

Analisis pengaruh jumlah *layer skin* pada komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa terhadap karakteristik kekuatan *bending* dan kekuatan *impact*

Lies Banowati¹, Muhammad Firdaus^{1*}, Herry Hartopo¹

¹Program Studi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknik, Universitas Nurtanio

*Email korespondensi : firdausm.1998@gmail.com

Received Feb 20, 2022; Accepted Feb 24, 2022; Published Mar 8, 2022

Abstrak. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kekuatan sifat mekanik dan fisik komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa dengan variasi jumlah *layer skin* (2, 4, dan 6 *layer*), orientasi serat ($0^{\circ}/90^{\circ}$) dan ketebalan *core* 5 mm. Matriks yang digunakan adalah resin epoxy bakelite EPR 174 dan manufaktur komposit menggunakan metode *hand lay-up* dan *vacuum bagging*, dimana standar spesimen yang digunakan mengacu pada ASTM D790 untuk pengujian *bending* dan ASTM D6110 untuk pengujian *impact* charpy. Dari hasil pengujian diketahui bahwa nilai kekuatan *bending* rata-rata tertinggi terdapat pada komposit *sandwich* dengan 2 *layer skin* yaitu 94 MPa. Sedangkan untuk nilai kekuatan *impact* rata-rata tertinggi terdapat pada komposit *sandwich* 6 *layer skin* yaitu 14,22 J/cm². Kemudian diuji juga densitas dari komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa yaitu sebesar 0,56 g/cm³.

Kata Kunci: Komposit *sandwich*, kekuatan *bending*, kekuatan *impact*, kayu balsa, serat karbon

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di dunia kedirgantaraan semakin maju dan ketergantungan terhadap material untuk pembuatan struktur pesawat terbang atau yang saat ini sedang populer adalah pembuatan *unmanned aerial vehicle* (UAV) yang semakin tinggi menuntut terciptanya inovasi untuk mengembangkan material yang ringan namun tetap kuat tanpa meninggalkan aspek-aspek keselamatan untuk terciptanya mutu kehidupan yang lebih baik. Salah satu pengembangan material tersebut adalah dalam perkembangan teknologi komposit yang semakin serius di kembangkan, salah satunya teknologi komposit dengan struktur *sandwich* yang menggunakan material *carbon fiber* dengan inti kayu balsa. Komposit berasal dari kata kerja “to compose” yang berarti menyusun atau menggabungkan. Maka komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terbentuk dari dua bahan penyusun atau lebih lalu digabungkan menjadi satu kesatuan material dengan sifat-sifat baru dan berbeda dengan komponen penyusunnya [1].

Komposit diklasifikasikan ke dalam macam-macam kelompok, salah satunya adalah komposit struktur *sandwich*. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari minimal 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite (sheet)* sebagai *face/skin* pada permukaan atas dan bawah serta material inti (*core*) dibagian tengahnya. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi [2].

Serat karbon secara umum tersedia dengan berbagai nilai modulus tarik mulai dari 207 GPa (30 x 10⁶ psi) pada nilai terendah hingga 1035 GPa (150 x 10⁶ psi) pada nilai tertinggi. Secara umum, serat yang

memiliki modulus yang rendah memiliki densitas yang lebih sekitar $1,6 - 1,9 \text{ gr/cm}^3$ [3], biaya lebih rendah, kekuatan tarik dan tekan yang lebih tinggi, dan regangan hingga kegagalan tarik yang lebih tinggi daripada serat yang memiliki modulus tinggi. Diantaranya keuntungan serat karbon adalah memiliki *high tensile strength-weight ratios* serta *tensile modulus-weight ratios*, koefisien ekspansi termal linier yang sangat rendah, high fatigue strengths, dan tingginya konduktivitas termal. Kerugiannya adalah low strain-to-failure, ketahanan *impact* yang rendah, dan konduktivitas listrik yang tinggi. Biaya tinggi serat karbon sejauh ini diabaikan karena pengaplikasiannya sebagian besar di industri kedirgantaraan, di mana penghematan berat dianggap lebih penting daripada biaya [4].

Kayu merupakan salah satu bahan struktural paling banyak digunakan karena sifatnya yang alami, terbarukan, biodegradable dan relatif murah dengan rasio kekuatan dengan berat yang baik dibanding material aluminum. Dan untuk kayu balsa merupakan jenis kayu yang dapat tumbuh dengan cepat sehingga memiliki densitas yang rendah dibanding dengan kayu yang lain untuk densitas kayu balsa rata-rata sebesar $0,16 \text{ gr/cm}^3$ [5].

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi karakteristik dari komposit adalah perbandingan fraksi volume komposit (V_c) yang akan menentukan kekuatan, kekakuan dan keuletan material komposit. Fraksi volume serat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [6]:

$$V_c = V_f + V_m + V_v \quad (1)$$

$$1 = V_f + V_m + V_v \quad (2)$$

Dengan mensubstitusikan kedua persamaan diatas (1) dan (2), maka akan didapatkan persamaan fraksi volume sebagai berikut:

$$V_v = 1 - \frac{w_f/\rho_f + \left(\frac{w_{\text{composite}} - w_f}{\rho_m}\right)}{(w_{\text{composite}}/\rho_{\text{composite}})} \quad (3)$$

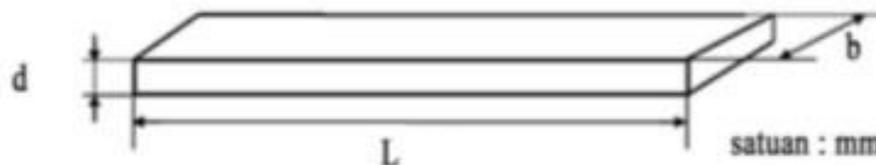
$$V_f = \frac{w_f/\rho_f}{w_f/\rho_f + (1 - w_f/\rho_m)} \quad (4)$$

$$V_m = 1 - V_f - V_v \quad (5)$$

Dimana $w_{\text{composite}}$ adalah fraksi massa komposit, w_f adalah fraksi massa serat, $\rho_{\text{composite}}$ adalah densitas komposit (gr/cm^3), ρ_f adalah densitas serat (gr/cm^3), dan ρ_m adalah densitas matriks (gr/cm^3).

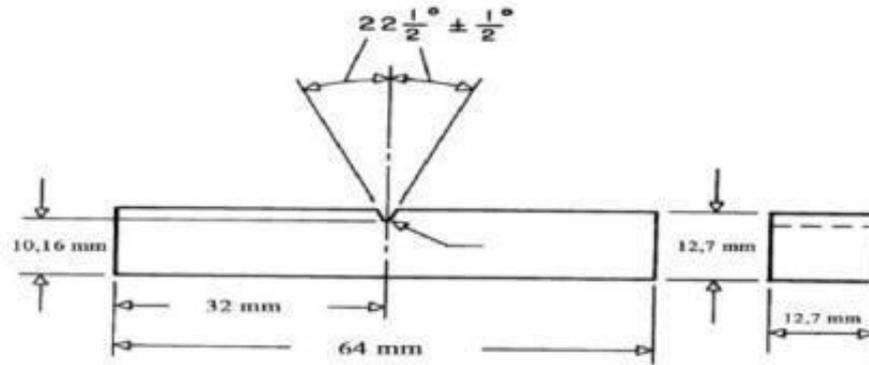
2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pengujian *bending*, *impact* dan densitas untuk material komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa. Material yang digunakan adalah *carbon fiber* WR 3K *plain* dan kayu balsa yang memiliki ketebalan 5mm. Pada pengujian *bending* dilakukan dengan cara memberikan beban lentur secara perlahan-lahan sampai spesimen mencapai titik patah. Pada perlakuan uji *bending* bagian atas spesimen mengalami penekanan dan dibagian bawah mengalami proses tarik. Spesimen uji dibuat sesuai standar ASTM D790 dengan dimensi ditunjukkan pada Gambar 1.



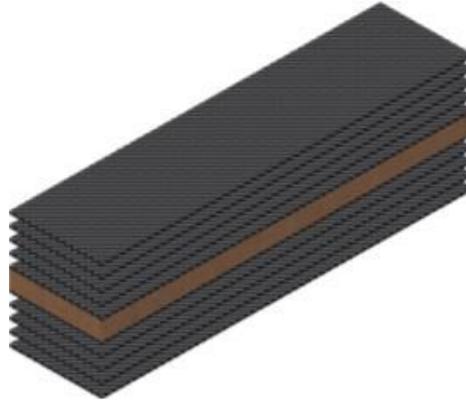
Gambar 1. Dimensi pengujian *bending* standar ASTM D790 [7]

Pada pengujian *impact* kita mengukur energi yang diserap untuk mematahkan benda uji. Setelah benda uji patah, bandul berayun kembali. Makin besar energi yang diserap makin rendah ayunan kembali dari bandul. Energi patahan yang diserap biasanya dinyatakan dalam satuan joule. Spesimen uji dibuat sesuai standar ASTM D6110 dengan dimensi ditunjukkan pada Gambar 2.



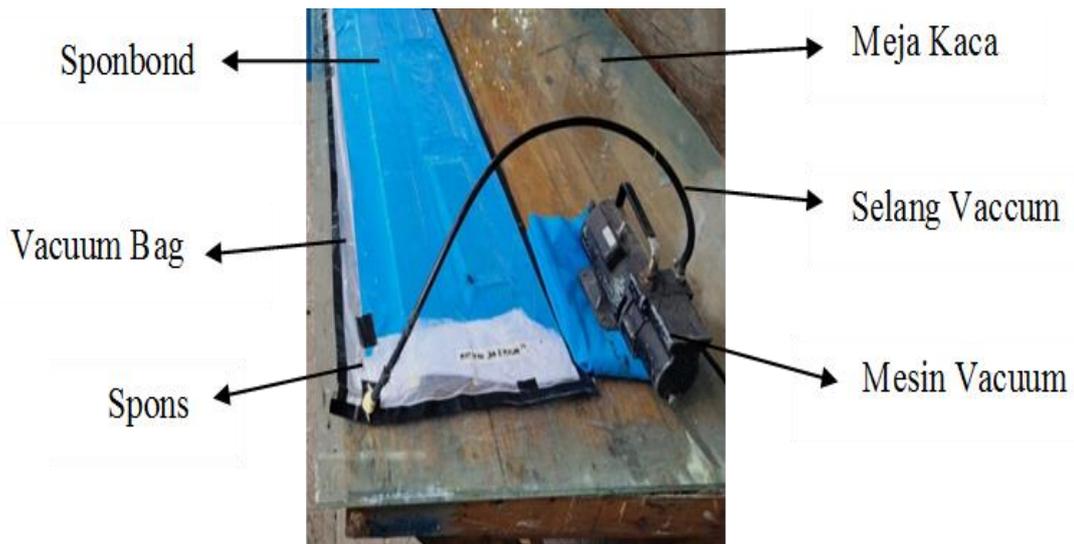
Gambar 2. Dimensi pengujian *impact* standar ASTM D6110 [8]

Metode manufaktur yang digunakan adalah metode *hand lay-up* dan *vacuum bagging*. proses dari pembuatan dengan metode *hand lay-up* adalah dengan cara menuangkan resin dengan tangan kedalam serat berbentuk anyaman, rajutan atau kain, kemudian memberi tekanan sekaligus meratakannya menggunakan *roller* atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai seperti pada Gambar 3. yang menunjukkan contoh susunan dari spesimen komposit *sandwich* metode *hand lay-up*.



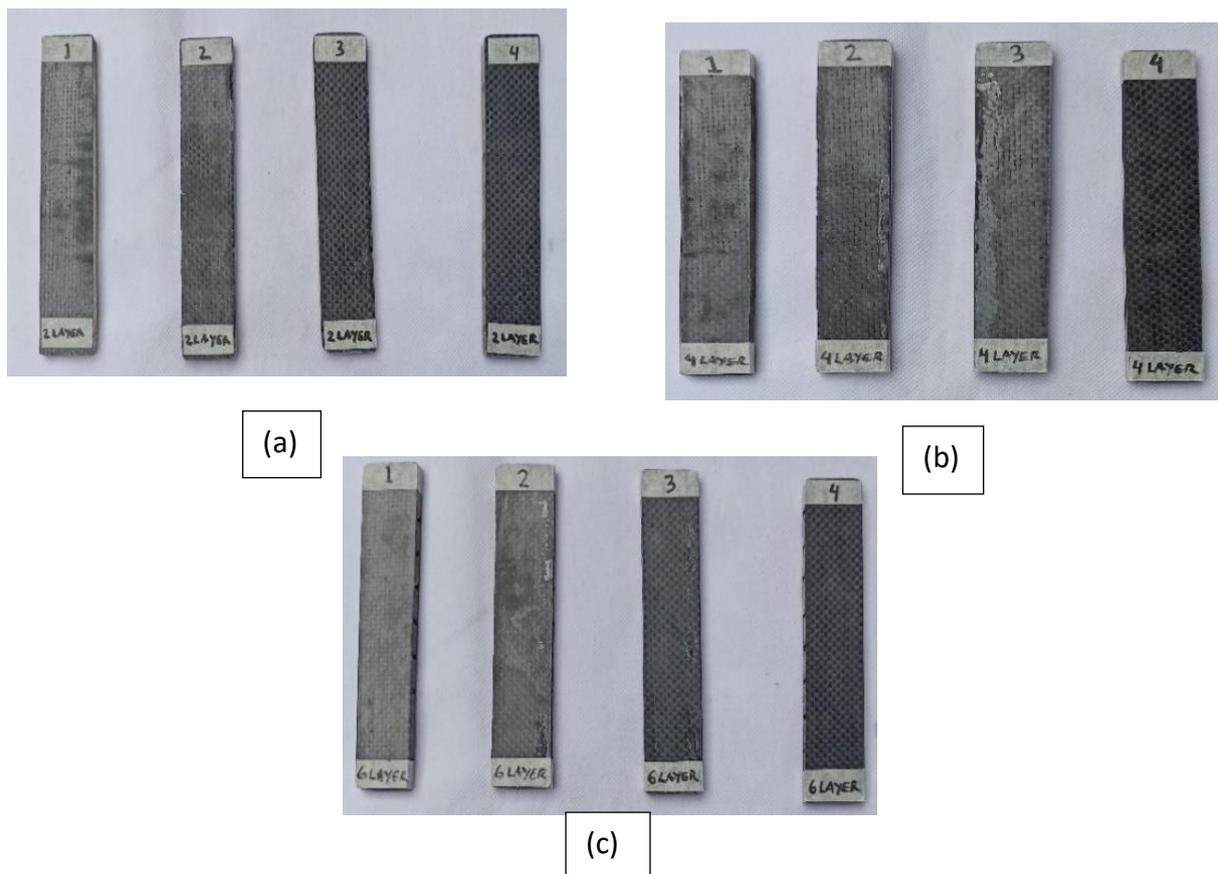
Gambar 3. Susunan komposit *sandwich*

Kemudian setelah dilakukan manufaktur *hand lay-up* dilanjutkan dengan *vacuum bagging*. Pada proses ini digunakan pompa vakum untuk menghisap udara yang ada di dalam kantong, dengan demikian perbedaan antara tekanan di dalam kantong dengan lingkungan luar akan menekan spesimen yang ada di dalam kantong. Tekanan atmosfer menekan ke semua sisi cetakan secara bersamaan, sehingga menghasilkan spesimen yang memiliki ketebalan yang sama di setiap sisinya. Dengan menggunakan metode *vacuum bagging* akan menarik keluar sisa-sisa resin yang berlebih pada saat metode *hand lay-up* sehingga dapat meminimalisir terjadinya *void* dan juga kontrol yang lebih terhadap rasio resin dan *fiber*. Gambar 4. menunjukkan proses *vacuum bagging*.

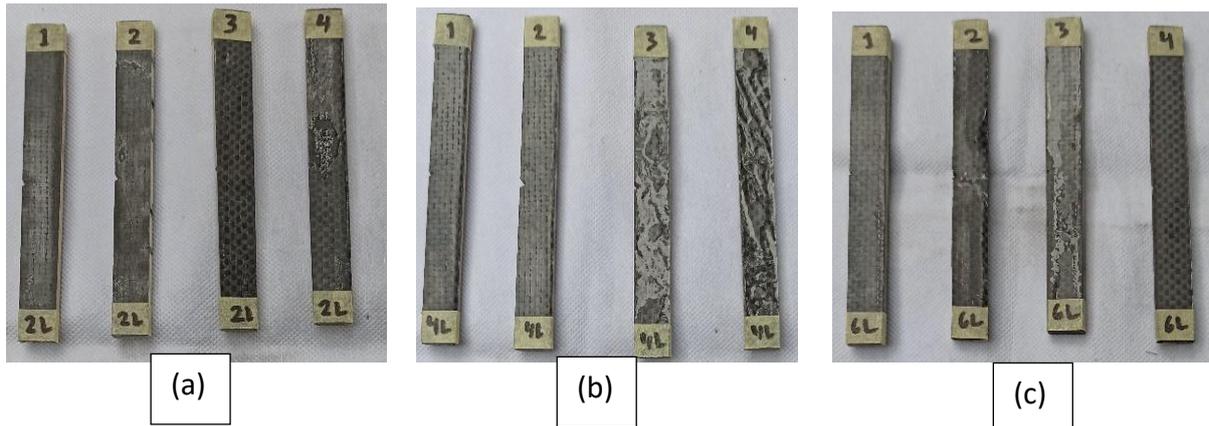


Gambar 4. Proses *vacuum bagging*

Setelah selesai proses manufaktur selesai maka kemudian spesimen dipotong sesuai dengan dimensi spesimen. Pada Gambar 5 dan 6 masing-masing menunjukkan spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi jumlah *layer skin* pada pengujian *bending* dan pengujian *impact*.



Gambar 5. Spesimen uji *bending* (a) variasi 2 *layer*, (b) variasi 4 *layer*, dan (c) variasi 6 *layer*



Gambar 6. Spesimen uji *impact* (a) variasi 2 layer, (b) variasi 4 layer, dan (c) variasi 6 layer

Setelah spesimen selesai dibuat maka dilakukan pengujian *bending*, pengujian *impact* serta pengujian densitas pada spesimen. Pengujian *bending* dilakukan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) menggunakan alat uji *Universal Test Machine* (UTM). Prosedur pengujian *bending* adalah sebagai berikut yang ditunjukkan pada Gambar 7.

- 1) Menyiapkan spesimen uji *bending*.
- 2) Tentukan tanda untuk titik tumpuan dan titik tengah pada spesimen uji, lalu letakan spesimen pada mesin uji *bending*.
- 3) Menyiapkan mesin pengujian *bending* dalam keadaan ON.
- 4) Putar *handle* sampai beban menyetuh spesimen uji dan indikator
- 5) Memasukkan data-data spesimen (ukuran panjang, tebal, dan lebar) kemudian mengatur program mesin uji *bending*.
- 6) Tekan tombol “*start*” pada monitor untuk memulai pengujian *bending*
- 7) Setelah spesimen mengalami patah dan grafik pada monitor mulai menurun tekan “*stop*” agar mesin berhenti melakukan pengujian.



Gambar 7. Pengujian *bending* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa

Untuk pengujian *impact* dilakukan di Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) menggunakan alat uji PSW 300 metode charpy. Prosedur pengujian *Impact* adalah sebagai berikut ditunjukkan pada Gambar 8.

- 1) Mengukur dimensi spesimen uji yaitu tebal, lebar, dan panjangnya, kemudian memberikan no spesimen pada spesimen yang akan diuji.
- 2) Mengangkat beban palu.
- 3) Meletakkan spesimen pada batang uji atau tumpuan dengan bantuan penjepit.

- 4) Melepaskan palu atau bandul dengan cara menekan tombol dan menarik *handel*-nya.
- 5) Palu akan jatuh dan memukul spesimen secara otomatis.
- 6) Catat energi serap yang ditunjukkan oleh jarum pada alat uji *impact*.
- 7) Menghitung kekuatan *impact*.



Gambar 8. Pengujian *impact* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa

Dan pengujian densitas dilakukan Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) menggunakan alat uji *analytical balance* mengacu pada ASTM D792 [9]. Prosedur pengujian densitas adalah sebagai berikut ditunjukkan pada Gambar 9.

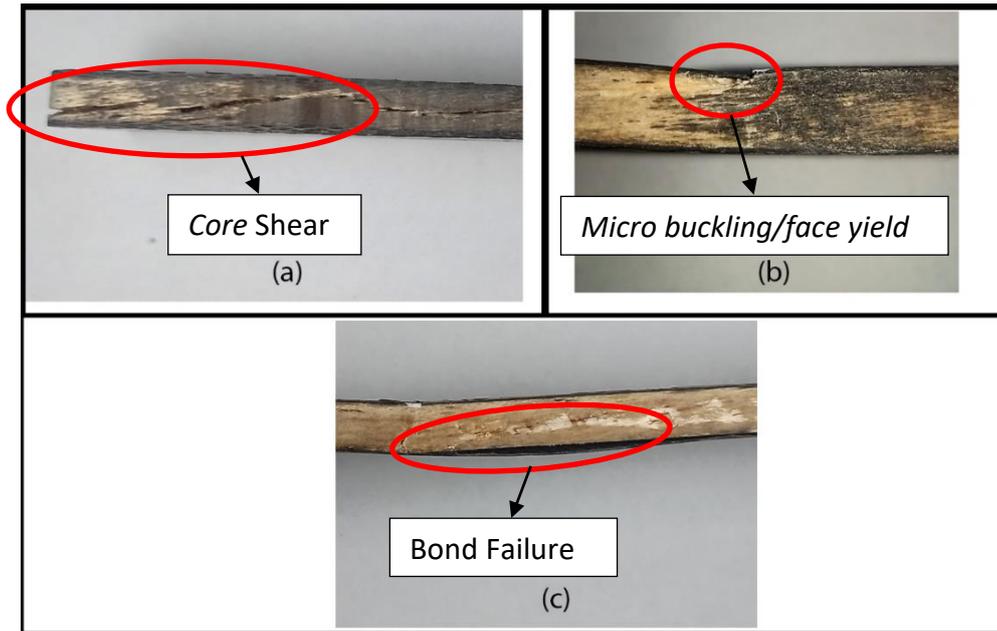
- 1) Menimbang berat spesimen uji
- 2) Menimbang berat piknometer yang diisi *aquades*
- 3) Menimbang berat piknometer yang berisi *aquades* dan spesimen uji.
- 4) Menghitung *specific gravity*



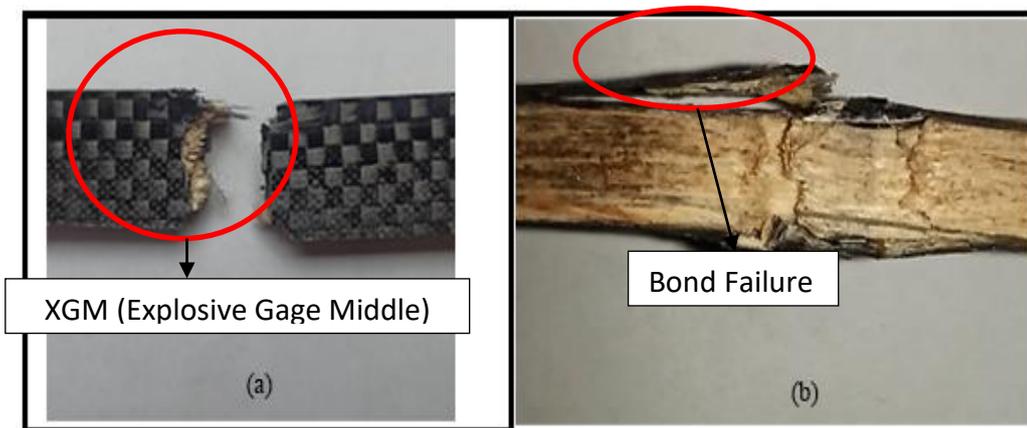
Gambar 9. Pengujian densitas spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa

3. Hasil dan Pembahasan

Modus kegagalan spesimen hasil uji *bending* dan *impact* komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi jumlah *layer skin* masing-masing ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Modus kegagalan spesimen setelah mengalami pengujian *bending*



Gambar 11. Modus kegagalan spesimen setelah mengalami pengujian *impact*

Pada Gambar 10 foto makro hasil pengujian *bending* komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa dari ketiga variasi jumlah *layer skin*, memiliki jenis modus kegagalan perpatahan yaitu *core shear* atau *core failure* dimana kegagalan terjadi akibat lemahnya kekuatan *core* yang digunakan. *Core shear* rata-rata terjadi pada spesimen komposit pada variasi 6 *layer* yang mana memiliki *face/skin* yang relatif lebih tebal dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Kemudian, *Micro buckling/face yield* dimana kegagalan ini biasanya terjadi pada *face/skin* komposit *sandwich* yang relatif tipis terhadap tebal *core*. Dan terjadinya *bond failure* yang ditunjukkan oleh terlepasnya *core* dengan *skin* karena tidak mampu menahan beban geser.

Sedangkan pada Gambar 11 foto makro hasil pengujian *impact* komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa dari ketiga variasi jumlah *layer skin*. Jenis patahan yang terjadi pada spesimen yaitu XGM (*Explosive Gage Middle*). Modus kegagalan yang terdapat pada spesimen adalah *brush type*, dimana patahan serat terjadi di sembarang tempat, diiringi dengan kerusakan matriks. Pada ujung patahan terlihat bahwa matriks tidak mampu menahan konsentrasi yang timbul di ujung serat yang patah, sehingga serat dapat terlepas dari matriks (*debonding*), dan juga mengakibatkan *fiber pullout*. Dan juga terjadi kegagalan *bond failure* yang terjadi juga pada spesimen yang mengalami uji *bending*.

Pada Tabel 1, 2 dan 3 masing -masing menunjukkan hasil uji *bending* komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi jumlah *layer skin* 2 *layer*, 4 *layer* dan 6 *layer*.

Tabel 1. Hasil pengujian *bending* komposit *sandwich* variasi 2 layer skin

No. Spesimen	Beban maksimum (N)	Kekuatan <i>bending</i> (MPa)
UB-1	638	115
UB-2	519	90
UB-3	499	87
UB-4	473	83
Mean	532	94

Tabel 2. Hasil pengujian *bending* komposit *sandwich* variasi 4 layer skin

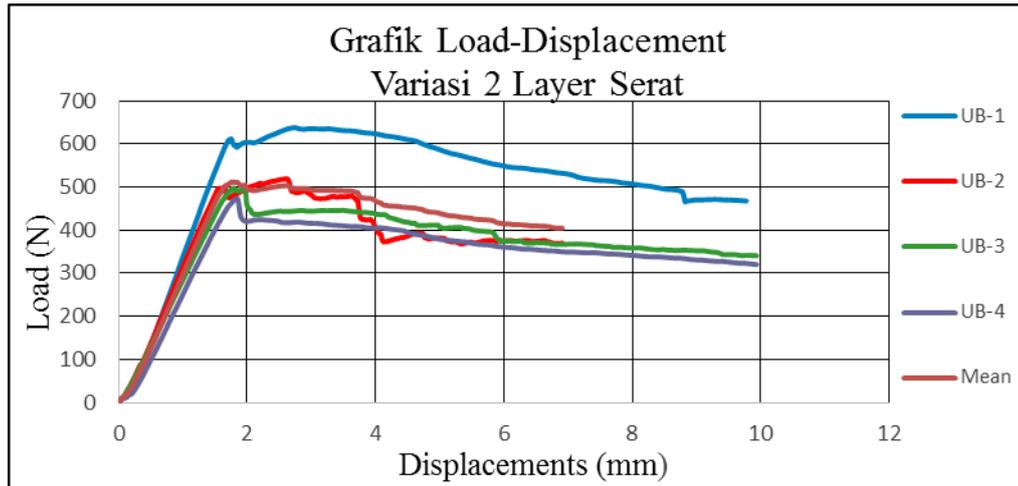
No. Spesimen	Beban maksimum (N)	Kekuatan <i>bending</i> (MPa)
UB-1	466	65
UB-2	489	66
UB-3	539	69
UB-4	431	74
Mean	481	69

Tabel 3. Hasil pengujian *bending* komposit *sandwich* variasi 6 layer skin

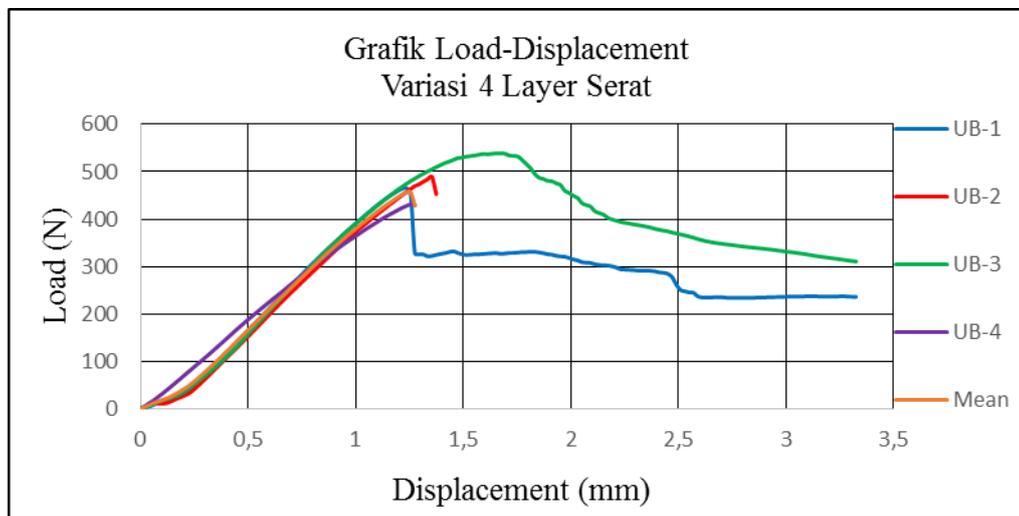
No. Spesimen	Beban maksimum (N)	Kekuatan <i>bending</i> (MPa)
UB-1	565	78
UB-2	377	53
UB-3	447	68
UB-4	362	55
Mean	438	63

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa besarnya kekuatan *bending* rata-rata pengujian *bending* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi 2 layer skin sebesar 94 MPa, kekuatan *bending* minimum sebesar 83 MPa dan maksimum adalah 115 MPa. Sedangkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa besarnya kekuatan *bending* rata-rata pengujian *bending* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi 4 layer skin sebesar 69 MPa, kekuatan tarik minimum sebesar 65 MPa dan maksimum adalah 74 MPa. Dan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa besarnya kekuatan *bending* rata-rata pengujian *bending* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi 6 layer skin sebesar 63 MPa, kekuatan tarik minimum sebesar 58 MPa dan maksimum adalah 78 MPa.

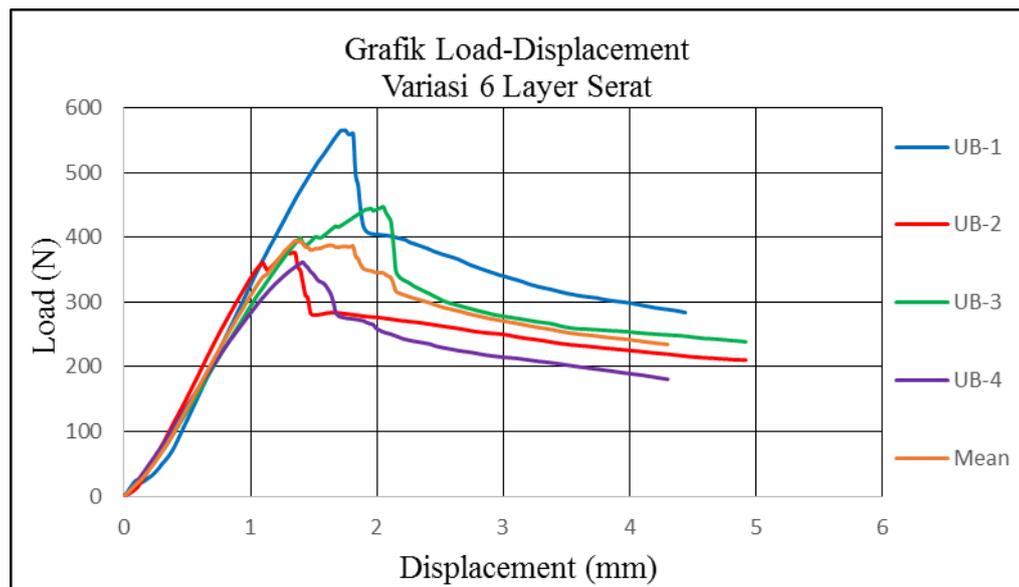
Pada Gambar 12, 13, dan 14 masing-masing menunjukkan grafik hasil pengujian *bending* komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi jumlah layer skin 2 layer, 4 layer dan 6 layer.



Gambar 12. Grafik hasil pengujian *bending* komposit *sandwich* variasi 2 layer skin



Gambar 13. Grafik hasil pengujian *bending* komposit *sandwich* variasi 4 layer skin



Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian *Bending* Komposit *Sandwich* Variasi 4 Layer skin

Pada grafik hasil pengujian *bending* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi 2 *layer skin* memiliki elongation range yang lebih lebar dibandingkan variasi 4 *layer skin* dan 6 *layer skin*. Hal tersebut menunjukkan bahwa komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi 2 *layer skin* memiliki sifat *ductile* yang lebih baik dibandingkan variasi 4 *layer skin* dan 6 *layer skin*.

Pada Tabel 4, 5 dan 6 masing-masing menunjukkan hasil uji *impact* komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi jumlah *layer skin* 2 *layer*, 4 *layer* dan 6 *layer*.

Tabel 4. Hasil pengujian *impact* komposit *sandwich* variasi 2 *layer skin*

No. Spesimen	Luas (cm ²)	Energi Serap (J)	Kekuatan <i>impact</i> (J/cm ²)
UI-1	0,58	3	5,21
UI-2	0,57	3	5,29
UI-3	0,58	3	5,17
UI-4	0,59	2	3,37
Mean	0,58	2,75	4,75

Tabel 5. Hasil pengujian *impact* komposit *sandwich* variasi 4 *layer skin*

No. Spesimen	Luas (cm ²)	Energi Serap (J)	Kekuatan <i>impact</i> (J/cm ²)
UI-1	0,60	7	11,67
UI-2	0,65	7	10,72
UI-3	0,68	4	5,91
UI-4	0,64	8	12,43
Mean	0,64	6,50	10,11

Tabel 6. Hasil pengujian *impact* komposit *sandwich* variasi 6 *layer skin*

No. Spesimen	Luas (cm ²)	Energi Serap (J)	Kekuatan <i>impact</i> (J/cm ²)
UI-1	0,74	6	8,09
UI-2	0,68	15	22,19
UI-3	0,73	8	10,97
UI-4	0,74	12	16,30
Mean	0,72	10,25	14,22

Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa besarnya kekuatan *impact* rata-rata pengujian *impact* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi 2 *layer skin* sebesar 4,75 J/cm², kekuatan *impact* minimum sebesar 3,37 J/cm² dan maksimum adalah 5,29 J/cm². Sedangkan pada Tabel 5. menunjukkan bahwa besarnya kekuatan *impact* rata-rata pengujian *impact* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi 4 *layer skin* sebesar 10,11 J/cm², kekuatan tarik minimum sebesar 5,91 J/cm² dan maksimum adalah 12,43 J/cm². Dan pada Tabel 6. menunjukkan bahwa besarnya kekuatan *impact* rata-rata pengujian *impact* spesimen komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa variasi 6 *layer skin* sebesar 14,22 J/cm², kekuatan tarik minimum sebesar 8,09 J/cm² dan maksimum adalah 22,19 J/cm².

Pengujian densitas dilakukan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T). Tujuan dari pengujian tersebut adalah untuk mengetahui massa jenis suatu material. Pada Tabel 7 menunjukkan hasil densitas komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa

Tabel 6 Hasil Densitas Komposit *Sandwich Carbon Fiber Core Kayu Balsa*

No	Massa Spesimen (gr)	Massa Air + Pikno (gr)	Massa Air + Pikno + Spesimen (gr)	Massa Jenis Air (gr/cm ³)	Densitas Spesimen (gr/cm ³)
1	0,9401	47,0750	46,2346	1,00012	0,53
2	0,8542	47,0750	46,4672	1,00012	0,59
Rata-Rata					0,56

Komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa dengan variasi 2 *layer skin* yang memiliki kekuatan tertinggi 115 MPa dan memiliki densitas 0,56 gr/cm³ bisa dikatakan kuat dan ringan sehingga cocok untuk digunakan pada kontruksi *spar stabilizer* UAV.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisis, dapat ditarik beberapa kesimpulan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

- 1) Kekuatan *bending* tertinggi untuk komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa yaitu pada variasi 2 *layer skin* sebesar 94 MPa dan kekuatan *bending* terendah yaitu pada variasi 6 *layer skin* sebesar 63 MPa. Dimana untuk modus kegagalan yang terjadi adalah *core shear* (lemahnya kekuatan *core*), *Micro buckling* dan *bond failure* (terlepasnya *skin* dengan *core*).
- 2) Kekuatan *impact* tertinggi untuk komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa yaitu pada variasi 6 *layer skin* sebesar 14,22 J/cm² dan kekuatan *impact* terendah yaitu pada variasi 2 *layer skin* sebesar 4,75 J/cm². Dimana untuk modus kegagalan pada pengujian *impact* adalah *debonding*, *fiber pull out*, *brush type* dan *bond failure*.
- 3) Hasil rata-rata pada pengujian densitas komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa adalah sebesar 0,56 gr/cm³. Komposit *sandwich carbon fiber core* kayu balsa tergolong cukup ringan dan cocok untuk digunakan pada kontruksi *spar inverted v-tail* UAV.

5. Daftar Pustaka

- [1] Jones M Robert 1998 *Mechanics of Composite Materials* Virginia USA
- [2] Sari Nasmi Herlina 2019 *Teknologi Papan Komposit Diperkuat Serat Kulit Jagung Indonesia*
- [3] Delmonte J (1987) *Technology of Carbon and Graphite Fiber Composites* Amerika Serikat: Krieger Publishing Company
- [4] Mallick PK (1993) *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design* Hong Kong: Taylor & Francis
- [5] Wu C, Vahedi N, Vassilopoulos AP, & Keller T (2020) Mechanical properties of a balsa wood veneer structural *sandwich core* material *Construction and Building Materials* 265 120193
- [6] Judawisastra Hermawan 2005 *The Basic Composite Design & Micromechanic*. Institut Teknologi Bandung
- [7] ASTM D790 2016 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials Annual Book of ASTM Standards United States: ASTM International
- [8] ASTM D6110 2018 tandard Test Method for Determining the Charpy *Impact* Resistance of Notched Specimens of Plastics Annual Book of ASTM Standards United States: ASTM International
- [9] ASTM D792 2010 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement Annual Book of ASTM Standards United States: ASTM International

