

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil dan Pembahasan Perlakuan Penyisiran

4.1.1. Karakteristik Serat Setelah Dilakukan Penyisiran



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

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

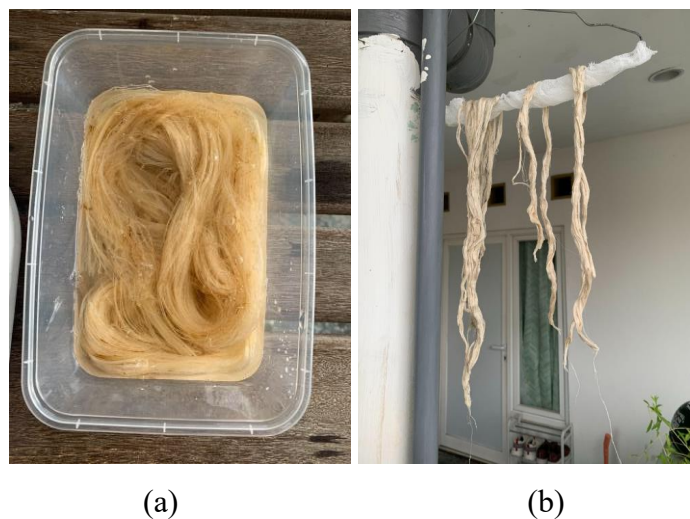
1. Tampilan serat didominasi oleh warna krem atau putih kecoklatan yang merata. Hal ini menandakan bahwa kotoran dan getah yang menggumpal telah berhasil dibersihkan dari permukaannya, dapat dipastikan oleh adanya kilau alami yang cerah. Secara visual, serat terlihat lebih halus dan terurai dibandingkan serat mentah sebelum perlakuan.
2. Bundel-bundel serat rami yang semula kaku dan lengket kini telah terpisah menjadi helai-helai yang lebih individual.
3. Serat rami 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 rami. Gaya ini menyebabkan hasil pemisahan bundel serat rami 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 (a) Serat yang sedang direndam NaOH, (b) serat setelah dilakukan perlakuan alkali dan dikeringkan.

Perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH selama 4 jam pada serat rami yang sebelumnya telah melalui proses penyisiran mekanis. Karakteristik serat rami 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 rami 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 Hasil Perlakuan Alkali

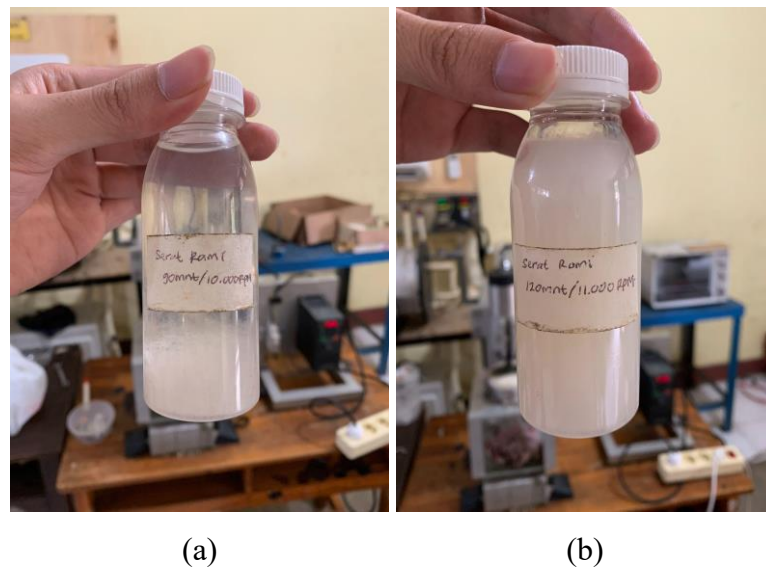
Penurunan berat yang terjadi merupakan bukti kuantitatif utama bahwa proses pemurnian berhasil. Massa yang hilang tersebut sebagian besar adalah komponen matriks pengikat seperti lignin, hemiselulosa, pektin, dan lilin yang larut dalam larutan alkali.

Perubahan warna menjadi lebih 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 4 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 *High Speed Stirring*

Pada sub bab ini dipaparkan hasil akhir dari keseluruhan proses menjadikan serat berukuran makro menjadi serat berukuran nano, yang mencakup perlakuan alkali, putaran tinggi dan ledakan uap. Pembahasan akan difokuskan pada analisis mekanisme terbentuknya struktur nano dan perbandingan hasil dari dua variasi tekanan ledakan.



Gambar 4.3 Hasil spesimen perlakuan putaran tinggi (a) 10.000 rpm, 90 menit (b) 11.000 rpm, 120 menit.

Hasil pembuatan spesimen secara jelas menunjukkan adanya perbedaan permukaan pada serat dengan perbedaan rentang waktu antara 90 menit dan 120 menit dengan putaran 10.000 rpm dan 11.000 rpm menggunakan mata pisau 8 sudut. Terlihat bahwa serat rami dengan putaran (a) 10.000 rpm selama 90 menit masih terdapat gumpalan yang mengendap ke bawah. Sedangkan pada serat rami dengan putaran (b) 11.000 rpm selama 120 menit tidak adanya indikasi gumpalan. Kedua spesimen tersebut beberapa sudah terindikasi *nanosize*.

4.3.1. Karakterisasi Visual Setelah Perlakuan *High Speed Stirring*

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

1. Kedua sampel menunjukkan wujud larutan berwarna putih. Tidak ada lagi serat panjang yang terlihat secara kasat mata hanya serat yang halus dan terlihat sama.
2. Secara visual, pada gambar 4.2 serat rami dengan perlakuan (b) 11.000 rpm, 120 menit terlihat sedikit lebih homogen dan keruh merata. Sebaliknya, dari serat rami perlakuan (a) 10.000 rpm, 90 menit, meskipun sudah baik
3. Sampel dari serat perlakuan 11.000 rpm, 120 menit menunjukkan laju pengendapan yang lebih lambat. Lapisan bening di bagian atas terbentuk lebih lambat
4. Sampel dari serat perlakuan 10.000 rpm, 90 menit menunjukkan pengendapan yang relatif lebih cepat.

4.3.2. Hasil Proses Penyaringan



(a)

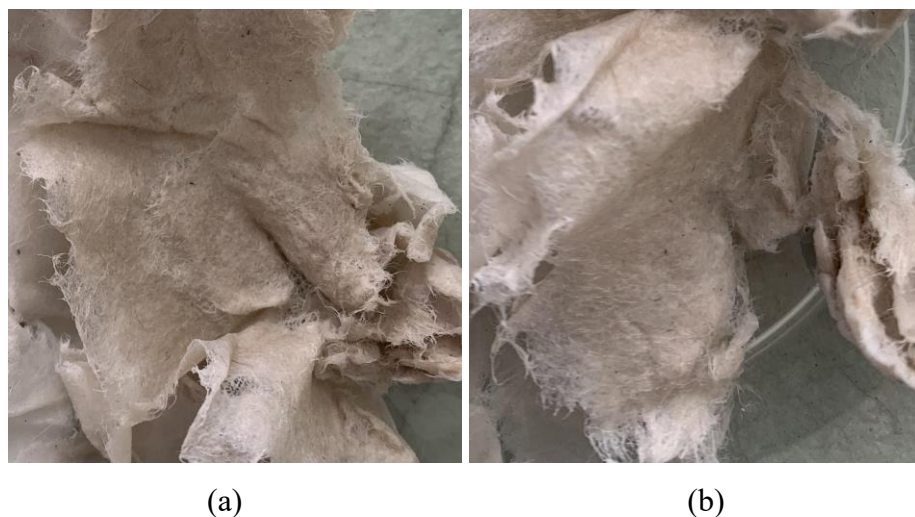
(b)

Gambar 4.4 Hasil saring spesimen perlakuan putaran tinggi (a) 10.000 rpm, 90 menit (b) 11.000 rpm, 120 menit.

Hasil spesimen serat rami 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. Pada gambar 4.3 Sampel (b) 11.000 rpm, 120 menit setelah seluruh cairan tersaring, kertas saring tampak relatif bersih. Sedangkan pada sampel (a) 10.000 rpm, 90 menit proses penyaringan meninggalkan lapisan endapan berwarna gelap yang terlihat jelas dan merata di permukaan kertas saring

4.4. Hasil dan Pembahasan Perlakuan *Steam Explosion*

Perlakuan ini dilakukan sebagai tahap akhir dan sebagai metode pengujian utama pada penelitian ini. Setelah serat melalui proses penyisiran mekanis, perlakuan alkali dan putaran tinggi. Variasi tekanan yang diterapkan adalah 4 bar dengan perlakuan 25x ledakan dengan waktu setiap ledakan selama 120 detik.



Gambar 4.5 Hasil serat rami setelah dilakukan perlakuan ledakan uap (a) 10000 rpm, 90 menit, variasi tekanan 4 bar. (b) 11000 rpm, 120 menit, variasi tekanan 4 bar.

4.4.1. Karakterisasi Visual Setelah Perlakuan *Steam Explosion*

Hasil pengamatan visual terhadap spesimen serat rami menunjukkan adanya perubahan morfologi permukaan serat yang signifikan dibandingkan kondisi awal. Serat mengalami pemendekan panjang fibril, peningkatan derajat fibrilasi, serta terbentuknya struktur permukaan yang lebih terfragmentasi. Indikasi tersebut mengarah pada peningkatan luas permukaan spesifik, yang berpotensi memperbaiki *interfacial bonding* antara serat dengan matriks polimer pada aplikasi komposit.

Distribusi warna dan tekstur pada hasil pengeringan serat menunjukkan homogenitas yang lebih baik, mengindikasikan keberhasilan proses penetrasi uap ke dalam struktur serat secara merata bahwa perlakuan *steam explosion* dengan tekanan 4 bar dengan pelepasan uap secara cepat 25x (kali) mampu menghasilkan derajat modifikasi morfologi serat yang signifikan, tanpa menyebabkan degradasi termal yang berlebihan.

4.4.2. Pengaruh Perlakuan Awal (Kimiawi) terhadap Dispersi Akhir

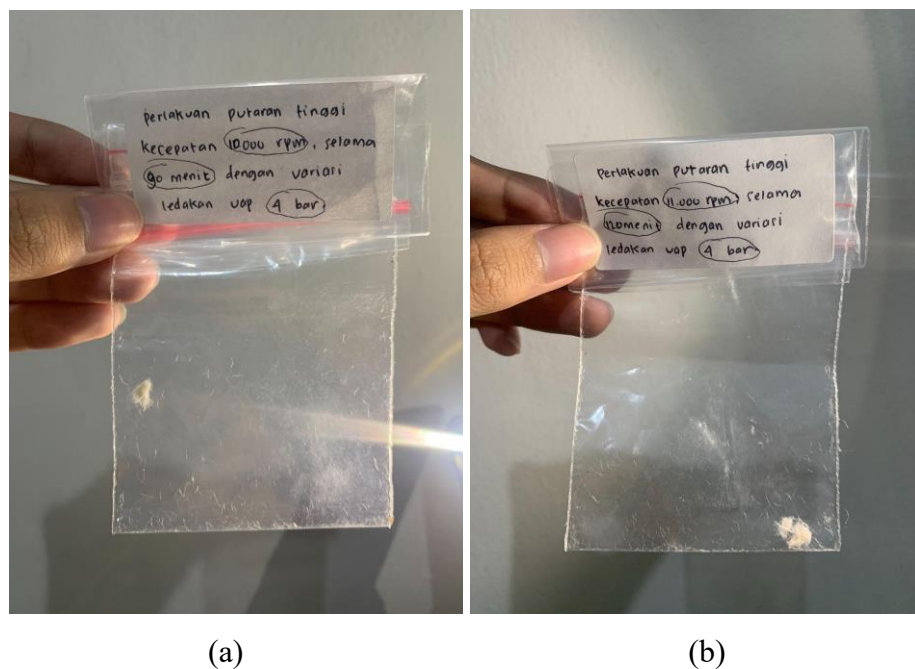
Perbedaan hasil homogenitas dan stabilitas antara kedua sampel secara langsung disebabkan oleh kondisi serat sebelum dimasukkan ke dalam mesin ledakan uap.

1. Serat yang diperlakukan dengan proses alkali sebelumnya memiliki tekstur yang menjadi lebih kaku juga dapat dijelaskan oleh hilangnya hemiselulosa dan pektin. 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 putaran 10.000 RPM selama 90 menit dengan variasi tekanan 4 bar, secara intrinsik sedikit lebih kuat dan mungkin masih

memiliki sisa ikatan antar serat. Akibatnya, dalam proses ledakan uap, dispersinya tidak sehomogen dengan sampel putaran 11.000 RPM selama 120 menit dengan variasi tekanan 4 bar.

4.4.3. Pengamatan Hasil Akhir *Steam Explosion* dan Ukuran Partikel

Hasil pengamatan akhir ini menunjukkan fenomena yang sangat penting dan menjadi kunci analisis. Perlakuan yang lebih intensif (11.000 RPM, waktu 120 menit variasi tekanan 4 bar) justru menghasilkan hasil akhir yang jauh lebih baik. Hasil ledakan uap menunjukkan bahwa perlakuan putaran 10.000 RPM, waktu 90 menit variasi tekanan 4 bar menghasilkan berukuran mendekati nano akan tetapi lebih berpotensi pada serat yang diberi perlakuan putaran putaran 11.000 RPM, waktu 120 menit.



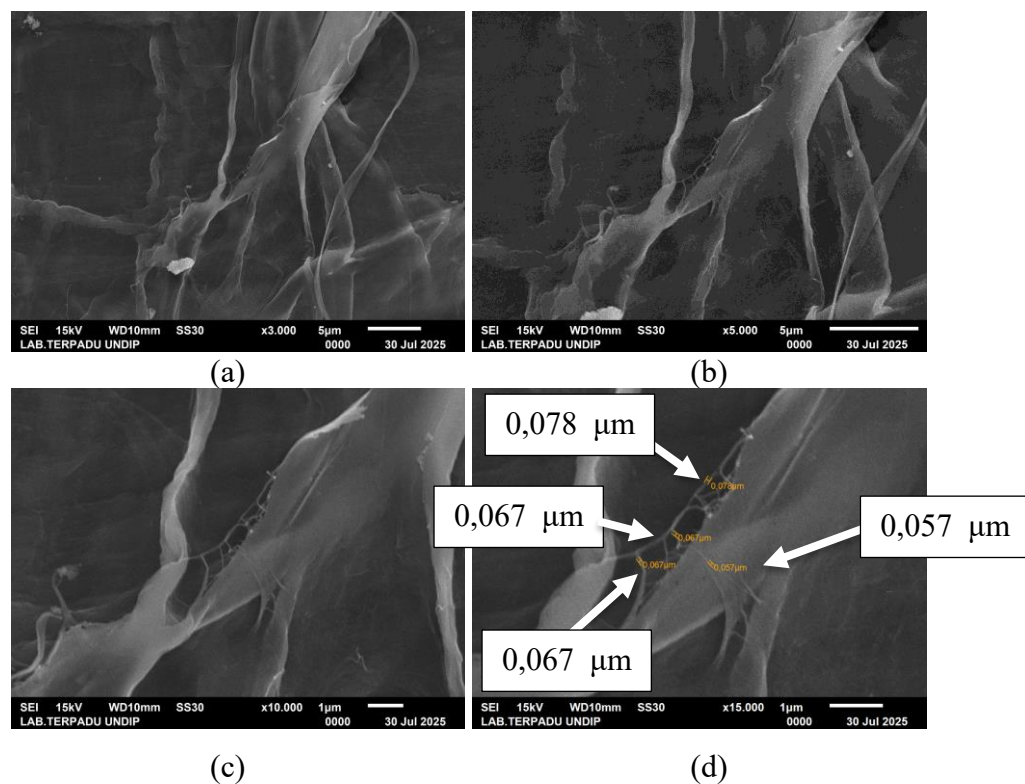
Gambar 4. 6 Hasil spesimen serat halus yang telah dipisahkan setelah perlakuan High-Speed Stirring dan Steam Explosion (a) 10000 rpm, 90 menit, variasi tekanan 4 bar. (b) 11000 rpm, 120 menit, variasi tekanan 4 bar.

Serat yang sudah dikeringkan dipisahkan dari kertas saring berdasarkan pengujian SEM. Pada pengujian SEM serat yang dipilih serat yang halus dalam artian serat yang tersisa di kertas kemudian di gesekan agar serat yang halus jatuh ke plastik klip, kemudian sampel dikelompokkan berdasarkan kecepatan putar, waktu dan tekanan.

Terbentuknya padatan yang menyerupai film tipis saat kering adalah karakteristik dari partikel selulosa berukuran mikro atau nano yang saling terikat. Ini menunjukkan bahwa proses akhir (*Steam Explosion*) telah berhasil menghancurkan struktur asli serat menjadi partikel-partikel individual.

4.5. Analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM)

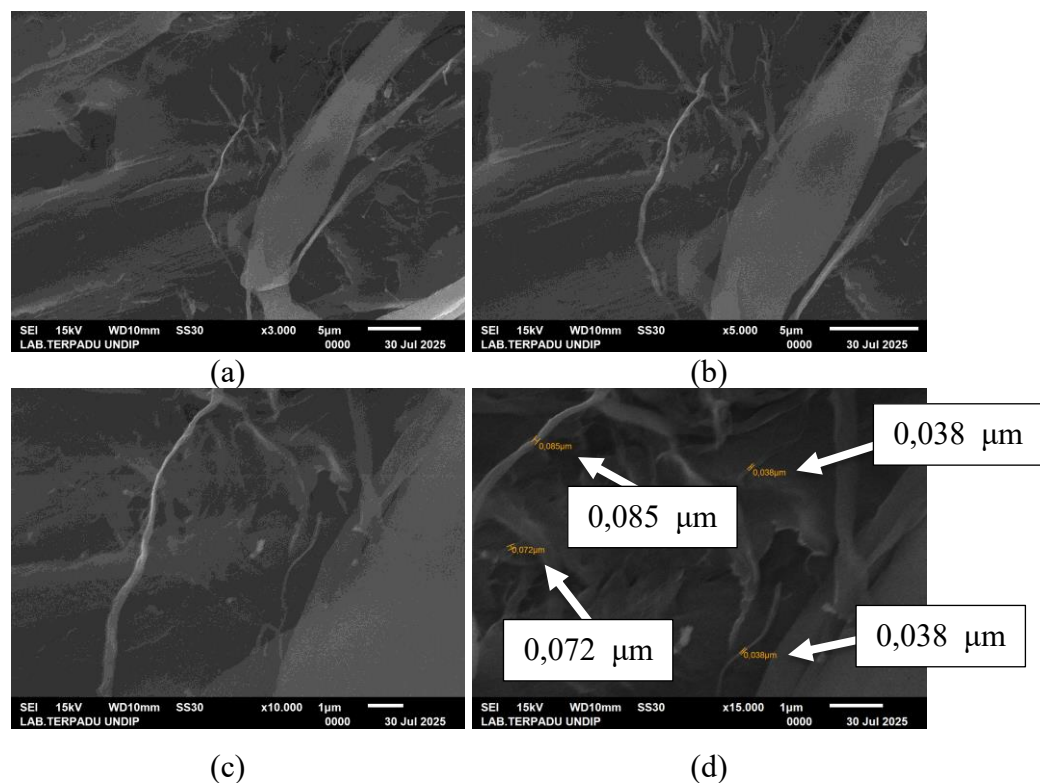
4.5.1. Hasil Analisa SEM Perlakuan Putaran 10.000 Rpm Selama 90 Menit Variasi Tekanan 4 bar.



Gambar 4.7 Hasil pengujian SEM perlakuan putaran 10000 rpm dengan waktu 90 menit variasi tekanan 4 bar. pembesaran (a) 3000x ; (b) 5000x ; (c) 10000x ; (d) 15000x.

Hasil pengamatan SEM secara jelas menunjukkan adanya perbedaan morfologi permukaan pada serat dengan perbedaan perlakuan pada tekanan 4 bar dengan pelepasan uap secara cepat 25x(kali) putaran 10000 rpm dengan waktu 90 menit variasi tekanan 4 bar. seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Pembesaran 15000x putaran 10000 rpm dengan waktu 90 menit menunjukkan bahwa serat berukuran nano ini memiliki diameter yang berkisar antara 0,057 - 0,078 μm atau 57 - 78 nanometer.

4.5.2. Hasil Analisa SEM Perlakuan Putaran 11.000 Rpm Selama 120 Menit Variasi Tekanan 4 bar.



Gambar 4.8 Hasil pengujian SEM perlakuan putaran 11000 rpm dengan waktu 120 menit variasi tekanan 4 bar. pembesaran (a) 3000x ; (b) 5000x ; (c) 10000x ; (d) 15000x.

Hasil pengamatan SEM secara jelas menunjukkan adanya perbedaan morfologi permukaan pada serat dengan perbedaan perlakuan pada tekanan 4 bar

dengan pelepasan uap secara cepat 25x (kali) putaran 11000 rpm dengan waktu 120 menit variasi tekanan 4 bar. seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8. pembesaran 15000x putaran 11000 rpm dengan waktu 120 menit menunjukkan bahwa serat berukuran nano ini memiliki diameter yang berkisar antara 0.038 – 0,085 μm atau 38 – 85 nanometer.

4.6. Perhitungan Pada Mesin *High Speed Stirring*

4.6.1. 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 = Jari-jari = 6 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

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \ell \\ &= \frac{3,14}{4} \times (0,01)^2 \times 0,114 \end{aligned}$$

$$= 8.95 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

3. Momen Inersia Poros

$$I = \frac{\pi}{64} \times d^4$$

$$= \frac{3,14}{64} (0,01)^4$$

$$= 4,91 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

4. Kecepatan Sudut

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

a. Putaran 10.000 RPM

b. Putaran 11.000 RPM

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$= \frac{2\pi (10.000)}{60}$$

$$= 1047,2 \text{ rad/s}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$= \frac{2\pi (11.000)}{60}$$

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

5. Perhitungan Torsi yang Dihasilkan Mata Pisau (T)

a. Putaran 10.000 RPM

b. Putaran 11.000 RPM

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

$$= \frac{1.500}{1047,2}$$

$$= 1,43 \text{ Nm}$$

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

$$= \frac{1.500}{1151,9}$$

$$= 1,30 \text{ Nm}$$

4.6.2. 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 (Ac)

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

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

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

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

b. Putaran 11.000 RPM

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