

Contents list available at [Sinta](#)**ARMATUR**

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Analisis Sifat Mekanik Uji Tarik Material Komposit Serat Karbon Epoksi 1011L dengan Metode Manufaktur yang Berbeda****Agus Bayu Utama<sup>1,2\*</sup>, Kosim Abdurohman<sup>1</sup>, Moh. Habibullah<sup>2</sup>, Rialdi Agustian<sup>2</sup>.**<sup>1</sup> Pusat Riset Teknologi Penerbangan (PRTP), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).  
Jl. Raya LAPAN, Rumpin Bogor, Jawa Barat 16350, Indonesia<sup>2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang.

Jl. Witana Harja No. 18b, Pamulang Kota Tangerang Selatan, Banten 15417, Indonesia

\* Penulis korespondensi; E-mail: [agus092@brin.go.id](mailto:agus092@brin.go.id); [dosen03147@unpam.ac.id](mailto:dosen03147@unpam.ac.id)*ARTICLE INFO**Keywords:**carbon fiber composite,  
tensile test,  
hand lay-up,  
vacuum bagging,  
vacuum assisted resin infusion  
(VARI)**ABSTRACT*

*Carbon fiber reinforced polymer composites are widely used in structural applications due to their high strength-to-weight ratio. Manufacturing methods significantly affect fiber impregnation quality, void content, and mechanical properties. This study investigates the effect of different manufacturing methods on the tensile properties of carbon fiber-epoxy 1011L composites with 0° fiber orientation. Three manufacturing methods were used: hand lay-up (HLU), vacuum bagging (VB), and vacuum assisted resin infusion (VARI). A total of 21 specimens were tested using a Universal Testing Machine (UTM) at the National Research and Innovation Agency (BRIN) following ASTM D3039. The results show that with the VARI method, the composite material has an average Ultimate Tensile Strength (UTS) of 774.31 MPa and an elastic modulus (ME) of 39313.8 MPa, followed by the vacuum bagging method (UTS of 685.69 MPa and ME of 33417.6 MPa). The hand lay-up method produced the lowest UTS (507.72 MPa) and ME (20401.6 MPa) values. The VARI method produces the best tensile properties compared to the hand lay-up and vacuum bagging methods.*

\*Corresponding author: [agus092@brin.go.id](mailto:agus092@brin.go.id)DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11171>

Received 19 February 2026; Received in revised form 7 April 2026; Accepted 21 April 2026

Available online 1 September 2026

## Pendahuluan

Komposit serat karbon merupakan material maju yang banyak digunakan pada industri kedirgantaraan, otomotif, dan energi karena memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi dengan massa yang relatif ringan [1][2]. Sifat mekanik komposit tidak hanya dipengaruhi oleh jenis serat dan matriks, tetapi juga oleh metode manufaktur yang digunakan [3]. Metode manufaktur menentukan kualitas impregnasi resin, distribusi serat, serta kandungan void yang berdampak langsung pada performa mekanik material [4][5].

Metode *hand lay-up* (HLU) merupakan metode manufaktur komposit yang paling sederhana dan ekonomis, namun sering menghasilkan variasi kualitas produk akibat kontrol proses yang terbatas [6]. Meskipun demikian, metode ini masih banyak digunakan sebagai acuan dasar (*baseline*) dalam proses manufaktur komposit karena kemudahan proses dan biaya yang rendah. Metode *vacuum bagging* (VB) dikembangkan untuk meningkatkan kualitas laminasi dengan menerapkan tekanan vakum selama proses curing sehingga mampu mengurangi kandungan void [7]. Sementara itu, metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI) menawarkan kontrol impregnasi resin yang lebih baik melalui aliran resin yang dikendalikan oleh tekanan vakum, sehingga menghasilkan laminat dengan kualitas mekanik yang lebih konsisten [8][9].

Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa metode manufaktur berbasis vakum mampu meningkatkan sifat tarik komposit secara signifikan dibandingkan metode manual. Sebagai contoh, penelitian [10] melaporkan bahwa metode *vacuum infusion* dapat meningkatkan kekuatan tarik hingga lebih dari 40% dibandingkan metode *hand lay-up*. Sementara penelitian lain [10–12]. Menunjukkan peningkatan kekakuan dan konsistensi sifat mekanik akibat berkurangnya kandungan void. Namun demikian, perbandingan eksperimental antara metode HLU, VB, dan VARI dengan

material dan orientasi serat yang sama masih terbatas,

Selain itu, karakteristik resin epoksi 1011L yang memiliki kemampuan adhesif dan impregnasi yang lebih baik berpotensi menghasilkan performa mekanik yang optimal, namun belum banyak dilaporkan secara spesifik dalam kombinasi dengan berbagai metode manufaktur. Oleh karena itu, kajian terhadap material ini menjadi penting untuk memahami pengaruh perbedaan metode manufaktur terhadap kualitas komposit yang dihasilkan.

Dalam penelitian ini, digunakan orientasi serat *unidirectional* ( $0^\circ$ ) yang sejajar dengan arah pembebanan tarik. Pemilihan orientasi ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat tarik maksimum komposit, di mana beban utama ditahan oleh serat karbon sehingga dapat mempresentasikan performa mekanik material lebih akurat

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara eksperimental sifat mekanik tarik komposit serat karbon epoksi 1011L dengan orientasi serat  $0^\circ$  yang diproduksi menggunakan metode *hand lay-up*, *vacuum bagging*, dan *vacuum assisted resin infusion* (VARI). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah database tentang sifat material komposit yang ada di Pusat Riset Teknologi Penerbangan (PRTP) Bada Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

## Metode Penelitian

### Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat karbon sebagai penguat dan resin epoksi 1011L sebagai matriks. Serat karbon disusun dengan orientasi serat *unidirectional* ( $0^\circ$ ), sehingga arah serat sejajar dengan arah pembebanan tarik. Pemilihan orientasi ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat tarik maksimum komposit, di mana beban utama ditahan oleh serat karbon sepanjang arah pembebanan [13], [14]. Jenis serat karbon yang digunakan adalah *carbon fiber*, yang memungkinkan transfer beban secara optimal pada arah serat. Resin epoksi 1011L

dicampur dengan hardener dengan ratio 2; 1 dan volume resin 70% serat 30%, untuk memastikan proses curing berlangsung optimal. Pemilihan resin epoksi 1011L didasarkan pada karakteristik adhesi yang baik, kemampuan impregnasi yang tinggi, serta kompatibilitasnya dengan serat karbon sehingga memungkinkan transfer beban yang efektif pada komposit serat karbon epoksi [15], [16].



Gambar 1. Serat karbon yang sedang ditimbang dan resin 1011 L serta hardener

### Metode Manufaktur Hand Lay-Up (HLU)

Metode *hand lay-up* dilakukan dengan cara mengimpregnasi serat karbon secara manual menggunakan resin epoksi, dimana resin secara langsung diaplikasikan ke serat menggunakan kuas atau roller tanpa tekanan vakum dengan perbandingan ratio serat 30% resin 70 %. Proses ini dilakukan tanpa tekanan vakum dan waktu curing 24 jam pada suhu ruang, sehingga kualitas impregnasi sangat bergantung pada keterampilan operator dan distribusi resin yang seragam [6]. Metode ini relatif sederhana dan ekonomis, namun berpotensi menghasilkan kandungan void yang lebih tinggi karena kurangnya kompaksi dan penghapusan udara yang efektif selama proses, yang berdampak pada variasi sifat mekanik akhir [3], [4].

### Vacuum Bagging (VB)

Metode *vacuum bagging* (VB) dilakukan dengan menutup laminat menggunakan film plastik vakum dan menerapkan tekanan vakum sebesar 100 Psi selama 24 jam proses curing, dengan perbandingan ratio serat 30% resin 70 %. Dan suhu ruang sebesar 29,6°C. Penerapan tekanan vakum ini berperan dalam meningkatkan kompaksi laminat,

memperbaiki kontak antara serat dan matriks, serta membantu mengurangi udara terperangkap di dalam struktur komposit. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penggunaan tekanan vakum pada metode *vacuum bagging* mampu menghasilkan laminat dengan kualitas impregnasi resin yang lebih baik dan kandungan void yang lebih rendah dibandingkan metode *hand lay-up*, sehingga memberikan peningkatan sifat mekanik, khususnya kekuatan tarik dan kekakuan material [17], [18], [19].

### Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)

Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) dilakukan dengan mengalirkan resin epoksi ke dalam tumpukan serat kering (*dry fiber preform*) menggunakan tekanan vakum sebesar 100 Psi selama 24 jam proses curing, dengan perbandingan ratio serat 30% resin 70 %. Dan suhu ruang sebesar 28,5°C. Pada proses ini, resin ditarik secara merata melalui *preform* serat sehingga memungkinkan kontrol aliran resin yang lebih baik dan menghasilkan impregnasi yang lebih homogen dibandingkan metode HLU dan VB. Literatur menunjukkan bahwa komposit yang diproduksi dengan metode VARI memiliki distribusi resin yang lebih seragam dan kandungan void yang lebih rendah, yang berdampak pada peningkatan sifat mekanik, termasuk kekuatan tarik dan konsistensi performa mekanik antar spesimen [18], [19], [20], [21], [22].

### Spesimen Uji

Spesimen uji tarik dibuat sesuai standar ASTM D3039 untuk material komposit berpenguat serat *unidirectional* (0°). Total spesimen yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 21 spesimen, dengan masing-masing metode manufaktur terdiri dari 7 Spesimen untuk memastikan *repeatability* dan *validitas* data hasil pengujian.

### Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine

(UTM) di fasilitas BRIN sesuai dengan standar ASTM D3039 [23]. Parameter yang diukur meliputi *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan modulus elastisitas (ME) untuk masing- masing metode manufaktur

Gambar 2 Pengujian tarik spesimen komposit menggunakan UTM. Spesimen dipasang pada grip UTM dengan penjepitan yang sejajar untuk memastikan pembebanan tarik aksial tanpa eksentrisitas. Seluruh pengujian dilakukan sesuai dengan standar ASTM D3039, yang merupakan standar pengujian tarik untuk material komposit polimer berpenguat serat kontinu.



Gambar 2. Pengujian tarik spesimen komposit menggunakan UTM.

Spesimen uji memiliki orientasi serat *unidirectional* ( $0^\circ$ ), terhadap arah pembebanan tarik, sehingga respons mekanik yang diukur didominasi oleh kontribusi serat karbon. Beban tarik diberikan secara monoton hingga spesimen mengalami kegagalan, dan data gaya serta regangan direkam secara kontinu untuk menghasilkan kurva tegangan-regangan. Dari hasil pengujian ini diperoleh nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan modulus elastisitas (ME) untuk masing- masing metode manufaktur.

### Hasil dan Pembahasan

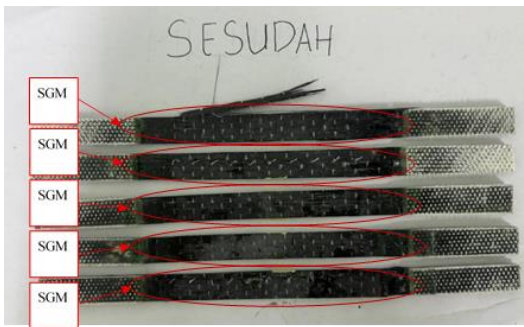
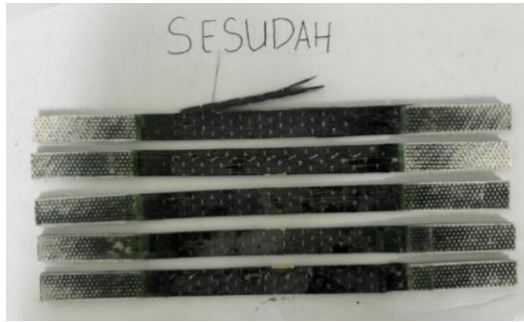
Penggunaan orientasi serat *unidirectional* ( $0^\circ$ ) bertujuan untuk mengevaluasi performa maksimum komposit terhadap beban tarik searah serat. Gambar 3 memperlihatkan bahwa kondisi spesimen mengalami kegagalan pada daerah

pengukuran (*gauge length*), yang menunjukkan bahwa penjepitan dan pembebanan selama pengujian telah berlangsung dengan baik sesuai standar ASTM D3039 [23].



Gambar 3. Kondisi spesimen metode HLU yang telah diuji tarik

Pola kegagalan yang terjadi pada spesimen HLU didominasi oleh *longitudinal splitting* yang terjadi di daerah *gage middle*, serta beberapa spesimen menunjukkan kegagalan di area *grip* berupa *lateral failure* yang mengindikasikan terjadinya *fiber breakage*, serta pada beberapa spesimen teramati adanya delaminasi lokal. Kondisi ini menunjukkan bahwa ikatan antara serat dan matriks belum terbentuk secara optimal. Secara teoritis, hal ini dapat dipengaruhi distribusi resin yang kurang merata serta kandungan void yang relatif tinggi pada komposit hasil proses HLU [3], [6]. ketidaksempurnaan antarmuka serat matriks diketahui dapat bertindak sebagai konsentrator tegangan yang memicu inisiasi retak dan delaminasi dini, sehingga kegagalan terjadi sebelum pemanfaatan kekuatan maksimum serat [17], [18], [19].

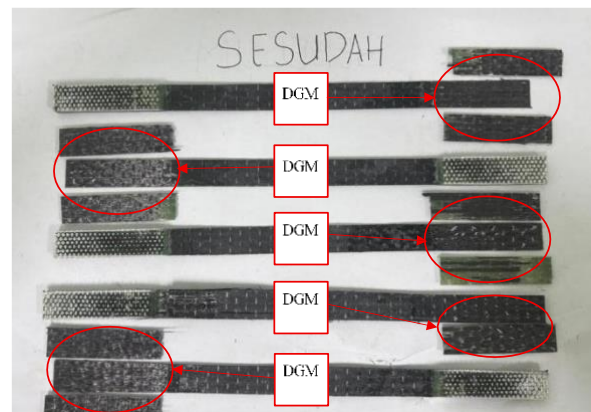
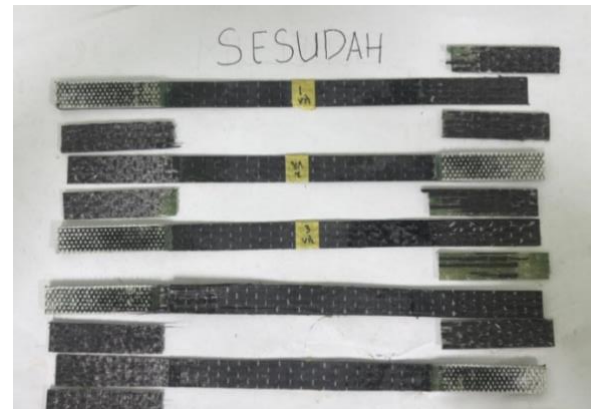


Gambar 4. Hasil spesimen metode VB yang telah diuji tarik

Berbeda dengan metode HLU, Gambar 4 Spesimen metode VB menunjukkan seluruh spesimen mengalami kegagalan berupa *longitudinal splitting* di daerah *gage middle*. Didominasi oleh *fiber breakage* searah orientasi serat yang disertai dengan *matrix cracking* dan delaminasi dalam skala yang lebih terbatas dibandingkan dengan metode HLU. Mekanisme kegagalan ini menunjukkan bahwa penerapan tekanan vakum selama proses manufaktur mampu meningkatkan kualitas impregnasi resin, memperbaiki kontak serat matriks, serta menurunkan kemungkinan terbentuknya void, sehingga menghasilkan ikatan antarmuka yang lebih baik dan perilaku mekanik yang lebih stabil [17], [18].

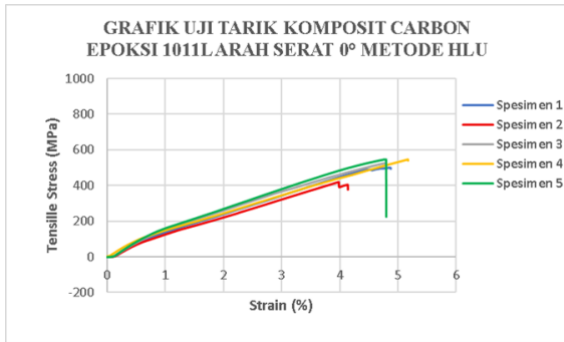
Pada metode VARI, seperti terlihat pada Gambar 5 pola pola kegagalan didominasi oleh *edge delamination* di daerah *gage middle*. Mode ini menunjukkan terjadinya pemisahan antar lapisan (delaminasi), yang mengindikasikan bahwa transfer beban antar lamina berlangsung efektif hingga mendekati batas kekuatan material, yang mengindikasikan distribusi tegangan lebih merata selama pembebanan.

Hal ini menunjukkan bahwa proses impregnasi resin yang lebih baik serta ikatan serat–matriks yang lebih optimal.



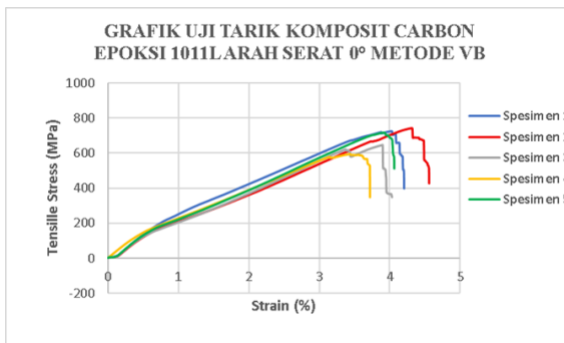
Gambar 5. Kondisi spesimen metode VARI yang telah diuji tarik

Berdasarkan standar ASTM D3039, kegagalan yang terjadi pada daerah *gage section* dikategorikan sebagai kegagalan yang valid karena terjadi pada area utama pembebanan. Sebaliknya, kegagalan di area *grip* perlu diperhatikan karena dapat dipengaruhi oleh kondisi penjepitan. Secara keseluruhan, klasifikasi mode kegagalan pada ketiga metode manufaktur telah sesuai dengan kriteria yang ditetapkan dalam ASTM D3039, sehingga hasil pengujian tarik dapat dianggap valid.



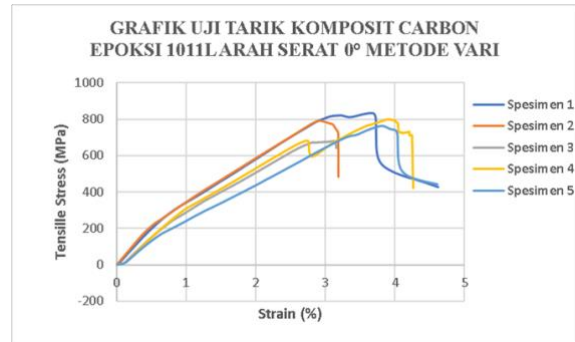
Gambar 6. Kurva tegangan–regangan uji tarik metode HLU.

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan tegangan–regangan hasil uji tarik material komposit serat karbon resin epoksi 1011L dengan orientasi serat  $0^\circ$  yang dibuat menggunakan metode HLU. Terlihat bahwa seluruh spesimen menunjukkan pola respons mekanik yang relatif serupa. Pada tahap awal pembebanan, kurva tegangan–regangan menunjukkan kecenderungan linear, yang mengindikasikan perilaku elastis material komposit hingga mendekati batas proporsional.



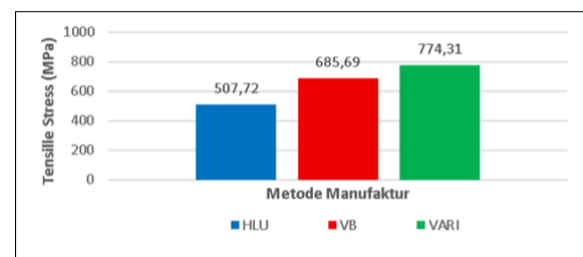
Gambar 7. Kurva tegangan–regangan uji tarik metode VB.

Gambar 7 adalah grafik hubungan tegangan–regangan hasil uji tarik komposit serat karbon resin epoksi 1011L dengan orientasi serat  $0^\circ$  yang diproduksi menggunakan metode VB. Perilaku mekanik terlihat lebih konsisten dibandingkan metode HLU. Seluruh spesimen memperlihatkan respons elastis yang hampir linear pada tahap awal pembebanan, yang menandakan transfer beban yang efektif dari matriks ke serat karbon searah orientasi serat.



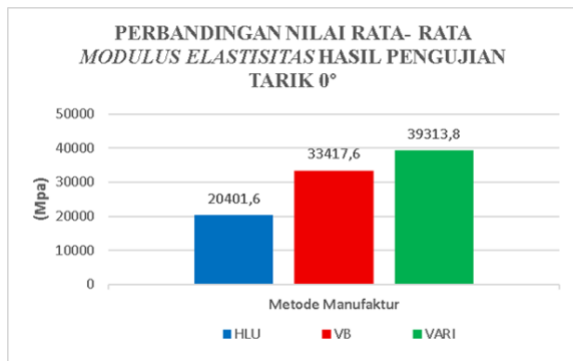
Gambar 8. Kurva tegangan–regangan uji tarik metode VARI.

Grafik hubungan tegangan regangan hasil uji tarik komposit serat karbon resin epoksi 1011L dengan orientasi serat  $0^\circ$  yang diproduksi menggunakan metode VARI ditunjukkan pada Gambar 8. Performa mekanik nya adalah tertinggi dibandingkan metode HLU dan VB. Seluruh spesimen memperlihatkan respons elastis yang linear hingga mendekati titik kegagalan, yang mengindikasikan transfer beban yang sangat efektif dari matriks ke serat karbon searah orientasi serat.



Gambar 9. Perbandingan nilai rata-rata *Ultimate Tensile Strength* (UTS).

Gambar 9 adalah perbandingan nilai rata-rata *Ultimate Tensile Strength* (UTS), dimana terlihat pengaruh yang signifikan dari metode manufaktur terhadap kekuatan tarik material komposit serat karbon–resin epoksi 1011L dengan orientasi serat  $0^\circ$ . Metode HLU menghasilkan nilai UTS terendah sebesar 507,72 MPa, diikuti oleh metode VB sebesar 685,69 MPa, sedangkan nilai UTS tertinggi diperoleh pada metode VARI yaitu sebesar 774,31 MPa.



Gambar 10. Perbandingan nilai rata-rata modulus elastisitas (ME).

Gambar 10 adalah perbandingan nilai rata-rata modulus elastisitas (ME) yang menunjukkan pengaruh metode manufaktur yang signifikan terhadap kekakuan material komposit serat karbon resin epoksi 1011L dengan orientasi serat  $0^\circ$ . Metode HLU menghasilkan nilai ME terendah sebesar 20.401,6 MPa, diikuti oleh metode VB sebesar 33.417,6 MPa, sedangkan nilai ME tertinggi diperoleh pada metode VARI sebesar 39.313,8 MPa.

Peningkatan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dari metode HLU ke VB sebesar sekitar 35,1%, peningkatan nilai UTS dari metode VB ke VARI sebesar sekitar 12,9%, peningkatan nilai UTS dari metode HLU ke VARI mencapai sekitar 52,5% menunjukkan bahwa metode manufaktur berbasis vakum memiliki pengaruh dominan dalam meningkatkan sifat mekanik komposit serat karbon epoksi. Hasil ini sejalan dengan temuan berbagai penelitian dalam satu dekade terakhir yang melaporkan bahwa metode VARI mampu menghasilkan komposit dengan porositas lebih rendah dan sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan metode manual dan semi-vakum [18], [19].

Peningkatan nilai ME dari metode HLU ke VB mencapai sekitar 63,8%, peningkatan nilai modulus elastisitas dari metode VB ke VARI sebesar sekitar 17,7%, peningkatan nilai modulus elastisitas dari metode HLU ke VARI mencapai sekitar 92,7% menunjukkan bahwa metode manufaktur berbasis vakum, khususnya

VARI, sangat efektif dalam meningkatkan kekakuan material komposit serat karbon epoksi. Nilai modulus elastisitas yang tinggi ini sejalan dengan peningkatan nilai kekuatan tarik yang diperoleh pada metode VARI, sehingga menunjukkan konsistensi antara sifat kekuatan dan kekakuan material.

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa metode manufaktur berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik komposit. Metode VARI menghasilkan nilai UTS dan ME tertinggi, diikuti oleh metode VB dan HLU. Perbedaan ini disebabkan oleh kualitas impregnasi resin dan kandungan void yang berbeda pada setiap metode manufaktur [9][11][18].

## Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode manufaktur berpengaruh signifikan terhadap sifat tarik komposit serat karbon-epoksi 1011L dengan orientasi *unidirectional* ( $0^\circ$ ). Metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI) menghasilkan performa tertinggi dengan *Ultimate Tensile Strength* (UTS) sebesar 774.31 MPa dan *modulus elastisitas* 39.313,8 MPa, diikuti *vacuum bagging* (685.69 MPa; 33.417,6 MPa) dan *hand lay-up* (507.72 MPa; 20.401,6 MPa). Peningkatan dari *hand lay-up* ke VARI mencapai 52.5% untuk kekuatan tarik dan 92.7% untuk modulus elastisitas.

Dari sisi kegagalan uji spesimen pada metode *hand lay-up* dan *vacuum bagging* didominasi longitudinal splitting, sedangkan metode VARI menunjukkan *edge delamination*, yang mengindikasikan kualitas laminasi dan transfer beban yang lebih baik.

Metode VARI memberikan performa mekanik terbaik dan direkomendasikan untuk aplikasi struktural yang membutuhkan kekuatan dan kekakuan tinggi.

## Referensi

- [1] R. F. Gibson, *Principles of Composite Material Mechanics*, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2016.
- [2] C. Soutis and P. T. Curtis, "Carbon fiber reinforced composites in aerospace engineering," *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 78, pp. 1–26, 2016.
- [3] P. Feraboli, E. et al., "Integrated characterization of composite manufacturing defects and related mechanical properties," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 90, pp. 116–125, 2016.
- [4] R. Oliveira, R. Marques, and J. A. M. Ferreira, "Influence of void content on the mechanical performance of carbon fiber reinforced polymer composites manufactured by hand lay-up," *Composites Part B: Engineering*, vol. 152, pp. 286–295, 2018.
- [5] A. R. Ghasemi, M. Z. Hassan, and M. H. A. Majid, "Effect of voids on tensile and flexural properties of carbon fiber reinforced polymer composites," *Composite Structures*, vol. 236, Art. no. 111836, 2020.
- [6] L. Sorrentino, A. Bellini, and S. Carrino, "Manufacturing and mechanical characterization of CFRP laminates produced by hand lay-up," *Composites Part B: Engineering*, vol. 113, pp. 298–305, 2017.
- [7] J. Summerscales, S. R. Grove, and S. N. M. Z. Uddin, "Vacuum bagging and resin infusion processes for composite manufacturing," *Compos. Part A*, vol. 83, pp. 108–118, 2016.
- [8] I. Baran, et al, "A review on the mechanical performance of vacuum infused CFRP composites," *Compos. Part B*, vol. 113, pp. 153–162, 2017.
- [9] L. Liu, Y. Zhang, and X. Chen, "Mechanical properties of CFRP laminates manufactured by vacuum assisted resin infusion molding," *Polymers*, vol. 12, no. 9, Art. no. 2015, 2020.
- [10] X. Li, Y. Zhang, and J. Tao, "Effect of manufacturing method on tensile behavior of carbon fiber reinforced polymer composites," *Materials & Design*, vol. 115, pp. 91–99, 2017.
- [11] P. Alam, D. Mamalis, and C. Soutis, "Tensile properties of CFRP laminates manufactured using different processing techniques," *Materials*, vol. 11, no. 3, Art. no. 420, 2018.
- [12] G. Raju, S. Kumar, and R. K. Singh, "Influence of manufacturing defects on tensile strength of CFRP laminates," *Compos. Part C*, vol. 5, Art. no. 100152, 2021.
- [13] R. F. Gibson, *Principles of Composite Material Mechanics*, 6th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.
- [14] C. Soutis, "Fibre reinforced composites in aircraft construction," *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 41, no. 2, pp. 143–151, 2015.
- [15] D. Hull and T. W. Clyne, *An Introduction to Composite Materials*, 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 2019.
- [16] K. Naito, Y. Seki, and R. Inoue, "Tensile properties of carbon-fiber-reinforced epoxy composites considering fiber orientation and interfacial bonding," *Journal of Composites Science*, vol. 7, no. 4, p. 146, 2023.
- [17] F. Setiawan, I. R. Putra, D. Wichaksono, et al., "A comparison of vacuum infusion, vacuum bagging, and hand lay-up process on the compressive and shear properties of GFRP materials,"

Indonesian Journal of Aerospace, vol. 21, no. 1, pp. 39–50, Jun. 2023.

[18] A. A. Talabari, M. H. Alaei, and H. R. Shalian, “Experimental investigation of tensile properties in a glass/epoxy sample manufactured by vacuum infusion, vacuum bag and hand lay-up process,” *Revista de la Construcción*, vol. 10, no. 3, pp. 179–187, 2019.

[19] K. Abdurohman, et al, “A comparison of vacuum infusion, vacuum bagging, and hand lay-up process on the compressive and shear properties of GFRP materials,” *Indonesian Journal of Aerospace*, vol. 21, no. 1, pp. 39–50, Jun. 2023.

[20] R. Shen, T. Liu, H. Liu, et al., “An enhanced vacuum-assisted resin transfer molding process and its pressure effect on resin infusion behavior and composite material performance,” *Polymers*, vol. 16, no. 10, Art. no. 1386, May 2024, doi:10.3390/polym16101386.

[21] B. Grisin, et al, “Vacuum chamber infusion for fiber-reinforced composites: process and material characterization,” *Polymers*, vol. 16, no. 19, Art. no. 2763, Sep. 2024.

[22] J. Juan, A. Silva, J. A. Tornero, et al., “Void content minimization in vacuum infusion (VI) via effective degassing,” *Polymers*, vol. 13, no. 17, Art. no. 2876, Aug. 2021.

[23] ASTM International, “Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials,” *ASTM D3039/D3039M-17*, West Conshohocken, PA, USA, 2017.