

Pengaruh Susunan Serat pada Komposit Serat Hibrid Laminat Berpenguat Serat Kaca dan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Kekuatan *Bending*

Richie Feriyanto¹⁾, Agus Mujiyanto²⁾, Heri Tri Waluyo³⁾, Andi Nugroho⁴⁾

^{1,2,3,4)}Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, Fakultas Sains dan Teknologi, Jurusan Teknik Mesin
Jl. Ir. H. Juanda No.15, Sidodadi, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75124,
Website : am713@umkt.ac.id, E-mail : richieferiyanto@polnes.ac.id

Abstrak

Komposit serat hibrid laminat dibuat dari gabungan resin poliester sebagai matriks dan serat (kombinasi dua jenis serat/hibrid) sebagai penguatnya. Serat yang digunakan adalah serat kaca/fiberglass (K) yang merupakan jenis serat sintetis dan serat dari tandan kosong kelapa sawit/TKKS (T) yang merupakan jenis serat alam, yang kemudian kedua jenis serat tersebut disusun secara berlapis (laminat) dengan susunan yang berbeda dengan metode hand lay-up. Kedua jenis serat dibuat dengan susunan KT/TK/TKT/KTK, dengan fraksi volume serat tetap 40% (20K+20T/20T+20K/10T+20K+10T/10K+20T+10K) dari total volume komposit. Penelitian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh susunan dari kombinasi dua jenis serat terhadap kekuatan bending dari material komposit. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini mengacu kepada ASTM D7264. Hasil pengujian menunjukkan bahwa susunan serat kaca pada posisi bawah dengan fraksi lebih besar dapat memberikan kekuatan lebih pada material komposit saat ditekan.

Kata kunci: komposit, komposit serat alam, laminat, uji lengkung

Abstract

Laminated hybrid fiber composites made from combination of polyester resin as a matrix and fiber (combination of two types of fiber/hybrid) as a reinforcement. The fiber used is fiberglass (K) which is a synthetic fiber and palm oil empty fruit bunches fiber (T) which is a natural fiber, two types of fiber arranged in layers (laminat) in different arrangement with hand lay-up method. Both types of fiber were made in KT/TK/TKT/KTK arrangement, with fixed fiber volume fraction of 40% (20K+20T/20T+20K/10T+20K+10T/10K+20T+10K) from total composite volume. This research was conducted to determine the effect of arrangement from combination two types of fibers on the flexural strength composite material. The tests carried out in this study refer to ASTM D7264. The test results show that the arrangement of glass fibers in the lower position with a larger fraction can give more flexural strength to the composite material when pressed.

Keywords: composite, biocomposite, laminate, flexural test

1 PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit/*crude palm oil* (CPO) terbesar di dunia dengan produksi mencapai 44,8 juta ton, yang dihasilkan dari seluruh perkebunan sawit yang tersebar di seluruh Indonesia yang mencapai 14,59 juta hektar pada tahun 2020. Tandan buah sawit (TBS) menghasilkan CPO yang olahan akhirnya dapat ditemui dalam bentuk; minyak goreng, campuran bahan bakar diesel, dan juga kosmetik. Namun pada prosesnya menyisakan permasalahan yang timbul, yakni produksi CPO menyisakan

tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai produk sisa olahan yang belum dimaksimalkan pemanfaatannya dan menjadi salah satu sumber pencemar lingkungan. Sampai dengan saat ini TKKS digunakan sebagai media tanam dari budi daya jamur dan juga pupuk. Sebagian besar dari TKKS sisa dari olahan TBS masih belum bisa dimaksimalkan dan banyak berserakan yang dibiarkan begitu saja hingga menjadi limbah yang mencemari lingkungan.

Serat kaca atau umumnya kita kenal dengan sebutan *fiberglass* merupakan salah satu jenis penguat pada material komposit berpenguat

serat, dan banyak digunakan pada produk olahan *fiberglass reinforced plastic*. Serat kaca merupakan salah satu dari beberapa serat sintetis yang ada, beberapa serat sintetis selain serat kaca adalah serat karbon, serat nilon yang umum digunakan dibandingkan dengan serat karbon, alasan serat kaca lebih menjadi pilihan dibandingkan jenis serat sintetis yang lainnya adalah karena harganya yang lebih murah dan juga mudah didapat dibandingkan jenis serat sintetis lainnya. Namun permasalahan lain muncul, yang mana serat sintetis ini juga menimbulkan permasalahan pada lingkungan. Dari proses pengolahan hingga sisa olahan produk *fiberglass* yang susah diurai oleh lingkungan.

Hal ini akhirnya mengundang peneliti untuk melakukan penelitian tentang pemanfaatan serat TKKS guna mengurangi penggunaan serat sintetis yang saat ini masih banyak digunakan dalam hal ini *fiberglass*. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan penggabungan kedua jenis serat tersebut untuk menjadi penguat pada material komposit atau sering disebut sebagai komposit hibrid.

Terjadi peningkatan kekuatan *bending* maupun tarik pada komposit hibrid kombinasi serat alam dan *fiberglass* dibandingkan komposit dengan penguat serat alam murni. Laminasi antara serat kaca dan resin *polyester* menunjukkan kinerja mekanik yang tinggi, tetapi memiliki kekurangan yaitu memiliki dimensi ketebalan paling besar pada tiap laminasinya [1]. Komposisi serta susunan serat mempengaruhi kekuatan lentur (*bending*) pada material komposit [2]. Kekuatan baik tarik dan *bending* dipengaruhi oleh susunan antar serat, susunan *E-Glass* dan kenaf sebagai lapisan kulit dengan rami sebagai lapisan inti menunjukkan sifat tarik, lentur, dan kekerasan yang lebih baik dibandingkan dengan susunan lainnya dengan menggunakan jenis serat yang sama namun pada susunan yang berbeda [3]. Urutan susunan laminasi tidak mempengaruhi kekuatan tarik komposit secara signifikan, sedangkan ada perbedaan mencolok pada kekuatan lentur pada komposit hibrid laminat [4]. Perlu diadakan penelitian tentang pengaruh dari urutan susunan serat

dan juga jumlah fraksi pada komposit hibrid berpenguat serat TKKS dan *fiberglass* terhadap sifat mekaniknya.

2 LANDASAN TEORI

2.1 Komposit

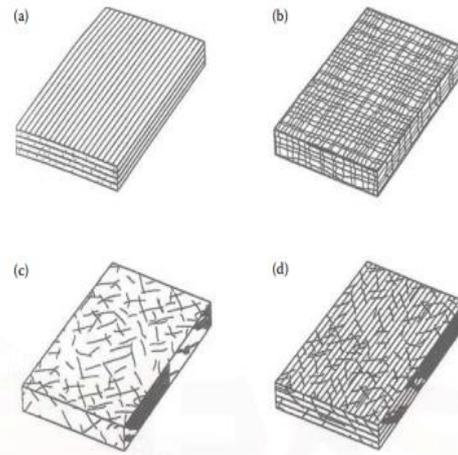
Komposit yaitu suatu material yang merupakan gabungan dua atau lebih penyusun yang berbeda dalam bentuk dan komposisi, dimana mereka tidak saling melarutkan satu sama lain. Material penyusun ini terdiri dari matriks yang berfungsi sebagai *body constituent* yang memberi bentuk pada komposit dan juga penguat (*reinforcement*) yang berfungsi sebagai *structural constituent* yang menentukan struktur internal dari komposit [5].

Matriks merupakan bagian dalam material komposit yang memiliki fraksi volume terbesar. Matriks berfungsi mentransfer tegangan ke serat, melindungi serat, dan juga mengikat serat pada material komposit. Penguat (*reinforcement*) merupakan material yang berfungsi menunjang sifat-sifat matriks dalam pembentukan bahan komposit.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan dari material komposit, diantaranya adalah:

1. Faktor penguat, penguat pada komposit berperan dalam meningkatkan sifat mekanik yang tidak dimiliki oleh matriks, dan juga menahan gaya eksternal. Adapun faktor penguat yang mempengaruhi kekuatan dari komposit, adalah: jenis, orientasi arah, posisi/susunan, dan dimensi dari penguat.
2. Faktor matriks, matriks pada komposit juga berfungsi mengikat matriks ke penguat, melindungi penguat dari kerusakan eksternal, dan meneruskan beban eksternal pada permukaan komposit (matriks) menuju penguat komposit. Jenis matriks yang digunakan mempengaruhi kekuatan komposit, [5].

3. Faktor ikatan fiber-matriks, hal yang juga mempengaruhi ikatan antara serat dan matriks adalah *void*. *Void* adalah celah yang diakibatkan karena kurang atau tidak adanya ikatan pada serat dan matriks, mengakibatkan ikatan *interfacial* antara matriks dan serat menjadi kurang atau tidak baik hingga menjadi *initial crack* pada komposit. Kemudian bila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah *void*, sehingga akan mengurangi kekuatan komposit tersebut [5].



Gambar 1 Komposit penguat serat

2.2 Komposit Serat

Komposit serat atau *fiber-reinforced composite* yaitu komposit yang menggunakan serat sebagai material penguatnya. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintesis (seperti: serat kaca, nilon, dan karbon), dan juga serat alam (seperti: serat kelapa, nenas, TKKS, dan lainnya) [6]. Model serat yang digunakan pada material komposit dapat berupa serat panjang (*continuous fiber*) atau serat pendek (*discontinuous fiber*) yang diletakkan diantara matriksnya sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

Berdasarkan susunan dari serat penguat yang diletakkan pada matriksnya, komposit dapat dibagi lagi menjadi empat kelompok yaitu: komposit yang menggunakan jenis serat yang memanjang (*continuous fiber composite*), komposit yang menggunakan jenis serat yang dianyam (*woven fiber composite*), komposit yang menggunakan jenis serat pendek (*discontinuous fiber composite/chopped fiber composite*) dan komposit yang menggunakan jenis serat hibrid (*hybrid composite*) yang mana komposit jenis ini menggunakan gabungan dari dua jenis serat yaitu dari jenis serat pendek dan serat panjang [7].

- (a) *Continuous fiber composite*,
 (b) *woven composite*,
 (c) *chopped fiber composite*,
 (d) *hybrid composite*.

2.3 Serat Kaca

Kaca serat (fiberglass) atau sering diterjemahkan menjadi serat gelas adalah kaca cair yang ditarik menjadi serat tipis dengan diameter sekitar 0,005 mm - 0,01 mm. Serat ini dapat dipintal menjadi benang atau ditunen seperti kain, yang kemudian digabungkan dengan resin sehingga menjadi bahan yang kuat dan tahan korosi dengan *properties* yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Fiberglass properties

Property	E-Glass	S-Glass
Young Modulus (GPa)	72.5	82,5
Tensile Strength (MPa)	3500	4600
Density (g/cm ³)	2,54	2,48

2.4 Serat Sawit

Tandan kosong kelapa sawit (TKS), merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan oleh industri perkebunan kelapa sawit yang banyak mengandung serat [9]. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah utama dari industri pengolahan kelapa sawit. Basis satu ton tandan buah segar (TBS) yang diolah akan dihasilkan minyak sawit kasar (CPO) sebanyak 0,21 ton (21%) serta minyak inti sawit (PKO) sebanyak 0,05 ton

(5%) dan sisanya merupakan limbah dalam bentuk tandan buah kosong, serat, dan cangkang biji yang jumlahnya masing-masing 23%, 13,5%, dan 5,5% dari tandan buah segar [10]

2.5 Resin Polyester

Jenis matriks polimer yang umum digunakan dalam material komposit adalah termoset dan termoplastik [7] jika dibagi berdasarkan reaksinya terhadap perlakuan panas. Termoset termasuk polimer yang tidak mampu dikembalikan menjadi bentuk semula setelah dibentuk, sedangkan termoplastik merupakan polimer dengan kemampuan apabila dilebur ulang melalui proses pemanasan dapat kembali seperti bentuk semula (didaur ulang).

Resin poliester adalah resin dari jenis termoset sama dengan epoksi berbentuk cair. Dengan penambahan katalis atau hardener, resin poliester akan dapat mengeras pada suhu ruang, Resin poliester lebih banyak digunakan dibandingkan resin epoxy dikarenakan harganya lebih murah.

Tabel 2 Resin polyester datasheet

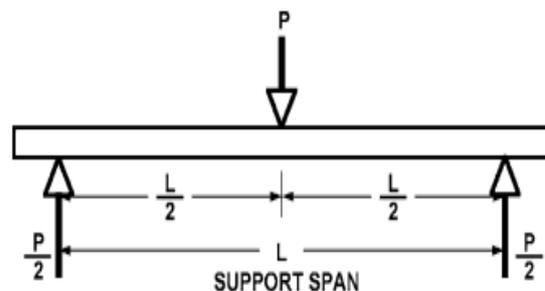
Property	Resin Polyester
Density (g/cc)	1.2-1.5
Elastic Modulus (Gpa)	2-4.5
Tensile Strength (MPa)	40-90
Compressive Strength (MPa)	90-250
Elongation (%)	2
Cure Shrinkage (%)	4-8
Water Absorption (24h @20°C)	0.1-0.3
Izod Impact Notched (J/cm)	0.15-3.2

2.6 Uji Bending

Untuk mengetahui kekuatan *bending* suatu material dapat dilakukan dengan pengujian *bending* terhadap material komposit tersebut. Kekuatan *bending* atau kekuatan lengkung adalah tegangan *bending* terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar

kekuatan *bending* tergantung pada jenis material dan pembebanan.

Akibat pengujian *bending*, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah. Hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit [12]. Sebuah benda uji diletakan di atas tumpuan, dan diberikan tekanan dengan kecepatan yang konstan. Dengan konfigurasi sebagai berikut:



Gambar 2 Three-point loading configuration
ASTM D7264

Benda uji diletakan diantara dua buah tumpuan (Support Span), dan diberikan tekanan pada komponen penekan alat (Load Span/P) pada mesin uji *bending* tepat ditengah antara dua buah penumpu, yang kemudian dapat diilustrasikan pada Gambar 2 yang disebut dengan *three-point loading*.

Tegangan *bending* mengacu pada dihitung menggunakan persamaan (ASTM D7264):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

Keterangan rumus:

- σ = Tegangan *bending* (MPa)
- P = Beban atau gaya yang terjadi (N)
- h = Ketebalan benda uji (mm)
- L = Jarak point (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)

3 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang akan diterapkan adalah penelitian experimental, karena semua data yang didapatkan diperoleh melalui serangkaian percobaan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakterisasi kekuatan *bending* komposit jenis serat dengan menggunakan dua jenis serat yang berbeda/hibrid yang disusun secara laminat dengan beberapa variasi susunan serat.

Serat yang digunakan adalah serat kaca (K) yang merupakan jenis serat sintesis dan serat TKKS (T) yang merupakan jenis serat alam kemudian disusun secara laminat dengan variasi susunan serat yang berbeda. Kemudian serat diberi resin poliester sebagai matriksnya dengan menerapkan model pencetakan *hand lay-up*.

3.1 Identifikasi masalah

Identifikasi masalah ini merupakan Langkah paling awal dilakukannya penelitian ini, yang nantinya akan menjadi penentuan dari perumusan masalah dalam sebuah proses penelitian yang akan menjadi cakupan pembahasan terkait dengan topik atau tema penelitian yang diangkat.

3.2 Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi guna mengumpulkan data dan juga berbagai teori terkait penelitian yang dilakukan. Sumber-sumber literatur didapat dari jurnal ilmiah, buku, dan juga berbagai karya tulis ilmiah yang didapat dari internet.

3.3 Persiapan alat dan bahan

Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. *Universal tensile/ bending/ compression Machine* 100 kN
2. Cetakan komposit
3. Timbangan digital
4. Jangka sorong
5. Kuas cat

Bahan-bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Resin *Unsaturated Polyester* Yukalac© 157 BQTN-EX
2. Katalis Mekpo
3. Serat TKKS
4. Serat kaca tipe E-Glass 300 g/m²
5. *Release agent*

3.4 Pembuatan benda uji

Benda uji dibuat dari gabungan resin poliester dan katalis sebagai matriks dan juga serat kaca dan serat TKKS sebagai penguatnya. Matriks dibuat dengan mencampurkan resin *polyester* ditambah dengan 3% katalis sebagai pengerasnya. Kemudian serat disusun secara laminat sesuai dengan susunan dan juga fraksi yang telah ditentukan. Benda uji yang akan dibuat pada cetakan dengan total fraksi volume serat gabungan serat kaca dan serat TKKS yaitu 40% dari total volume komposit (Tabel 3).

Tabel 3 Susunan serat beserta fraksinya

Susunan serat	Fraksi volume serat (%)				Total
	Serat Kaca	Serat TKKS	Serat Kaca	Serat TKKS	
KT	20	20	0	0	40
TK	0	20	20	0	40
KTK	10	20	10	0	40
TKT	0	10	20	10	40

Langkah awal yang dilakukan untuk mendapatkan kebutuhan dari tiap jenis serat pada cetakan adalah dengan menghitung volume cetakan yang mana volume cetakan nantinya sama dengan volume komposit:

$$v_c = p \cdot l \cdot t \quad (2)$$

dimana:

- v_c = Volume cetakan/komposit (cm³)
- p = Panjang cetakan (cm)
- l = Lebar cetakan (cm)
- t = Tinggi cetakan (cm)

Kemudian mencari fraksi volume serat

$$v_s = v_c \cdot \text{fraksi serat} \quad (3)$$

dimana:

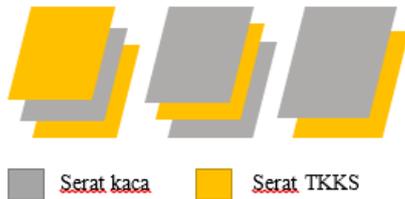
- v_s = Volume serat (cm³)
- v_c = Volume cetakan (cm³)
- Fraksi serat (%)

Kemudian kita dapat mencari kebutuhan berat dari tiap serat dengan menggunakan rumus:

$$v_s = \frac{m}{\rho} \quad (4)$$

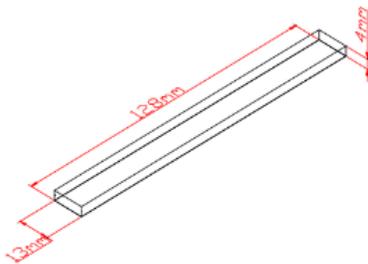
dimana:

- v_s = Volume serat (cm^3)
- m = massa (gr)
- ρ = massa jenis (g/cm^3)
($0,47 \text{ g}/\text{cm}^3$ serat TKKS dan $2,54 \text{ g}/\text{cm}^3$ serat kaca)



Gambar 3 Susunan serat

Setelah mendapatkan kebutuhan serat yang akan digunakan pada setakan kemudian serat ditimbang kemudian disusun pada cetakan dengan susunan serat yang telah ditentukan (Gambar 3) kemudian ditambahkan resin poliester. Kemudian benda uji dipotong sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan oleh ketentuan ASTM D7264 (Gambar 4).



Gambar 4 Dimensi benda uji

3.5 Pengujian *bending*

Uji *bending* merupakan pengujian terhadap suatu material yang diberikan beban tekan sehingga diperoleh pengukuran kekuatan lengkung (*bending*) berupa data kekuatan lengkung (*bending*) suatu bahan atau material. Pengujian *bending* pada penelitian ini mengacu kepada ASTM International D 7264 – *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Material* dengan metode *three-point bending*. Data yang didapatkan dari hasil

pengujian kemudian dimasukkan kedalam tabel dan kemudian dianalisa hasilnya.

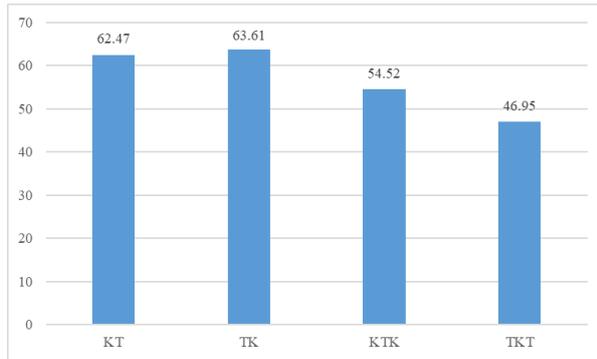
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian *bending* area yang paling awal mengalami kerusakan adalah bagian bawah material komposit yang merupakan benda uji pada penelitian ini. Pada pengujian *bending* bagian bawah material mengalami beban tarik yang merupakan pembebanan terbesar pada pengujian ini. Hasil dari pengujian *bending* pada penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil uji *bending*

No.	Variasi	Kekuatan <i>bending</i> (MPa)
1	KT	62.47
2	TK	63.61
3	KTK	54.52
4	TKT	46.95

Dari nilai yang ditunjukkan pada Table 4 diatas nilai tertinggi pada pengujian *bending* didapat pada benda uji dengan variasi TK atau serat TKKS lalu serat kaca. Hal ini terjadi dikarenakan pada sisi bawah benda uji pada variasi ini diisi oleh lapisan serat kaca dengan fraksi volume yang paling besar. Pada kondisi dimana serat kaca berada di sisi bawah pada pengujian *bending*, serat kaca akan memberikan penguatan yang lebih baik dibandingkan TKKS sehingga material komposit dapat menerima beban tekan lebih besar. Serat kaca memiliki sifat mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan serat TKKS, kemudian semakin tebal atau meningkatnya fraksi volume yang digunakan akan meningkatkan sifat mekanik dari material komposit [1].



Gambar 5 Grafik uji bending

Nilai pengujian *bending* paling rendah ada pada variasi TKT atau serat TKKT/serat kaca/serat TKKS, hal ini terjadi karena bagian yang diisi oleh serat TKKS dan dalam fraksi volume yang paling rendah. Serat TKKS yang pada variasi ini tidak dapat menahan beban tarik sebaik serat kaca, dan dengan fraksi volume yang lebih kecil menyebabkan material komposit pada variasi memiliki nilai *bending* yang paling kecil. Hal ini dikarenakan bagian dimana material komposit diperkuat serat yang diperkuat dengan jenis serat yang memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dan dalam jumlah fraksi yang lebih kecil akan membuat material komposit serat memiliki nilai uji yang lebih kecil. [1].

Pada variasi KT atau serat kaca/serat TKKS jika dibandingkan dengan variasi TK atau serat TKKS/serat kaca, pada fraksi volume yang sama pada tiap serat tetapi dengan posisi susunan yang berbeda juga mempengaruhi hasil dari pengujian *bending*. Pada pengujian ini menunjukkan variasi TK memiliki nilai *bending* yang relative lebih baik dikarenakan pada variasi ini serat kaca memiliki sifat mekanik yang lebih baik jika dibandingkan dengan serat TKKS dibandingkan dengan variasi KT. Hal ini menunjukkan bahwa susunan urutan serat pada lapisan material komposit diperkuat serat hibrid laminat akan menentukan nilai *bending* dari material komposit [2].

Pada material komposit diperkuat serat hibrid laminat yang diperkuat serat TKKS dan serat kaca ini patahan yang terjadi adalah patahan getas, hal ini dikonfirmasi dengan patahan yang menunjukkan permukaan yang halus, cenderung relatif rata, dan juga mengkilap. Adapun hasil dari patahan yang terjadi pada setiap variasi ditunjukkan oleh Gambar 6 hingga 9.



Gambar 6 Variasi TK



Gambar 7 Variasi KT



Gambar 8 Variasi TKT



Gambar 9 Variasi KTK

5 SIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan, sebagai berikut:

1. Susunan laminasi material komposit berpenguat serat hibrid laminat dengan letak serat kaca (K) pada bagian paling bawah memiliki nilai *bending* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan serat TKKS (T).
2. Semakin banyak fraksi volume dari serat kaca yang berada pada lapisan serat paling bawah akan meningkatkan nilai *bending* dari material komposit berpenguat serat hibrid laminat.

KEPUSTAKAAN

- [1] Das, S. C., Paul, D., Grammatikos, S. A., Siddiquee, M. A., Papatzani, S., Koralli, P., & Petousis, M. (2021). *Effect of stacking sequence on the performance of hybrid natural/synthetic fiber reinforced polymer composite laminates*. *Composite Structures*, 276, 114525.
- [2] Azlin, M. N. M., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., & Zainudin, E. S. (2022). *Effect of stacking sequence and fiber content on mechanical and morphological properties of woven kenaf/polyester fiber reinforced polylactic acid (PLA) hybrid laminated composites*. *Journal of Materials Research and Technology*, 16, 1190-1201.
- [3] Sanjay, M. R., & Yogesha, B. (2018). *Studies on hybridization effect of jute/kenaf/E-glass woven fabric epoxy composites for potential applications: Effect of laminate stacking sequences*. *Journal of Industrial Textiles*, 47(7), 1830-1848.
- [4] Selver, E., Ucar, N., & Gulmez, T. (2018). *Effect of stacking sequence on tensile, flexural and thermomechanical properties of hybrid flax/glass and jute/glass thermoset composites*. *Journal of Industrial Textiles*, 48(2), 494-520.
- [5] Schwartz, M. M. (1984). *Composite Material Handbook*, McGraw-Hill Book Company, New York USA.
- [6] Tjahjanti, Prantasi H. (2018). *Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer*. Buku Ajar. UMSIDA Press, Sidoarjo.
- [7] Gibson, F.R. (1994). *Principles of Composite Materials Mechanics* Mc Graw-Hill, Singapore.
- [8] Taufik, S. A. (2017). *Pengaruh Silane Treatment Dan Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Impact Komposit Serat Sabut Kelapa-Polyester*. Universitas Negeri Semarang (UNNES).
- [9] Nuryanto, Eka (2000). *Isolasi dan Degradasi Lignin Dari Lindi Hitam Pulp Tandan Kosong Sawit secara kimia*. Tesis Magister Kimia, ITB Press, Bandung.
- [10] Anwar, K. (2008). *Optimasi Suhu dan Konsentrasi Sodium Bisulfit (NaHSO₃) Pada Proses Pembuatan Sodium Lignosulfonat Berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TTKS)*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [11] Ramlee, N. A., Jawaid, M., Zainudin, E. S., & Yamani, S. A. K. (2019). *Tensile, physical and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fiber reinforced phenolic hybrid composites*. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(4), 3466-3474.
- [12] Harun N. Beliu, Y. M. (2016). *Analisa Kekuatan Tarik dan Bending pada Komposit Widuri - Polyester*. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin UNDANA*, 11-20.
- [13] Raheem dan Zainab. (2020). *Designation: D 7264/D 7264M -07 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1*.