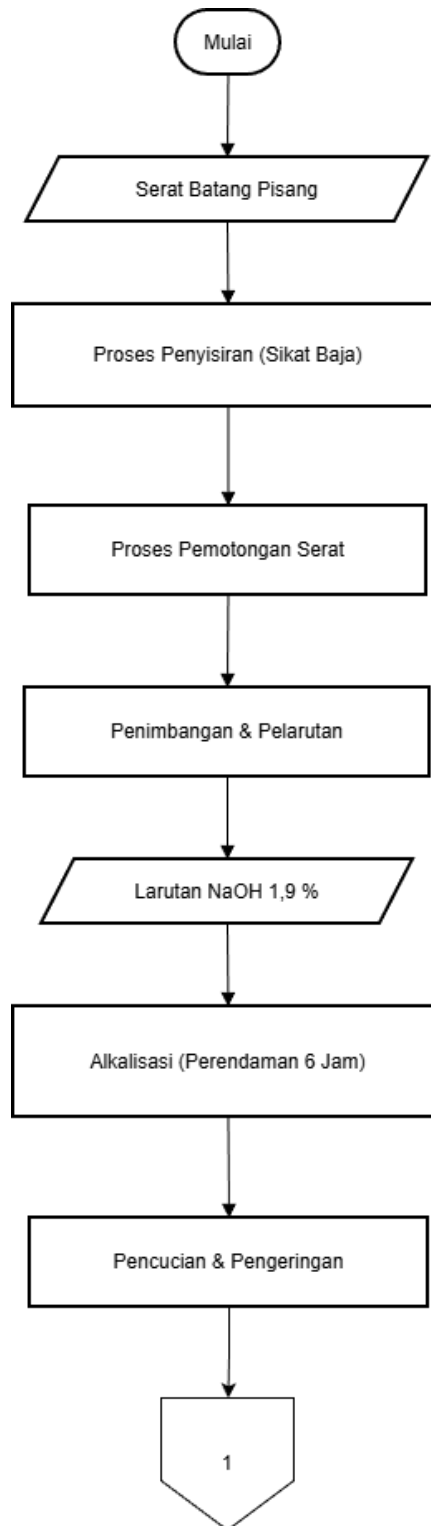
Secara umum pengelompokan komposit dapat dibedakan menjadi dua, pengelompokan tersebut, yaitu berdasarkan matrik dan penguatnya. Berdasarkan matriknya, komposit dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu:

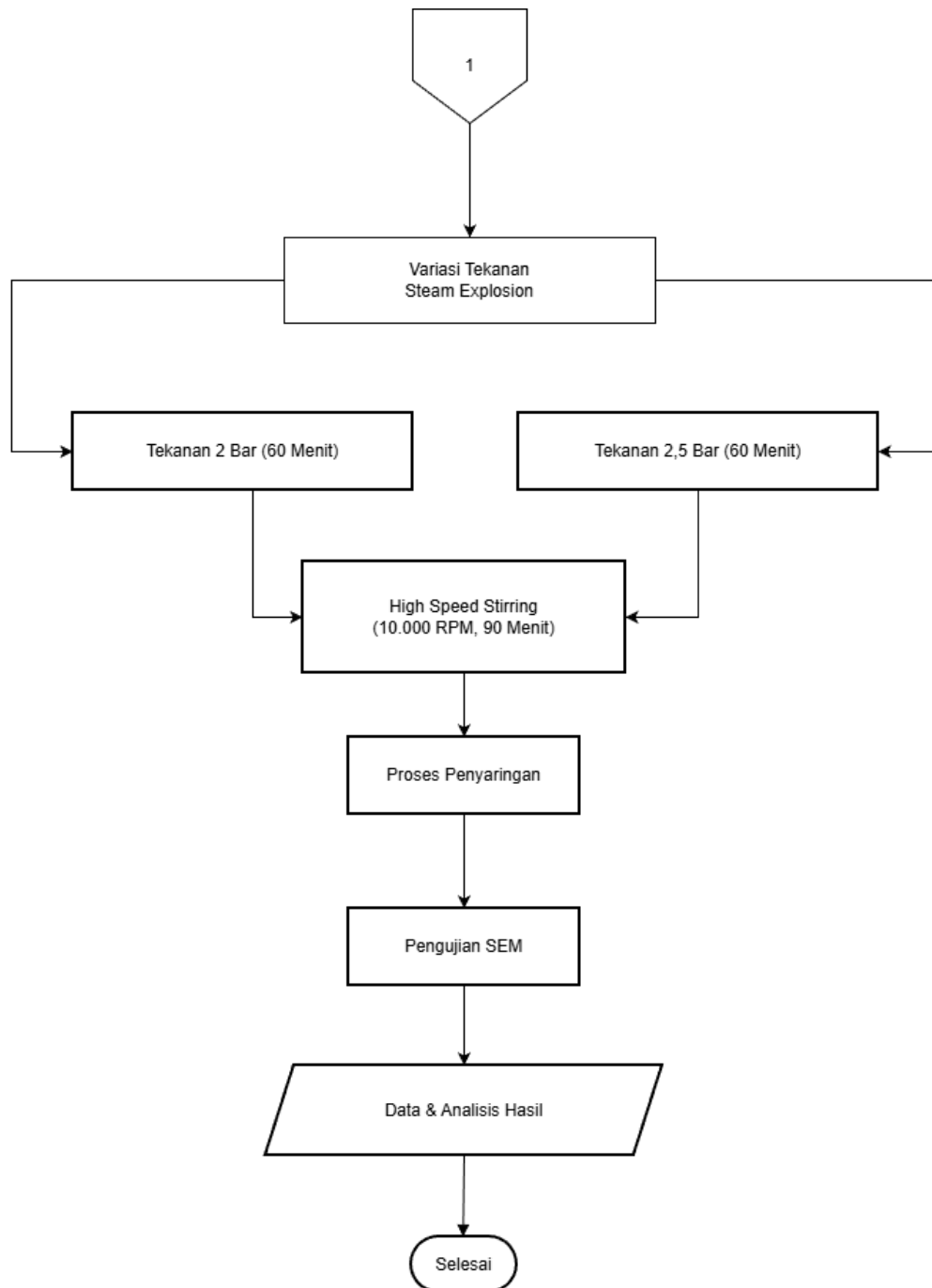
- a. Komposit matrik logam (KML), yaitu logam sebagai matrik
- b. Komposit matrik polimer (KMP), yaitu polimer sebagai matrik
- c. Komposit matrik keramik (KMK), yaitu keramik sebagai matrik

BAB III

METODE PELAKSANAAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3. 1 Diagram alir

3.2 Perlakuan Serat

Perlakuan serat dilakukan dengan menyiapkan serat batang pisang sebagai bahan utama dan menggunakan berbagai peralatan pendukung untuk proses

fibrilasi. Proses ini mencakup pemilihan serat, perlakuan awal, serta perlakuan lanjutan untuk menghasilkan serat berukuran nano.

3.2.1 Serat Batang Pisang

Batang pisang (*Musa paradisiaca*) adalah salah satu bagian dari tanaman pisang yang kurang dimanfaatkan oleh masyarakat. Batang pisang dipilih karena memiliki jaringan selular dengan pori-pori yang saling berkaitan sehingga ketika dilakukan proses pengeringan akan menjadi padat. Bagian luar biasanya lebih tua, lebih keras, dan lebih tebal sehingga cenderung mengandung serat yang lebih kasar dan lebih panjang dengan kadar selulosa yang lebih tinggi. Batang pisang merupakan tanaman dengan daya simpan lama, ditemukan di banyak tempat sebagai limbah pertanian, dan biaya yang dikeluarkan cukup rendah dalam perolehan bahan maupun penanganan bahan yang dilakukan. Batang pisang memiliki kandungan selulosa *maximal* sebesar 83,3 % dan lignin sebesar 2.97 %, setelah melewati pemurnian (Bahri, 2015).



Gambar 3. 2. Serat Batang Pisang

3.2.2 Karakteristik Serat Batang Pisang

Serat batang pisang telah banyak diteliti dan dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pembuatan komposit. Serat alami ini memiliki karakteristik yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap komposisi dan sifat fisik suatu material komposit. Berikut ini adalah penjelasan lebih lanjut mengenai karakteristik yang berpengaruh terhadap kinerja serat batang pisang dalam pembuatan komposit.

a. Diameter Serat

Diameter serat batang pisang biasanya berkisar antara 58 μm (Nopriantina, N., 2013). Ukuran ini dianggap optimal untuk memberikan kekuatan tarik yang baik pada komposit.

b. Panjang Serat

Merupakan salah satu serat alam terpanjang. Panjang serat individual bisa mencapai beberapa meter, namun dalam pengolahan biasanya dipotong sesuai kebutuhan.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, penggunaan serat batang pisang dalam industri komposit dapat menghasilkan material yang memiliki sifat mekanik dan fisik yang optimal.

3.3 Perlakuan Bahan

Perlakuan Bahan memiliki keuntungan utama, yaitu meningkatkan kadar selulosa yang mana dari penggunaan selulosa sebagai bahan penguat pada matriks polimer, yaitu: densitas rendah, tidak mudah terabrasi, kemampuan mengisi tinggi yang menghasilkan sifat kekakuan yang tinggi, mudah didaur ulang, bahannya mudah didapat karena banyak tersedia di alam, dan relatif murah. Akan tetapi, serat dan serat alam lainnya memiliki kekurangan apabila dijadikan penguat dalam

komposit. Serat alami bersifat hidrofilik sehingga menyebabkan gaya adhesi antara serat dan matriks bernilai rendah. Maka dari itu, untuk mengoptimalkan sifat dari selulosa dan untuk menaikkan gaya adhesi antara serat dengan matriks polimer, dibutuhkan perlakuan baik perlakuan fisik maupun perlakuan kimia.

a. Densitas Rendah

Selulosa memiliki densitas yang rendah, biasanya berkisar antara 1,5 g/cm³. Hal ini membuatnya ideal untuk digunakan dalam aplikasi di mana pengurangan berat sangat penting, seperti dalam industri otomotif dan penerbangan. Densitas rendah juga membantu mengurangi beban total dari struktur komposit sehingga meningkatkan efisiensi energi selama penggunaan.

b. Tidak Mudah Terabrasi

Serat selulosa memiliki ketahanan terhadap abrasi yang baik sehingga tidak mudah mengalami kerusakan akibat gesekan atau tekanan. Ketahanan ini penting dalam aplikasi yang melibatkan pemakaian yang intensif, seperti pada komponen mesin atau pelapis yang terpapar lingkungan keras. Sifat ini memastikan bahwa komposit berbasis selulosa dapat bertahan lebih lama dan mengurangi frekuensi penggantian material.

c. Kemampuan Mengisi Tinggi

Selulosa memiliki kemampuan mengisi yang tinggi, yang berarti dapat mengisi ruang kosong dalam matriks polimer secara efektif. Ini menghasilkan sifat kekakuan yang tinggi pada komposit dengan modulus elastisitas yang meningkat. Misalnya, penambahan selulosa dalam komposit dapat

meningkatkan kekuatan tarik hingga 20-30%, tergantung pada konsentrasi dan metode pengolahan.

d. Mudah Didaur Ulang dan Murah

Selulosa merupakan bahan yang mudah didapat dan ramah lingkungan, karena banyak tersedia di alam sebagai limbah pertanian. Biaya perolehan bahan ini relatif rendah sehingga menjadikannya pilihan ekonomis untuk industri komposit. Selain itu, sifat biodegradabilitasnya memungkinkan material ini untuk didaur ulang dengan lebih mudah dibandingkan dengan serat sintetis.

Selulosa dan serat alami lainnya memiliki sifat hidrofilik yang menyebabkan adhesi rendah dengan matriks polimer sehingga diperlukan perlakuan fisik dan kimia untuk meningkatkan ikatan antara serat dan matriks. Dengan perlakuan yang tepat, sifat mekanik dan adhesi selulosa dapat ditingkatkan sehingga lebih optimal untuk digunakan sebagai penguat dalam komposit berbasis serat alami.

3.4 Perlakuan Fisik

Perlakuan fisik dalam penelitian ini melibatkan penggunaan beberapa peralatan yang berfungsi untuk mempersiapkan serat sebelum perlakuan lebih lanjut, perlakuan fisik meliputi penyisiran serat dan *steaming* serat.

3.4.1 Penyisiran Serat

Aksi mekanis dari sikat baja secara efektif mengurai bundel-bundel serat yang masih menyatu menjadi serat-serat individual yang lebih halus. Gesekan kawat baja membantu membersihkan sisa-sisa kotoran, getah kering, atau lapisan epidermis yang masih menempel. Tujuan pemurnian ini adalah meningkatkan keseragaman ukuran serat sehingga mempermudah proses

fibrilasi selanjutnya. Dengan kombinasi perlakuan mekanik dan fisik ini, struktur serat menjadi lebih terbuka, luas permukaannya meningkat.

Secara keseluruhan, perlakuan fisik ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas serat dengan membuka struktur serat, meningkatkan fleksibilitas, serta memperbaiki daya rekatnya terhadap material lain dalam aplikasi komposit.

Berikut proses penyisiran serat:

- a. Serat yang akan disikat harus dalam keadaan kering. Serat yang lembab akan sulit dipisahkan dan bisa menggumpal.



Gambar 3. 3 Serat yang belum disisir

- b. Kemudian sisir dengan kawat baja diatas landasan agar mudah dan ringan.
- c. Proses ini diulangi beberapa kali hingga serat yang tadinya kaku dan terikat menjadi lebih lembut, bervolume
- d. Serat yang dihasilkan lebih bersih secara fisik, lebih halus

3.4.2 Alat-Alat Yang Digunakan Dalam Perlakuan Fisik

Dalam melakukan perlakuan fisik alat yang digunakan meliputi:

a. Sikat Baja

Penggunaan sikat dengan serat baja (kawat baja) efektif karena kekakuan dan kekuatannya mampu memisahkan serat batang pisang yang cenderung kuat dan kadang masih liat. Hasil dari proses penyisiran ini adalah serat yang lebih bersih, halus, dan seragam, yang akan meningkatkan kualitas produk akhir dari serat batang pisang.



Gambar 3. 4. Sikat baja

3.4.3 Perlakuan Kimia

Perlakuan kimia dalam penelitian ini bertujuan untuk menghilangkan komponen non-selulosa pada serat batang pisang, seperti lignin, hemiselulosa, dan kotoran lain sehingga meningkatkan sifat mekanik dan adhesi serat terhadap matriks komposit, metode perlakuan yang dipakai adalah alkali

3.4.3.1 Alkalisasi

Alkalisasi merupakan salah satu metode perlakuan kimia yang dilakukan dengan merendam serat dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi bervariasi antara 2% hingga 8% selama 1

hingga 8 jam. Proses alkalisasi juga menyebabkan perubahan pada struktur ikatan hidrogen dalam jaringan serat, yang pada akhirnya menghasilkan permukaan serat yang lebih kasar.



Gambar 3. 5 NaOH

Perlakuan kimia ini berkontribusi pada peningkatan kualitas serat dengan memperbaiki sifat mekanik dan adhesinya terhadap material lain sehingga lebih efektif dalam aplikasi komposit berbasis serat alami. Proses alkali meliputi:

- a. Penyiapan Serat (Hasil Penyisiran)
 1. Ambil serat batang pisang yang telah melalui proses refining mekanis (penyisiran dengan sikat baja). Pastikan serat dalam keadaan kering dan sudah terurai dari bundel-bundel kasarnya.
 2. Serat ditimbang dengan berat 24 gram



Gambar 3. 6 Menimbang serat

3. Masukkan serat yang sudah ditimbang ke dalam thinwall
- b. Penyiapan Larutan Alkali (NaOH)

Disini Peneliti menggunakan konsentrasi alkali sebesar 1,9%



Gambar 3. 7 Menimbang NaOH

- c. Pelarutan NaOH
1. Tuangkan 400 ml aquades (air murni) ke dalam gelas beker.

2. Masukkan padatan NaOH seberat 8 gram yang telah ditimbang ke dalam aquades secara perlahan sambil terus diaduk. Perhatian: Reaksi pelarutan NaOH bersifat eksotermik (menghasilkan panas). Lakukan dengan hati-hati untuk menghindari percikan.



Gambar 3. 8 Perendaman serat

d. Pencucian dan Netralisasi

1. Setelah waktu perendaman kurang lebih 6 jam, saring dan pisahkan serat dari larutan alkali.
2. Cuci serat di bawah air mengalir hingga air bilasan menjadi jernih. Ini bertujuan untuk menghilangkan sisa larutan NaOH dan pengotor yang telah larut.
3. Pencucian akhir dengan membilas kembali serat dengan aquades hingga pH serat menjadi netral.

e. Pengeringan Akhir

1. Peras serat secara perlahan untuk menghilangkan air berlebih kemudian keringkan ditempat terbuka
2. Setelah kering serat yang dihasilkan akan terasa lebih kaku, lebih ringan, dan warnanya lebih cerah dibandingkan serat mentah. Serat ini siap untuk dianalisis lebih lanjut atau digunakan sebagai penguat komposit.



Gambar 3. 9 Serat setelah kering

3.4.4.1 *Steaming* Serat

Pelaksanaan perlakuan *steam explosion* pada spesimen serat batang pisang dilakukan melalui tiga tahapan utama yang sistematis, meliputi persiapan spesimen, penyiapan dan pengecekan keamanan peralatan, serta eksekusi proses perlakuan uap bertekanan tinggi.

Berikut persiapan melakukan *steaming*.

a. Penyiapan Spesimen

1. Siapkan serat batang pisang yang sudah bersih dan kering.
2. Potong serat dengan panjang seragam

3. Timbang massa kering awal dari setiap sampel yang akan diuji untuk setiap variasi tekanan.

b. Penyiapan Wadah Spesimen

1. Masukkan satu sampel serat ke dalam wadah silindris, tetepi lapisilah serat terlebih dahulu dengan kertas saring, seperti gambar dibawah ini



Gambar 3. 10 Serat yang akan dimasukkan ke wadah dibungkus dengan kertas saring

2. Pastikan serat tidak terlalu padat di dalam wadah agar penetrasi uap merata.
3. Tutup wadah dengan selimut *wire mesh* dan laili dengan serat saring. Fungsi serat saring untuk menahan serat agar tidak keluar



Gambar 3. 11 Serat yang dimasukkan ke wadah

4. Pastikan boiler dan *steam explosion* dalam keadaan aman

5. Pastikan semua selang antara boiler dan reaktor *steam explosion* terpasang dengan aman
6. Periksa semua katup (valves) dan alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada boiler dan *steam explosion*
7. Gunakan APD lengkap sebelum memulai proses.

c. Proses *Steam Explosion*

1. Buka *steam explosion* dan masukkan wadah spesimen ke dalamnya.
Baut reaktor dengan rapat



Gambar 3. 12 Proses memasukkan serat

2. Nyalakan boiler dan panaskan hingga menghasilkan uap dengan tekanan stabil di atas tekanan target (2 dan 2,5 bar)
3. Buka katup pemasukan uap (*steam inlet valve*) dari boiler ke reaktor secara perlahan. Pantau terus *pressure gauge* pada reaktor.
4. Pastikan tekanan di *steam explosion* mencapai target yang diinginkan
5. Tahan spesimen pada tekanan 2,5 bar selama 60 menit.



Gambar 3. 13 Capaian tekanan

6. Setelah mencapai waktu yang diinginkan, lepas katup pada steam explosion secara perlahan sampai uapnya habis
7. Tunggu hingga tekanan di dalam *steam explosion* kembali ke tekanan atmosfer (1 bar) dan suhu turun. Buka pintu reaktor dengan hati-hati dan gunakan tang penjepit untuk mengeluarkan wadah spesimen yang sangat panas.



Gambar 3. 14 Hasil serat setelah *steaming*

3.4.4 Perlakuan Mekanik

Perlakuan mekanik yang melibatkan teknik putaran tinggi sering digunakan dalam industri untuk memodifikasi struktur material.

3.5 *Steam Explosion*

Mesin *steam explosion* merupakan peralatan dalam penelitian ini yang digunakan untuk perlakuan serat batang pisang sebelum ke *high speed stirring* melalui metode ledakan uap. Mesin ini berfungsi untuk memanaskan serat hingga suhu dan tekanan tertentu, kemudian dengan cepat melepaskan tekanan secara mendadak (*eksplosif*). Proses ini bertujuan untuk memecah struktur *biomassa*, meningkatkan aksesibilitas terhadap selulosa, serta mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa. Sebagai pengujian utama dalam penelitian ini, *steam explosion* berperan krusial dalam memodifikasi struktur serat batang pisang agar lebih sesuai untuk aplikasi komposit, dengan meningkatkan kualitas fibrilasi serat dan memperbaiki sifat mekaniknya.

Metode ini juga meningkatkan aksesibilitas selulosa serta mengurangi kandungan hemiselulosa dan lignin dalam material yang diolah. Mesin *Steam Explosion* dimanfaatkan untuk meningkatkan tingkat fibrilasi serat batang pisang (*Musa paradisiaca*). Proses ini dilakukan dengan mengoptimalkan beberapa parameter utama, seperti tekanan, durasi penahanan uap, serta jumlah siklus ledakan yang diterapkan. Mesin ini dirancang khusus untuk menghasilkan serat dengan ukuran yang bervariasi, mulai dari skala mikrometer hingga nanometer, sekaligus meningkatkan tingkat kristalinitas serat yang dihasilkan.

Secara umum, prinsip kerja mesin *Steam Explosion* terdiri dari tiga tahapan utama. Pertama, sampel serat batang pisang dimasukkan ke dalam ruang reaktor, dimana material tersebut dipanaskan menggunakan uap bertekanan 2 bar dan 2,5 bar.

3.5.1 Alat dan Bahan

Dalam menggunakan steam explosion untuk melakukan pengukusan ada beberapa alat dan bahan yang perlu disiapkan antara lain:

1. Mesin *Steam Explosion*



Gambar 3. 15 *Steam Explosion*

2. Boiler sebagai sumber uap bertekanan



Gambar 3. 16 Boiler

3. Wadah spesimen silindris dengan selimut *wire mesh*



Gambar 3. 17 Wadah spesimen silindris dengan selimut *wire mesh*

4. Spesimen serat batang pisang



Gambar 3. 18 Persiapan serat batang pisang yang dibungkus kertas saring untuk perlakuan *steaming*

5. Tang penjepit



Gambar 3. 19 Tang

3.5.2 Spesifikasi Mesin *Steam Explosion*

Mesin pengaduk ledakan uap yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

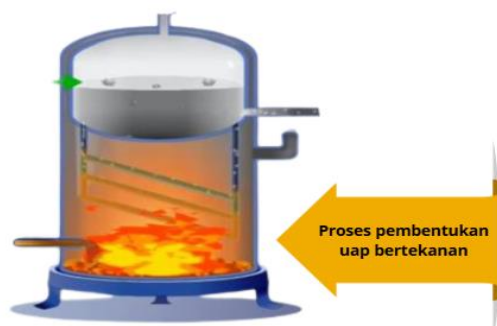
Tabel 3. 1 Spesifikasi mesin *Steam Explosion*

Spesifikasi	Ukuran
Kapasitas	1 – 5 kg per batch
Tekanan	3 – 8 bar
Waktu	60 – 90 detik
Jumlah Siklus Ledakan	20 – 50 kali
Material Reaktor	Stainless Steel 316
Sumber Uap	Boiler Listrik/Gas
Suhu	150 – 200°C
Sistem Pelepasan Tekanan	Katup pneumatik berkecepatan tinggi
Daya	5 – 10 kW

3.5.3 Mekanisme Prinsip Ledakan Uap

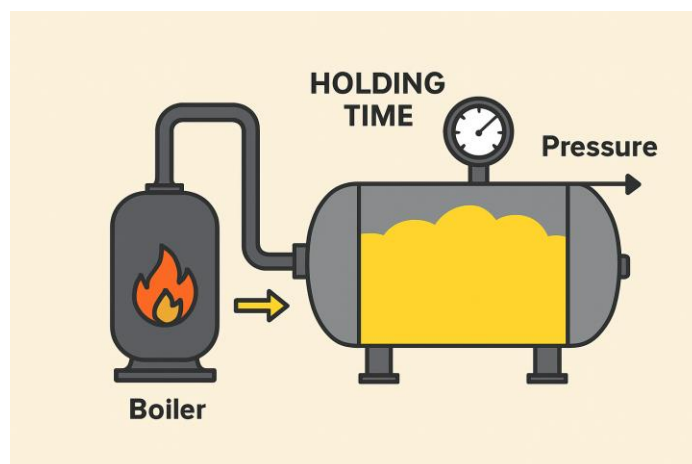
Ledakan Uap merupakan salah satu metode utama pada kombinasi perlakuan termal dan mekanik untuk memecah struktur serat. Proses ini bekerja berdasarkan prinsip pemberian uap bertekanan tinggi dari boiler ke dalam tabung reaktor, kemudian tekanan tersebut dilepaskan secara cepat, sehingga menghasilkan gaya eksplosif yang menyebabkan disrupti struktur serat. Mekanisme dasar ledakan uap dapat dijelaskan melalui tiga tahapan utama berikut.

3.5.3.1 Tahap Pemanasan Bertekanan

**Gambar 3. 20** Proses pembentukan uap bertekanan

Tahap pemanasan bertekanan merupakan fase awal dalam proses ledakan uap yang berfungsi untuk mempersiapkan struktur material lignoselulosa sebelum mengalami proses dekompresi cepat. Pada fase ini, material biomassa seperti serat rami dikenai uap panas bertekanan tinggi dalam ruang tertutup. Uap yang diinjeksikan akan meningkatkan suhu internal biomassa hingga mencapai kondisi termal yang mampu memengaruhi struktur kimia dan fisik penyusunnya. Secara prinsip, uap bertekanan memiliki kemampuan penetrasi yang tinggi terhadap jaringan selulosa. Molekul uap masuk ke dalam pori, lumen, dan ruang antar-dinding sel sehingga menyebabkan kenaikan suhu internal serat secara merata. Secara keseluruhan, tahap pemanasan bertekanan ini bertujuan untuk melonggarkan struktur biomassa, melemahkan ikatan matriks lignoselulosa, serta menciptakan kondisi termal dan tekanan internal yang optimal untuk memaksimalkan proses pemecahan mekanis pada tahap ledakan (*explosive decompression*). Tahap ini menentukan tingkat keberhasilan fibrilasi, termasuk potensi pembentukan serat berukuran mikro hingga nanoselulosa

3.5.3.2 Tahapan Penjenuhan



Gambar 3. 21 Holding time

Tahap pemanasan bertekanan merupakan fase awal dalam proses ledakan uap yang berfungsi untuk mempersiapkan struktur material lignoselulosa sebelum mengalami proses dekompresi cepat. Pada fase ini, material biomassa seperti serat rami dikenai uap panas bertekanan tinggi dalam ruang tertutup. Uap yang diinjeksikan akan meningkatkan suhu internal biomassa hingga mencapai kondisi termal yang mampu memengaruhi struktur kimia dan fisik penyusunnya. Secara prinsip, uap bertekanan memiliki kemampuan penetrasi yang tinggi terhadap jaringan selulosa. Molekul uap masuk ke dalam pori, lumen, dan ruang antar-dinding sel sehingga menyebabkan kenaikan suhu internal serat secara merata.

3.6 *High Speed Stirring*

Digunakanya *High Speed Stirring* adalah sebagai tahap akhir dalam proses pembuatan komposit sesudah perlakuan ledakan uap (*steam explosion*). Alat ini berfungsi untuk mencampurkan bahan secara homogen dengan kecepatan tinggi dalam proses *high-speed stirring*. Pengaduk magnetik memiliki keunggulan dibandingkan pengaduk mekanik konvensional, karena dilengkapi dengan fitur pemanas, sensor suhu, dan sensor kecepatan putaran yang memungkinkan kontrol lebih akurat terhadap parameter pencampuran. Proses *high-speed stirring* ini bertujuan untuk mendispersikan serat batang pisang secara optimal setelah dilakukan perlakuan dengan metode *steam explosion* di penelitian ini.



Gambar 3. 22 Mesin *high speed stirring*

3.6.1 Spesifikasi Mesin *High Speed Stirring*

Mesin pengaduk putaran tinggi yang digunakan memiliki spesifikasi yang tertera pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Spesifikasi mesin *high speed stirring*

Spesifikasi	Ukuran
Dimensi Tabung (D x T)	120 mm x 163 mm
Daya	1.500 Watt
Putaran	24.000 rpm
Spindel	ER 16
Rangka (P x L x T)	400 mm x 140 mm x 450 mm
Spacer Tabung (P x L x T)	210 mm x 200 mm x 158 mm
Tutup Tabung (D x T)	120mm x 3mm
Inverter	GD20-1R5G-S2

3.6.2 Prosedur Penggunaan Mesin *High Speed Stirring*

Memahami prosedur menjalani mesin pengaduk putaran tinggi sangatlah penting karena mesin tersebut berputar sangat tinggi:

1. Operator membersihkan tabung dan mata pisau dari kotoran yang menempel. Siapkan bahan yang akan digunakan.
2. Operator menyiapkan bahan yang akan digunakan dalam proses pengadukan.



Gambar 3. 23 Serat masuk tabung

3. Operator memasang tabung pada *spacer* alat sesuai dengan tanda yang telah disediakan.
4. Operator menutup tabung pengaduk dengan penutup yang telah menyatu pada poros mata pisau.
5. Operator mengencangkan penutup tabung menggunakan baut yang disesuaikan dengan tang pada *spacer*.



Gambar 3. 24 Mesin *high speed stirring*

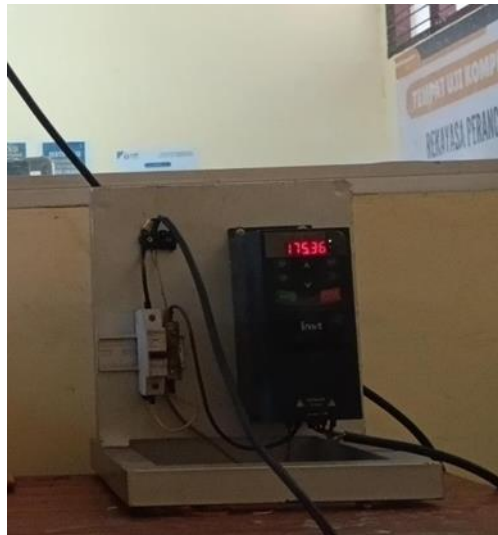
6. Operator menyambungkan colokan alat pada aliran listrik.

7. Operator mengubah posisi sakelar MCB dari *off* ke *on*.
8. Operator mengatur *inverter* sesuai kecepatan putaran yang diinginkan dengan cara memutar tombol *rotary* pada *inverter*.
9. Operator menekan tombol RUN pada *inverter* agar mesin berputar sesuai dengan putaran yang telah diatur.

3.6.3 Pemeriksaan Fisik Peralatan dan Komponen

Sebelum melakukan pemutaran dilakukan pemeriksaan alat secara visual seperti pada *inverter*, rangka dudukan, dan circuit breaker, kemudian dilanjutkan pemeriksaan komponen kabel, steker, socket, mur dan baut. Pemeriksaan yang dilakukan pada peralatan *High Speed Stirring* termasuk dalam hal:

- a. *Inverter* tipe GD20-1R5G-S2



Gambar 3. 25 *Inverter*

Inverter memiliki peran penting pada alat pengaduk putaran tinggi. *Inverter* sendiri terdiri dari sirkuit yang sangat presisi. Oleh karena itu *inverter* harus diperlihara secara berkala. Pemeliharaannya meliputi sebagai berikut:

1. Pengujian kinerja produk

Inverter yang tidak dalam kondisi optimal, maka akan gagal memenuhi kinerjanya. Oleh karena itu sebelum pembelian *inverter* harus di periksa sesuai spesifikasi dan mengukur konversi daya *inverter*

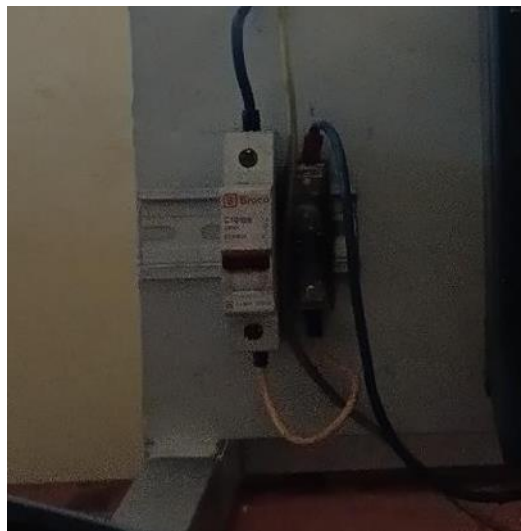
2. Pengujian resistansi isolasi

Pengujian resistansi isolasi digunakan untuk memeriksa pengurangan pada isolasi kawat. Pengujian tersebut dilakukan tidak hanya setelah masalah ditemukan, tetapi juga secara teratur untuk mencegah masalah tersebut sebagai bagian dari masa pemeliharaan mesin berkala

3. Pemeriksaan malfungsi

Ketika terjadi malfungsi pada *inverter*, maka tidak dapat memperbaiki sampai bagian dalam. Pengujian *inverter* diperlukan untuk memeriksa malfungsi inverter dan diperbaiki jika ada yang perlu diperbaiki agar *inverter* berjalan dengan semestinya.

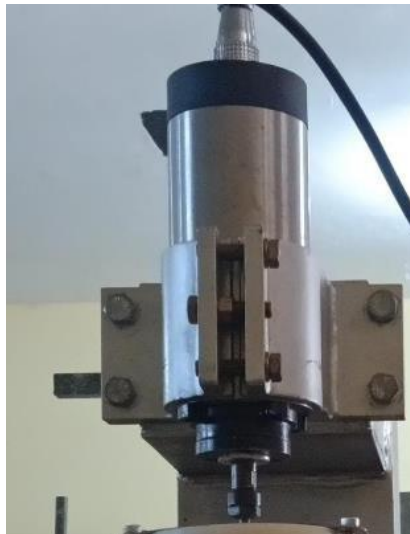
b. MCB (*Miniature Circuit Breaker*)



Gambar 3. 26 MCB

Permeriksaan MCB bertujuan untuk menjaga agar breaker dapat selalu beroperasi dengan baik, sesuai dengan fungsinya dan tetap aman. Pemeriksaan MCB dilakukan dengan cara pengecekan pada switch on/off apakah terjadi kelonggaran atau tidak. Pembongkaran MCB dilakukan untuk mengetahui apakah ada yang terbakar pada salah satu komponen jika salah satu itu terjadi diharapkan untuk mengganti dengan MCB baru agar tetap aman

c. Motor Listrik DC (Arus Searah)



Gambar 3. 27 Motor listrik DC

Permeriksaan Motor listrik bertujuan agar kinerjanya tetap optimal. Pemeriksaan yang kami lakukan dengan cara menyalakan mesin dengan cara mebandingkan antara kecepatan 1000 rpm dengan 5000 rpm jika pada kedua kecepatan tersebut memiliki getaran yang berbeda, maka motor listrik masih keadaan normal namun jika pada putaran 5000 rpm motor listrik memiliki getran yang minim, seperti getaran 1000 rpm, maka motor listrik dalam kondisi lemah atau rusak

d. Kabel

Pemeriksaan yang kami lakukan pada kabel hanya dengan menggunakan visual dan menekuk kabel. Pada kondisi kabel yang sudah mulai getas, maka Ketika kabel ditekuk akan terlihat kegetasan yang terjadi pada kabel, bahkan jika sudah lama pengaman pada kabel tersebut mudah sekali patah dan terlihat tembaganya. Jika sudah, seperti itu diharuskan segera melakukan penggantian kabel agar tidak terjadi kecelakaan saat penggunaan alat, sebisa mungkin penempatan kabel dijauhkan dari hal yang mudah terbakar apabila kabel tersebut terbakar tidak mudah terkena benda lain.

e. Rangka, tabung, dan poros



Gambar 3. 28 Rangka, tabung, dan poros

Rangka, tabung dan poros terbuat dari logam. Oleh karena itu pemeriksaan yang dilakukan hanya pengamatan visual. Seperti yang diketahui logam memiliki sifat korosi jadi jika terdapat korosi pada salah satu komponen, yang kami lakukan, yaitu pengecatan namun jika adanya korosi, maka dilakukan penggantian komponen yang baru.

f. Mata Pisau



Gambar 3. 29 Mata pisau

Pemeriksaan mata pisau yang terdapat pada mesin pengaduk, yaitu kami melakukan pengamatan secara visual dikarenakan Ketika menggunakan alat sebelum dan sesudahnya mata pisau dibersihkan dari serat yang menempel sehingga dapat meminimalisir korosi pada mata pisau

3.7 Perhitungan Mesin *High Speed Stirring* saat beroperasi

Mesin pengaduk putaran tinggi memiliki kecepatan pada satuan Hertz, tetapi yang dibutuhkan satuannya RPM, dengan cara mengkalikan 0,016667hz.

3.7.1 Luas penampang mata potong (A_c)

$$A_c = \pi \cdot r^2$$

Dimana:

A_c = Luas penampang (m^2)

r = Jari-jari mata pisau (m)

3.7.2 Kecepatan ` pisau (v)

$$v = \omega \times r$$

Dimana:

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

R = Jari-jari (m)

3.7.3 Tekanan yang bekerja pada mata potong (p)

$$p = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

Dimana:

ρ = Massa jenis (kg/m³)

v = Kecepatan linier (m/s)

3.7.4 Volume Poros

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \ell$$

Dimana:

D = Diameter Poros (m)

ℓ = Panjang poros (m)

3.7.5 Torsi Yang Dihasilkan Mata Pisau (T)

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Dimana:

T = Torsi yang dihasilkan mata pisau (Nm)

P = Daya motor (watt)

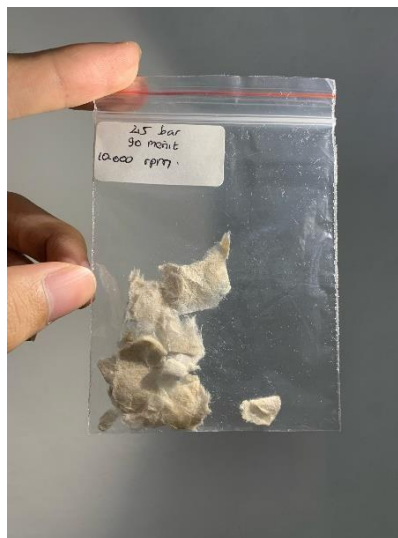
ω = Kecepatan sudut (rad/s)

3.8 Karakterisasi Pengujian

Perubahan struktur, sifat mekanik, dan komposisi serat batang pisang dievaluasi melalui karakterisasi setelah melalui berbagai perlakuan, khususnya *High Speed Stirring*. Beberapa metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

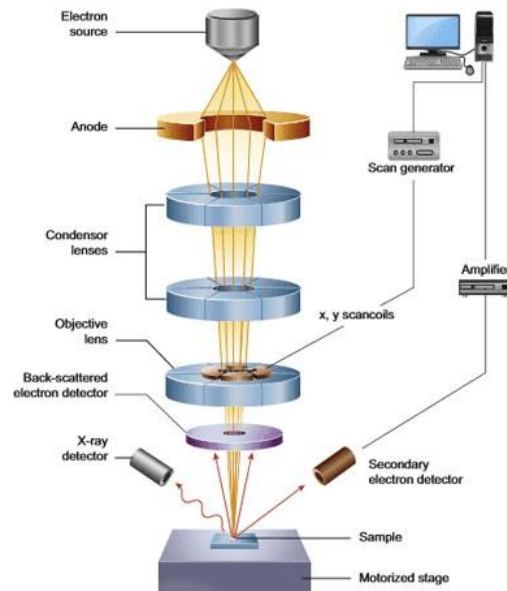
3.8.1 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian mikrostruktur komposit dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati morfologi dan ukuran partikel penyusunnya. *Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah mikroskop elektron yang sering digunakan untuk analisis permukaan material. Selain itu, SEM juga dapat digunakan untuk analisis kristalografi sehingga memungkinkan pengembangan lebih lanjut dalam identifikasi elemen atau senyawa.



Gambar 3. 30 Serat yang diuji SEM

Spesimen yang disiapkan untuk uji SEM harus berupa serat dengan ukuran yang sangat halus dan tidak menggumpal. Oleh karena itu, proses penyortiran serat harus dilakukan dengan cermat. Setelah penyortiran selesai, serat-serat tersebut dimasukkan ke dalam plastik kecil untuk disimpan.



Gambar 3. 31 Prinsip kerja SEM

Prinsip kerja SEM melibatkan produksi sinar elektron oleh sebuah pistol elektron. Elektron tersebut kemudian dipercepat oleh anoda dan difokuskan oleh lensa magnetik menuju sampel. Setelah elektron difokuskan, ia memindai seluruh permukaan sampel dengan bantuan koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, sampel tersebut memancarkan elektron sekunder yang kemudian diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT). Pengamatan sampel dilakukan dengan menembakkan berkas elektron berintensitas tinggi ke permukaan sampel dan melakukan pemindaian pada seluruh permukaan material yang diamati. Karena area pengamatan yang luas, lokasi yang akan dianalisis dapat diperbesar atau diperkecil (*zoom-in* atau *zoom-out*). Informasi dari berkas pantulan tersebut diolah menggunakan program pengolahan citra yang terintegrasi dalam komputer untuk mendapatkan data yang diperlukan.

SEM menggunakan prinsip *scanning*, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik objek. Gerakan berkas elektron dari suatu titik ke

titik yang lain ada suatu daerah objek yang menyerupai gerakan membaca. Gerakan ini disebut *scanning*. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, yaitu *electron coulomb* dan *display column*. *Elektron column* merupakan model *electron beam scanning*. Sedangkan *display console* merupakan elektron sekunder yang di dalamnya terdapat CRT. Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh electron gun yang kedua tipenya berdasarkan pada pemanfaatan arus.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan Perlakuan Penyisiran

4.1.1 Karakteristik Serat Setelah Dilakukan Penyisiran



Gambar 4. 1 Serat yang belum dilakukan penyisiran (a), serat yang sudah dilakukan penyisiran (b)

Hasil serat setelah melewati proses perlakuan penyisiran dapat dilihat dari gambar (b) dan diperoleh karakteristik sebagai berikut.

- 1 Tampilan serat didominasi oleh warna krem atau kuning kecoklatan yang merata. Hal ini menandakan bahwa kotoran dan getah yang menggumpal telah berhasil dibersihkan dari permukaannya, yang juga dapat dipastikan oleh adanya kilau alami yang cerah. Secara visual, serat terlihat lebih halus dan teratur dibandingkan serat mentah sebelum perlakuan.
- 2 Bundel-bundel serat batang pisang yang semula kaku dan lengket kini telah terpisah menjadi helai-helai yang lebih individual.

- 3 Serat batang pisang berbentuk, seperti rambut yang panjang dan fleksibel, tidak lagi kaku, seperti kondisi awal. Terlihat lebih bervolume dan ringan.

4.1.2 Analisa Hasil Perlakuan Penyisiran

Perubahan karakteristik visual dan fisik pada serat terjadi akibat adanya perlakuan mekanis. Proses penyisiran dengan sikat baja secara efektif memberikan gaya gesek dan tarikan pada bundel serat batang pisang. Gaya ini menyebabkan hasil:

- 1 Pemisahan Bundel: Bundel serat batang pisang yang diikat oleh matriks lemah, seperti pektin dan sisa lignin dapat diurai menjadi serat-serat individual. Hal ini yang membuat serat hasil akhir terasa lebih halus dan bervolume, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.
- 2 Pembersihan Permukaan: Gesekan dari sikat baja juga membersihkan permukaan serat dari kotoran dan lapisan non-serat lainnya. Inilah yang menyebabkan warna serat menjadi lebih cerah dan berkilau.

4.2 Hasil dan Pembahasan Perlakuan Alkali

4.2.1 Karakteristik Serat Setelah Perlakuan Alkali



Gambar 4. 2 Serat yang sedang direndam NaOH (a), serat setelah dilakukan perlakuan alkali dan dikeringkan (b)

Perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH selama 6 jam pada serat batang pisang yang sebelumnya telah melalui proses penyisiran mekanis. Karakteristik serat batang pisang setelah perlakuan sebagai berikut:

- 1 Terjadi perubahan warna yang jelas, dari yang semula krem cerah menjadi kuning kecoklatan yang lebih gelap dan pekat.
- 2 Serat batang pisang menjadi terasa lebih kaku dan getas saat kering. Ikatan antar serat tampak lebih longgar, namun helai-helai individualnya terasa lebih kasar dibandingkan sebelum perlakuan
- 3 Secara keseluruhan, serat kehilangan sifat "mengembang" atau bervolume yang didapat setelah penyisiran. Kini serat cenderung lurus dan lebih kaku.
- 4 Berdasarkan penimbangan massa kering serat sebelum dan sesudah perlakuan, tercatat adanya penurunan berat

4.2.2 Analisa Hasil Perlakuan Alkali

Penurunan berat yang terjadi merupakan bukti kuantitatif utama bahwa proses pemurnian berhasil. Massa yang hilang tersebut sebagian besar adalah komponen matriks pengikat, seperti lignin, hemiselulosa, pektin, dan lilin yang larut dalam larutan alkali

Perubahan warna menjadi lebih gelap kecoklatan merupakan hasil proses alkalisasi serat. Hal ini disebabkan oleh pelarutan lignin yang merupakan polimer kompleks berwarna gelap. Tekstur yang menjadi lebih kaku dan getas juga dapat dijelaskan oleh hilangnya hemiselulosa dan pektin. Komponen-komponen ini berfungsi sebagai "lem" yang memberikan fleksibilitas pada bundel serat. Ketika komponen ini hilang, yang tersisa didominasi oleh rantai selulosa yang lebih kaku dan kristalin.

Pemilihan waktu perendaman selama 6 jam merupakan durasi yang cukup panjang, yang bertujuan untuk memaksimalkan efektivitas pelarutan lignin dan meningkatkan kemurnian selulosa secara optimal. Waktu yang lebih lama memungkinkan larutan basa untuk berpenetrasi lebih dalam ke struktur serat

4.3 Hasil dan Pembahasan Perlakuan *Steaming* Serat Batang Pisang

Perlakuan ini dilakukan sebagai tahap akhir pemurnian setelah serat melalui proses penyisiran mekanis dan perlakuan alkali. Variasi tekanan yang diterapkan adalah 2 bar dan 2,5 bar, masing-masing dengan waktu tahan (holding time) selama 60 menit.

4.3.1 Hasil Serat *Steam Explosion* pada Tekanan 2 Bar

Dapat dilihat serat Ketika perlakuan bertekanan selama 60 menit dengan variasi tekanan 2 bar.

Setelah melewati proses steaming serat memiliki karakteristik berbeda sebagai berikut :

- 1 Sampel menunjukkan warna coklat gelap, yang merupakan karakteristik dari serat yang telah mengalami delignifikasi. Sampel yang diberi perlakuan 2 bar memiliki warna yang lebih cerah daripada perlakuan yang diberi tekanan 2,5 bar
- 2 Serat pada perlakuan 2 bar masih tampak sedikit lebih kaku dan beberapa bundel serat masih terlihat menyatu.
- 3 Setelah melewati proses steaming, serat lebih terurai



Gambar 4. 3 Serat steaming variasi 2 bar

4.3.2 Hasil Serat *Steam Explosion* pada Tekanan 2,5 Bar

Setelah melewati proses steaming serat memiliki karakteristik berbeda sebagai berikut :

- 1 Sampel menunjukkan warna coklat gelap, yang merupakan karakteristik dari serat yang telah mengalami delignifikasi. Sampel yang diberi 2,5 bar warnanya lebih coklat daripada 2 bar.
- 2 Serat pada perlakuan 2,5 bar terlihat lebih terurai dan gembur yang lebih halus dan terpisah

3 Setelah melewati proses steaming, serat lebih terurai



Gambar 4. 4 Serat steaming variasi 2,5 bar

Dapat dilihat serat Ketika perlakuan bertekanan selama 60 menit dengan variasi tekanan 2 bar.

4.3.3 Efek Tekanan 2 bar

Tekanan 2 bar ($\sim 120^{\circ}\text{C}$) memberikan perlakuan yang lebih "lunak". Proses hidrolisis tetap terjadi, namun tidak seagresif pada tekanan 2,5 bar

1. Masih terlihat adanya bundel serat yang belum sepenuhnya terurai.
2. Kemungkinan besar, perlakuan ini tidak terlalu merusak rantai selulosa sehingga berpotensi mempertahankan kekuatan mekanik serat yang lebih baik dibandingkan perlakuan 2,5 bar.

4.3.4 Efek Tekanan 2,5 bar

Efek pada Sampel 2,5 bar: Tekanan yang lebih tinggi (2,5 bar, setara dengan suhu jenuh 125°C) memberikan energi termal yang lebih besar. Energi ini menyebabkan proses hidrolisis berjalan lebih agresif.

1. Degradasi lignin dan hemiselulosa yang lebih intensif menghasilkan produk samping berwarna lebih gelap.

2. Energi yang lebih tinggi mampu memecah lebih banyak ikatan antar serat.
3. Tingkat energi yang tinggi juga berisiko menyebabkan degradasi pada rantai selulosa, yang dapat menurunkan kekuatan intrinsik serat

4.4 Hasil dan Pembahasan Perlakuan *High Speed Stirring*

Pada sub bab ini dipaparkan hasil akhir dari keseluruhan proses menjadikan serat berukuran makro menjadi serat batang pisang berukuran nano nano, yang mencakup perlakuan alkali, *steaming* bertekanan, dan *high speed stirring*. Pembahasan akan difokuskan pada analisis mekanisme terbentuknya struktur nano dan perbandingan hasil dari dua variasi tekanan *steam*.

4.4.1 Karakterisasi Visual Setelah Perlakuan *High Speed Stirring* Variasi 2 bar

Hasil specimen setelah proses pengadukan berkecepatan tinggi, serat yang semula berbentuk serat terurai berbentuk padat berhasil diurai dan terdispersi dalam medium cair, membentuk larutan yang keruh.



Gambar 4. 5 Spesimen setelah perlakuan putaran tinggi pada perlakuan 2 bar

- 1 Sampel menunjukkan wujud larutan berwarna putih kekuningan atau krem. Tidak ada lagi serat panjang yang terlihat secara kasat mata hanya serat yang halus dan terlihat sama
- 2 Serat batang pisang perlakuan 2 tidak terlalu homogen
- 3 Sampel dari serat perlakuan 2 bar menunjukkan laju pengendapan yang lebih cepat.

4.4.2 Karakterisasi Visual Setelah Perlakuan *High Speed Stirring* Variasi 2,5 bar

Hasil specimen setelah proses pengadukan berkecepatan tinggi, serat yang semula berbentuk serat terurai berbentuk padat berhasil diurai dan terdispersi dalam medium cair.



Gambar 4. 6 Spesimen setelah perlakuan putaran tinggi pada perlakuan 2,5 bar

1. Sampel menunjukkan wujud larutan berwarna putih kekuningan atau krem. Tidak ada lagi serat panjang yang terlihat secara kasat mata hanya serat yang halus dan terlihat sama
2. Sampel dari serat perlakuan 2,5 bar menunjukkan laju pengendapan yang lebih lambat. Lapisan bening di bagian atas terbentuk lebih lambat

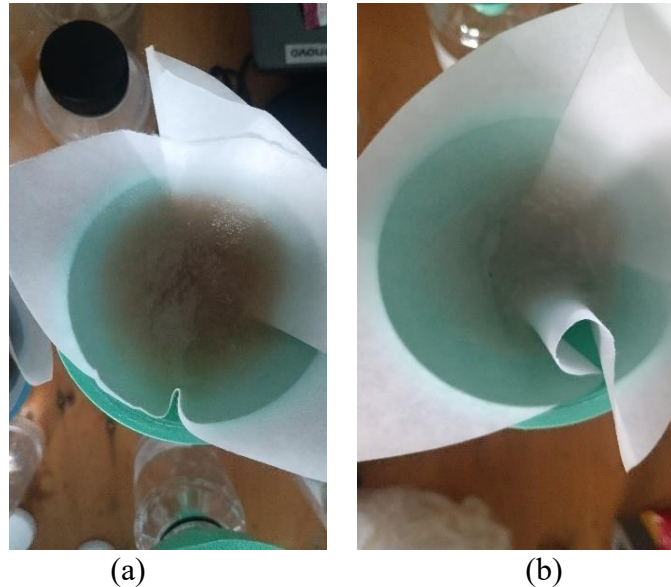
3. Serat perlakuan 2,5 bar bar lebih homogen

4.4.3 Pengaruh Perlakuan Awal (*Steam*) terhadap Dispersi Akhir

Perbedaan hasil homogenitas dan stabilitas antara kedua sampel secara langsung disebabkan oleh kondisi serat sebelum dimasukkan ke dalam mesin pengaduk.

1. Serat yang diperlakukan dengan *steam* 2,5 bar sebelumnya sudah lebih rapuh dan terurai secara setelah proses alkali (seperti dibahas pada tahap sebelumnya). Struktur yang lebih lunak ini membuat serat lebih mudah dihancurkan hasilnya adalah partikel yang lebih kecil dan seragam, yang mampu bertahan dalam untuk waktu yang lebih lama.
2. Serat dari perlakuan 2 bar, yang secara intrinsik sedikit lebih kuat dan mungkin masih memiliki sisa ikatan antar serat, memberikan resistensi yang lebih besar terhadap gaya geser. Akibatnya, dalam durasi pengadukan yang sama, dispersinya tidak sehomogen sampel 2,5 bar, menghasilkan partikel dengan ukuran yang mungkin kurang seragam dan sedikit lebih besar sehingga lebih cepat mengendap.

4.4.4 Hasil Proses Penyaringan



Gambar 4. 7 Penyaringan serat variasi 2 bar (a), Penyaringan serat variasi 2,5 bar (b)

Hasil spesimen serat batang pisang dari dua variasi perlakuan disaring menggunakan kertas saring standar untuk memisahkan fasa padat dan fasa cairnya. Hasil visual dari proses penyaringan ditunjukkan pada gambar

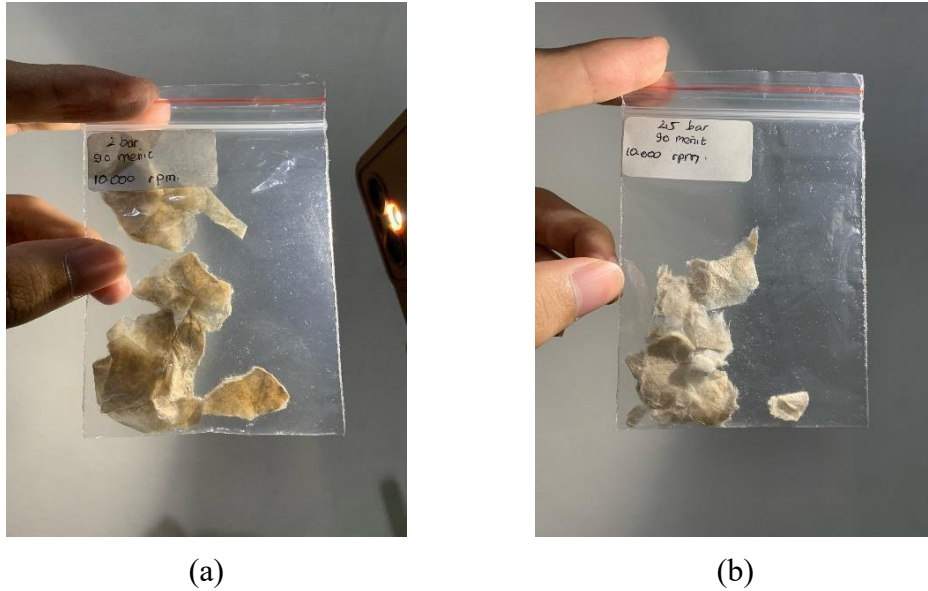
Pengamatan visual menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara kedua sampel:

- 1 Sampel 2,5 bar (b): Setelah seluruh cairan tersaring, kertas saring tampak relatif bersih
- 2 Sampel 2 bar (a): Proses penyaringan meninggalkan lapisan endapan berwarna coklat muda yang terlihat jelas dan merata di permukaan kertas saring

4.4.5 Pengamatan Hasil Penyaringan dan Ukuran Partikel

Hasil penyaringan ini menunjukkan hasil dan menjadi kunci analisis: perlakuan yang lebih intensif (2,5 bar) justru menghasilkan endapan yang jauh lebih sedikit. Hasil penyaringan serat dapat disimpulkan bahwa:

1. Perlakuan 2,5 bar Menghasilkan Partikel Skala Nano: Perlakuan *steam* pada tekanan 2,5 bar yang lebih agresif, berhasil mendegradasi serat tidak hanya menjadi partikel mikro, tetapi kemungkinan besar hingga ke skala nano (nanoselulosa). Partikel berukuran nano ini memiliki dimensi yang jauh lebih kecil daripada ukuran pori-pori kertas saring sehingga sebagian besar partikel tersebut lolos melewati saringan bersama dengan filtrat (cairan). Inilah mengapa kertas saringnya tampak bersih.
2. Perlakuan 2 bar Menghasilkan berukuran mendekati nano akan, tetapi lebih berpotensi pada serat yang diberi perlakuan 2,5 bar. Partikel-partikel ini, meskipun sudah sangat kecil, masih memiliki ukuran yang cukup besar untuk tertahan oleh pori-pori kertas saring sehingga membentuk lapisan endapan yang dapat diamati dengan jelas.

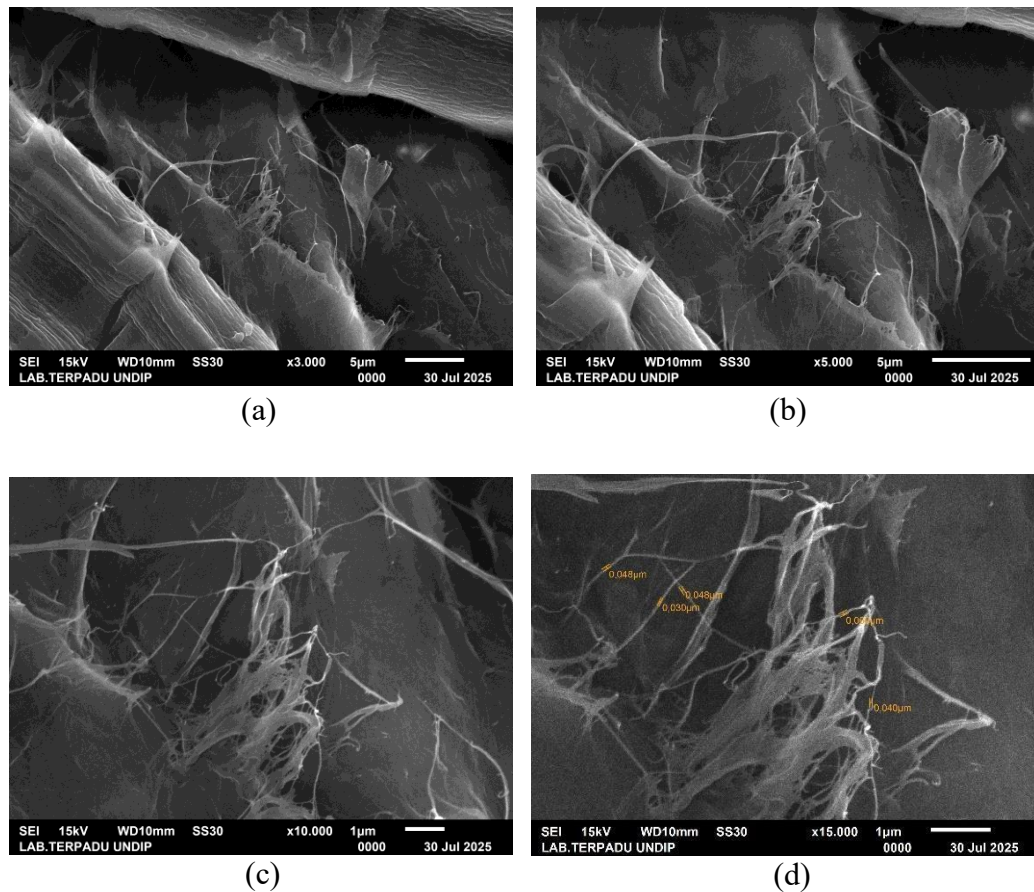


Gambar 4. 8 Serat yang sudah dikeringkan variasi 2 bar (a), Serat yang sudah dikeringkan variasi 2,5 bar (b)

Terbentuknya padatan yang menyerupai kertas tipis saat kering adalah karakteristik dari partikel selulosa berukuran mikro atau nano yang saling terikat. Ini menunjukkan bahwa proses *high-speed stirring* telah berhasil menghancurkan struktur asli serat menjadi partikel-partikel individual.

4.5 Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 2 bar

Hasil final dari karakterisasi morfologi partikel serat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Analisis ini bertujuan untuk memvalidasi secara visual efektivitas dari keseluruhan proses perlakuan dalam mengubah struktur serat batang pisang pada skala nano.

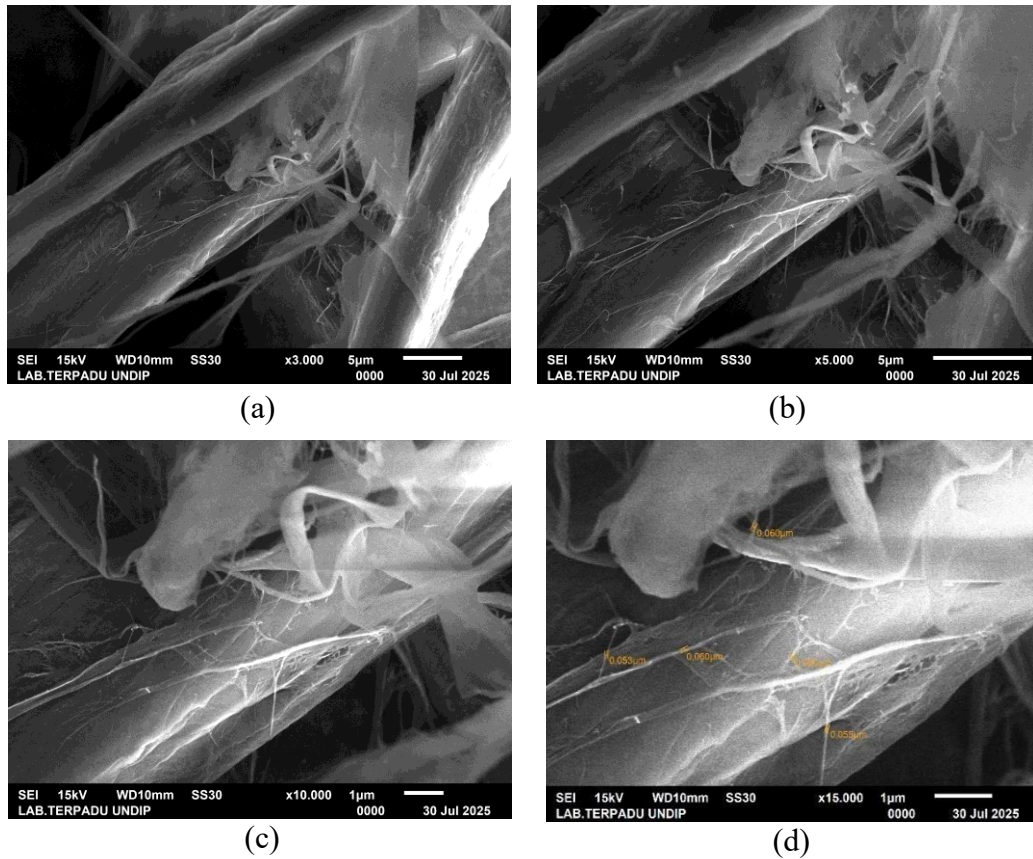


Gambar 4. 9 Hasil uji SEM variasi 2 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

Pengukuran yang dilakukan pada perbesaran 15.000x (d) menunjukkan bahwa serat berukuran nano ini memiliki diameter yang berkisar antara 30 hingga 60 nanometer ($0.030 - 0.060 \mu\text{m}$).

4.6 Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 2,5 bar

Hasil final dari karakterisasi morfologi partikel serat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Analisis ini bertujuan untuk memvalidasi secara visual efektivitas dari keseluruhan proses perlakuan dalam mengubah struktur serat batang pisang pada skala nano.

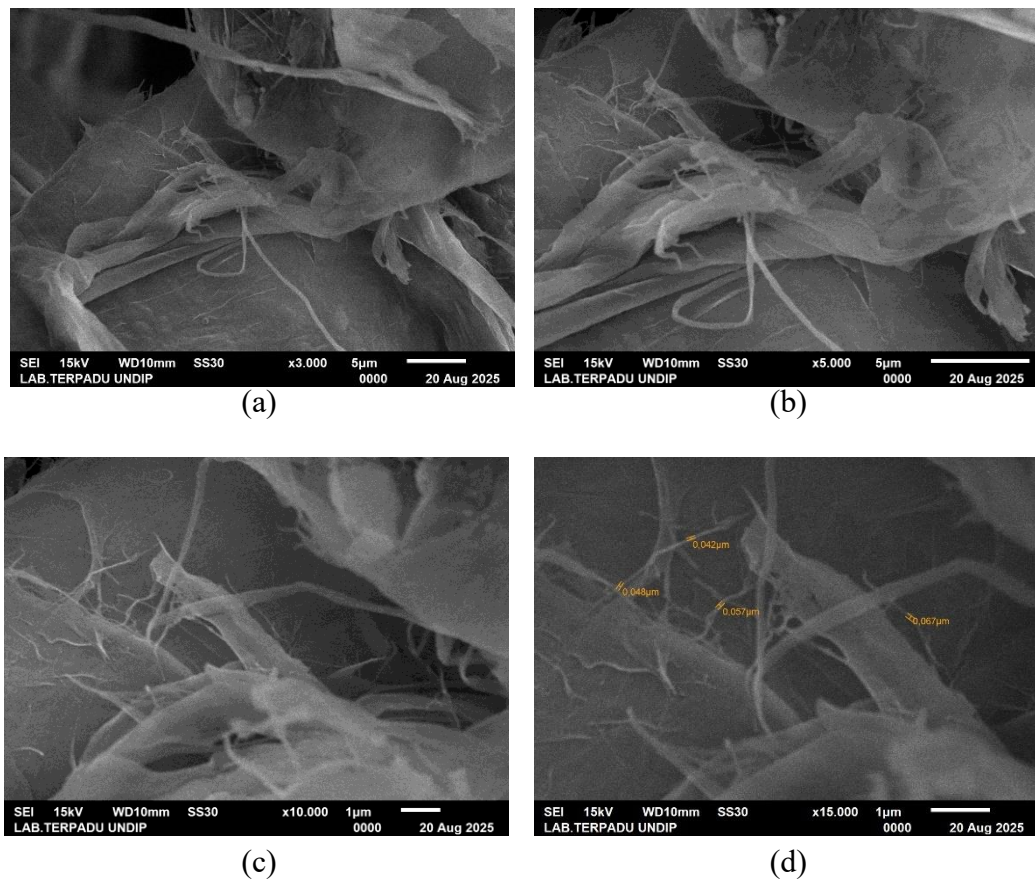


Gambar 4. 10 Hasil uji SEM variasi 2,5 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

Pengukuran yang dilakukan pada perbesaran 15.000x (d) menunjukkan bahwa serat berukuran nano ini memiliki diameter yang berkisar antara 30 hingga 60 nanometer (0.053 - 0.060 μm).

4.7 Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 9500 RPM dengan variasi *steaming* 2 bar

Hasil final dari karakterisasi morfologi partikel serat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Analisis ini bertujuan untuk memvalidasi secara visual efektivitas dari keseluruhan proses perlakuan dalam mengubah struktur serat batang pisang pada skala nano.

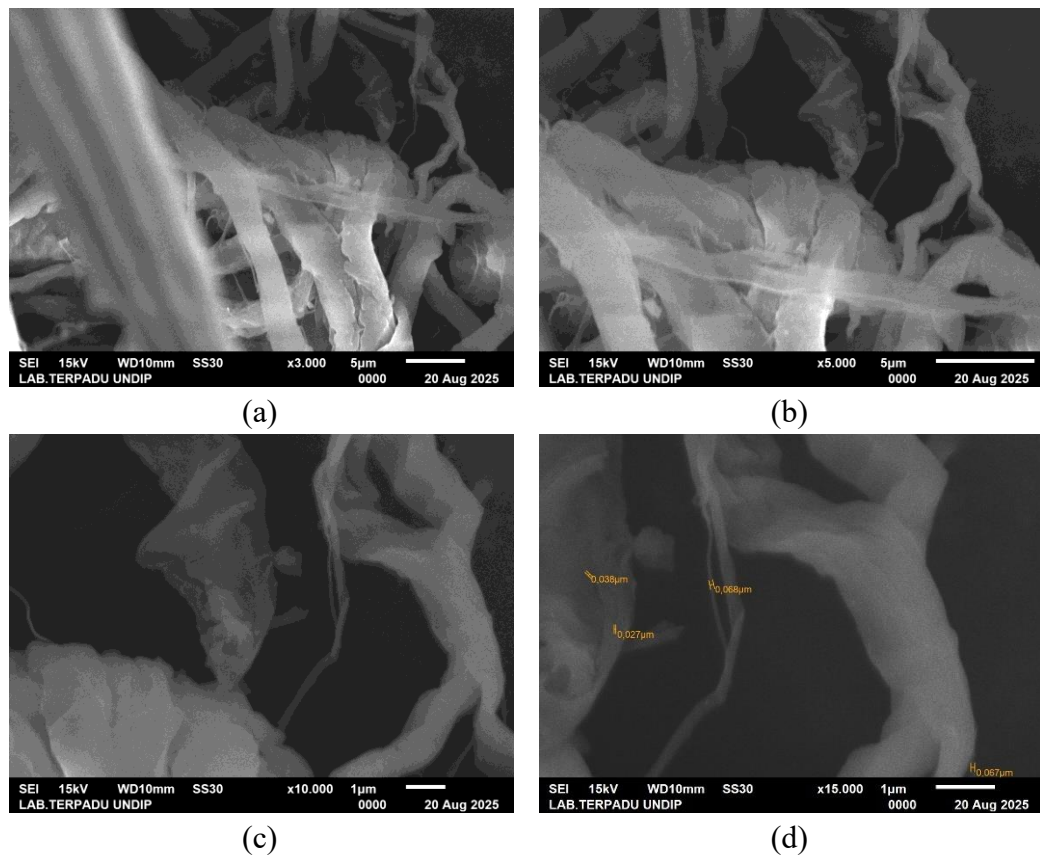


Gambar 4. 11 Hasil uji SEM variasi putaran 9500 dengan *steaming* 2 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

Pengukuran yang dilakukan pada perbesaran 15.000x (d) menunjukan bahwa serat berukuran nano ini memiliki diameter yang berkisar antara 42 hingga 67 nanometer (0.042 - 0.067 μm).

4.8 Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 10500 RPM dengan variasi *steaming* 2 bar

Hasil final dari karakterisasi morfologi partikel serat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Analisis ini bertujuan untuk memvalidasi secara visual efektivitas dari keseluruhan proses perlakuan dalam mengubah struktur serat batang pisang pada skala nano.



Gambar 4. 12 Hasil SEM variasi putaran 10500 dengan steaming 2 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

Pengukuran yang dilakukan pada perbesaran 15.000x (d) menunjukkan bahwa serat berukuran nano ini memiliki diameter yang berkisar antara 37 hingga 68 nanometer (0.027 - 0.068 μm).

4.9 Perhitungan Pada Mesin *High Speed Stirring*

4.8.1 Perhitungan Torsi

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui berapa torsi yang dihasilkan jika variasi putaran 10.000 RPM

1. Volume Silinder

$$r = \text{Jari-jari} = 6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} V &= \pi \times r^2 \times t \\ &= 3.14 \times (6)^2 \times 16,3 \\ &= 1.843 \text{ cm}^3 \\ &= 1,8 \text{ liter} \end{aligned}$$

2. Volume Poros

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \ell \\ &= \frac{3,14}{4} \times (0,01)^2 \times 0,0114 \\ &= 8.949 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3. Kecepatan Sudut

Disini penulis menggunakan variasi putaran 10.000 RPM

Putaran 10.000 RPM

$$\begin{aligned} \omega &= n \times \frac{2\pi}{60} \\ &= 10.000 \times \frac{2\pi}{60} \\ &= 1.046 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Torsi yang Dihasilkan Mata Pisau (T)

Putaran 10.000 RPM

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P}{\omega} \\
 &= \frac{1.500}{1.046} \\
 &= 1,43 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

4.8.2 Tekanan Yang Dihasilkan Mata Pisau 8 Sudu

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui berapa tekanan yang dihasilkan saat mata pisau berputar dengan kecepatan 10.000 RPM

1. Luas penampang pisau (A_c)

$$D_{\text{pisau}} = 70 \text{ mm} = 0,070 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 A_c &= \pi \times r^2 \\
 &= 3.14 \times (0,035)^2 \\
 &= 0,0384 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Kecepatan ` pisau (v)

Putaran 10.000 RPM

$$\begin{aligned}
 v &= \omega \times r \\
 &= 1.046 \times 0,035 \\
 &= 36,6 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

3. Tekanan dinamis saat proses pengadukan (p)

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Putaran 10.000 RPM

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1000 \times 36,6^2 \\
 &= 18.3000 \text{ Pa} = 18,3 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Proses fibrilasi serat batang pisang (*Musa paradisiaca*) menjadi nanofiber berhasil dilakukan melalui kombinasi perlakuan bertahap, yang meliputi perlakuan fisik (penyisiran), perlakuan kimia (alkalisasi dengan larutan NaOH), perlakuan termal (*steaming*), dan perlakuan mekanik (*high-speed stirring* 10.000 rpm).
2. Variasi tekanan pada perlakuan *steaming* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap dimensi akhir nanofiber yang dihasilkan.
3. Perlakuan *steaming* dengan tekanan yang lebih rendah, yaitu 2 bar, mampu menghasilkan nanofiber dengan diameter yang lebih halus, berkisar antara 30-60 nm.
4. Perlakuan *steaming* dengan tekanan 2,5 bar, menghasilkan nanofiber dengan diameter yang sedikit lebih besar, berkisar antara 53-60 nm

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi parameter yang lebih luas, seperti variasi tekanan *steaming* di antara 2 bar dan 2,5 bar, serta variasi durasi waktu *steaming* dan kecepatan putaran pada mesin *high-speed stirring* untuk menemukan kondisi optimal yang dapat menghasilkan nanofiber dengan diameter terkecil

2. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada tahap aplikasi, yaitu dengan mengintegrasikan nanofiber batang pisang yang telah berhasil diproduksi ke dalam matriks polimer untuk membuat material komposit. Kemudian, dilakukan pengujian sifat mekanik (seperti uji tarik dan impak) pada material komposit tersebut untuk memvalidasi potensi nanofiber sebagai bahan penguat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, E., Thomas, M. S., Johnd, C., Pothan, L. A., Shoseyova, O., & Thomas, S. (2013). Green nanocomposites of natural rubber/nanocellulose: Membrane transport, rheological and thermal degradation characterisations. *Industrial Crops and Products*, 51, 415–424. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.022>
- Bahri, S. (2015). Pembuatan pulp dari batang pisang. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 4(2), 36-50.
- Bismarck, A., Aranberri Askargorta, I., Springer, J., Lampke, T., Wielage, B., Stamboulis, A., Shenderovich, I., & Limbach, H. H. (2002). Surface characterization of flax, hemp and cellulose fibers; Surface properties and the water uptake behavior. *Polymer Composites*, 23(5), 872–894.
- Chen, C., Kang, Y., Huo, Z., Zhu, Z., Huang, W., Xin, H. L., ... & Stamenkovic, V. R. (2014). Highly crystalline multimetallic nanoframes with three-dimensional electrocatalytic surfaces. *Science*, 343(6177), 1339-1343.
- Dufresne, A. (2013). Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. *Materials Today*, 16(6), 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.06.004>
- Gea, Saharman & Harahap, Mahyuni. (2025). SELULOSA.
- Hastuti, S., Budiono, H. S., Ivadiyanto, D. I., & Nahar, M. N. (2021). Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Serat Alam Limbah Sabut Kelapa (Cocofiber) yang Biodegradable. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 6(1), 30-37.
- Huzni, S., Ikramullah, I., Ibrahim, I. B., Fonna, S., Sukhairi, T. A., Afrizal, A., ... & Rizal, S. (2022). The Role of Typha angustifolia Fiber–Matrix Bonding Parameters on Interfacial Shear Strength Analysis. *Polymers*, 14(5), 1006.
- Irsyad, M., Ngafwan, N., & Yulianto, A. (2015). Sifat fisis dan mekanis pada komposit polyester serat batang pisang yang disusun asimetri [45°/-30°/45°/-30°] [Naskah Publikasi Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Surakarta].
- Kalia, S., Kaith, B. S., & Kaur, I. (Eds.). (2011). *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17370-7>
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte chemie international edition*, 44(22), 3358-3393.
- 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 Edition*, 50(24), 5438-5466.

- Kusić, D., Božić, U., Monzón, M., Paz, R., & Bordón, P. (2020). Thermal and mechanical characterization of banana fiber reinforced composites for its application in injection molding. *Materials*, 13(16), 3581.
- Lismeri, L., Darni, Y., Iqbal I., M., & Mitra S., D. (2017, 25 September). Isolasi mikrofibril selulosa dengan pretreatment alkali dari limbah batang pisang [Presentasi makalah].
- Mawardi, I., Jufriadi, J., & Hanif, H. (2019). Microfibrillation of Coir Using High Speed Blender to Improvement of Tensile Behavior of Coir Reinforced Epoxy Composites. In *International Conference on Basic Sciences and Its Applications* (hlm. 157–170). KnE Engineering.
- Moberg, T., & Rigdahl, M. (2012). On the viscoelastic properties of microfibrillated cellulose (MFC) suspensions. *Annu Trans Nord Rheol Soc*, 20, 123-130.
- Nogi, M., Ifuku, S., Abe, K., Handa, K., Nakagaito, A. N., & Yano, H. (2006). Fiber-content dependency of the optical transparency and thermal expansion of bacterial nanofiber reinforced composites. *Applied Physics Letters*, 88(13).
- Nopriantina, N. (2013). Pengaruh Ketebalan Serat Pelapah Pisang Kepok (Musa Paradisiaca) Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester-serat Alam. *Jurnal Fisika Unand*, 2(3).
- Nurhayati, Irianto, H. E., Riastuti, R., Pangesty, A. I., Nugraha, A. F., Todo, M., Jumahat, A., & Chalid, M. (2024). Extraction and characterization of microfibrillated cellulose from rice husk waste for biomedical purposes. *International Journal of Technology*, 15(2), 342–352.
- Ratna, R., Arahman, N., Munawar, A. A., & Aprilia, S. (2023). Extraction, isolation, and characterization of nanocrystalline cellulose from Barangan Banana (Musa acuminata L.) peduncles waste. *Indonesian Journal of Chemistry*, 23(1), 73–89.
- Rendy Dwi W. (2014). Sifat fisis dan Mekanis Akibat Perubahan Temperatur Pada Komposit polyester Serat Batang Pisang Yang Di-Treatment Menggunakan KmnO.
- Shackford, L. D. (2003, October). A comparison of pulping and bleaching of kraft softwood and eucalyptus pulps. In *36th international pulp and paper congress and exhibition* (pp. 13-16). Sao Paul Brazil.
- Siqueira, G., Bras, J., & Dufresne, A. (2010). Cellulosic bionanocomposites: a review of preparation, properties and applications. *Polymers*, 2(4), 728-765.
- Siró, I., & Plackett, D. (2010). Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose*, 17(3), 459-494.

Sukmawan, R., Kusmono, K., & Wildan, M. W. (2023). Easy production of acetylated cellulose nanofibers from sisal fibers by conventional high-speed blender. *Biomass Conversion and Biorefinery*.

Suparno, O. (2020). Potensi dan masa depan serat alam Indonesia sebagai bahan baku aneka industri. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2), 221–227.

Tanpichai, S., Mekcham, S., Kongwittaya, C., Kiwijaroun, W., Thongdonsun, K., Thongdeelerd, C., & Boonmahitthisud, A. (2022). Extraction of Nanofibrillated Cellulose from Water Hyacinth Using a High Speed Homogenizer. *Journal of Natural Fibers*, 19(13), 5676–5696.

Winuprasith, T., & Suphantharika, M. (2013). Microfibrillated cellulose from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) rind: Preparation, characterization, and evaluation as an emulsion stabilizer. *Food Hydrocolloids*, 32(2), 383–394.

Zhao, X., Cheng, K., & Liu, D. (2009). Organosolv pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis. *Applied microbiology and biotechnology*, 82(5), 815–827.

LAMPIRAN

Lampiran Perlakuan Penyisiran dan Kimia



Lampiran Perlakuan *Steaming*





Lampiran Perlakuan *High Speed Stirring*

