

PENGARUH ORIENTASI SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA *COMPOSITE SANDWICH DENGAN FOAM CORE*

Alis Ratuningtyas⁽¹⁾, Lilies Esthi Rivanti⁽²⁾, Djoko Herwanto⁽³⁾

^{1,2,3}Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

e-mail: ¹alisratuningtyas@gmail.com, ²lilies.esthi@ppicurug.ac.id,

³djoko.herwanto58@gmail.com

Received :

08 Mei 2023

Revised :

08 Agustus 2023

Accepted :

15 Agustus 2023

Abstrak: Komposit *sandwich* terdiri dari susunan utama *core* dan *skin*, banyak digunakan di struktur pesawat karena memiliki kekuatan unggul dan ringan dari aluminium. Penelitian ini mengkaji pengaruh orientasi serat panel komposit *sandwich* dengan *foam core* pada tiga spesimen terhadap beban tarik. *Skin* terdiri dari *kevlar*, *fiberglass*, dan *carbon* dengan beragam orientasi seratnya lalu seluruh spesimen diuji menggunakan ASTM E8/E8M. Dari hasil uji tarik, spesimen 1 menunjukkan properti material terbaik dengan susunan *fiberglass* 0°, *fiberglass* 90°, *fiberglass* 45°, *core foam*, *kevlar* 45°, *carbon* 90°, dan *fiberglass* 0°. Spesimen 1 memiliki nilai *ultimate tensile strength* tertinggi, sebesar 145,5 MPa, nilai *yield strength* sebesar 108 MPa, nilai *elongation* sebesar 2,5%, dan nilai *fracture strength* sebesar 2,56 MPa.

Kata Kunci: *core foam*, komposit *sandwich*, kekuatan tarik, orientasi serat

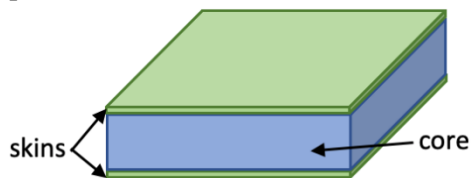
Abstract: *The sandwich composites consist of the main arrangement of core and skin, widely used in aircraft structures because they have superior strength and are lighter than aluminum. This study examines the effect of fiber orientation of sandwich composite panels with foam core in three specimens on tensile load. The skin consists of kevlar, fiberglass, and carbon with various fiber orientations and all specimens were tested using ASTM E8/E8M. From the tensile test results, specimen 1 showed the best material properties with an arrangement of 0° fiberglass, 90° fiberglass, 45° fiberglass, foam core, 45° kevlar, 90° carbon, and 0° fiberglass. Specimen 1 has the highest ultimate tensile strength value of 145.5 MPa, yield strength value of 108 MPa, elongation value of 2.5%, and fracture strength value of 2.56 MPa.*

Keyword: *core foam, sandwich composite, tensile strength, fiber orientation,*

Pendahuluan

Penggunaan komposit material di berbagai sektor industri, seperti dirgantara (pesawat komersial dan militer), otomotif, dan infrastruktur telah meningkat secara pesat selama beberapa tahun terakhir. (Mardiyati, 2018; Setiyawan D et al., 2020)

Struktur komposit *sandwich* merujuk pada gabungan antara lapisan luar (*skin*) yang terbuat dari bahan komposit dengan modulus elastisitas tinggi dan inti (*core*) komposit yang memiliki kepadatan rendah. Kombinasi ini menghasilkan material yang memiliki kekakuan, kekuatan, dan ringan secara bersamaan. Komposit dengan struktur *sandwich*, yang juga dikenal sebagai komposit *sandwich*, memperoleh sifat-sifat material tersebut. (Marsono & Luwis, 2019; Prayoga et al., 2018). komposit *sandwich* diilustrasikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Komposit *Sandwich*

Terdapat beberapa faktor dari material penguat yang memengaruhi karakteristik mekanik komposit, seperti tipe *core*, dimensi *core*, bentuk *core*, ukuran serat, bentuk serat, arah serat, konsentrasi serat, dan distribusi serat. (Delavari & Dabiryan, 2021; Prayoga et al., 2018). Konstruksi *sandwich* yang secara konsisten digunakan melibatkan penggunaan material *core* yang dikelilingi oleh lapisan kulit pada kedua sisinya. Pendekatan konstruksi ini

diharapkan dapat memberikan kekakuan yang memadai dengan bobot yang relatif ringan. (Marsono & Luwis, 2019).

(Callister & Rethwisch, 2020)

Struktur komposit *sandwich* terdiri dari elemen berikut: (1) *Skin*, yang berperan dalam menahan tegangan tarik dan tekan. Untuk bagian ini, material konvensional seperti aluminium, baja, dan *stainless steel* dapat digunakan. Selain itu, material berbentuk plastik yang diperkuat dengan serat gelas atau serat lainnya juga merupakan pilihan yang baik, karena material-material ini memiliki keuntungan seperti kemudahan dalam penggabungan, kemampuan desain yang disesuaikan dengan kebutuhan, dan permukaan yang memiliki kualitas yang baik. Sebagian besar struktur *composite sandwich* yang digunakan dalam konstruksi pesawat memiliki *skin* aluminium, *fiberglass*, Kevlar, atau *Carbon Fiber*. Bahan inti (*core*) yang paling umum digunakan untuk struktur sarang lebah pesawat adalah kertas aramid (Nomex® atau Korex®) (Kroes & Sterkenburg, 2013). (2) Inti (*core*) merupakan komponen krusial dalam struktur komposit *sandwich*, yang perlu memiliki kekakuan yang memadai untuk menjaga jarak antara permukaannya. Fungsi utama *core* adalah mencegah geseran atau pergeseran antara permukaan. Oleh karena itu, *core* harus memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan geseran dan menjaga stabilitas *sandwich*. Penggunaan bahan dengan kekakuan rendah tidak diinginkan untuk *core* karena hal tersebut dapat mengurangi atau menghilangkan kekakuan keseluruhan *sandwich*. Selain memiliki kekuatan dan densitas rendah, *core* biasanya harus memenuhi persyaratan lain, seperti tingkat kelembaban, resistensi *buckling*, masa pakai yang panjang, dan faktor-faktor lainnya.

Dalam buku *An Introduction to Composite Materials*, (Clyne & Hull, 2019) menjelaskan komposit sebagai bahan material yang terdiri dari matriks dan penguat, di mana matriks adalah material yang membungkus dan mengikat penguat, sedangkan penguat adalah material yang memberikan kekuatan tambahan pada komposit, di mana setiap material tersebut memiliki sifat-sifat yang berbeda, namun digabungkan secara bersama-sama untuk menciptakan sifat-sifat yang lebih baik tanpa mengubah sifat dari masing-masing material tersebut.

Penelitian yang ditulis oleh (Radhakrishnan & Mathialagan, 2022) mengevaluasi pengaruh arah serat terhadap kekuatan tarik dan tekan komposit sandwich. Hasil menunjukkan orientasi serat 30° memiliki kekuatan lentur dan tarik, sementara orientasi serat 90° mencapai kekuatan tekan maksimum. Orientasi serat kaca berdampak signifikan pada perilaku mekanis komposit, dengan kekuatan saling mengunci antara matriks, tulangan, dan foam PET pada lapisan tengah.

Hasil penelitian oleh (R. Rahman & Putra, 2018) ini menguji kekuatan tarik antara komposit serat alami dan serat sintesis. Ditemukan komposit *fiber-reinforced polymer* memiliki sifat mekanis paling unggul sehingga dapat dipertimbangkan beberapa faktor, seperti orientasi serat, panjang dan besar serat, metode pembuatan, dan lain-lain untuk dikembangkan.

Penelitian oleh (Parmiggiani et al., 2021) bertujuan menganalisis ketahanan mekanik komponen yang dibuat dengan bahan termoplastik *continuous carbon fiber* (CCF) dengan *fused filament fabrication* (FFF), dengan fokus pada pengaruh orientasi serat pada sifat-sifat tersebut.

Sebelumnya telah ada penelitian membahas uji tarik komposit dengan variasi arah serat dan uji tarik komposit *sandwich* dengan *core foam*. Namun, belum ada penelitian melakukan uji tarik komposit panel dengan *core foam* yang tiap spesimennya memiliki lebih dari satu orientasi serat. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji kekuatan tarik komposit *sandwich* dengan tiga orientasi serat dengan berbagai jenis serat.

Metode

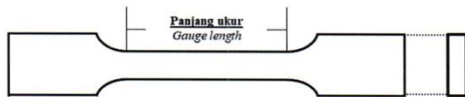
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang berfokus pada pengumpulan data numerik melalui survei, eksperimen, atau pengumpulan data sekunder, dan menggunakan analisis statistik (Creswell & Creswell, 2017). Metode kuantitatif pada dasarnya merupakan pendekatan penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis data kuantitatif, yang bisa didapatkan melalui variasi teknik pengumpulan data, termasuk pengujian spesimen (Dawadi et al., 2021; M. S. Rahman, 2020)

Uji tarik pada komposit dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik dan sifat mekanik lainnya, seperti renggangan dan kekakuan. Uji tarik dilakukan dengan menarik sampel komposit pada kecepatan konstan dan mengukur gaya dan perpindahan selama pengujian. Hasil dari uji tarik dapat memberikan informasi yang berguna untuk mengevaluasi kinerja material komposit dalam berbagai kondisi (Ahmed et al., 2021; Saha & Kumari, 2023). Gambar 2 merupakan alat untuk melakukan uji tarik.



Gambar 2. Alat Uji Tarik

Pemilihan uji tarik merupakan awal dari eksperimen penelitian yang kemudian dapat dikembangkan dengan uji lainnya. Uji tarik dalam penelitian ini menggunakan ASTM E8/E8M dengan kecepatan tarik 30 mm/menit sesuai dengan manual ASTM. Contoh bentuk sampel terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa Sampel

Hasil dari uji tarik dapat memberikan informasi yang berguna bagi para pengguna dan peneliti dalam merancang struktur komposit yang lebih kuat dan lebih ringan (Nayan & Hafli, 2022). Selain itu, uji tarik juga membantu dalam mengidentifikasi kemungkinan kegagalan dan mengembangkan strategi perbaikan dan perawatan yang tepat untuk material komposit (Ahmed et al., 2021; Lopez & Kolios, 2022).

Persamaan yang linier hubungan antara tegangan dan regangan dapat digambarkan seperti rumus di bawah ini:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

Tegangan dapat didefinisikan sebagai rasio antara gaya yang diberikan dan luas penampang awal.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Elongation atau regangan merupakan besarnya deformasi atau perubahan panjang material saat diberi gaya tarik hingga patah. Regangan dapat diinterpretasikan sebagai perbedaan antara panjang akhir dan panjang awal dibagi dengan panjang awal, kemudian dikalikan dengan persentase perubahan.;

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dengan catatan :

σ = Kekuatan Tarik (N/mm²)

F = Gaya (N)

A_0 = Luas permukaan awal (mm²)

Metode Pengumpulan Data

Studi literatur dalam penelitian adalah langkah awal yang penting untuk mendapatkan pemahaman lebih tentang topik penelitian dan meyakinkan bahwa penelitian yang dilakukan telah mempertimbangkan topik penelitian sebelumnya yang relevan. Studi literatur dalam penelitian ini dilakukan dengan mempelajari publikasi ilmiah, seperti jurnal, buku, laporan penelitian, dan sumber lain yang berkaitan dengan komposit *sandwich*, pembuatan komposit *sandwich*, orientasi serat

komposit, dan uji tarik pada komposit *sandwich*.

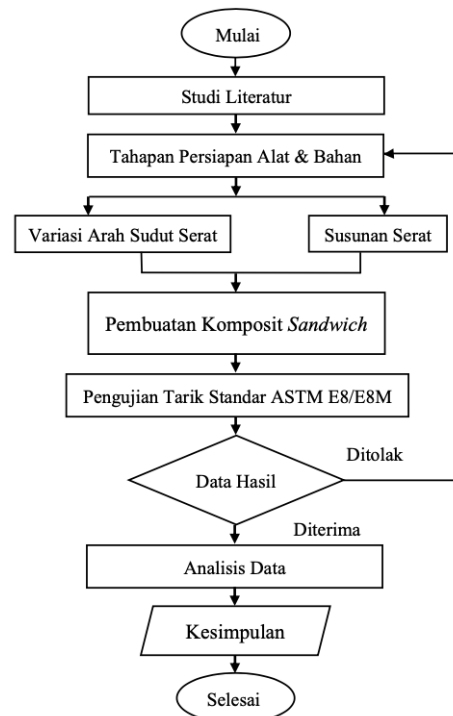
Saat studi literatur, peneliti mencari informasi tentang teori, konsep, dan kajian terdahulu tentang penelitian terkait dengan topik penelitian. Hal ini dapat membantu mengidentifikasi pendahuluan, metode penelitian, menganalisis data, dan menyusun daftar referensi yang akurat dan relevan untuk sumber dalam penulisan.

Dalam mengumpulkan data, peneliti melakukan observasi lapangan untuk langsung terlibat dalam proses pembuatan komposit *sandwich*.

Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini, panel komposit *sandwich* dibuat dengan menggabungkan *skin* komposit yang terdiri dari serat karbon, serat *fiberglass*, dan serat Kevlar. *Core* yang digunakan untuk semua spesimen adalah *foam* dengan ketebalan 8 mm. Proses pembuatan menggunakan resin *polyester* yang dicampur dengan *hardener*, dan rata-rata lebar spesimen adalah 12 mm. Tahapan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.

Data hasil pengujian nantinya akan dibandingkan *ultimate tensile strength* dan *elongation*. Hasil perbandingan dari spesimen komposit *sandwich* dapat digunakan dalam menyimpulkan pengaruh orientasi serat terhadap kekuatan tarik dan pengaruh jenis serat terhadap *elongation*.



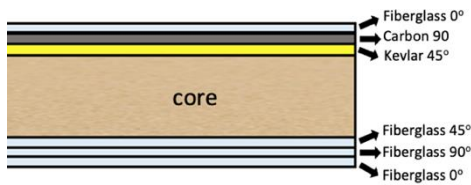
Gambar 4. Diagram alir

Dalam pembuatan komposit *sandwich*, seluruh *skin* menggunakan jenis orientasi 0° , 45° , dan 90° yang berbeda-beda di tiap spesimen. Untuk *fiberglass* memiliki orientasi 0° , 45° , dan 90° , *kevlar* memiliki orientasi 45° , dan *carbon* memiliki orientasi 90° serta susunan yang berbeda. proses pembuatan komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum bagging*. Orientasi serat dan susunan lapisan yang digunakan bersifat eksperimen dan tidak mengacu pada penelitian manapun.

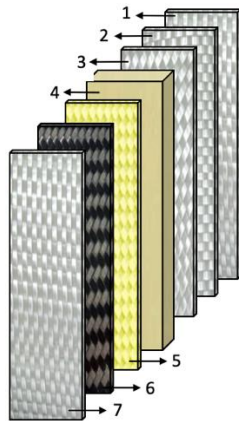
a. Desain Spesimen

Spesimen dibuat dengan variasi material, lapisan, dan sudut seperti yang ada pada Tabel 1. Spesimen 1 terbuat dari susunan *fiberglass* 0° , *fiberglass* 90° , *fiberglass* 45° , *core foam*, *kevlar* 45° , *carbon* 90° , dan *fiberglass* 0° seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Tarik Pada *Composite Sandwich* dengan *Foam Core*

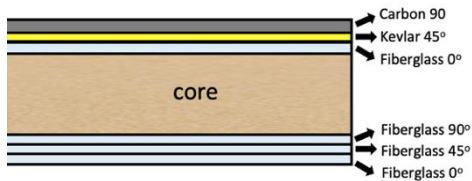


Gambar 6. Orientasi Serat Spesimen 1

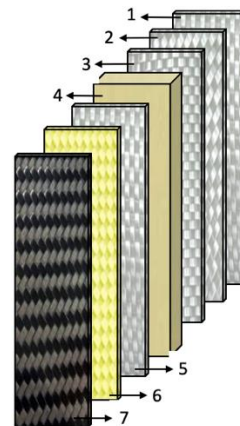


Gambar 7. Ilustrasi Spesimen 1

Spesimen 2 terbuat dari susunan *fiberglass 0°*, *fiberglass 45°*, *fiberglass 90°*, *core foam*, *fiberglass 0°*, *kevlar 45°*, dan *carbon 90°* seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9.

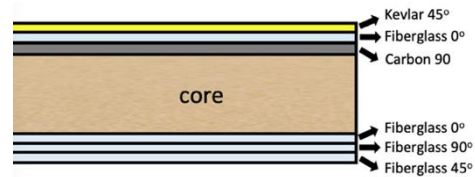


Gambar 8. Orientasi Serat Spesimen 2



Gambar 9. Ilustrasi Spesimen 2

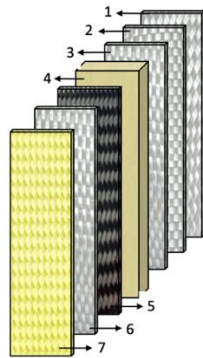
Spesimen 3 terbuat dari susunan *fiberglass 45°*, *fiberglass 90°*, *fiberglass 0°*, *core foam*, *carbon 90°*, *fiberglass 0°*, dan *kevlar 45°* seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Orientasi Serat Spesimen 3

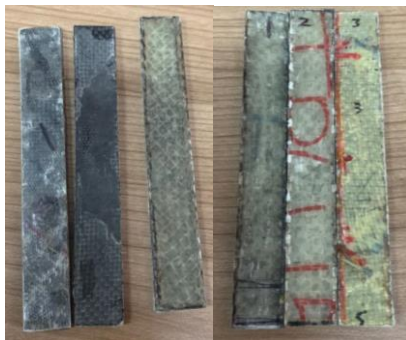
Tabel 1. Orientasi Serat Spesimen

Lapisan	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
1.	<i>Fiberglass 0°</i>	<i>Fiberglass 0°</i>	<i>Fiberglass 45°</i>
2.	<i>Fiberglass 90°</i>	<i>Fiberglass 45°</i>	<i>Fiberglass 90°</i>
3.	<i>Fiberglass 45°</i>	<i>Fiberglass 90°</i>	<i>Fiberglass 0°</i>
4.	<i>Foam</i>	<i>Foam</i>	<i>Foam</i>
5.	<i>Kevlar 45°</i>	<i>Fiberglass 0°</i>	<i>Carbon 90°</i>
6.	<i>Carbon 90°</i>	<i>Kevlar 45°</i>	<i>Fiberglass 0°</i>
7.	<i>Fiberglass 0°</i>	<i>Carbon 90°</i>	<i>Kevlar 45°</i>



Gambar 11. Ilustrasi Spesimen 3

Gambar 12 merupakan bentuk awal panel komposit *sandwich* sebelum dijadikan sampel uji tarik.



Gambar 12. Panel Komposit *Sandwich*

Hasil dan Pembahasan Uji Tarik

Dalam Tabel 2 dapat dilihat bahwa kekuatan tarik tertinggi diperoleh 145,5 MPa untuk spesimen 1 yang tersusun dari *fiberglass 0°*, *fiberglass 90°*, *fiberglass 45°*, *core foam*, *kevlar 45°*, *carbon 90°*, dan *fiberglass 0°*. Selanjutnya oleh spesimen 3 sebesar 136,8 MPa dengan susunan susunan

fiberglass 45°, *fiberglass 90°*, *fiberglass 0°*, *core foam*, *carbon 90°*, *fiberglass 0°*, dan *kevlar 45°*. Hasil uji tarik yang paling rendah ada pada spesimen 2 sebesar 130 MPa dari susunan *fiberglass 0°*, *fiberglass 45°*, *fiberglass 90°*, *core foam*, *fiberglass 0°*, *kevlar 45°*, dan *carbon 90°*.

Gambar 11, 12, dan 13 menampilkan grafik uji tarik spesimen 1, 2, dan 3 dengan nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength*, dan *fracture strength*. *Yield strength* didapatkan berturut-turut adalah, 108 MPa, 92,25 MPa, dan 95,7 MPa. *Yield strength* terkecil yang menunjukkan titik plastis atau ketidak mampuan spesimen kembali ke bentuk awal.

Fracture strength merupakan titik atau batas dari spesimen untuk patah. *Fracture strength* didapatkan berturut-turut dari spesimen 1, 2, dan 3 adalah 3,6 MPa, 2,56 MPa, dan 2,82 MPa. 1

Elongation adalah perubahan panjang relatif saat mengalami tegangan (beban) tertentu. *Elongation* didapatkan berturut-turut dari spesimen 1, 2, dan 3 adalah 2,5%, 3,74%, dan 4,26%.

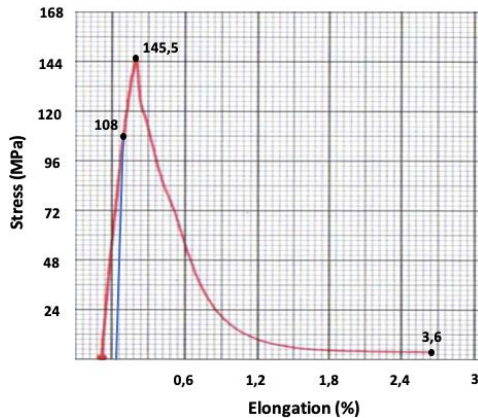
Pada ketiga grafik hasil pengujian tarik menunjukkan Teori uji tarik komposit mengacu kepada cara pengukuran dan interpretasi kekuatan material dari komposit saat ditarik pada sudut tertentu (0°, 45°, 90°) terhadap orientasi seratnya. Kekuatan tarik pada komposit bergantung dengan orientasi

Tabel 2. Hasil Uji Tarik

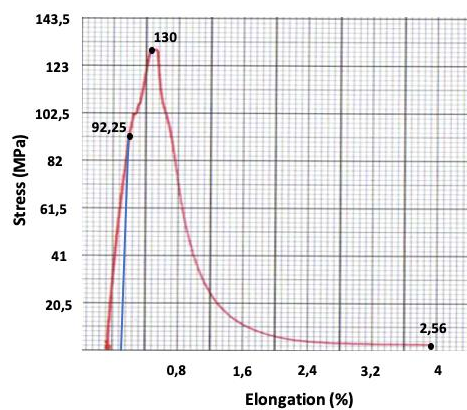
Spesimen	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Fracture Strength</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (%)
1.	145,5	108	3,6	2,5
2.	130	92,25	2,56	3,74
3.	136,8	95,7	2,82	4,26

Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Tarik Pada *Composite Sandwich* dengan *Foam Core*

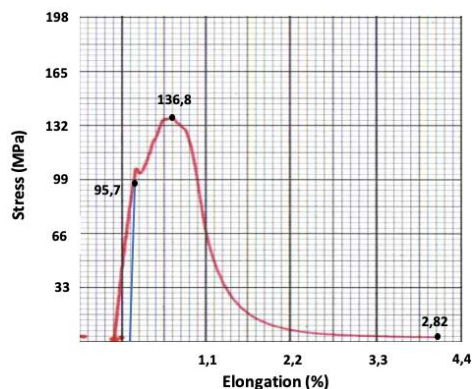
matrik, arah serat, dan interaksi antara matriks dan serat.



Gambar 11. Grafik Spesimen 1



Gambar 12. Grafik Spesimen 2



Gambar 13. Grafik Spesimen 3

Secara umum, sudut serat 0° di mana sejajar terhadap arah beban tarik paling kuat dan paling lemah ketika arah serat tegak lurus atau 90° dengan arah beban tarik. Ketika orientasi serat sejajar dengan arah beban tarik, maka serat tersebut dapat efektif untuk menahan beban tarik. Namun, ketika orientasi serat tegak lurus terhadap arah beban tarik, maka menghasilkan tegangan geser dari antarmuka serat-matriks akan lebih besar dan menyebabkan kegagalan serta kerusakan material.

Regangan pada material sandwich komposit dipengaruhi oleh jenis lapisan serat dan corenya. Pada spesimen 1 dengan lapisan serat terluar fiberglass memiliki regangan sebesar 2,5%. Pada spesimen 2 dengan lapisan serat terluar fiberglass dan karbon memiliki regangan sebesar 3,74%. Pada spesimen 3 dengan lapisan serat terluar fiberglass dan Kevlar memiliki regangan sebesar 4,26%.

Kesimpulan

Setelah melaksanakan penelitian uji tarik terhadap komposit *sandwich* dengan variasi orientasi serat, diperoleh kesimpulan bahwa spesimen 1 adalah panel komposit *sandwich* yang memiliki kekuatan tarik paling tinggi, yaitu 145,5 MPa. Hal ini selaras dengan spesimen 1 yang memiliki lapisan luar dengan sudut orientasi searah beban tarik (0°), sehingga memiliki kemampuan menahan beban tarik paling baik dibandingkan spesimen 2 dan 3.

Regangan tertinggi sebesar 4,26% pada spesimen 3 menunjukkan bahwa tingkat elastisitasnya paling bagus dan memiliki nilai kekakuan

(*stiffness*) paling rendah dibandingkan spesimen 2 dan 3.

Saran dalam pengembangan penelitian eksperimen ini dapat dilakukan uji-uji lainnya, di antaranya *bending*, *compression*, *flexural*, dan *impact test* untuk penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

- Ahmed, O., Wang, X., Tran, M.-V., & Ismadi, M.-Z. (2021). Advancements in fiber-reinforced polymer composite materials damage detection methods: Towards achieving energy-efficient SHM systems. *Composites Part B: Engineering*, 223, 109136. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109136>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: an introduction* (Vol. 7). John Wiley & Sons.
- Clyne, T. W., & Hull, D. (2019). *An introduction to composite materials*. Cambridge university press.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Dawadi, S., Shrestha, S., & Giri, R. A. (2021). Mixed-methods research: A discussion on its types, challenges, and criticisms. *Journal of Practical Studies in Education*, 2(2), 25–36.
- Delavari, K., & Dabiryan, H. (2021). Effect of Z-fiber orientation on the bending behavior of sandwich-structured composite: Numerical and experimental study. *Composite Structures*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2020.113140>
- Kroes, M. J., & Sterkenburg, R. (2013). *Aircraft maintenance & repair*. McGraw-Hill Education.
- Lopez, J. C., & Kolios, A. (2022). Risk-based maintenance strategy selection for wind turbine composite blades. *Energy Reports*, 8, 5541–5561. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.04.027>
- Mardiyati. (2018). Komposit Polimer Sebagai Material Tahan Balistik Polymer composite as ballistic-resistant material. *Jurnal Inovasi Pertahanan Dan Keamanan*, 20(1), 20–28.
- Marsono, A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel Honeycomb Sandwich Berbahan Komposit Fibreglass dengan Dimensi Cell-Pitch 40mm dan Cell-Height 30mm. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 3(2), 107–116.
- Nayan, A., & Hafli, T. (2022). Analisa Struktur Mikro Material Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 6(1), 15–24.
- Parmiggiani, A., Prato, M., & Pizzorni, M. (2021). Effect of the fiber orientation on the tensile and flexural behavior of continuous carbon fiber composites made via fused filament fabrication. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114(7), 2085–2101. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06997-5>

- Prayoga, A., Eryawanto, B., & Hadi, Q. (2018). PENGARUH KETEBALAN SKIN TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN TARIK KOMPOSIT SANDWICH DENGAN HONEYCOMB POLYPROPYLENE SEBAGAI CORE. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(1), 23–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pc.27256>
- Setiyawan D, Respati S M B, & Dzulfikar M. (2020). Analisa Kekuatan Komposit Sandwich Karbon Fiber Dengan Core Styrofoam Sebagai Material Pada Model Pesawat Tanpa Awak (Uji Tarik & Uji Bending). *Momentum*, 16(1), 1–5.
- Radhakrishnan, G., & Mathialagan, S. (2022). Effect of fiber orientation on mechanical behavior of glass fiber reinforced polyethylene terephthalate foam sandwich composite. *Materials Today: Proceedings*, 62, 624–628. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.623>
- Rahman, M. S. (2020). *The advantages and disadvantages of using qualitative and quantitative approaches and methods in language “testing and assessment” research: A literature review*.
- Rahman, R., & Putra, S. Z. F. S. (2018). Tensile properties of natural and synthetic fiber-reinforced polymer composites. In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* (pp. 81–102). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00005-9>
- Saha, A., & Kumari, P. (2023). Effect of alkaline treatment on physical, structural, mechanical and thermal properties of Bambusa tulda (Northeast Indian species) based sustainable green composites. *Polymer Composites*, 44(4), 2449–2473.