

## Program Studi Teknik Mesin

### Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Karakterisasi Sifat Tarik, Bending dan Termal Komposit Hibrid Sisal-Mentah/Karbon/PMMA Sebagai Bahan Alternatif Perangkat Biomedis

Judul Naskah Publikasi: Karakterisasi Sifat Tarik, Bending dan Termal Komposit Hibrid Sisal-Mentah/Karbon/PMMA Sebagai Bahan Alternatif Perangkat Biomedis

Nama Mahasiswa: Nanda Dwiky Mufti Yuniar

NIM: 20150130138

Pembimbing 1: Dr. Ir. Harini Sosiati, M.Eng.

Pembimbing 2: Drs. Sudarisman, M.S.Mechs., Ph.D

Hal yang dimintakan persetujuan \*:

<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia	<input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi	<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> .....
<input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris	<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> .....

\*beri tanda di kotak yang sesuai

Tanda Tangan

Nanda Dwiky Mufti Yuniar

Tanggal 23-07-2019

### Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Tanda Tangan

Dr. Ir. Harini Sosiati, M.Eng.

Tanggal 23-07-2019

Tanda Tangan

Berli Paripurna Kamari, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

Tanggal 23-07-2019

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

# KARAKTERISASI SIFAT TARIK, BENDING DAN TERMAL KOMPOSIT HIBRID SISAL-MENTAH/KARBON/PMMA SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF PERANGKAT BIOMEDIS

Nanda Dwiky Mufti Yuniar<sup>a</sup>, Harini Sosiati<sup>a</sup>, Sudarisman<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,  
 Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183  
[nanda.dwiky.2015@ft.umy.ac.id](mailto:nanda.dwiky.2015@ft.umy.ac.id)

## Abstrak

Komposit yang diperkuat serat alam sisal (*agave sisalana*)/karbon yang diikat dengan polymethylmethacrylate (PMMA) terus dikembangkan sebagai bahan alternatif perangkat biomedis. Serat sisal tanpa perlakuan dan serat karbon perlakuan dengan merendam pada larutan  $\text{NH}_3$  dengan konsentrasi 68,3% selama 48 jam. Panjang serat 6 mm yang memuat serat 20% difabrikasi dengan menggunakan metode *hand-layup* dan *cold press* dengan tekanan 2,1-3,5 MPa pada suhu ruangan selama 60 menit. Sifat tarik dan bending diselidiki dengan hibridisasi sisal-mentah/karbon (2:1, 1:1 dan 1:2) yang dibandingkan dengan sisal-mentah/PMMA. Komposit serat alam sisal-mentah meningkat kekuatan tarik dan bending seiring dengan meningkatnya komposisi serat karbon. Peningkatan kuat tarik dan bending signifikan ditunjukkan pada sisal-mentah/karbon 1:2 dibandingkan dengan sisal-mentah/karbon masing-masing sekitar 33% dan 36%. Scanning electron microscope (SEM) dari permukaan fraktur tarik berkorelasi dengan kekuatan mekanis yang tinggi yang ditunjukkan dengan semakin baiknya ikatan adhesi antara serat dengan matriks. Sifat fisis dengan Thermogravimetry (TGA) telah mengkonfirmasi adanya korelasi antara komposit kekuatan mekanis tinggi dengan stabilitas termal yang semakin baik dengan meningkatnya komposisi serat karbon. Teknik hibridisasi dengan menambahkan serat karbon pada komposit serat alam merupakan cara efektif untuk meningkatkan sifat mekanis dan fisis.

**Kata kunci:** LDPE, serat sisal, serat karbon, komposit hibrida, biomedic,

## 1. PENDAHULUAN

Serat sisal (*Agave sisalana*), serat karbon dan polymethylmethacrylate (PMMA) merupakan sebagai bahan alternatif perangkat biomedis karena sifatnya yang biokompatibel bagi tubuh manusia (Sosiati, dkk, 2019; Sathiskumara, dkk, 2013; Namvar, dkk, 2014; Bombac, dkk, 2007). Serat sisal merupakan serat yang tersedia melimpah, densitas yang rendah, modulus tinggi dan memiliki nilai ekonomis. Selain itu, serat sisal memiliki nilai lebih karena terdapat zat *antibacterial* yang secara signifikan serat sisal dapat menghambat bakteri *candida albicans* yang menimbulkan penyakit kulit, hal ini disebabkan karena serat sisal terdapat ekstrak *hydroalcoholic* (Abdenego, dkk, 2010; Santos, dkk, 2009). *Nanotube* karbon merupakan alotrop karbon yang telah digunakan sebagai bahan biomedis (Sosiati, dkk, 2019; Chandramohan, dkk, 2011). Serat karbon juga memiliki sifat mekanis yang unggul (Shahzad dan Nasir, 2017). Matriks PMMA merupakan polimer sintetik non-kristal dari metakrilat yang telah digunakan sebagai semen untuk menumbuhkan implan dan merombak tulang yang hilang (Sosiati, dkk, 2019; Xu, dkk, 2009). Dengan sifat kompatibilitas yang dimiliki (serat sisal, serat karbon dan PMMA) dengan tubuh manusia, maka pada penelitian ini dipilih sebagai konstituen untuk komposit sebagai bahan alternatif perangkat biomedis.

Terdapat dua kategori pada jaringan tubuh manusia, yaitu jaringan keras (tulang dan gigi) dan jaringan lunak (Pembuluh darah, kulit, ligamen dan tulang rawan) (Namvar, dkk, 2014). Jaringan keras memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan lunak. Bahan yang digunakan sebagai prostesis internal harus tahan korosif, abrasif dan memiliki kesesuaian biologis tinggi (Sosiati, dkk, 2019). Xu dkk, (2009) melaporkan

tentang fabrikasi dan sifat mekanik komposit serat sisal pendek untuk aplikasi gigi, hasil penelitian konsentrasi 10% berat sisal memiliki kekuatan lentur optimum, namun memiliki kekuatan yang sama dengan matriks PMMA tanpa penguat (*filler*) yaitu 57 MPa dan peningkatan kuat lentur secara bertahap seiring bertambahnya pemuatan serat.

Penelitian komposit hibrid serat sisal dan karbon yang diikat dengan matriks poliester terhadap kuat tarik, lentur dan kimia telah dilaporkan (Khanam, dkk, 2010), hasil penelitian menunjukkan komposit hibrid sisal/karbon/poliester meningkatkan sifat tarik dan lentur seiring dengan meningkatnya pemuatan serat karbon, dimana kekuatan optimum tarik dan bending didapatkan pada rasio serat sisal/karbon 25%:75% yaitu masing-masing 50,85 MPa dan 148,78 MPa. Sosiati, dkk, (2019) telah melaporkan penelitian tentang kekuatan mekanis dan fisis komposit serat sisal/PMMA dengan penambahan MAPP 3, 5 dan 10 wt.% dibandingkan dengan komposit hibrid sisal alkalisasi/karbon yang diikat dengan PMMA sebagai aplikasi biomedis. Hasil penelitian membuktikan bahwa komposit serat sisal perlakuan/karbon/PMMA menghasilkan nilai kekuatan mekanis lebih tinggi dibandingkan komposit sisal/PMMA/MAPP dengan kekuatan optimum didapatkan pada rasio serat sisal/karbon (1:2) yaitu 54,21 MPa.

Tufan dkk, (2016) telah menyelidiki pengaruh rasio berat serat sisal dan serat karbon yang diikat dengan matrik *polypropylene* daur ulang terhadap kuat lentur, tarik dan stabilitas termal komposit dengan uji peluruhan serta analisis termogravimetri (TGA), hasil penelitian dilaporkan bahwa sifat mekanis dan fisis mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya rasio berat karbon. Aisyah dkk, (2019) telah meneliti pengaruh hibridisasi serat karbon/kenaf yang diikat dengan matriks *epoxy* terhadap sifat termal TGA, hasil penelitian didapatkan bahwa pengaruh hibridisasi serat karbon menunjukkan stabilitas termal yang lebih baik.

Dari beberapa rujukan penelitian yang menggunakan bahan komposit hibrid sisal/karbon/PMMA relatif langka yang meneliti tentang pengaruh hibridisasi serat sisal-mentah/karbon/PMMA. Oleh karena itu, pada kesempatan ini dilakukan penelitian tentang pembuatan komposit hibrid sisal-mentah/karbon/PMMA dengan variasi rasio serat sisal-mentah/karbon (2:1, 1:1, dan 1:2) menggunakan metode *hand lay-up* dan serat acak guna mengetahui sifat tarik, bending serta termal sehingga nantinya dapat diaplikasikan sebagai pengganti bahan gigi dan prosthesis internal.

## 2. METODE

### 2.1 Preparasi Serat

Serat sisal tanpa perlakuan digunakan dalam penelitian ini, dimana serat sisal dibersihkan dengan merendam pada cairan aquades selama 24 jam pada temperatur ruang untuk menghilangkan kotoran pada serat. Sedangkan serat karbon diberi perlakuan dengan merendam pada larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) dengan konsentrasi 68,3% selama 48 jam dan dikeringkan pada oven dengan temperatur  $80^\circ\text{C}$  selama 6 jam. Serat sisal tanpa perlakuan dan serat karbon yang telah kering dipotong 6 mm. Matriks PMMA dan SC Liquid dipersiapkan.

### 2.2 Pembuatan Komposit

Komposit dibuat dari serat sisal tanpa perlakuan, karbon dan PMMA yang telah ditimbang. Fraksi volum antara serat dan matriks 20%:80%. Terdapat empat variasi komposit serat sisal-mentah/karbon/PMMA yang dibuat, yaitu variasi serat sisal-mentah/PMMA dan variasi rasio serat sisal-mentah/karbon 2:1, 1:1 dan 1:2. Metode fabrikasi *hand-layup* yang disusun satu lapisan matriks-serat-matriks ditekan menggunakan mesin *cold press* dengan tekanan 2,1-3,5 MPa pada temperatur ruangan selama 60 menit. Spesimen dibuat dua jenis, untuk pengujian tarik mengacu pada standar ASTM D638-01 dan pengujian bending ASTM D790-02.

### 2.3 Uji Mekanis dan Karakterisasi

Pengujian mekanis dilakukan pada semua spesimen yang telah difabrikasi. Pengujian tarik dan bending dilakukan dengan masing-masing mengacu pada standar ASTM D638-01 dan ASTM D790-02 menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dengan merk Zwick Roell Z020 dengan kapasitas 20 KN *made in* Jerman di ATMI Surakarta. Beban yang digunakan pada uji tarik 0,1 MPa dengan kecepatan 5 mm/min, sedangkan uji bending 0,1 MPa dengan kecepatan 1 mm/min. Lima sampel untuk setiap spesimen telah diuji, dan rata-rata *tensile strength*, *flexural*

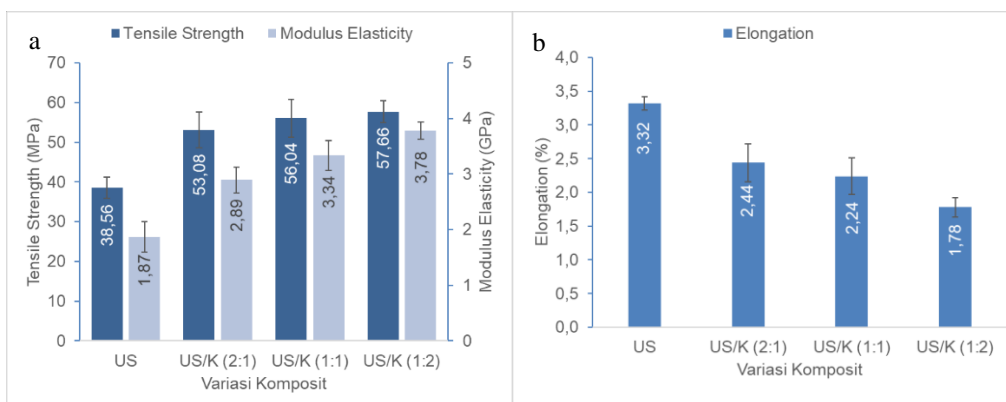
strength, modulus elastisitas ( $E_b$ ) dan elongation ( $\epsilon_b$ ) telah diperoleh dari kurva tegangan-regangan serta tegangan-defleksi. Data ditampilkan dalam bentuk rata-rata.

Patahan hasil uji tarik diamati dengan menggunakan mesin scanning electron microscope Hitachi SU3500 di Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia – Yogyakarta pada area perbesaran 100x. Sedangkan retakan hasil uji bending diamati dengan menggunakan *microscope optic digital* di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta pada area perbesaran 300x menggunakan macam software untuk melihat distribusi serat pada komposit.

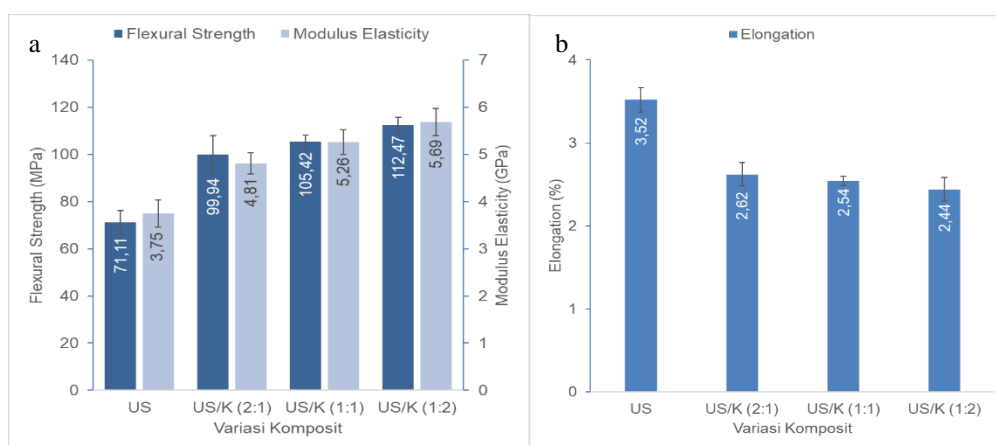
Sampel komposit hasil uji tarik dilakukan pengujian TGA dengan berat antara 13-15 mg sebagai spesimen dengan laju pemanasan 20°C/menit dalam atmosfer nitrogen dengan menggunakan *Thermogravimetric Analyzer (Instrument TA SDTQ600)*. Analisis TGA dilakukan dengan menggunakan Sistem TGA / DSC1 STAR, Mettler Toledo analyzer termal. Dekomposisi termal dari masing-masing sampel terjadi dalam kisaran suhu terprogram 30-300 °C. Penurunan berat dan suhu terus menerus dicatat dan dianalisis. Pengujian ini dilakukan di Universitas Putra Malaysia.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Pengujian Mekanis



**Gambar 3.1.** Grafik kekuatan, modulus elastisitas tarik (a) dan regangan tarik (b)



**Gambar 3.2.** Grafik kekuatan, modulus elastisitas (a) dan regangan bending (b)

Kekuatan tarik dan bending komposit hibrid sisal-mentah/karbon/PMMA sebagai fungsi rasio serat sisal-mentah/karbon pada **Gambar 3.1.** dan **Gambar 3.2** terlihat bahwa hasil pengujian tarik dan bending menunjukkan seiring dengan meningkatnya rasio serat karbon maka meningkatkan sifat mekanis komposit hibrid. Peningkatan pada sifat mekanis tersebut terkait dengan sifat mekanis serat karbon yang lebih tinggi dari serat sisal (Shazad dan Nasir, 2017).

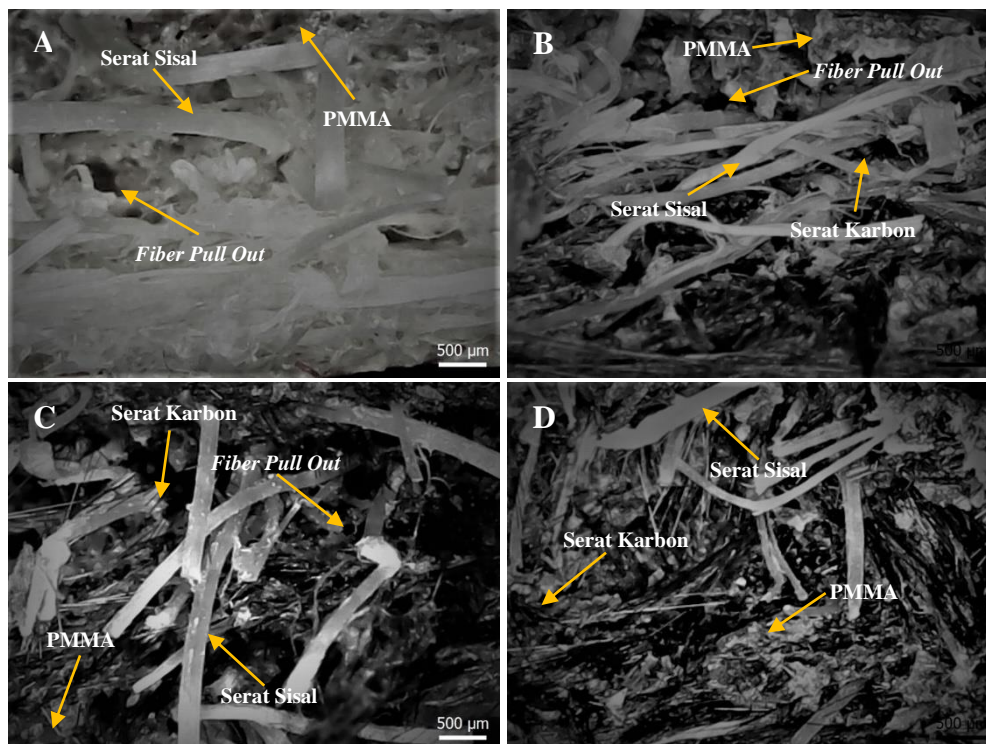
Adapun pengaruh dari perlakuan pada permukaan serat karbon dengan HNO<sub>3</sub> memungkinkan terciptanya ikatan antar muka serat-matriks yang sangat baik.

Dapat diamati bahwa pengaruh hibridisasi serat sisal-mentah/karbon pada rasio serat sisal-mentah/karbon 1:2 secara signifikan meningkatkan kuat tarik sekitar 33% sedangkan kuat bending sekitar 36% dibandingkan dengan kekuatan komposit yang hanya diperkuat dengan serat sisal-mentah. Dengan demikian, teknik hibridisasi adalah cara yang efektif untuk meningkatkan sifat mekanis komposit serat alam.

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang komposit hibrid sisal/karbon sebagai bahan alternatif perangkat biomedis (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. Hal ini disebabkan adanya perbedaan parameter antara penelitian ini dan studi Sosiati: yaitu, perlakuan serat sisal. Ini merupakan kunci parameter yang menyebabkan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Sebagaimana yang telah dilaporkan (Sosiati, dkk. 2018) serat sisal yang diberi perlakuan alkalisasi terjadi aglomerasi sehingga menyebabkan serat tidak dapat terdispersi dengan baik. Namun, penurunan terjadi pada grafik regangan yang diamati pada **Gambar 3.1.** dan **Gambar 3.2.** Menurunnya regangan pada komposit hibrid disebabkan serat karbon tunggal memiliki regangan yang lebih rendah dari serat sisal (Shazad dan Nasir, 2017).

Berdasarkan kekuatan tarik dan modulus tarik serta kekuatan bending dan modulus bending sisal-mentah/karbon/PMMA yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan komposit sisal/karbon/rpp (Tufan, dkk. 2018) dan sisal-alkalisasi/karbon/PMMA yang telah dikembangkan untuk perangkat biomedis. Sehingga komposit ini memungkinkan untuk direkomendasikan sebagai bahan alternatif prosthesis internal.

### 3.2 Pengujian Optik Makro Komposit



**Gambar 3.2.** Struktur potongan uji bending komposit dengan optik (A) US. (B) US/K (2 : 1). (C) US/K (1 : 1). (D) US/K (1 : 2).

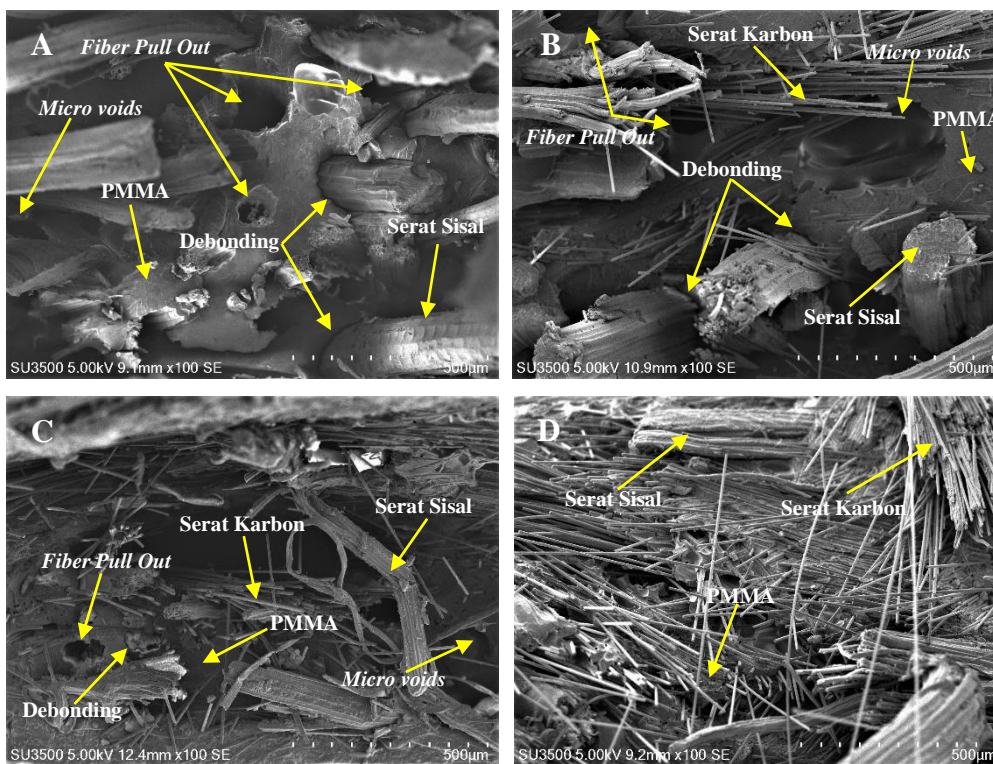
Komposit hasil uji bending dipotong pada bagian tengah yang mengalami keretakan. Persebaran serat pada material komposit diamati pada pengujian optik. Hasil optik menunjukkan bahwa komposit tersisi penuh dengan matriks dan serat, persebaran serat pada matriks

terdistribusi merata. Persebaran serat yang merata pada keseluruhan bagian matriks 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 muatan 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*.

### 3.3 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)



**Gambar 3.3.** 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 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.

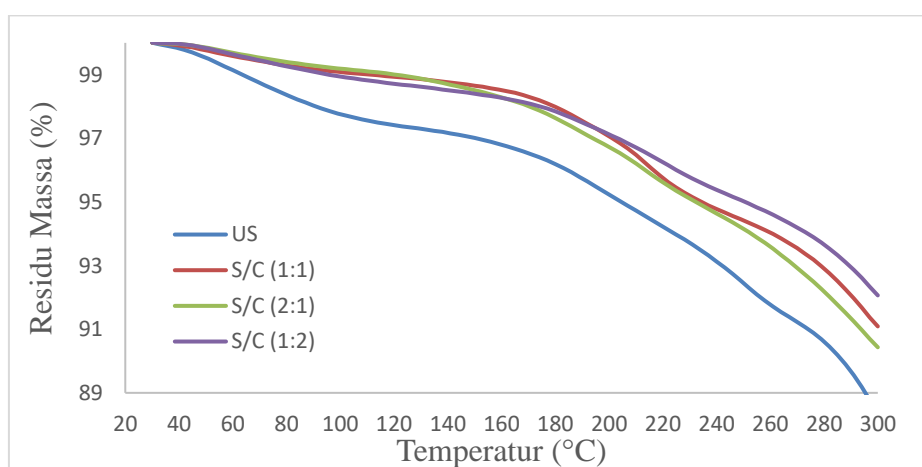
Berdasarkan citra SEM pada gambar A, B dan C struktur patahan komposit sisal mentah/PMMA didapatkan adanya *debonding* atau tidak tercapainya ikatan yang baik antara matriks PMMA dengan serat sisal. Selain itu, didapatkan pula adanya *fibre pull out* atau kegagalan yang disebabkan adanya serat sisal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

Dengan demikian 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 *fibre 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.

### 3.4 Thermogravimetric analysis (TGA) Komposit

Tabel 3.1 Kehilangan massa rata-rata (%) komposit hibrid

Sampel	$T_i$ (°C)	$T_m$ (°C)	$T_f$ (°C)	$W_{Ti}$ (%)	$W_{Tm}$ (%)	$W_{Tf}$ (%)	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 3.4. Kurva TGA Material Komposit

Pada Gambar 4.9 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 menunjukkan 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 teruari 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.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposit hibrid serat sisal-mentah/serat karbon/PMMA dengan kekuatan mekanik tinggi telah berhasil dibuat dengan serat/matrik (20 : 80 %wt) metode *hand-layup* dan *cold press* pada tekanan 2,1-3,5 MPa selama 60 menit dengan variasi rasio sisal/karbon 2:1, 1:1 serta 1:2.
2. Komposit hibrid sisal-mentah/karbon/PMMA meningkat kekuatannya seiring dengan bertambahnya komposisi serat karbon. Kuat tarik dan bending tertinggi didapatkan pada rasio sisal/karbon 1:2 dibandingkan dengan 2:1 dan 1:1. Dengan nilai kuat tarik dan modulus tarik tertinggi 57,66 MPa dan 3,78 GPa. Sedangkan nilai kuat bending dan modulus bending tertinggi 108,20 MPa dan 5,69 GPa.
3. Struktur patahan yang ditunjukkan pada foto hasil SEM dan optik berkorelasi dengan sifat mekanis dikarenakan kegagalan mengungkapkan ikatan adhesi yang buruk antara serat sisal mentah dan matrik disebabkan adanya *fiber pull out*, *voids*, dan *debonding*, namun seiring meningkatnya konten karbon mengurangi adanya kegagalan pada komposit hibrid.
4. Hasil uji TGA berkorelasi dengan sifat mekanis komposit dimana dengan bertambahnya rasio serat karbon dapat meningkatkan stabilitas termal komposit hibrid. Stabilitas termal yang optimum didapatkan pada rasio serat sisal-mentah/karbon (1:2) yaitu dengan *residue* akhir 92,41%.
5. Penelitian ini dapat melengkapi penelitian sebelumnya dan rekomendasi sebagai bahan alternatif pembuat prosthesis internal.

#### REFERENSI

- Abednego, D. M., Zwane, P. and Nkambule, N., (2010). Antimicrobial properties of sisal (*Agave sisalana*) used as an ingredient in petroleum jelly production in Swaziland. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 2(6): 370-374.
- Aisyah, H. A., Paridah, M. T., Khalina, A., Sapuan, S. M., Wahab, M. S., Berkalp, O. B., Lee, C. H., & Lee, S. H., (2019). Thermal and Dynamic Properties of Woven Kenaf/Carbon Fibre Reinforced Epoxy Hybrid Composite. *Preprints*, 10 (2), pp. 1- 12.
- ASTM Standard. D638-01., (2001). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. United States. ASTM International.
- ASTM Standard. D790-02., (2002) *Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics Insulating Materials*. United States. ASTM International.
- Bombac, D., Brojan, M., Kosel, F., & Turk, R. (2007). *Review of materials in medical applications*. RMZ-Materials and Geoenvironment, 54, (4), 471-499.
- Khanam, P. N., Khalil, H. A., Jawaid, M., Reddy, G. R., Narayana, C. S., & Naidu, S. V., (2010). Sisal/Carbon Fibre Reinforced Hybrid Composites: Tensile, Flexural and Chemical Resistance Properties. *J Polym Environ*, 18(1), pp. 727–733.
- Namvar, F., Jawaid, M., Tahir, P. M., Mohamad, R., Azizi, S., Khodavandi, A., Rahman, H. S. & Nayeri, M. D., (2014). Potential Use of Plant Fibres and their Composites for Biomedical Applications. *Celulosics for biomed use Bio Resources*, 9(3), pp. 5688–5706.



- Santos, J. D., Branco, A., Silva, A. F., Pinheiro, C. S., Neto, A. G., Uetanabaro, A. P., Queiroz, S. R. and Osuna J. T., (2009). Antimicrobial activity of Agave sisalana. *African Journal of Biotechnology*, 8(22), pp. 6181-6184.
- Sathishkumara, T. P., Navaneethakrishnan, P., Shankar., Rajasekar, R.. and Rajini, N., (2013). Characterization of Natural Fibers and Composite Reviews. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32(19), pp. 1457-1476.
- Shahzad, A. & Nasir, S. U., (2017). Mechanical Properties of Natural Fiber/Synthetic Fiber Reinforced Polymer Hybrid Composites. *Green Biocomposites, Green Energy and Technology*, 3(15), pp. 355–396.
- Sosiati, H., Nahyudin, A., Wijayanti, D. A. and Sudarisman., (2018). Effect of Alkali Treatment and Mapp Addition on Tensile Strength of Sisal/Polypropylene Composites. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2(12), pp. 65-77.
- Sosiati, H., Binangun, Y. A., Utama, A.P. and Sudarisman., (2019). The Mechanical Properties of Sisal/PMMA and Sisal/Carbon/PMMA Biomedical Composites. *to be published in Key Engineering Materials*, 1013-9826.
- Tufan, M., Akbaş, S. and Aslan, M., (2016). Decay Resistance, Thermal Degradation, Tensile And Flexural Properties Of Sisal Carbon Hybrid Composites. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(4), pp. 599–606.
- Xu, J., Cong, L. and Y. Li., (2009). Fabrication and Mechanical Properties of Short Sisal Fiber Reinforced Composites Used for Dental Application. *18th Int. Conf. on Composite Materials*.
- Zhang, H., Zhang, Z. dan Breidt, C., (2004). *Comparison Of Short Carbon Fibre Surface Treatments On Epoxy Composites I. Enhancement Of The Mechanical Properties*. *Journal of Composites Science and Technology*, 64, 2021–2029.