

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 terurai 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

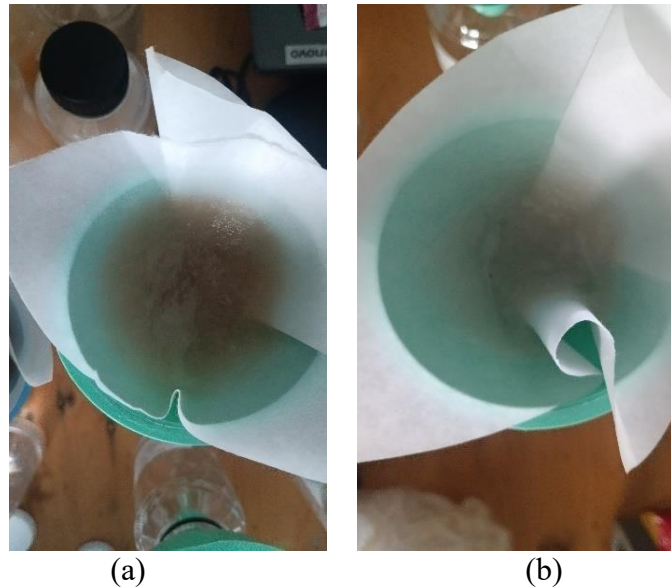
3. Serat perlakuan 2,5 bar lebih homogen

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

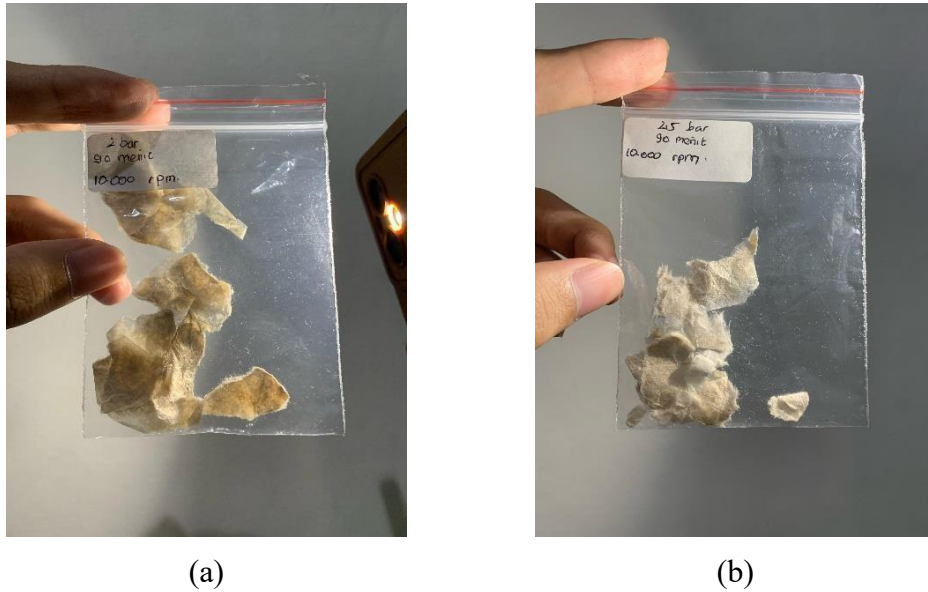
Pengamatan visual menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara kedua sampel:

- 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.

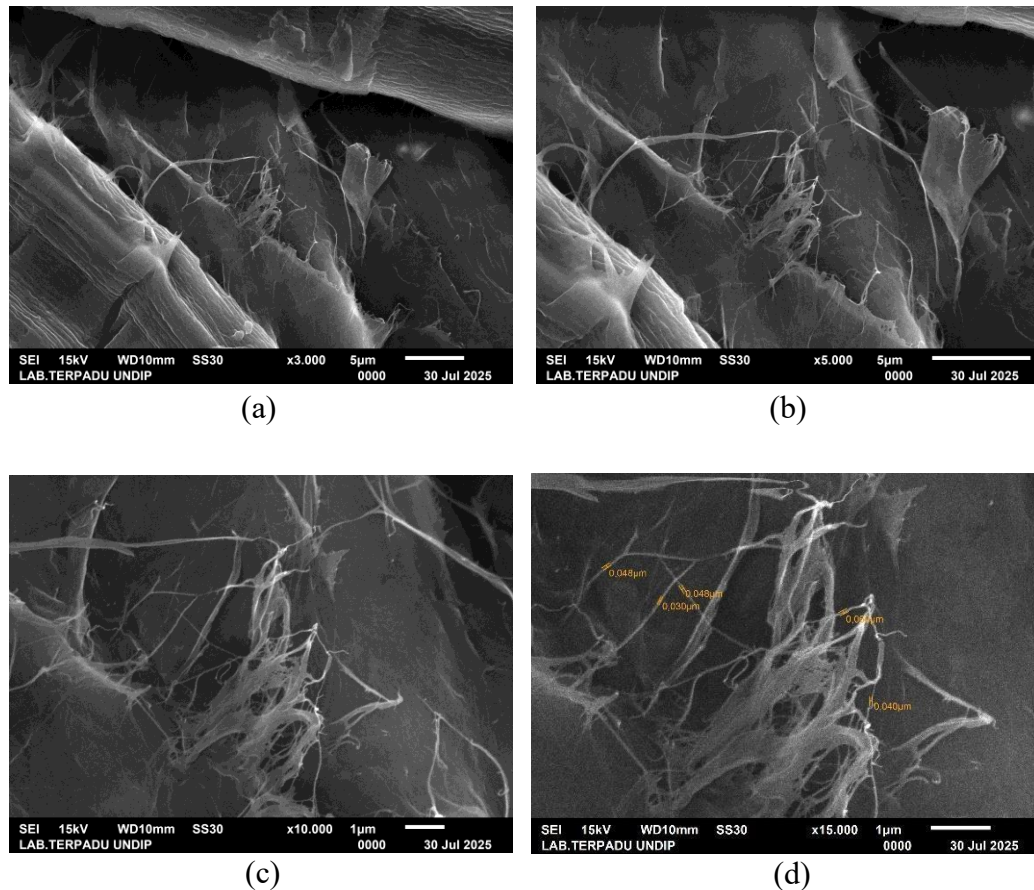


Gambar 4. 8 Serat yang sudah dikeringkan variasi 2 bar (a), Serat yang sudah dikeringkan variasi 2,5 bar (b)

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.

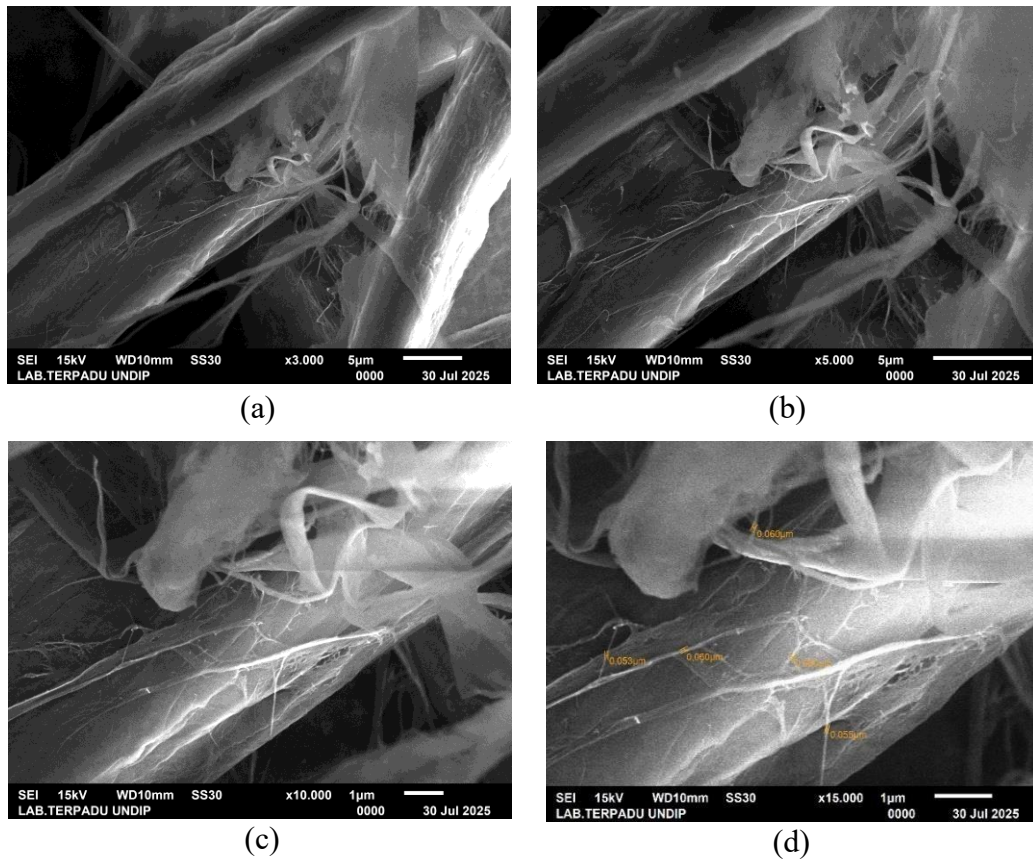


Gambar 4. 9 Hasil uji SEM variasi 2 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

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.

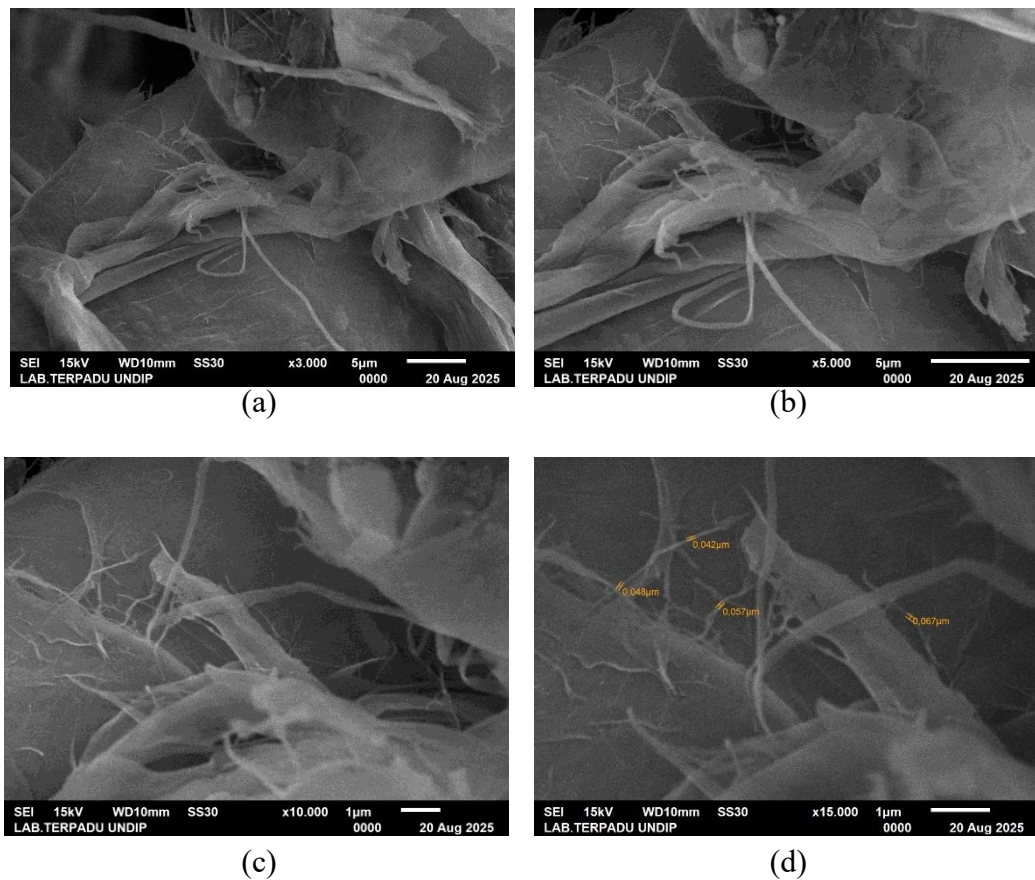


Gambar 4. 10 Hasil uji SEM variasi 2,5 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

Pengukuran yang dilakukan pada perbesaran 15.000x (d) menunjukkan bahwa serat berukuran nano ini memiliki diameter yang berkisar antara 30 hingga 60 nanometer ($0.053 - 0.060 \mu\text{m}$).

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.

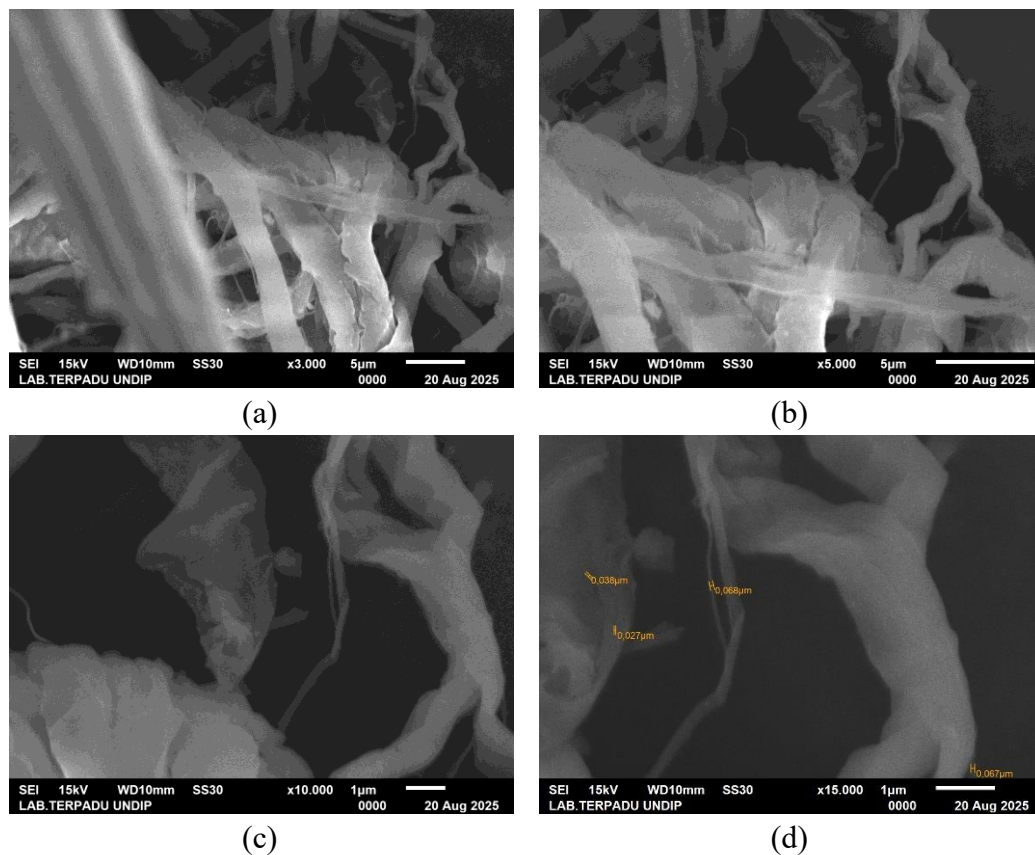


Gambar 4. 11 Hasil uji SEM variasi putaran 9500 dengan *steaming* 2 bar, perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

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

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