

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dari Pembahasan Penyisiran Serat

4.1.1 Karakteristik Serat Setelah Dilakukan Penyisiran



Gambar 4.1 Serat yang belum dilakukan penyisiran (a), dan serat yang sudah dilakukan penyisiran (b)

Hasil serat setelah melewati proses perlakuan penyisiran dapat dilihat dari gambar 4.1 (b) dan diperoleh karakteristik sebagai berikut.

1. Tampilan serat didominasi oleh warna krem atau putih kecoklatan yang merata. Hal ini menandakan bahwa kotoran dan getah yang menggumpal telah berhasil dibersihkan dari permukaannya, 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 nanas yang semula kaku dan lengket kini telah terpisah menjadi helai-helai yang lebih individual.
3. Serat nanas 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 nanas. Gaya ini menyebabkan hasil pemisahan bundel serat nanas 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. 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 direndam larutan NaOH (a), dan serat yang sudah direndam sedang dijemur (b)

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

1. Terjadi perubahan warna yang jelas, dari yang semula krem cerah menjadi putih kecoklatan yang lebih cerah.
2. Serat daun nanas menjadi terasa lebih kaku 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, adanya penurunan berat dari 21 gr menjadi 17,64 gr sekitar 16%.

4.2.2 Analisa Perlakuan Hasil 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 cerah merupakan hasil proses alkalisasi serat. Hal ini disebabkan oleh pelarutan lignin yang merupakan polimer kompleks berwarna gelap. Tekstur yang menjadi lebih kaku 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 ber-penetrasi lebih dalam ke struktur serat.

4.3 Hasil dan Pembahasan Perlakuan *Steaming* Serat Daun Nanas

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 *Steaming* Serat pada Tekanan 2 Bar

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

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 *Steaming* Serat 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 pada 2,5 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.

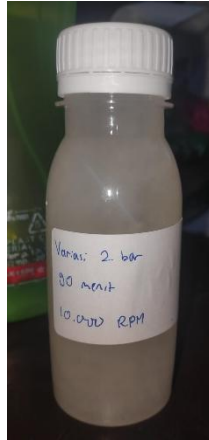
1. Degradasi lignin dan hemiselulosa yang lebih intensif menghasilkan produk samping berwarna lebih gelap.
2. Energi yang lebih tinggi mampu memecah lebih banyak ikatan antar serat.
3. Tingkat energi yang tinggi juga berisiko menyebabkan degradasi pada rantai selulosa, yang dapat menurunkan kekuatan intrinsik serat.

4.4 Hasil Dan Pembahasan Perlakuan *High Speed Stirring*

Pada subbab ini dipaparkan hasil akhir dari keseluruhan proses menjadikan serat berukuran makro menjadi serat daun nanas berukuran 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 spesimen setelah proses pengadukan berkecepatan tinggi, serat yang semula berbentuk serat terurai berbentuk padat berhasil diurai dan terdispersi dalam medium cair, membentuk larutan yang keruh antara serat dengan matriks polimer pada aplikasi komposit.

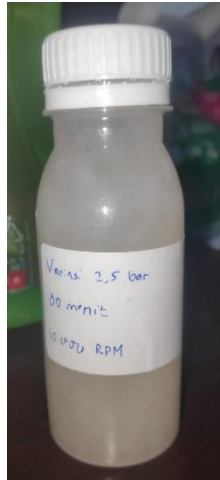


Gambar 4.5 Spesimen setelah perlakuan putaran tinggi variasi 2 bar

1. Sampel menunjukkan wujud larutan berwarna putih kecoklatan atau krem. Tidak ada lagi serat panjang yang terlihat secara kasat mata hanya serat yang halus dan terlihat sama.
2. Serat daun nanas 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 spesimen 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 variasi 2,5 bar

1. Sampel menunjukkan wujud larutan berwarna putih kecoklatan 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

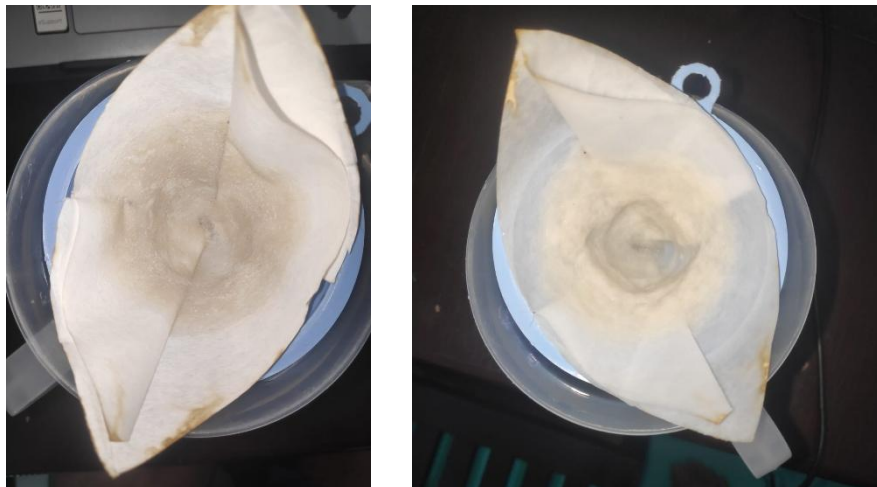
Perbedaan hasil homogenitas dan stabilitas antara kedua sampel secara langsung disebabkan oleh kondisi serat sebelum dimasukkan ke dalam mesin pengaduk.

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), dan penyaringan serat variasi 2,5 bar (b)

Hasil spesimen serat daun nanas 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

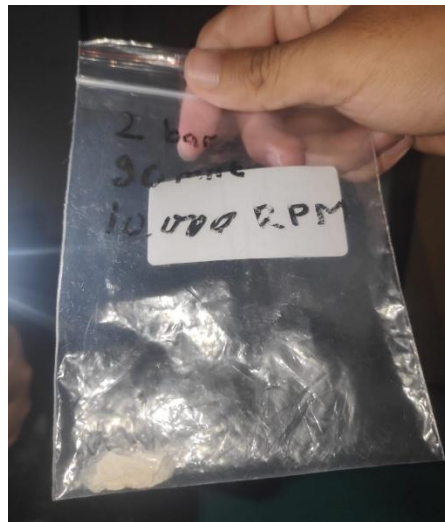
kedua sampel:

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.



(a)



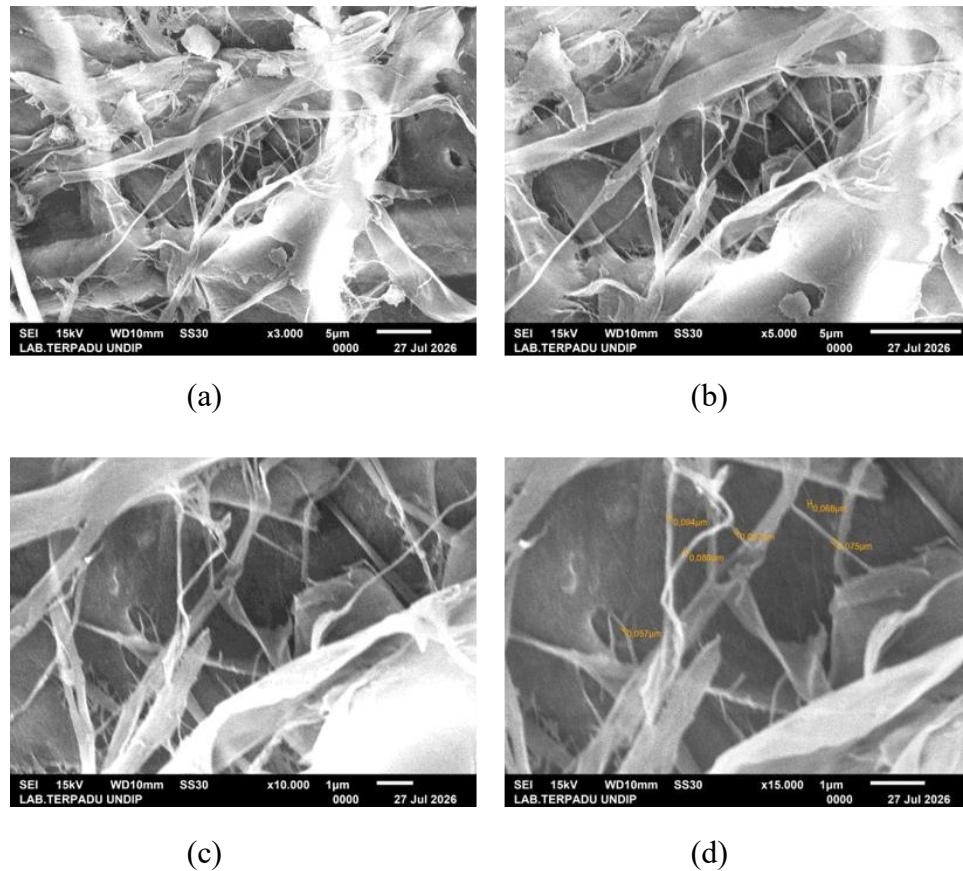
(b)

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 10.000 RPM

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 daun nanas pada skala nano.



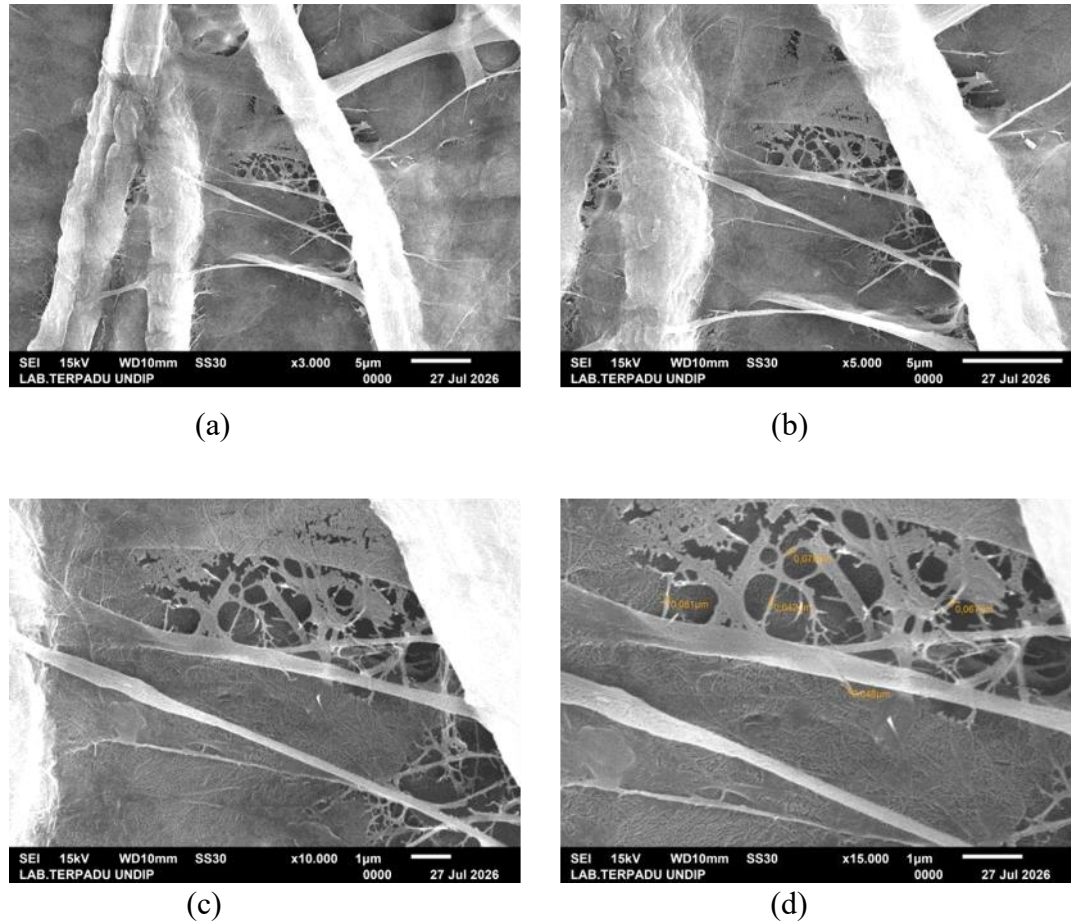
Gambar 4.9 Hasil uji SEM variasi 2 bar 10.000 RPM perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

Hasil pengamatan SEM secara jelas menunjukkan adanya perbedaan morfologi permukaan pada serat dengan perbedaan perlakuan pada tekanan 2 bar metode pengukusan dan putaran 10.000 rpm dengan waktu 90 menit variasi tekanan 2 bar. seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9. Pembesaran 15.000x putaran 10.000 rpm dengan waktu 90 menit menunjukkan bahwa serat berukuran nano ini memiliki diameter yang berkisar antara 0,057 - 0,094 μm atau 57 - 94 nanometer.

4.6 Hasil Serat yang sudah melalui Uji SEM Variasi 2 bar 11.000 RPM

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 daun nanas pada skala nano.



Gambar 4.10 Hasil uji SEM variasi 2 bar 11.000 RPM perbesaran 3000x (a), perbesaran 5000x (b), perbesaran 10.000x (c), perbesaran 15.000x (d)

Hasil pengamatan SEM secara jelas menunjukkan adanya perbedaan morfologi permukaan pada serat dengan perbedaan perlakuan pada tekanan 2 bar metode pengukusan dan putaran 11.000 rpm dengan waktu 90 menit variasi tekanan 2 bar. seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10. Pembesaran 15.000x putaran 11.000 rpm dengan waktu 90 menit menunjukkan bahwa serat berukuran nano ini memiliki

diameter yang berkisar antara 0,042 - 0,081 μm atau 42 - 81 nanometer.

Perbedaan ukuran antara perlakuan 10.000 rpm dan 11.000 rpm menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran memberikan pengaruh terhadap intensitas gaya mekanis selama proses fibrilasi. Pada penelitian ini, kecepatan putaran 11.000 rpm menghasilkan diameter fibril yang lebih kecil dibandingkan dengan 10.000 rpm.

Peningkatan kecepatan putaran menyebabkan peningkatan kecepatan linear ujung pisau. Dengan diameter mata pisau sebesar 70 mm, kecepatan linear ujung pisau pada 10.000 rpm adalah sekitar 36,65 m/s, sedangkan pada 11.000 rpm meningkat menjadi sekitar 40,32 m/s. Dengan demikian, peningkatan kecepatan putaran menyebabkan peningkatan intensitas gaya geser dan turbulensi pada suspensi serat.

4.7 Perhitungan Pada Mesin *High Speed Stirring*

4.7.1 Perhitungan Torsi

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui berapa torsi yang dihasilkan jika variasi putaran 10.000 RPM dan 11.000 RPM

Dporos : Diameter poros = 10 mm = 0,01 m

ℓ : Panjang poros = 114 mm = 0,114 m

t : Tinggi Tabung = 163 mm = 16,3 cm

ρ : Massa jenis = 0.62 kg/m³ (JIS SUS440C)

Np : Putaran per menit = 24.000 Rpm (Putaran maximal)

P : Daya = 1500 watt = 1.5 Kw

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

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times l \\ &= \frac{3,14}{4} \times (0,01)^2 \times 0,0114 \\ &= 8.95 \times 10^{-7} m^3 \end{aligned}$$

3. Momen Inersia Poros

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} \times d^4 \\ &= \frac{3,14}{64} \times (0,01)^4 \\ &= 4,91 \times 10^{-11} m^2 \end{aligned}$$

4. Kecepatan Sudut

Disini penulis menggunakan 2 variasi putaran yaitu putaran 10.000 RPM dan 11.000 RPM.

a. Putaran 10.000 RPM

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ &= \frac{2\pi (10.000)}{60} \\ &= 1047,2 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

b. Putaran 11.000 RPM

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ &= \frac{2\pi (11.000)}{60} \end{aligned}$$

$$= 1151,9 \text{ rad/s}$$

5. Perhitungan Torsi Yang Dihasilkan Mata Pisau (T)

a. Putaran 10.000 RPM

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{\omega} \\ &= \frac{1.500}{1047,2} \\ &= 1,43 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Putaran 11.000 RPM

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{\omega} \\ &= \frac{1.500}{1151,9} \\ &= 1,30 \text{ Nm} \end{aligned}$$

4.7.2 Tekanan yang Dihasilkan Mata Pisau 8 Sudu

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui berapa tekanan yang dihasilkan saat mata pisau berputar dengan kecepatan 10.000 RPM dan 11.000 RPM

1. Luas Penampang Pisau (A_c)

$$D = 70 \text{ mm} \rightarrow r = 0,035 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_c &= \pi \times r^2 \\ &= 3.14 \times (0,035)^2 \\ &= 0,00385 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Kecepatan Linier Pisau (v)

a. Putaran 10.000 RPM

$$\begin{aligned} v &= \omega \times r \\ &= 1046,2 \times 0,035 \\ &= 36,65 \text{ m/s} \end{aligned}$$

b. Putaran 11.000 RPM

$$\begin{aligned} v &= \omega \times r \\ &= 1151,9 \times 0,035 \\ &= 40,32 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3. Tekanan Dinamis Saat Proses Pengadukan (p)

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

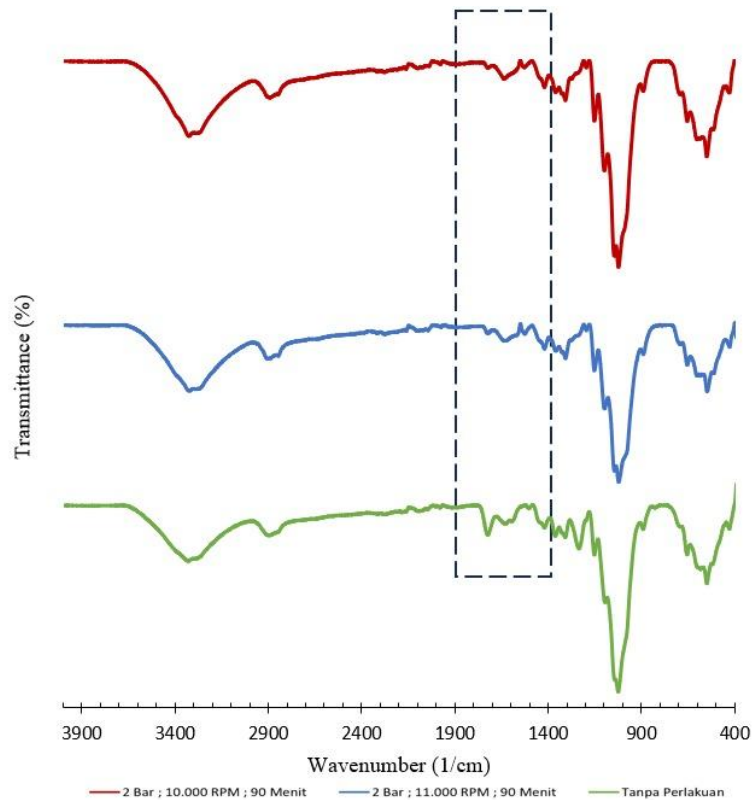
a. Putaran 10.000 RPM

$$\begin{aligned} p &= \frac{\tau}{2} \times \rho \times v^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1000 \times 36,65^2 \\ &= 671.000 \text{ Pa} \\ &= 671 \text{ kPa} \end{aligned}$$

b. Putaran 11.000 RPM

$$\begin{aligned} p &= \frac{\tau}{2} \times \rho \times v^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1000 \times 40,32^2 \\ &= 813.000 \text{ Pa} \\ &= 813 \text{ kPa} \end{aligned}$$

4.8 Hasil Uji FTIR



Gambar 4.11 Spektran hasil uji FTIR

Grafik FTIR yang dihasilkan menunjukkan tiga spektrum: serat tanpa perlakuan; serat dengan perlakuan tekanan 2 bar dan putaran 10.000 RPM selama 90 menit; dan serat dengan perlakuan tekanan 2 bar dan putaran 11.000 RPM selama 90 menit. Pola yang hampir identik ditemukan di setiap spektrum. Oleh karena itu, kesamaan pola ini sangat penting karena tujuan proses fibrilasi penelitian ini bukan untuk mengubah komposisi utama selulosa menjadi senyawa yang berbeda, tetapi untuk memecah struktur serat menjadi fibril yang lebih kecil.

Pita serapan yang terlihat pada daerah sekitar $3.300\text{--}3.400\text{ cm}^{-1}$ berkaitan dengan vibrasi regangan gugus hidroksil (O–H). Gugus hidroksil merupakan salah satu gugus yang dominan pada struktur selulosa. Keberadaan pita yang cukup lebar pada daerah tersebut menunjukkan bahwa serat masih memiliki gugus hidroksil setelah mengalami seluruh tahapan perlakuan.

Selain itu, terdapat pita serapan pada daerah sekitar 2.900 cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi regangan C–H pada struktur alifatik. Pita ini masih terlihat pada ketiga sampel sehingga dapat menunjukkan bahwa struktur dasar senyawa organik penyusun serat tetap dipertahankan setelah perlakuan.

Pada daerah sekitar $1.700\text{--}1.730\text{ cm}^{-1}$, terlihat adanya serapan yang relatif lebih kecil dibandingkan pita utama pada daerah O–H dan C–O. Daerah ini dapat dikaitkan dengan vibrasi gugus karbonil (C=O) yang umumnya berhubungan dengan komponen non-selulosa pada serat lignoselulosa. Keberadaan pita tersebut pada serat hasil perlakuan menunjukkan bahwa komponen non-selulosa belum sepenuhnya hilang.

Pita serapan pada daerah sekitar $1.400\text{--}1.450\text{ cm}^{-1}$ dapat dikaitkan dengan vibrasi yang terdapat pada struktur selulosa, sedangkan pita pada sekitar 1.370 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi C–H. Selanjutnya, daerah sekitar $1.200\text{--}1.000\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan pita serapan yang cukup kuat pada ketiga sampel. Daerah tersebut merupakan daerah sidik jari selulosa dan banyak dikaitkan dengan vibrasi C–O serta C–O–C pada struktur polisakarida. Pada grafik hasil pengujian, pita pada daerah ini terlihat sebagai salah satu serapan yang paling dominan. Hal tersebut memperkuat dugaan bahwa selulosa masih menjadi komponen utama pada serat setelah diberikan perlakuan.