

Karakterisasi sifat bending komposit hibrid serat alam daun nanas dan serat bambu untuk aplikasi struktur UAV

Calvin Delano Immanuel Pangkey, Dwi Hartini*, Bangga Dirgantara Adiputra
Adisutjipto Institute of Aerospace Technology

Article Info

Article history:

Received August 21, 2024
Accepted August 28, 2024
Published August 30, 2024

Keywords:

Serat Alam Daun Nanas
Serat Bambu
Arah Serat 0°
Hand Lay Up
Bending Test

ABSTRAK

Pengembangan teknologi ramah lingkungan sedang banyak mendapatkan perhatian dari berbagai bidang. Salah satunya ialah pemanfaatan serat alam dalam pembuatan bahan komposit. Pemanfaatan serat daun nanas dan serat bambu sebagai bahan penguat komposit dapat menjadi alternatif bahan penguat sintesis yang banyak digunakan. Penelitian ini berfokus pada pengujian *bending* untuk mengetahui kekuatan *bending* dari komposit *hybrid* serat alam daun nanas dan serat bambu. Pembuatan komposit *hybrid* serat alam daun nanas dan serat bambu menggunakan metode *hand lay-up*, dengan orientasi serat 0°, resin *Epoxy*, dan fraksi volume 50%, 60%, dan 70%. Hasil pengujian *bending* menunjukkan kekuatan *bending* maksimum tertinggi didapatkan pada fraksi volume 50%, dengan nilai kekuatan *bending* sebesar 86,116 MPa. Sedangkan kekuatan *bending* maksimum terendah diperoleh pada fraksi volume 60% yaitu sebesar 49,653 MPa. Fraksi volume 70% berada ditengah-tengah dengan nilai kekuatan *bending* maksimum sebesar 68,115 MPa.



Corresponding Author:

Dwi Hartini,
Department of Aeronautical Engineering,
Faculty of Aerospace Technology, Adisutjipto Institute of Aerospace Technology
Jl. Maguwo No.443, RW.27, Karang Jambe, Banguntapan,
Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55198
Email: mdwihartini@gmail.com

1. PENGANTAR

Material komposit telah menjadi fokus penelitian yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Keunggulan material komposit terletak pada kombinasi dua atau lebih bahan yang berbeda, yang ketika digabungkan, menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik daripada bahan tunggal tersebut. Material komposit dapat terdiri dari serat atau penguat yang ditempatkan dalam matriks[1]-[5]. Serat berperan sebagai penguat struktural, sedangkan matriks bertindak sebagai bahan yang mengelilingi serat dan mentransfer beban di antara serat-serat tersebut.

Penggunaan serat alam dalam komposit telah menjadi salah satu area penelitian yang menarik dalam upaya untuk mengembangkan material yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Peneliti telah aktif melakukan penelitian terhadap serat alam guna meningkatkan potensi dan kemampuannya sesuai potensi pemanfaatan yang diinginkan, dengan tujuan untuk menggantikan komposit serat sintesis secara bertahap.

Serat tumbuhan, dibandingkan dengan jenis serat alami lainnya (hewani dan mineral), tampaknya merupakan alternatif yang menjanjikan karena harganya yang murah, mudah didapat, dan cukup kuat. Sumber utama serat tumbuhan ada lima, yaitu serat kulit pohon, daun, buah, biji, dan tangkai. Serat daun nanas (PALF) merupakan serat alam yang mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dibandingkan serat alam lainnya[6].

Saat ini, penelitian juga sedang mengeksplorasi penggunaan serat daun nanas dalam aplikasi UAV. Salah satu keuntungan utama penggunaan serat daun nanas dalam pembuatan *drone* adalah bobotnya yang ringan dan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Hal ini menjadikannya bahan yang ideal untuk membuat

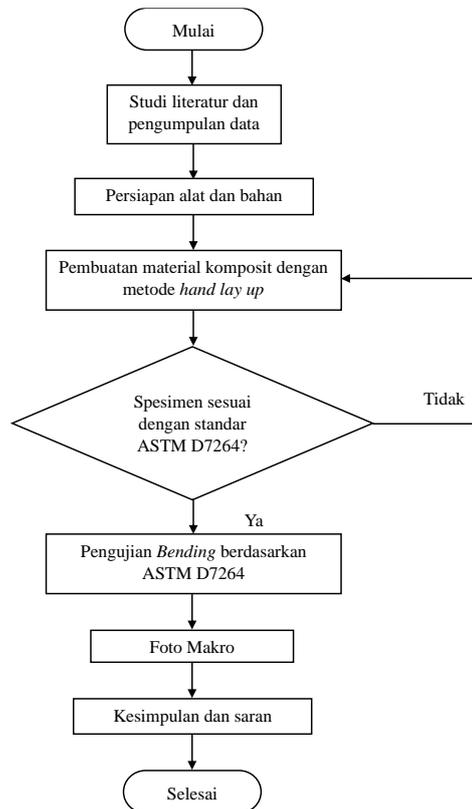
kerangka UAV, yang harus kuat dan ringan untuk mencapai performa penerbangan yang optimal[7]. Selain itu serat daun nanas terbukti memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan tarik yang tinggi sehingga tahan terhadap deformasi dan patah. Ini adalah fitur penting untuk multirotor rangka helikopter, yang harus tahan terhadap tekanan penerbangan dan potensi tabrakan[8]. Keuntungan lain dari penggunaan serat daun nanas adalah sifat biodegradasinya yang membuatnya menjadi bahan yang mudah terurai pilihan ramah lingkungan untuk berbagai jenis konstruksi UAV. Serat daun nanas bisa terurai secara alami, tidak seperti bahan sintetis lainnya yang biasa digunakan dalam pembuatan *drone*, yang membutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai.

Selain serat daun nanas, serat alam yang banyak dilirik sebagai bahan penguat komposit ialah serat bambu. Serat bambu banyak digunakan dalam kerajinan tangan berbentuk anyaman seperti tas dan furnitur lainnya. Sedangkan sebagai komposit, serat ini memiliki sifat mekanik yang baik, dimana serat bambu memiliki kekuatan tarik sebesar 391-1000 MPa, modulus young sebesar 48-89 GPa, dengan densitas sebesar 0,8 g/cm³ [9]. Sifat mekanik yang dimiliki serat bambu menunjukkan potensi yang baik sebagai bahan komposit.

Dalam penelitian ini, serat daun nanas dan serat bambu dipilih sebagai salah satu komponen penguat dalam material komposit. Kombinasi serat daun nanas dengan serat bambu diharapkan dapat memberikan keuntungan sinergis dalam meningkatkan sifat mekanik komposit. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan *bending* pada komposit yang terbuat dari kombinasi serat alam daun nanas dan bambu, menggunakan resin *epoxy* sebagai matriks.

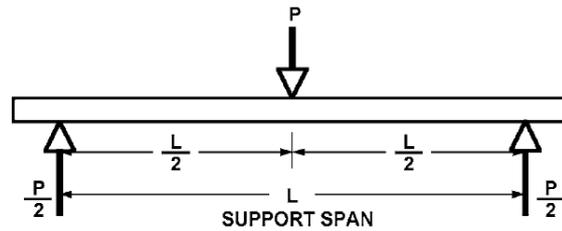
2. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan pengujian *bending* komposit serat alam kombinasi daun nanas dan bambu akan melalui langkah-langkah seperti yang diilustrasikan dalam diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode pembuatan komposit menggunakan teknik *hand lay-up* dengan struktur laminat[10] dan resin *epoxy*[11] untuk menghasilkan sampel komposit yang akan diuji. Metode *hand lay-up* adalah metode yang sangat sederhana dalam proses fabrikasi komposit. Metode ini melibatkan penuangan resin ke dalam cetakan yang sudah berisi serat, diikuti dengan penggunaan tekanan dan penyebaran resin menggunakan rol atau kuas. Proses ini diulang-ulang hingga mencapai ketebalan yang diinginkan[12]. Pada penelitian ini spesimen material komposit dibuat sebanyak 5 buah mengikuti standar ASTM D7264 dengan Panjang 150 mm, lebar 15 mm, dan tebal 5 mm yang terlihat pada Gambar 2.


 Gambar 2. Metode *Three-point Bending*

Setelah pembuatan komposit, dilakukan pengujian bending dengan metode *three-point bending*[13] sesuai standar ASTM D7264. Perhitungan kekuatan dan regangan *bending* menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana:

σ = Tegangan *Bending* (MPa)

P = Beban/*Load* (N)

L = Panjang *Span/Support span* (mm)

b = Lebar/*Width* (mm)

h = Tebal/*Depth* (mm)

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (2)$$

Dimana:

ε = Regangan *Bending*

L = Panjang *Span/Support Span* (mm)

h = Tebal/*Depth* (mm)

δ = *Mid Span Deflection* (mm)

3. HASIL DAN ANALISIS

Langkah awal dalam menjalankan penelitian adalah pembuatan spesimen komposit sesuai dengan standar ASTM D 7264/D 7264M-07, yang memiliki dimensi 150 mm x 15 mm x 5 mm, dan selanjutnya menjalankan uji. Spesimen ini dibuat dengan mengorientasikan serat pada sudut 0°. Untuk fraksi volumenya, dilakukan variasi sebanyak tiga tingkat, yaitu 50%, 60%, dan 70%.

3.1 Hasil Uji *Bending* Fraksi Volume 50%

Data yang dihasilkan dari pengujian *bending* mencakup panjang spesimen pengujian (L_0) (mm), lebar spesimen pengujian (b) (mm), tebal spesimen pengujian (h) (mm), luas penampang spesimen (A), *span* (mm), defleksi (mm) (δ), beban maksimum (P) (N), kekuatan *bending* maksimum (σ) (MPa), regangan *bending* (ε) (%), standard deviasi, nilai rata-rata, dan koefisien variasi. Sebelum melaksanakan pengujian, dimensi dari benda uji diukur terlebih dahulu, dan terdapat tiga jenis data yang perlu diidentifikasi, yaitu data input, data output, dan data yang akan diolah yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Input Spesimen Fraksi Volume 50%

Kode Spesimen	L_0 (mm)	b (mm)	h (mm)
A 1.1	150	11,1	5
A 1.2	150	15,1	5
A 1.3	150	16,1	5
A 1.4	150	15,1	5
A 1.5	150	13,3	5

Data output merupakan informasi yang dihasilkan selama pengujian *bending* untuk menemukan nilai beban maksimum (P), luas penampang (A), dan *span* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Output Spesimen Fraksi Volume 50%

Kode Spesimen	P (kgf)	A (mm ²)	Span (mm)
A 1.1	27,623	55,500	80,000
A 1.2	24,097	75,500	80,000
A 1.3	27,074	65,500	80,000
A 1.4	22,066	75,500	80,000
A 1.5	25,536	70,740	80,000

Kekuatan dan regangan *bending* diperoleh dari hasil olah data mengikuti perhitungan sesuai dengan standar ASTM D7264. Pada tabel 3 menunjukkan bahwa komposit dengan fraksi volume 50% diperoleh kekuatan *bending* maksimum sebesar 86,116 MPa, dan regangan *bending* sebesar 0,054% yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Olahan Spesimen Fraksi Volume 50%

Kode Spesimen	δ Defleksi (mm)	P Beban Maks (N)	ϵ Regangan <i>Bending</i> (%)	σ Kekuatan <i>Bending</i> Maks (MPa)
A 1.1	13,500	270,889	0,063	117,141
A 1.2	9,600	236,311	0,045	75,119
A 1.3	9,500	265,505	0,045	79,157
A 1.4	10,100	216,394	0,047	68,787
A 1.5	14,400	250,423	0,068	90,378
Nilai Rata-Rata	11,420	247,904	0,054	86,116
Standar Deviasi	2,342	22,202	0,011	19,042
Koefisien Variasi (%)	20,512	8,956	20,512	22,112

3.2 Hasil Uji Bending Fraksi Volume 60%

Berikut merupakan data input, data output, dan data olahan yang didapatkan dari hasil uji *bending* spesimen komposit dengan fraksi volume 60% dan arah serat 0° dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Data Input Spesimen Fraksi Volume 60%

Kode Spesimen	L ₀ (mm)	b (mm)	h (mm)
A 2.1	150	15,3	5,4
A 2.2	150	13,8	5,4
A 2.3	150	12,2	5,4
A 2.4	150	13,1	5,4
A 2.5	150	13,2	5,4

Tabel 5. Data Output Spesimen Fraksi Volume 60%

Kode Spesimen	L ₀ (mm)	b (mm)	h (mm)
A 2.1	18,360	82,620	80,000
A 2.2	14,817	74,520	80,000
A 2.3	12,429	65,880	80,000
A 2.4	13,941	70,740	80,000
A 2.5	23,696	71,280	80,000

Kekuatan dan regangan *bending* diperoleh dari hasil olah data mengikuti perhitungan sesuai dengan standar ASTM D7264. Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa komposit dengan fraksi volume 60% diperoleh kekuatan *bending* maksimum sebesar 49,653 MPa, dan regangan *bending* sebesar 0,055%.

Tabel 6. Data Olahan Spesimen Fraksi Volume 60%

Kode Spesimen	δ Defleksi (mm)	P Beban Maks (N)	ϵ Regangan <i>Bending</i> (%)	σ Kekuatan <i>Bending</i> Maks (MPa)
A 2.1	10,583	180,050	0,054	48,428
A 2.2	11,917	145,305	0,060	43,331
A 2.3	6,583	121,887	0,033	41,114
A 2.4	12,010	136,715	0,061	42,947
A 2.5	12,800	232,378	0,065	72,446
Nilai Rata-Rata	10,779	163,267	0,055	49,653
Standar Deviasi	2,477	44,153	0,013	13,028
Koefisien Variasi (%)	22,980	27,044	22,980	26,237

3.3. Hasil Uji *Bending* Fraksi Volume 70%

Berikut merupakan data input, data output, dan data olahan yang didapatkan dari hasil uji *bending* spesimen komposit dengan fraksi volume 60% dan arah serat 0° dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 7. Data Input Spesimen Fraksi Volume 70%

Kode Spesimen	L_0 (mm)	b (mm)	h (mm)
A 3.1	150	15,05	5,7
A 3.2	150	15,05	5,7
A 3.3	150	14,40	5,7
A 3.4	150	15,05	5,7
A 3.5	150	14,40	5,7

Tabel 8. Data output spesimen fraksi volume 70%

Kode Spesimen	L_0 (mm)	b (mm)	h (mm)
A 3.1	25,679	85,500	80,000
A 3.2	30,150	85,500	80,000
A 3.3	26,808	82,650	80,000
A 3.4	32,866	85,500	80,000
A 3.5	23,729	82,650	80,000

Kekuatan dan regangan *bending* diperoleh dari hasil olah data mengikuti perhitungan sesuai dengan standar ASTM D7264. Pada Tabel 9 menunjukkan bahwa komposit dengan fraksi volume 60% diperoleh kekuatan *bending* maksimum sebesar 68,115 MPa, dan regangan *bending* sebesar 0,067%.

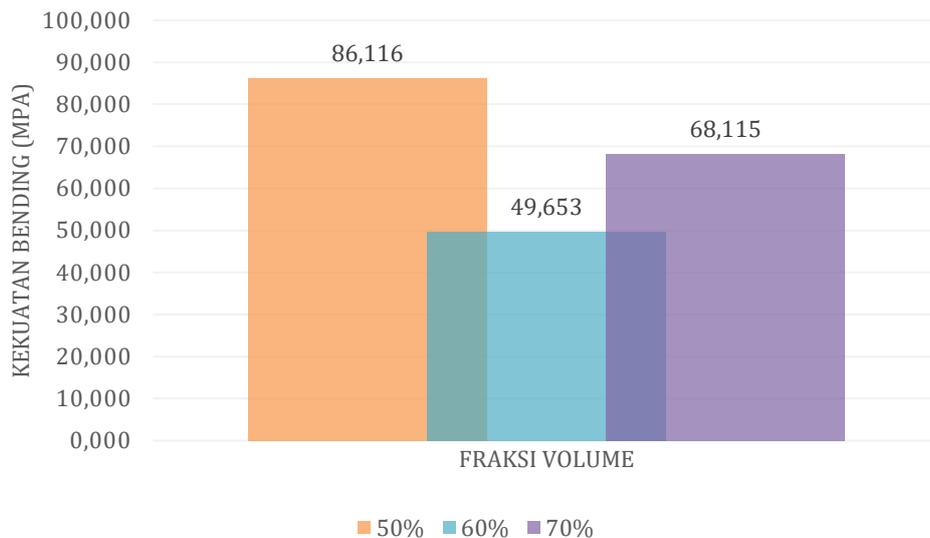
Tabel 9. Data Olahan Spesimen Fraksi Volume 70%

Kode spesimen	δ Defleksi (mm)	P Beban maks (N)	ϵ Regangan <i>bending</i> (%)	σ Kekuatan <i>Bending</i> Maks (MPa)
A 3.1	15,983	251,825	0,085	61,801
A 3.2	13,200	295,670	0,071	72,561
A 3.3	12,500	262,897	0,067	67,430
A 3.4	12,667	322,305	0,068	79,097
A 3.5	8,500	232,702	0,045	59,686
Nilai Rata-Rata	12,570	273,080	0,067	68,115

Standar Deviasi	2,675	35,775	0,014	7,934
Koefisien Variasi (%)	21,282	13,100	21,282	11,648

3.3 Perbandingan Kekuatan *Bending*

Berdasarkan data hasil pengujian *bending* diketahui rata-rata nilai kekuatan *bending* pada komposit *hybrid* serat daun nanas dan serat bambu pada fraksi volume 50%, 60% dan 70% secara berturut-turut yaitu 86,116 MPa, 49,653 MPa, dan 68,115 MPa. Sehingga dapat dilihat bahwa kekuatan *bending* maksimum tertinggi dimiliki oleh komposit dengan fraksi volume 50%, kekuatan *bending* maksimum terendah dimiliki oleh komposit dengan fraksi volume 60%, sedangkan komposit dengan fraksi volume 70% berada di tengah-tengah. Perbandingan kekuatan *bending* komposit masing-masing fraksi volume secara berdampingan dapat dilihat pada Gambar 3.



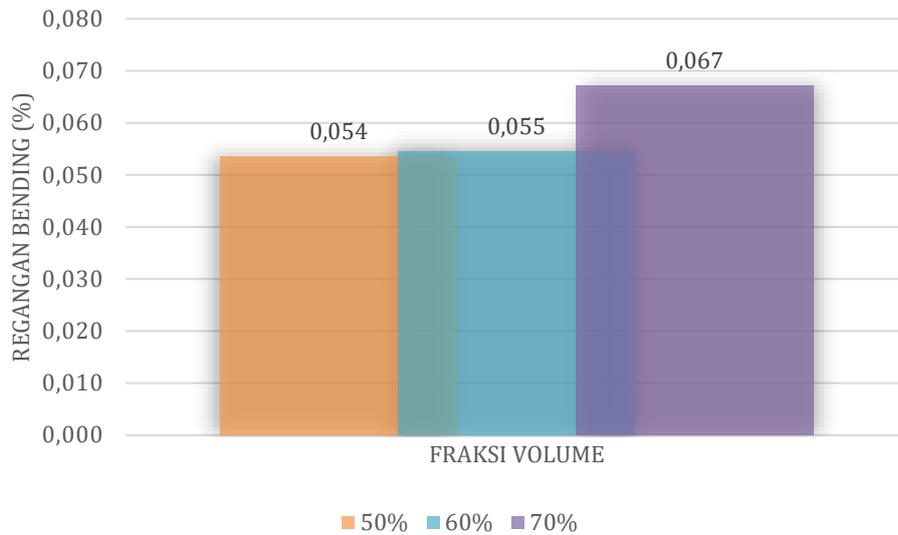
Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Kekuatan *Bending*

Penurunan kekuatan material komposit ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- Orientasi atau arah serat; semakin acak atau tidak teratur orientasi serat, sifat mekaniknya akan melemah dalam arah tertentu.
- Ketidakteraturan kondisi serat dan ketidakmerataan campuran resin dengan serat dalam cetakan menyebabkan pengujian menurunkan kekuatan komposit.
- Panjang serat; serat yang pendek cenderung memiliki kekuatan yang lebih rendah daripada serat yang lebih panjang.
- Posisi serat yang tidak terhubung secara baik juga mempengaruhi keretakan yang mudah terjadi pada matriks komposit.
- Keberadaan *void* atau lubang dalam material komposit yang mengakibatkan kerusakan sebelum pengujian dilakukan.

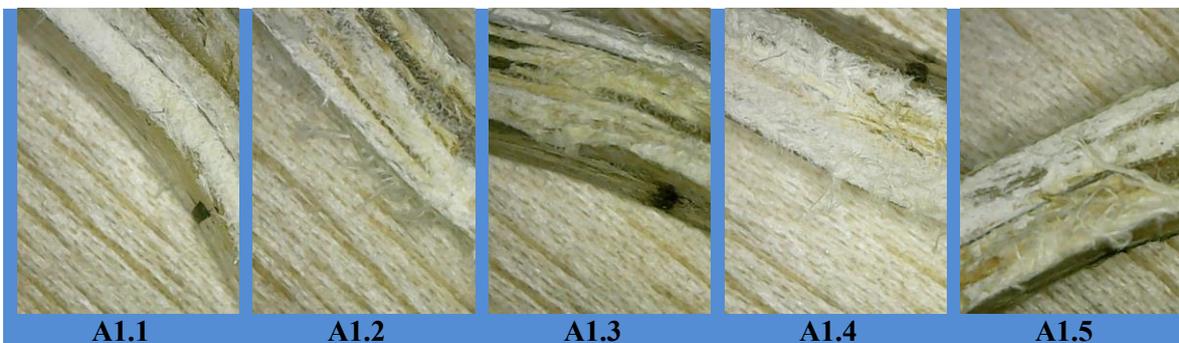
3.4 Perbandingan Regangan *Bending*

Berdasarkan data hasil pengujian *bending* diketahui rata-rata nilai regangan *bending* pada komposit *hybrid* serat daun nanas dan serat bambu pada fraksi volume 50%, 60% dan 70% secara berturut-turut yaitu 0,054%, 0,055%, dan 0,067%. Dari data yang didapatkan terlihat bahwa regangan *bending* tertinggi dimiliki oleh komposit dengan fraksi volume 70%, regangan *bending* terendah dimiliki oleh komposit dengan fraksi volume 50%, dan komposit dengan fraksi volume 60% berada di tengah-tengah. Dimana selisih antara fraksi volume 50% dan 60% tidaklah jauh sebesar 0,001. Perbandingan regangan *bending* komposit masing-masing fraksi volume secara berdampingan dapat dilihat pada Gambar 4.



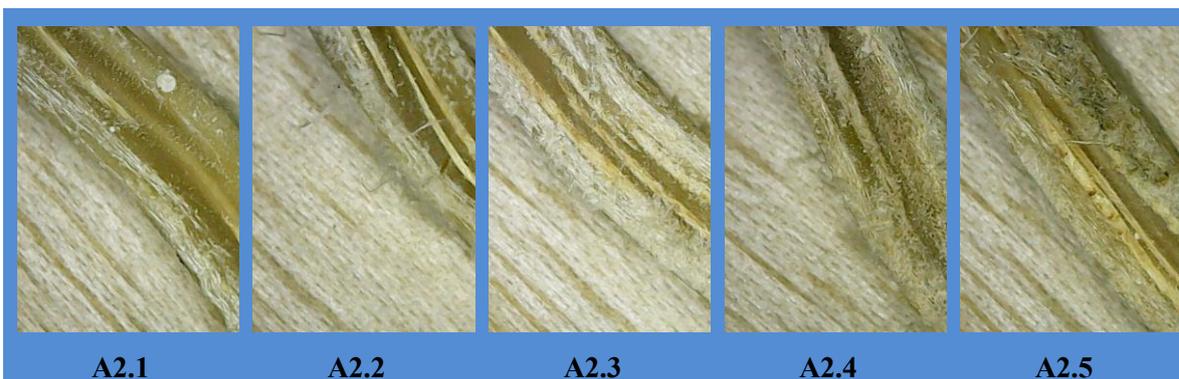
Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Regangan *Bending*

3.5 Pengujian Struktur Foto Makro Komposit



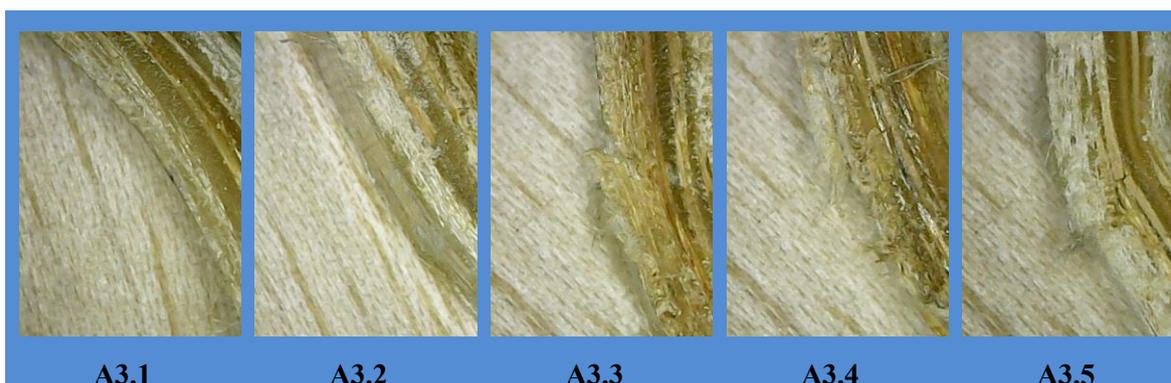
Gambar 5. Foto Makro Komposit Fraksi Volume 50%

Modus kegagalan yang terjadi pada struktur komposit *hybrid* serat daun nanas dan serat bambu dengan fraksi volume 50% ini adalah *Microbuckling* beda fasa[14]. Bisa dilihat pada spesimen A1.1 dimana serat-serat terlihat melengkung pada fasa yang berbeda. Modus kegagalan ini juga diikuti dengan *debonding* pada matriks, terlihat pada spesimen A1.5 yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Foto Makro Komposit Fraksi Volume 60%

Modus kegagalan yang terjadi pada struktur komposit *hybrid* serat daun nanas dan serat bambu dengan fraksi volume 60% ini adalah *Microbuckling* se-fasa[15]. Retakan kecil bisa dilihat pada spesimen A2.1 dan A2.3, sedangkan retakan pada spesimen A2.2 terlihat lebih besar yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 7. Foto Makro Komposit Fraksi Volume 70%

Modus kegagalan yang terjadi pada struktur komposit *hybrid* serat daun nanas dan serat bambu dengan fraksi volume 70% ini adalah *Microbuckling* beda fasa. Retakan terlihat jelas pada spesimen A3.3 dan A3.5. Kegagalan ini juga diikuti dengan terkelupasnya serat dari matriks dapat dilihat pada spesimen A3.3 yang terlihat pada Gambar 7.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian bending terhadap material komposit serat alam *hybrid* dari serat alam daun nanas dan bambu, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Nilai kekuatan *bending* terbesar pada komposit *hybrid* serat daun nanas dan serat bambu yang dihasilkan melalui metode pembuatan *hand lay-up* dimiliki oleh komposit dengan fraksi volume 50%, dengan nilai rata-rata 86,116 MPa. Sedangkan kekuatan *bending* terendah dimiliki oleh komposit dengan fraksi volume 60%, dengan nilai rata-rata 49,653 MPa. Komposit dengan fraksi volume 70% berada di tengah-tengah, dengan nilai rata-rata 68,115 MPa.
2. Hasil pengamatan foto makro pada spesimen komposit *hybrid* serat alam daun nanas dan serat bambu menunjukkan bahwa komposit mengalami modus kegagalan *microbuckling/buckling* serat yaitu modus kegagalan yang sering terjadi akibat beban tekan longitudinal yang diikuti dengan *debonding*[10].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. D. L. Chung, D. Gay, S. V Hoa, and S. W. Tsai, COMPOSITE MATERIALS Science and Applications. 2003.
- [2] F. Nugroho and N. Ahmadi, "Pengaruh Komposisi Skin Terhadap Kekuatan Bending Pada Komposit Sandwich Serat Aren-Polyester Dengan Serbuk Kayu Sengon-Polyester," Vortex, vol. 4, no. 1, p. 25, Jan. 2023, doi: [10.28989/vortex.v4i1.1425](https://doi.org/10.28989/vortex.v4i1.1425)
- [3] L. R. Pinandhita, "Analisis Tensile Strength Komposit Serat Daun Agel Berorientasi Arah 0 Derajat Dengan Variasi Matriks," Vortex, vol. 3, no. 1, p. 53, Jan. 2022, doi: [10.28989/vortex.v3i1.1177](https://doi.org/10.28989/vortex.v3i1.1177)
- [4] C. D. I. Pangkey, D. Hartini, and B. D. Adiputra, "Karakterisasi sifat bending komposit hibrid serat alam daun nanas dan serat bambu untuk aplikasi struktur UAV," Vortex, vol. 5, no. 2, Aug. 2024, doi: [10.28989/vortex.v5i2.2510](https://doi.org/10.28989/vortex.v5i2.2510)
- [5] S. Sahuburua, D. Hartini, and B. D. Adiputra, "Analisis Bending Pada Komposit Serat Alam Daun Agel Dengan Resin Epoxy," Vortex, vol. 4, no. 2, Jun. 2023, doi: [10.28989/vortex.v4i2.1696](https://doi.org/10.28989/vortex.v4i2.1696)
- [6] I. Priyahapsara, "Analisis Faktor Delaminasi Pada Material Serat Gelas Terhadap Parameter Drilling," Vortex, vol. 3, no. 2, p. 132, Jul. 2022, doi: [10.28989/vortex.v3i2.1237](https://doi.org/10.28989/vortex.v3i2.1237)
- [7] C. Elanchezian, B. V. Ramnath, G. Ramakrishnan, M. Rajendrakumar, V. Naveenkumar, and M. K. Saravanakumar, "Review on mechanical properties of natural fiber composites.," Mater Today Proc, vol. 5, no. 1, pp. 1785-1790, Jan. 2018, doi: [10.1016/j.matpr.2017.11.276](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.276)
- [8] W. Grodzki and A. Łukaszewicz, "Design and manufacture of unmanned aerial vehicles (UAV) wing structure using composite materials," Materwiss Werksttech, vol. 46, no. 3, pp. 269-278, Mar. 2015, doi: [10.1002/mawe.201500351](https://doi.org/10.1002/mawe.201500351)

- [9] T. Šančić, M. Brčić, D. Kotarski, and A. Łukaszewicz, "Experimental Characterization of Composite-Printed Materials for the Production of Multirotor UAV Airframe Parts," *Materials*, vol. 16, no. 14, Jul. 2023, doi: [10.3390/ma16145060](https://doi.org/10.3390/ma16145060)
- [10] P. J. Herrera Franco and A. Valadez-González, "Fiber-matrix adhesion in natural fiber composites." 2005. doi: [10.1201/9780203508206.ch6](https://doi.org/10.1201/9780203508206.ch6)
- [11] M. K. Buragohain, "Composite Structures: Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing," *Composite Structures: Design, Mechanics, Analysis, Manufacturing, and Testing*, pp. 1-732, Jan. 2017, doi: [10.1201/9781315268057](https://doi.org/10.1201/9781315268057)
- [12] S. Bhatia, S. Angra, and S. Khan, "Mechanical and wear properties of epoxy matrix composite reinforced with varying ratios of solid glass microspheres," *J Phys Conf Ser*, vol. 1240, no. 1, Aug. 2019, doi: [10.1088/1742-6596/1240/1/012080](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012080)
- [13] A.K. Kaw, *Mechanics of composite materials*. Taylor & Francis, 2006, doi: [10.1201/9781420058291](https://doi.org/10.1201/9781420058291)
- [14] ASTM International, "ASTM D 7264/D 7264M-07 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials," *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 15, no. 3, pp. 1-10, 2018.
- [15] B. K. Hadi, "Mekanika struktur komposit / oleh Bambang Kismono Hadi," 2000.

