

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian bending

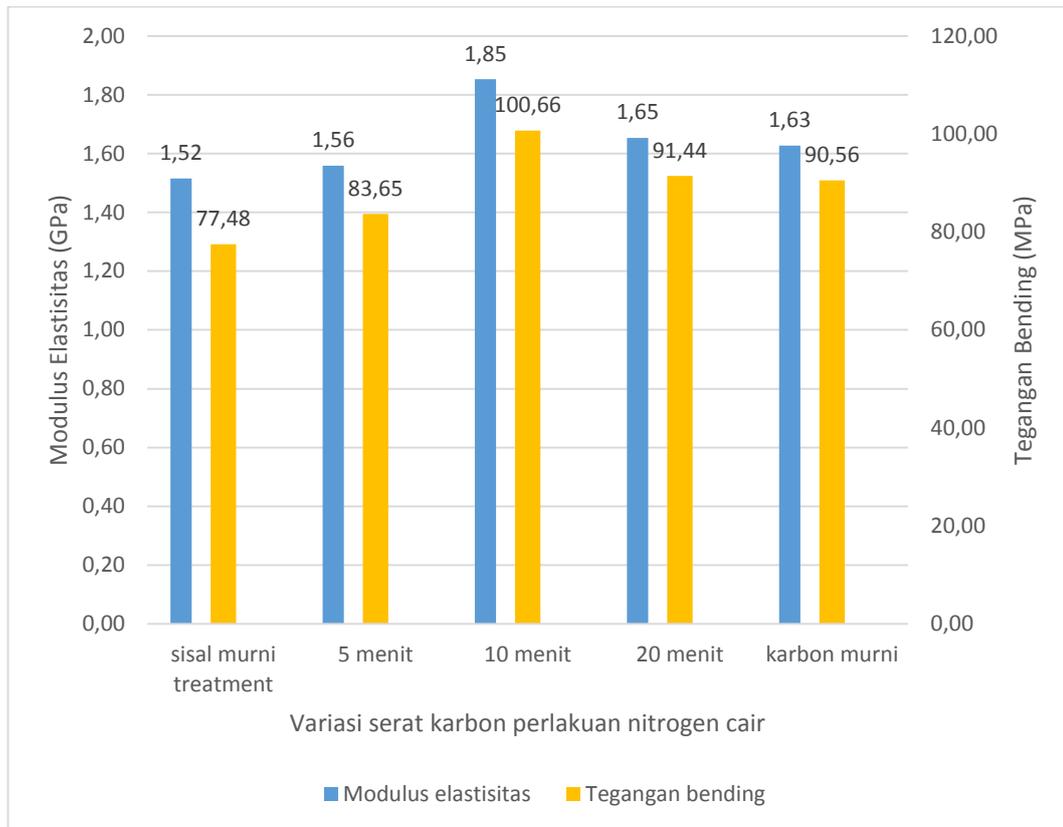
Berdasarkan tujuan dalam penelitian ini, maka dilakukan pengujian menggunakan mesin uji bending *universal testing machine* (UTM) dibuat oleh JTM Technology co. Ltd di Laboratorium material teknik mesin Universitas Sebelas Maret. Dari hasil pengujian didapatkan data pembebanan tegangan bending dan modulus elastisitas. Adapun hasil penelitian uji bending komposit karbon/sisal/PVC adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Tegangan bending (σ_f) komposit hibrida PVC/sisal/karbon

No	Spesimen				
	Sisal Murni Treatment (MPa)	5 menit (MPa)	10 menit (MPa)	20 menit (MPa)	Karbon Murni (MPa)
1	76,02	83,57	98,99	97,14	93,1
2	73,18	84,69	111,26	93,19	90,93
3	77,73	81,51	103,28	88,75	87,64
4	82,98	84,35	97,38	94,69	
5		84,14	92,41	83,44	
Rata-Rata	77,48	83,65	100,66	91,44	90,56

Tabel 4. 2 Modulus elastisitas (E_B) komposit hibrida PVC/sisal/karbon

No	Sisal murni treatment (MPa)	5 menit (MPa)	10 menit (MPa)	20 menit (MPa)	Karbon murni (MPa)
1	1338,58	1496,06	2047,24	1574,80	1732,28
2	1574,80	1732,28	2047,24	1732,28	1574,80
3	1574,80	1417,32	1706,04	1574,80	1574,80
4	1574,80	1574,80	1889,76	1732,28	
5		1574,80	1574,80	1653,54	
Rata-rata (MPa)	1515,75	1559,06	1853,02	1653,54	1627,30
Rata-rata (GPa)	1,52	1,56	1,85	1,65	1,63



Gambar 4. 1 Grafik Hasil uji bending komposit hibrida PVC/sisal/karbon

Komposit PVC hibrida serat sisal/karbon mempunyai tegangan bending yang lebih besar dibandingkan dengan komposit PVC dengan satu material pengisi. Komposit PVC serat sisal murni dan komposit PVC serat karbon murni masing-masing mempunyai tegangan bending 77,48 MPa dan 90,56 MPa. Tegangan bending komposit PVC meningkat jika dilakukan hibridasi kedua material pengisi dengan komposisi dan perlakuan yang sesuai.

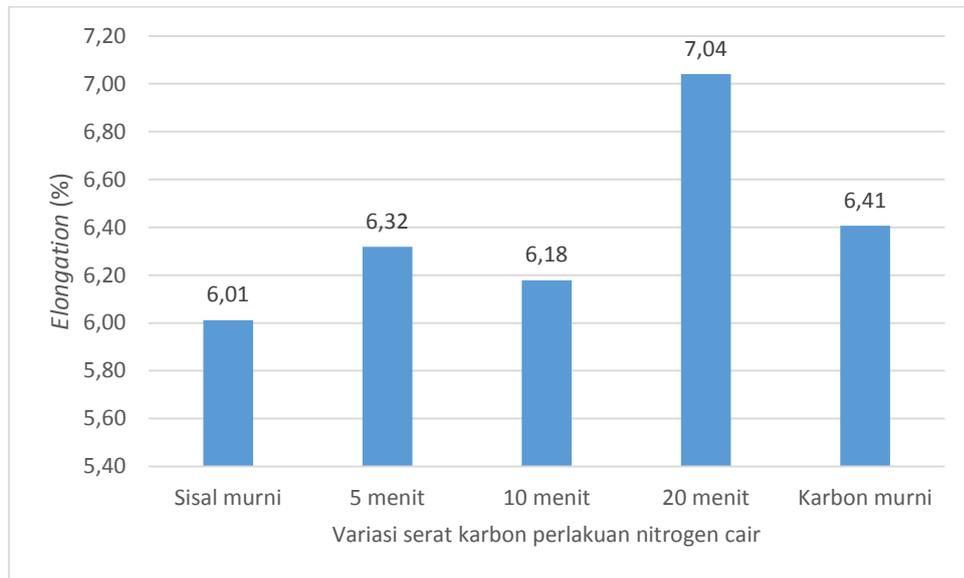
Komposit PVC hibrida serat sisal/karbon dengan fraksi perbandingan volume serat : matrik 20 : 80 dengan sisal alkalisasi dan karbon alkalisasi 10 menit mempunyai tingkat tegangan bending paling tinggi yaitu 100,66 MPa. Hal tersebut dikarenakan proses alkalisasi perendaman nitrogen cair 10 menit mampu menghilangkan sifat amorf (*amorphous*) serat karbon secara optimal, sehingga meningkatkan ikatan antar serat (Zhang dkk, 2004).

Kenaikan tertinggi modulus elastisitas bending terjadi pada spesimen dengan *filler* karbon alkalisasi 10 menit yaitu 1,85 GPa. Sehingga waktu perendaman nitrogen terhadap serat karbon berpengaruh terhadap besar modulus elastisitas yang dihasilkan.

Ketika fraksi waktu perendaman pada waktu 10 menit, permukaan serat karbon menjadi sangat kasar, dan banyak fragmen kecil serta beberapa goresan tajam terjadi sepanjang serat. Pada saat yang sama hal tersebut menyebabkan pengurangan diameter serat karena penghilangan lapisan amorf dari karbon. Jika dilakukan perendaman karbon terlalu lama mengakibatkan banyak karbon amorf yang terkelupas dari serat, penurunan *interlocking* serat sehingga tegangan dan modulus elastisitas bending menurun (Zhang dkk, 2004). Tingkat kekasaran pada sisi serat karbon menurun mengakibatkan serat-serat karbon lebih bergerombol dan sulit teruarai yang dapat berpengaruh pada persebaran serat dan sifat bending pada komposit. Terlihat bagaimana hasil pengujian bending pada komposit dengan serat karbon 20 menit mempunyai nilai tegangan bending 91,44 MPa lebih kecil dari tegangan bending komposit karbon 10 menit 100,66 MPa.

Tabel 4. 3 Regangan bending (ϵ_f)

No.	Spesimen				
	Sisal murni (%)	5 menit (%)	10 menit (%)	20 menit (%)	Karbon murni (%)
1	6,56	6,328	6,328	6,938	5,53
2	5,67	7,031	6,563	7,500	6,66
3	6,09	4,453	7,406	6,563	7,03
4	5,72	7,031	5,906	6,469	
5		6,750	4,688	7,734	
Rata-rata	6,01	6,32	6,18	7,04	6,41



Gambar 4. 2 Grafik regangan bending

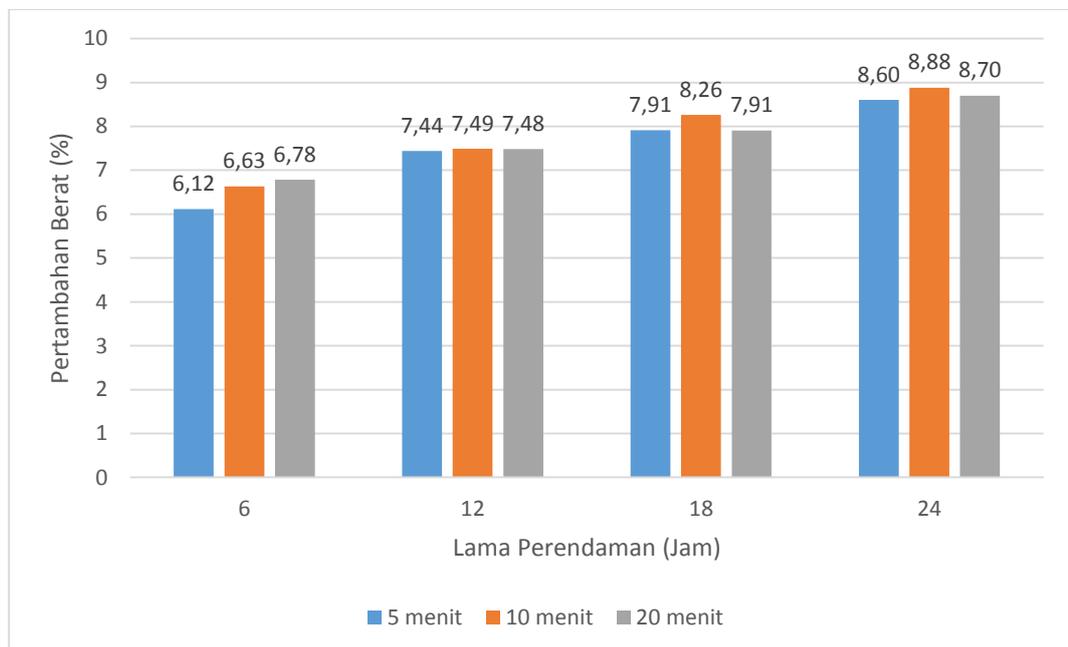
Berdasar gambar 4.2 tersebut ditunjukkan bahwa nilai regangan bending tertinggi terdapat pada komposit PVC/sisal/karbon dengan serat karbon perlakuan nitrogen cair 20 menit yaitu 7,04 %. Karbon perlakuan 20 menit mempunyai defleksi sebelum patah yang lebih besar, dengan demikian meningkatkan nilai dari regangan bending tersebut. Perlakuan karbon dengan nitrogen cair 20 menit mengakibatkan serat karbon lebih bergerombol, oleh karena persebaran serat yang tidak merata dan bergerombol tersebut meningkatkan nilai defleksi maksimal sebelum patah yang korelasi dengan naiknya nilai dari regangan bending.

4.2 Pengujian daya serap air

Pengujian daya serap air dilakukan berdasarkan standar ASTM D570. Adapun hasil dari pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Hasil pertambahan berat spesimen (%)

5 menit	10 menit	20 menit
6,12	6,63	6,78
7,44	7,49	7,48
7,91	8,26	7,91
8,60	8,88	8,70



Gambar 4. 3 Grafik Daya serap air komposit hibrida PVC/sisal/karbon

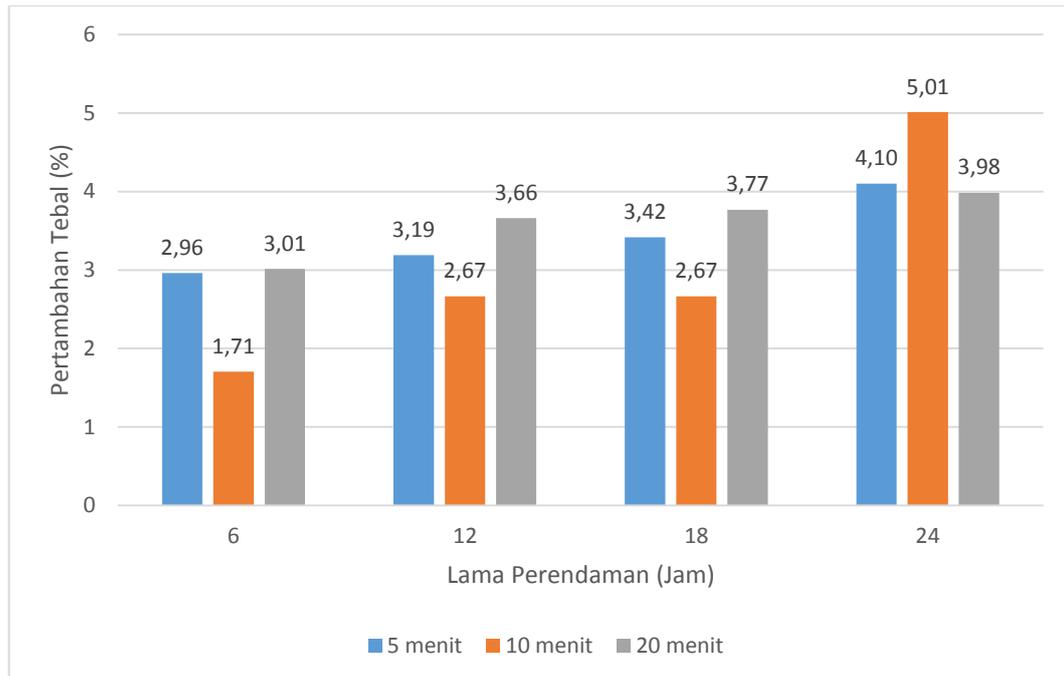
Berdasarkan grafik pengujian daya serap air diatas dapat dilihat bahwa komposit dengan karbon perlakuan nitrogen 10 menit mempunyai nilai optimal dengan naik secara konstan 1%. Pada komposit dengan karbon alkalisasi nitrogen 5 menit

mempunyai kenaikan secara signifikan pada waktu 6 – 12 jam. Hal tersebut karena sifat amorf yang dimiliki oleh karbon alkalisasi 5 menit lebih banyak sehingga meningkatkan daya serap air spesimen dibandingkan dengan karbon alkalisasi 10 dan 20 menit.

Kandungan selulosa pada serat alam yang tinggi dapat meningkatkan penyerapan kelembaban dalam serat karena ikatan hidrogen dari molekul air ke gugus hidroksil dalam dinding sel serat (Yong Sun dkk, 2008). Dihasilkan kelembaban uap air pada dinding sel serat dan antar muka serat mengakibatkan adanya penebalan ukuran serat (Sosiati dkk, 2014). Karena fraksi volume yang sama dihasilkan besar daya serap air yang relatif sama. Pengamatan visual menunjukkan serat karbon perlakuan nitrogen cair selama 20 menit cenderung menggumpal yang mengakibatkan daya serap air yang lebih tinggi.

4.3 Pengujian Thickness Swelling

Pengujian *thickness swelling* dilakukan untuk mendapatkan data mengenai pertambahan tebal yang diterima oleh komposit dalam perendaman dengan air. Hasil yang didapat dari pengujian ini berdasar standar ASTM D570 adalah sebagai berikut :



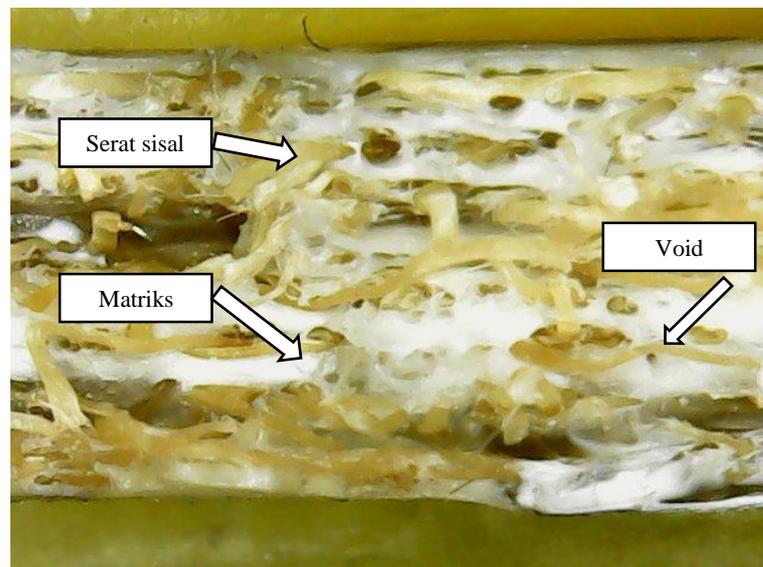
Gambar 4. 4 Grafik Thickness swelling komposit hibrida PVC/sisal/karbon

Dari ketiga grafik hubungan *thickness swelling* diatas menunjukkan hubungan antara lama perendaman dengan ketebalan spesimen. Semakin lama perendaman yang dilakukan sebanding dengan meningkatnya ketebalan spesimen. Pertambahan tebal paling besar terjadi pada perendaman 6 jam pertama. Pertambahan tebal 6 jam pertama paling besar terjadi pada variasi karbon alkali 20 menit yaitu 3,10 % ke 3,19 %. Kemudian pertambahan tebal naik secara konstan pada perendaman 6 – 18 jam, bahkan pada waktu perendaman 12 jam menuju 18 jam komposit alkalisasi karbon 10 dan 20 menit tidak terjadi pertambahan tebal. Komposit karbon alkalisasi 5 menit mengalami pertambahan secara terus menerus, dikarenakan serat karbon masih mempunyai tingkat amorf yang tinggi (Zhang dkk,2004).

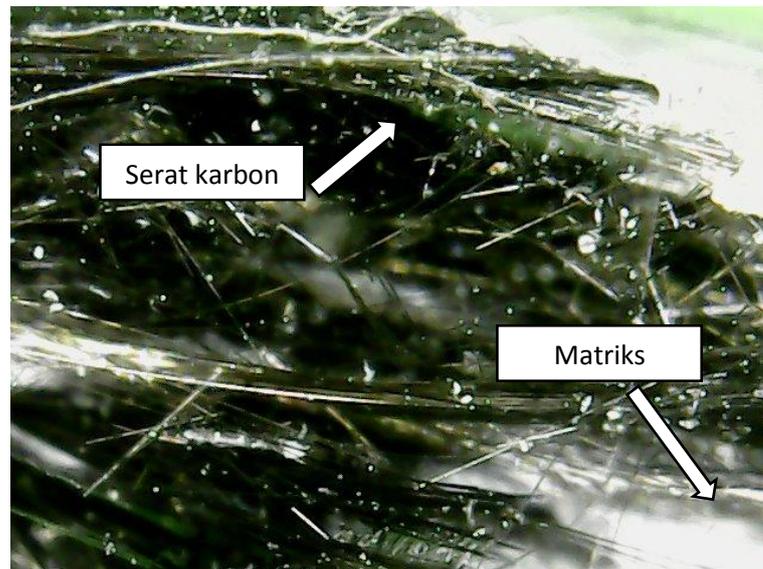
Tegangan dan modulus elastisitas bending yang lebih tinggi dan penyerapan air yang lebih baik pada karbon perlakuan nitrogen cair selama 10 menit mungkin terkait dengan fibrilasi yang sedikit lebih baik dan optimal. Tegangan dan modulus elastisitas bending komposit dengan serat karbon perlakuan nitrogen cair 5 menit dan 20 menit mempunyai nilai yang lebih rendah daripada komposit dengan serat karbon perlakuan 10 menit, akan tetapi tingkat daya serap air dan *thickness swelling* sebanding. Dengan demikian ikatan antar serat dan matriks tidak tergantung hanya pada alkalisasi tetapi juga bagaimana pencampuran serat dan matriks yang dilakukan (Sosiati dkk, 2014).

4.4 Karakterisasi foto mikro

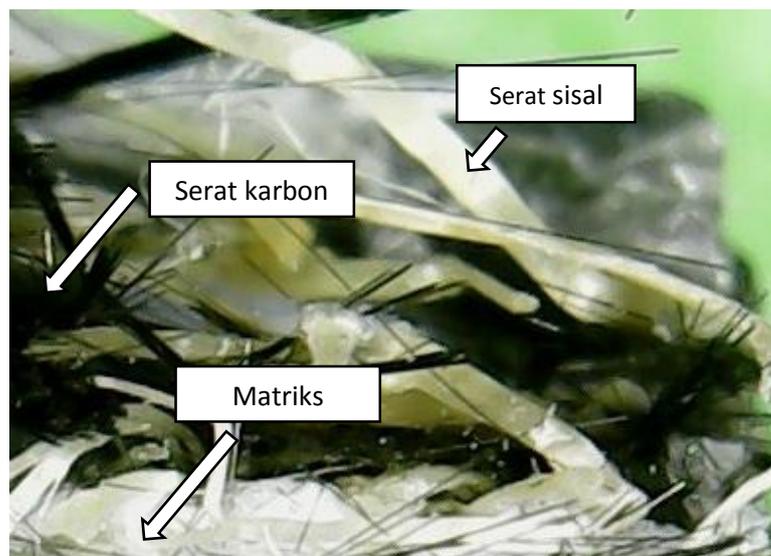
Analisis struktur patahan hasil uji bending menggunakan uji foto makro. Pengujian makro digunakan untuk mempelajari struktur dan morfologi ikatan antar serat dan matriks, sehingga dapat diketahui penyebab terjadinya penurunan atau kenaikan kekuatan mekanis pada komposit. Sampel yang dipilih untuk dilakukan optik makro adalah bagian patahan hasil uji bending. Hasil dari pengujian foto makro adalah sebagai berikut :



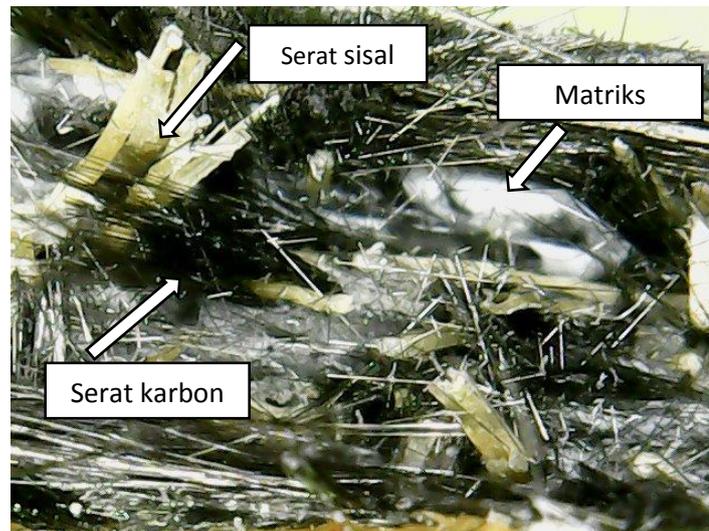
Gambar 4. 5 Foto makro komposit PVC/sisal



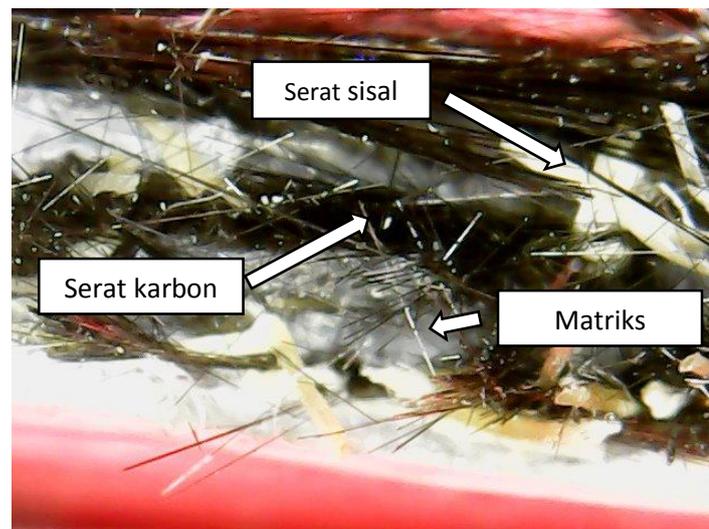
Gambar 4. 6 Foto makro komposit PVC/karbon



Gambar 4. 7 Foto makro komposit PVC/sisal/karbon perlakuan 5 menit



Gambar 4. 8 Foto makro komposit PVC/sisal/karbon perlakuan 10 menit



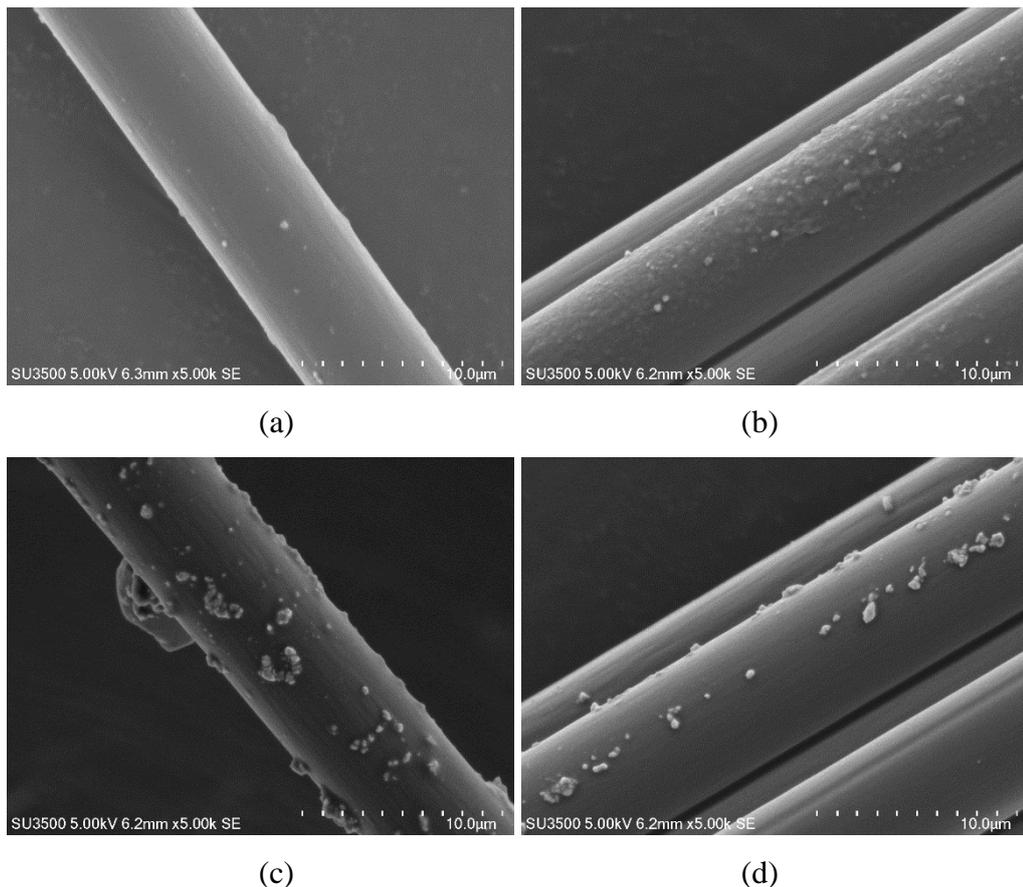
Gambar 4. 9 Foto makro komposit PVC/sisal/karbon perlakuan 20 menit

Hasil uji foto makro pada penampang patahan secara lebih luas (Gambar 4.5-4.9) menunjukkan ikatan *filler* dengan matriks mengikat dengan baik yang ditandai dengan serat-serat tertanam dengan baik, akan tetapi masih terlihat distribusi antara serat sisal dan karbon kurang merata. Hal tersebut disebabkan karena proses pencampuran serat hibrida terjadi secara kurang sempurna karena metode pencampuran yang dilakukan masih manual (*hand lay up*).

Foto makro pada penampang patahan (Gambar 4.7) menunjukkan ikatan hibrida antara serat sisal dan karbon yang kurang kuat, hal tersebut dapat mempengaruhi nilai kekuatan mekanis komposit. Hal tersebut disebabkan oleh dua hal diantaranya pengaruh kekasaran permukaan yang dimiliki oleh serat sisal dan serat karbon yang akan berpengaruh pada ikatan (*interfacial bonding*) antara serat dan matriks. Selanjutnya disebabkan oleh rata (*uniform*) atau tidaknya distribusi serat sisal dan serat karbon terhadap matriks PVC menimbulkan ikatan matriks terhalang oleh serat yang teraglomerasi sehingga kekuatan mekanik menjadi rendah.

Foto makro penampang patahan (Gambar 4.9) menunjukkan masih terbentuknya aglomerasi (bergerombol) pada serat karbon dan serat sisal yang tidak tercampur secara merata.

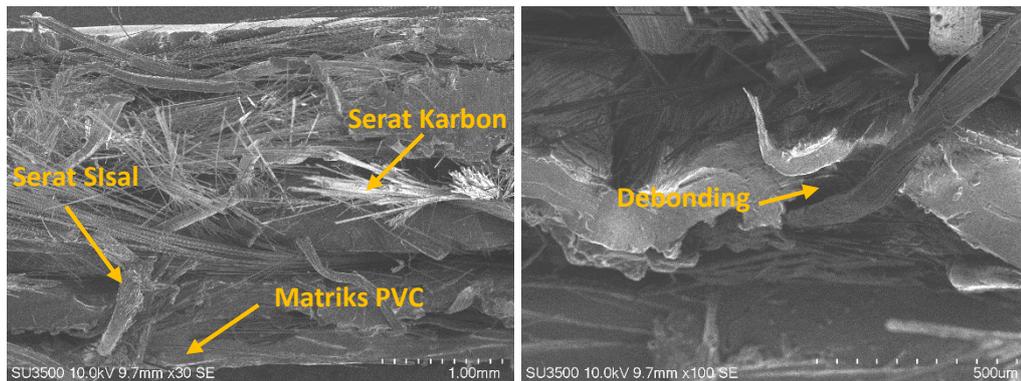
4.5 Karakterisasi SEM



Gambar 4. 10 Struktur permukaan serat karbon : (a) tanpa perlakuan; perlakuan nitrogen cair (b) 5 menit (c) 10 menit (d) 20 menit

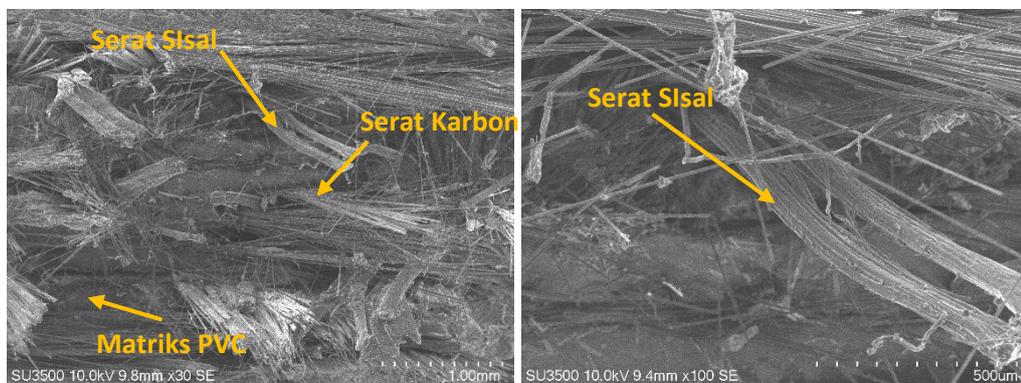
Berdasarkan gambar tersebut terlihat bagaimana citra SEM pada serat karbon tunggal dari karbon tanpa perlakuan dan karbon perlakuan nitrogen cair. Perbedaan terlihat pada serat karbon tanpa perlakuan (Gambar 4.10 (a)), dimana tampak relatif halus dan ada beberapa kotoran kecil pada permukaan serat. Pada gambar 4.10 (b) terlihat perbedaan struktur permukaan serat akibat perlakuan nitrogen cair selama 5 menit yang ditandai dengan munculnya permukaan kasar. Kemudian pada gambar 4.10 (c) dimana perlakuan nitrogen yang lebih lama yaitu 10 menit, permukaan serat karbon menjadi sangat kasar dan banyaknya fragmen kecil yang menempel pada dinding-dinding di sepanjang permukaan serat. Akan tetapi pada perlakuan yang lebih lama yaitu 20 menit, kekasaran permukaan serat cenderung berkurang, terlihat pada gambar 4.10 (d). Pada saat yang sama hal tersebut menyebabkan pengurangan diameter serat dimana berkurang dan menghilangnya struktur lapisan amorf karbon. Bentuk permukaan serat berpengaruh terhadap ikatan antar serat, tingkat kekasaran optimal serat meningkatkan ikatan serat (Zhang dkk, 2004). Sehingga berdasarkan tingkat kekasaran permukaan dan waktu perlakuan nitrogen cair, perlakuan selama 10 menit dapat dikategorikan lebih optimal.

Analisis struktur patahan hasil uji bending menggunakan uji SEM. Pengujian mikro digunakan untuk mempelajari struktur dan morfologi ikatan antar serat dan matriks, sehingga dapat diketahui penyebab terjadinya penurunan atau kenaikan kekuatan mekanis pada komposit. Sampel yang dipilih untuk dilakukan optik mikro adalah bagian patahan hasil uji bending. Hasil dari pengujian foto mikro adalah sebagai berikut :



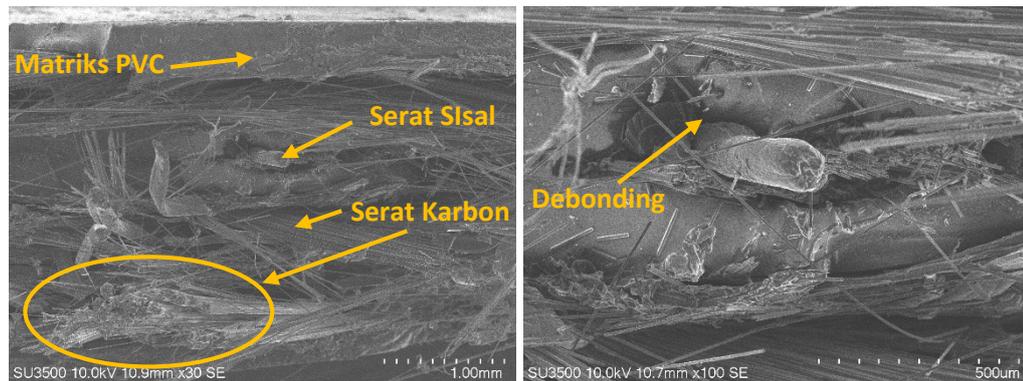
Gambar 4. 11 Struktur patahan komposit PVC/sisal/karbon treatmen N₂ 5 menit

Berdasarkan gambar 4.11 tersebut terlihat struktur patahan komposit PVC/sisal/karbon treatmen N₂ 5 menit masih kurang merata, diantaranya distribusi serat-serat karbon yang masih bergerombol pada titik tertentu. Distribusi atau persebaran serat yang tidak merata dapat mempengaruhi kekuatan mekanis suatu komposit. Kemudian masih terdapat titik debonding pada ikatan serat dengan matriks yang juga dapat mengakibatkan penurunan kekuatan mekanik komposit.



Gambar 4. 12 Struktur patahan komposit PVC/sisal/karbon treatmen N₂ 10 menit

Pada gambar 4.12 tersebut terlihat serat karbon dapat terdistribusi secara lebih optimal, serta terlihat ikatan yang lebih baik dengan serat sisal dan matriks. Kemudian secara keseluruhan ikatan antara serat dan matriks dapat mengikat dengan baik. Serat-serat hibrida yang terlihat tertanam dengan baik pada komposit menunjukkan bahwa perlakuan serat sisal dengan NaOH dan serat karbon dengan nitrogen cair 10 menit berpengaruh terhadap daya mengikat serat pada matriks PVC.



Gambar 4. 13 Struktur patahan komposit PVC/sisal/karbon treatment N₂ 20 menit

Berdasar gambar citra SEM tersebut menunjukkan masih terdapatnya ikatan debonding pada serat dan matriks. Dengan memaksimalkan perlakuan permukaan serat dapat dimungkinkan menurunnya ikatan debonding antar serat dan matriks, dengan demikian dapat meningkatkan kekuatan mekanis komposit.

Hasil SEM penampang patahan bending komposit PVC/sisal/karbon perlakuan nitrogen cair 20 menit (Gambar 4.13) menunjukkan terbentuknya aglomerasi (bergerombol) serat karbon. Serat karbon yang bergerombol mungkin dikarenakan pada perendaman nitrogen cair yang terlalu lama dan proses pencampuran yang secara manual.