

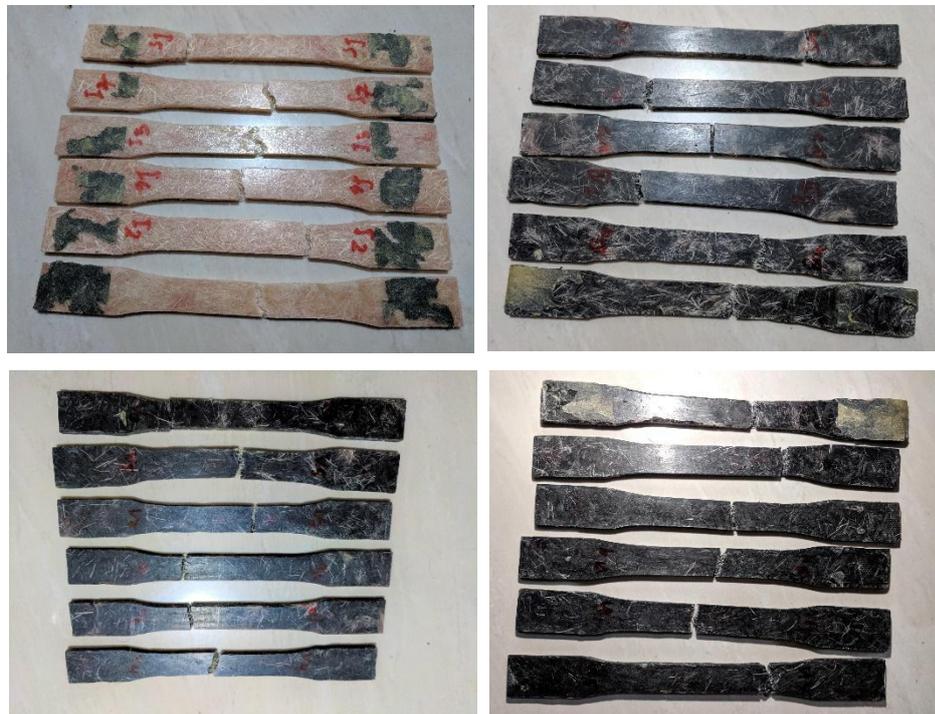
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Mekanis Komposit

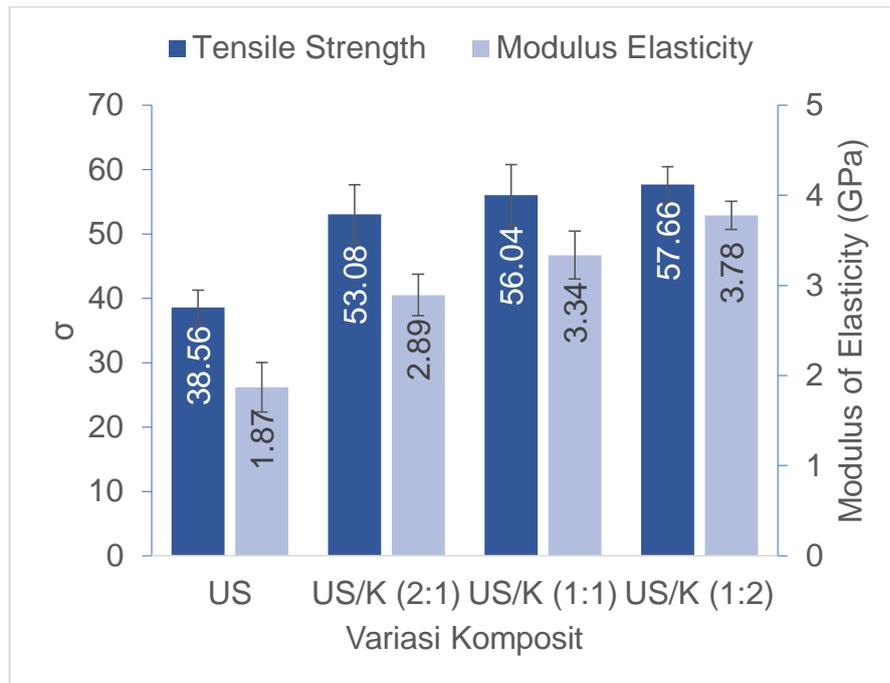
a. Hasil pengujian mekanis komposit

Pada pengujian mekanis komposit dengan variasi serat sisal metah, komposit hibrid serat sisal tanpa perlakuan dan karbon 2:1, 1:1 dan 1:2 didapatkan tiga jenis komponen perhitungan diantaranya yaitu kekuatan tarik dan bending, regangan komposit, dan modulus elastisitas komposit. Berikut merupakan gambar hasil uji dan grafik hasil perhitungan :

1. Hasil pengujian tarik komposit



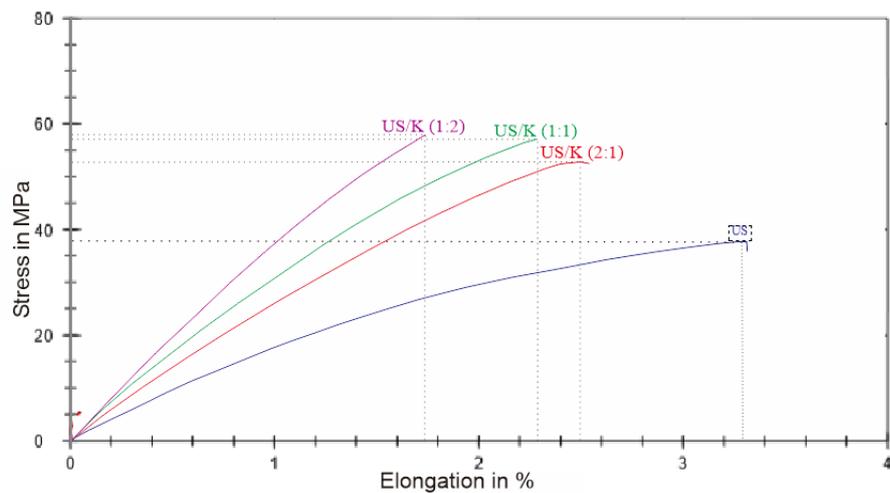
Gambar 4.1 Spesimen hasil uji tarik



Gambar 4.2 Grafik kekuatan tarik dan modulus tarik komposit

Tabel 4.1 Data tegangan tarik komposit

No	Variasi Serat (sisal/karbon)	σ (MPa)	E (GPa)	Elongasi %	Standar Deviasi		
					σ	E	Elongasi
1	US	38,56	1,87	3,32	2,70	0,275	0,100
2	US/K (2:1)	53,08	2,89	2,44	4,52	0,230	0,283
3	US/K (1:1)	56,04	3,33	2,24	4,72	0,266	0,27
4	US/K (1:2)	57,66	3,77	1,78	2,76	0,141	0,15



Gambar 4.3 Grafik kuat tarik komposit

Keterangan :

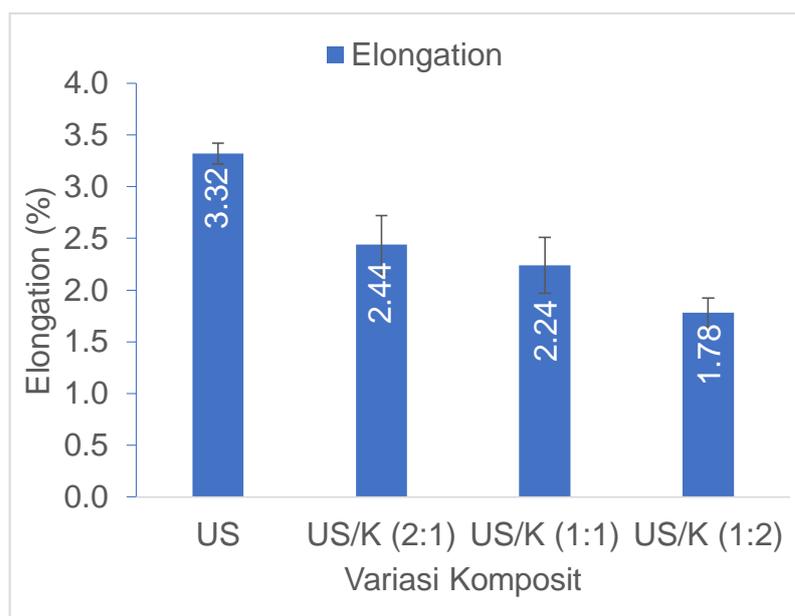
US	= <i>untreated sisal</i>
US/K (2:1)	= <i>untreated sisal/karbon (1 : 2)</i>
US/K (1:1)	= <i>untreated sisal/karbon (1 : 1)</i>
US/K (1:2)	= <i>untreated sisal/karbon (2 : 1)</i>

Dari gambar 4.2. Grafik kekuatan dan modulus tarik komposit dengan perbandingan fraksi volum serat dan matriks 20% : 80% dapat terlihat bahwa seiring dengan penambahan serat karbon pada komposit hibrid berpengaruh terhadap peningkatan kuat tarik dan modulus. Pada grafik menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik pada komposit sisal-mentah/PMMA adalah yang terendah yaitu sebesar 38,56 MPa. Modulus elastisitas terendah juga didapatkan pada komposit sisal-mentah/karbon dengan nilai 1,87 GPa sehingga material tersebut tergolong elastis. Rendahnya kuat tarik komposit sisal tanpa perlakuan/PMMA disebabkan morfologi pada serat sisal yang terlapsi oleh hemiselulosa yang berdampak terhadap tidak tercapainya ikatan adhesi yang baik antara serat dengan matriks karena sifat serat alam yang *hydrophilic* dan sifat matriks *hydrophobic*. Hasil yang sama juga dilaporkan pada penelitian Sosiati dkk, (2019). Namun, untuk sisal tanpa perlakuan/PMMA nilai kuat tarik dan modulus tarik yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih tinggi dari yang dilaporkan (Sosiati dkk, 2019).

Kekuatan sifat tarik dan modulus tarik tertinggi didapatkan pada komposit hibrid sisal-mentah/karbon 1:2 dengan nilai masing-masing 57,66 MPa dan 3,78 GPa. Peningkatan kuat tarik pada komposit hibrid disebabkan dengan sifat mekanis tinggi yang dimiliki serat karbon daripada serat sisal. Selain itu perlakuan HNO_3 yang diberikan pada serat karbon memungkinkan ikatan adhesi antara serat dengan matriks yang baik. Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang komposit hibrid sisal/karbon sebagai bahan alternatif perangkat biomedis (Khanam dkk, 2010; Tufan dkk, 2016; Sosiati dkk, 2019) telah menghasilkan sifat kuat tarik yang baik. Namun, pada hasil penelitian ini menghasilkan sifat kuat tarik yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Tingginya kuat

tarik pada komposit hibrid sisal-mentah/karbon dibandingkan dengan (Sosiati dkk, 2019) disebabkan pada perbedaan perlakuan pada serat sisal, dimana penelitian yang dilakukan (Sosiati dkk, 2019) serat sisal diberikan perlakuan alkalisasi. Serat yang diberi perlakuan alkalisasi akan terjadi pengumpulan (aglomerasi) sehingga menyebabkan serat tidak dapat terdispersi dengan baik (Sosiati dkk, 2018).

2. Regangan Tarik Komposit

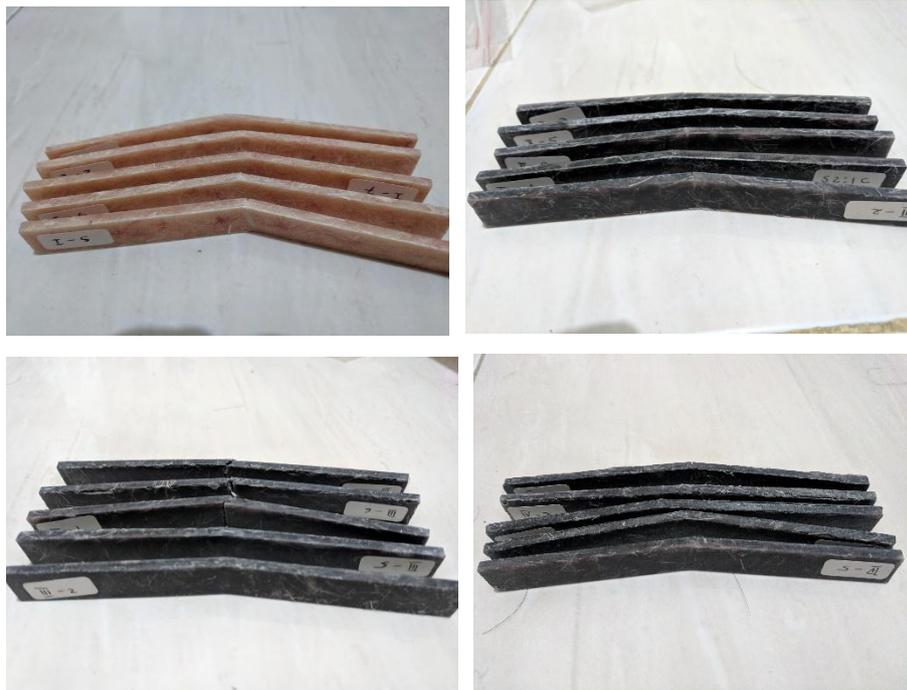


Gambar 4.4 Grafik regangan tarik komposit

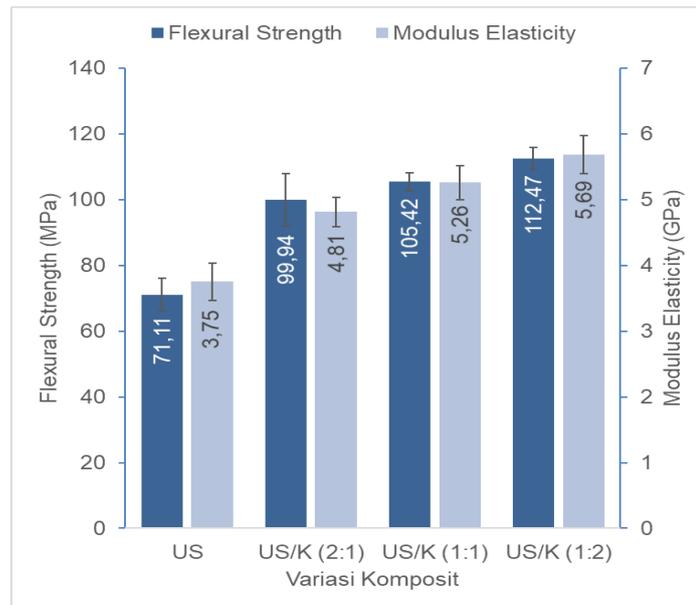
Dari data grafik regangan tarik komposit gambar 4.4. menunjukkan regangan tarik komposit dengan fraksi volum serat dan matrik yaitu 20% : 80%. Nilai regangan mengalami penurunan seiring dengan penambahan serat karbon. Regangan tarik yang memiliki nilai tertinggi pada komposit serat sisal mentah/PMMA sehingga material tersebut memiliki sifat yang ulet. Sedangkan pada komposit hibrid serat sisal/serat karbon cenderung bersifat getas. Dengan demikian pada material komposit yang memiliki komposisi serat karbon memiliki sifat yang sangat kuat namun getas. Menurunnya regangan disebabkan sifat mekanis serat tunggal sisal memiliki regangan lebih tinggi dibandingkan serat tunggal karbon (Shahzad dan Nasir, 2017).

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hibridisasi dengan serat karbon dapat meningkatkan sifat kuat tarik komposit serat sisal dan komposit hibrid sisal-mentah/karbon serta dapat digunakan sebagai bahan alternatif perangkat biomedis seperti gigi dan protesis internal. Hasil selanjutnya akan dianalisa mengenai struktur patahan hasil uji tarik komposit hibrid sisal-mentah/karbon/PMMA pada pengujian SEM.

3. Hasil uji bending komposit



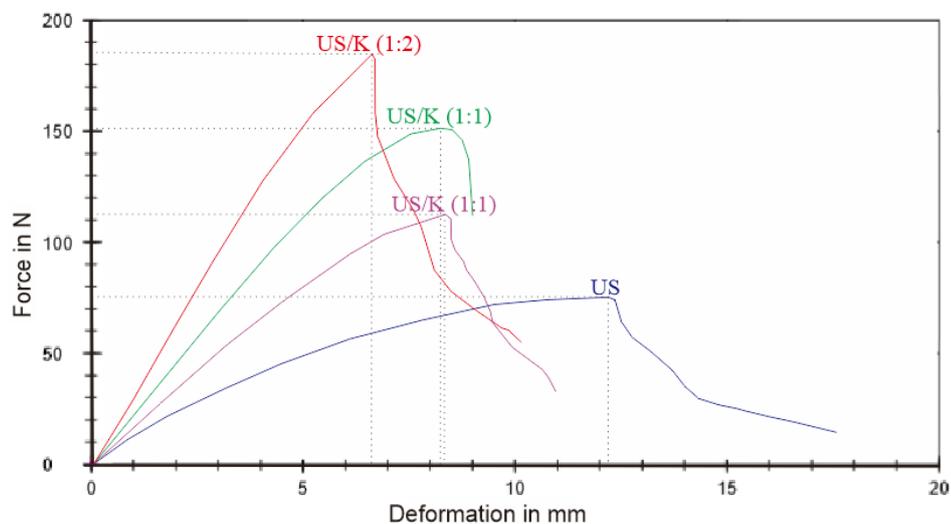
Gambar 4.5 Spesimen hasil uji bending



Gambar 4.6 Grafik kekuatan dan modulus bending komposit

Tabel 4.2 Data tegangan bending komposit

No	Variasi Serat (Sisal/karbon)	σ (MPa)	E (GPa)	Elongasi %	Standar Deviasi		
					σ	E	Elongasi
1	US	71,11	3,75	3,52	5,04	0,286	0,14
2	US/K (2:1)	99,94	4,81	2,62	7,96	0,223	0,14
3	US/K (1:1)	105,42	5,26	2,54	2,80	0,262	0,05
4	US/K (1:2)	112,47	5,68	2,44	3,37	0,287	0,14

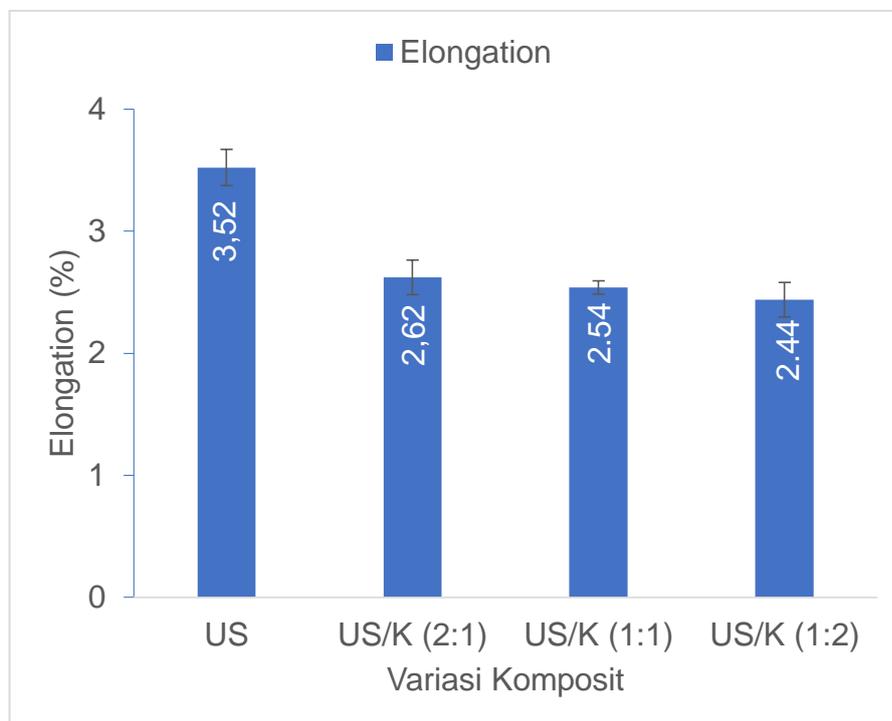


Gambar 4.7 Grafik F-D uji bending

Berdasarkan Gambar 4.6. sifat lentur dan modulus elastisitas komposit menunjukkan bahwa dengan meningkatnya komposisi serat karbon pada

material komposit hibrid serat sisal-mentah/serat karbon berdampak terhadap peningkatan nilai kuat lentur dan modulus elastisitas. Pada variasi rasio serat sisal mentah/serat karbon 1:2 menghasilkan nilai kuat lentur dan modulus elastisitas tertinggi yaitu dengan nilai masing-masing 112,47 MPa dan 5,69 GPa. Hal ini disebabkan oleh sifat mekanis serat karbon yang lebih tinggi dari serat sisal. Sedangkan nilai kuat lentur dan modulus elastisitas terendah didapatkan pada komposit serat sisal-mentah/PMMA dengan nilai 71,11 MPa dan 3,75 GPa dikarenakan serat sisal tanpa perlakuan bersifat *hydrophilic* dan sifat matriks *hydrophobic* menyebabkan tidak terciptanya ikatan permukaan yang baik antara serat-matriks sehingga sifat bawaan yang ada pada serat alam sangat mempengaruhi faktor kekuatan mekanisnya.

4. Regangan Bending Komposit

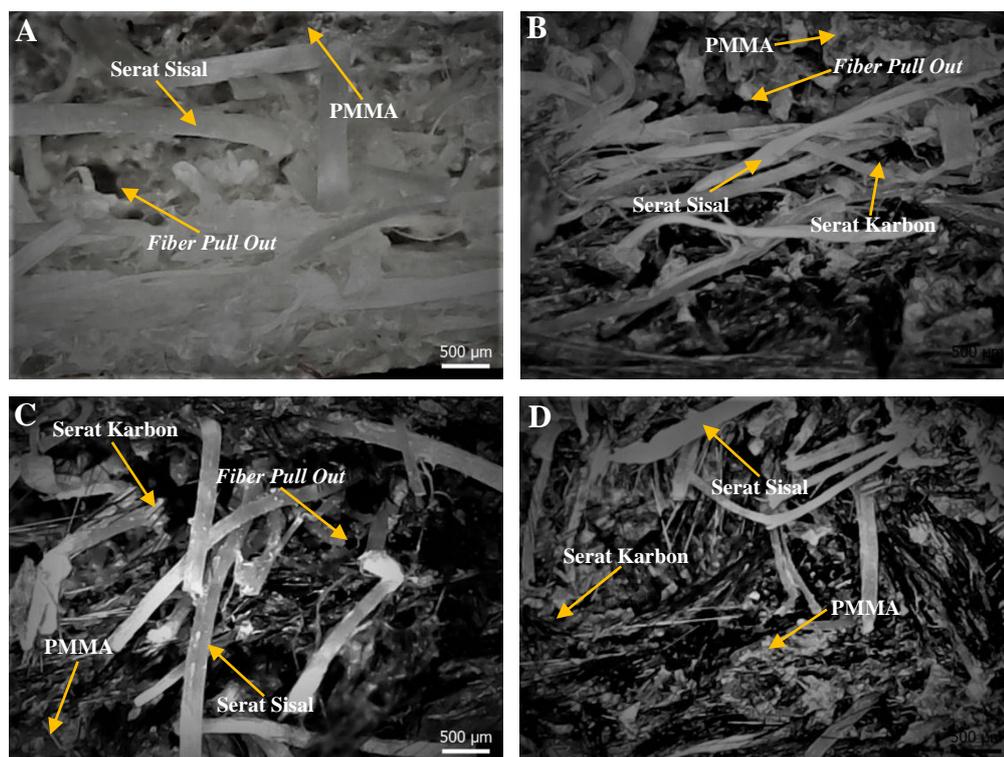


Gambar 4.8 Grafik regangan bending komposit

Berdasarkan data regangan bending komposit pada gambar 4.5. menunjukkan keuletan material terhadap kemampuan untuk menahan beban yang diberikan. Dapat dilihat pada grafik bahwa material yang memiliki regangan yang tertinggi adalah komposit yang berpenguat serat sisal mentah,

dengan demikian komposit tersebut memiliki sifat yang ulet dengan nilai regangan 3,52 GPa. Namun seiring dengan penambahan komposisi serat karbon menyebabkan menurunnya regangan sehingga material tersebut memiliki kecenderungan getas bila dibandingkan dengan komposit berpenguat serat sisal, regangan terendah didapatkan pada komposit hibrid sisal-mentah/karbon (1:2) dengan nilai 2,44 GPa. Menurunnya regangan disebabkan sifat mekanis serat tunggal sisal memiliki regangan lebih tinggi dibandingkan serat tunggal karbon (Shahzad dan Nasir, 2017).

4.2 Pengujian Optik Makro Komposit



Gambar 4.9 Struktur potongan uji bending komposit dengan optik (A) US.

(B) US/K (2 : 1). (C) US/K (1 : 1). (D) US/K (1 : 2).

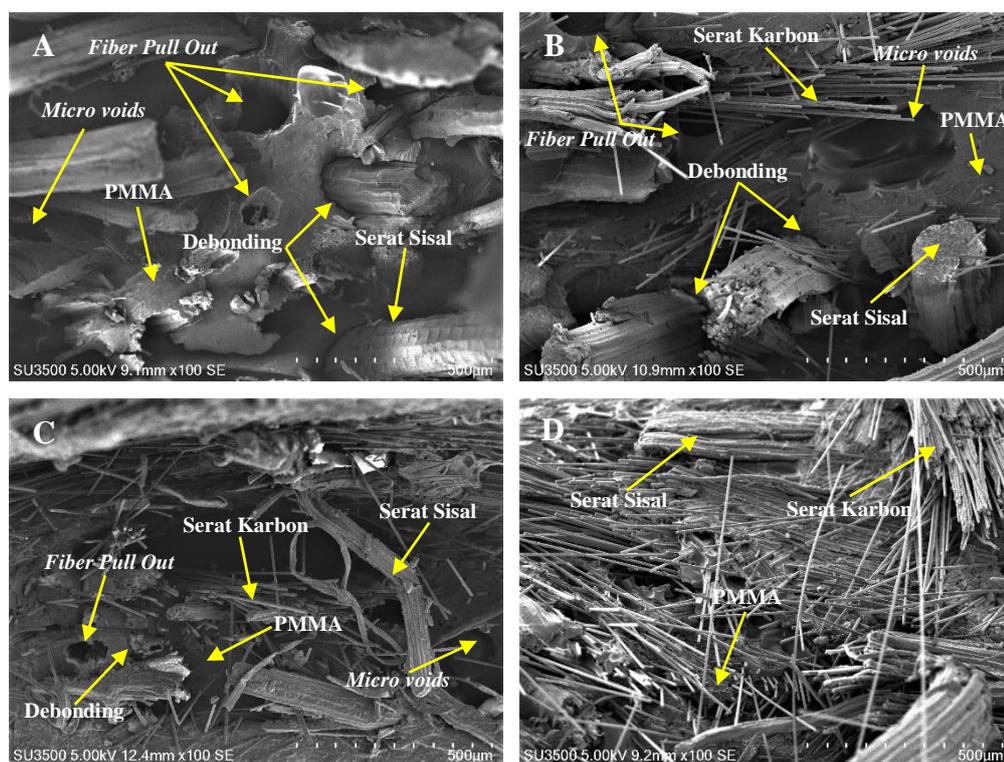
Komposit hasil uji bending dipotong pada bagian tengah yang mengalami keretakan. Persebaran serat pada material komposit diamati pada pengujian optik. Hasil optik menunjukkan bahwa komposit tersisi penuh dengan matriks dan serat, persebaran serat pada matrik terdistribusi merata. Namun, pada komposit hibrid dengan variasi rasio terlihat bahwa persebaran serat sisal dan karbon tidak tercampur secara merata, terlihat pada beberapa bagian terjadi

pengumpulan masing-masing serat, hal ini disebabkan metode pembuatan dengan cara *hand-layup* dan serat acak. Persebaran serat yang merata pada keseluruhan bagian matrik menghasilkan kekuatan bending yang tinggi.

Pada gambar A, B dan C terdapat kegagalan *fiber pull out* yang disebabkan adanya serat sisal mentah yang tercabut pada matriks polimer, tercabutnya serat disebabkan ikatan adhesi yang kurang antara serat dengan matriks karena perbedaan sifat dari serat sisal mentah yang *hidrofilik* dan matriks PMMA *hidrofobik* sehingga menyebabkan rendahnya sifat kuat bending pada komposit. Sedangkan pada gambar D tidak didapatkan adanya *fiber pull out*, hal ini disebabkan serat karbon mendominasi pada komposit hibrid, dimana serat karbon dapat terikat secara baik pada matriks karena keduanya memiliki sifat yang sama yaitu *hidrofobik*.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya rasio serat karbon dapat meminimalisir adanya *fiber pull out* pada komposit hibrid. Hasil pengamatan dengan optik makro berkorelasi dengan hasil uji sifat mekanis kuat bending komposit, peningkatan sifat kuat bending pada komposit hibrid disebabkan serat karbon yang mendominasi komposit sehingga meminimalisir adanya *fiber pull out*.

4.3 Pengujian SEM



Gambar 4.10 Struktur patahan uji tarik komposit dengan SEM (A) US. (B) US/K (2 : 1). (C) US/K (1 : 1). (D) US/K (1 : 2).

Pada gambar hasil uji SEM dapat dilihat persebaran serat (sisal dan karbon) pada matriksnya cenderung mengumpul pada bagian tengah komposit. Hal ini disebabkan proses fabrikasi menggunakan metode satu lapis matrik-*filler*-matrik. Selain itu juga persebaran serat tidak tercampur secara merata dikarenakan metode fabrikasi dengan *hand-layup*. Terdapat *micro void* pada foto patahan komposit yang ditunjukkan di gambar A, B dan C yang menyebabkan kurang optimumnya sifat kuat tarik komposit. Meskipun jumlahnya sedikit pada hasil pengamatan patahan permukaan, namun tidak menutup kemungkinan masih terdapat void yang berada di dalam komposit.

Berdasarkan citra SEM pada gambar A, B dan C struktur patahan komposit sisal mentah/PMMA didapatkan adanya *debonding* atau tidak tercipatnya ikatan yang baik antara matriks PMMA dengan serat sisal. Selain itu, didapatkan pula adanya *fibre pull out* atau kegagalan yang disebabkan adanya serat sisal mentah yang tercabut pada matriks PMMA. Dengan adanya *debonding*

dan *fibres pull out* maka berdampak terhadap rendahnya sifat kuat tarik komposit. Hal ini disebabkan perbedaan sifat dari matriks PMMA yang *hidrofobik* bertolak belakang dengan sifat serat alam yang *hidrofilik*.

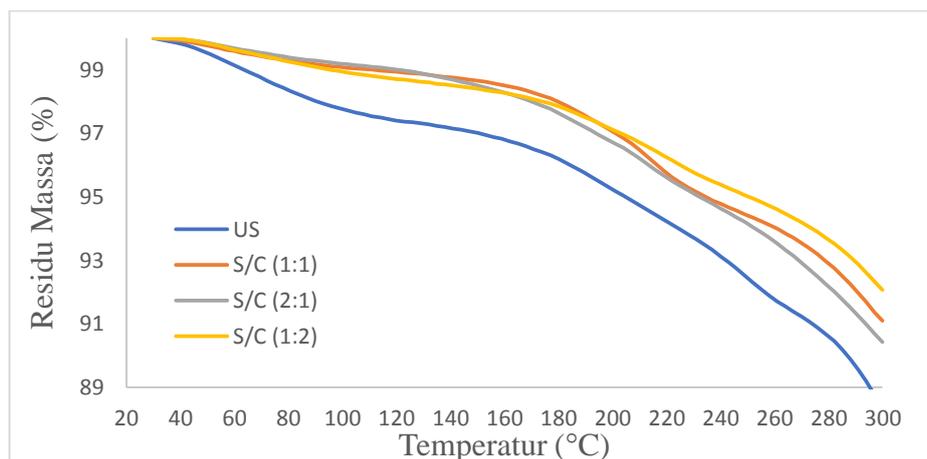
Menurut Raharjo dkk, (2015) ciri ikatan yang kuat antara matriks dengan seratnya merupakan kegagalan komposit ketika diberikan pembebanan yakni tidak adanya *fiber pull out* atau serat yang tertarik keluar. Ikatan yang kuat antara matriks dan serat terjadi apabila kegagalan komposit ketika diberikan pembebanan yaitu adanya serat yang putus atau patah. Terjadi karena adanya ikatan yang bagus antara serat dengan matriks.

Dengan demikian maka hasil dari pengamatan pada citra SEM pada struktur patahan uji tarik berkorelasi dengan hasil sifat kuat tarik. Dimana pada gambar A, B dan C didapatkan kegagalan *micro voids*, *debonding* dan *fibres pull out* yang menyebabkan rendahnya sifat tarik komposit. Sedangkan pada gambar D tidak didapatkan adanya kegagalan tersebut sehingga pada komposit hibrid sisal-mentah/karbon (1:2) memiliki sifat kuat tarik optimum dibandingkan dengan variasi 2:1, 1:1 dan komposit sisal-mentah.

4.4 Thermogravimetric analysis (TGA) Analisa Komposit

Tabel 4.3 Kehilangan massa rata-rata (%) komposit hibrid

Sampel	T_i (°C)	T_m (°C)	T_f (°C)	W_{τ_i} (%)	W_{T_m} (%)	W_{τ_f} (%)	Residue akhir (%)
US	73,27	212,37	286,25	2,6	7,93	11,09	88,56
US/K (2:1)	106,23	198,29	267,64	1,66	4,57	8,79	90,99
US/K (1:1)	75,16	199,59	277,74	1,3	4,52	8,24	91,24
US/K (1:2)	78,76	204,45	277,54	1,47	4,59	7,45	92,41



Gambar 4.11 Kurva TGA Material Komposit

Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa penurunan berat sebagai fungsi suhu dalam komposit hibrid serat sisal-mentah/karbon/PMMA. Hasil dari TG diamati bahwa pada suhu awal 30-100 °C komposit kehilangan 1,3-2,6 % dari berat awal yang menyerupai adanya penguapan bahan pelarut. Pada temperatur kisaran 200-300 °C tercatat bahwa penurunan berat sekitar 9% yang disebabkan degradasi dan penguapan pada matriks PMMA, dimana residu akhir adalah 89%, hal ini menunjukkan penurunan berat secara total hanya 11% dari berat awal.

Berdasarkan pengamatan pada kurva TG menunjukkan bahwa terdapat tiga langkah proses degradasi, dengan langkah kecil yang diamati terdapat pada temperatur dibawah 100°C, hal ini disebabkan penguapan pada molekul air yang terdapat pada serat sisal. Dari kurva TG langkah kecil penurunan berat pada kisaran temperatur 40-100 °C didapati pada seluruh komposit hibrida termasuk dengan komposit yang hanya diperkuat serat sisal mentah, terdapatnya serat alam mengawali adanya pelepasan kadar air komposit, karena penguapan air menunjukkan adanya air pada lignoselulosa, pengamatan ini juga didapatkan pada penelitian yang dilakukan oleh Aisyah dkk, 2019.

Pada dekomposisi langkah kedua menunjukan penurunan berat serat sisal, yang mana dekomposisi utama didapatkan pada kisaran temperatur 190-210 °C. Hal ini disebabkan oleh dekomposisi hemiselulosa, selulosa dan liginin dari serat alam serta depolimerisasi matriks. Terjadinya dekomposisi serat alami diawali dengan hemiselulosa, selulosa, lignin dan *ash* (Aisyah dkk, 2016). Serat

lignoselulosa diketahui memiliki stabilitas termal yang rendah, dan suhu degradasi hemiselulosa, lignin dan selulosa masing-masing mulai 180, 200 dan 210 °C (Tufan dkk, 2018). Hemiselulosa terurai lebih awal dikarenakan struktur kimianya yang terdiri atas struktur amorf acak dengan sedikit kekuatan, maka mudah terhidrolisis. Namun sebaliknya dekomposisi selulosa terjadi pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan hemiselulosa dikarenakan polimer unit glukosa yang panjang dan sifat kristal yang tinggi, sehingga selulosa relatif stabil secara termal. Langkah degradasi ketiga didapatkan pada temperatur sekitar 220-300 °C, dimana hal ini terkait pada degradasi polimer PMMA (Brydson, 1999)

Dengan demikian bahwa komposit hibrida dengan semakin banyaknya karbon maka akan memberikan efek stabilitas termal yang tinggi dibandingkan dengan sampel komposit yang hanya diperkuat dengan serat sisal mentah. Hal ini disebabkan serat karbon memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi dan kompatibilitas antara serat dengan matrik yang lebih baik, hasil yang diperoleh ini juga berbanding lurus dengan apa yang telah diteliti oleh Aisyah dkk, 2019.