

Pengaruh Variasi Tekanan Vakum Pada Metode Infusi Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Karbon Berinti *Honeycomb*

Jihaan Nafiisah Octaviani

D4 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: jihaannafiisah.21032@mhs.unesa.ac.id

Firman Yasa Utama

D4 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: firmanutama@unesa.ac.id

Abstrak

Panel pintu merupakan komponen struktural pada bodi kendaraan yang berfungsi sebagai akses keluar-masuk penumpang serta pelindung terhadap benturan. Material logam seperti baja dan aluminium masih banyak digunakan karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Namun, kelemahan utama dari material logam adalah relatif berat. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi material alternatif yang lebih ringan namun tetap memiliki kekuatan dan ketahanan struktural yang baik, salah satunya adalah penggunaan komposit *sandwich* berbasis serat karbon dan inti *honeycomb*. Komposit ini memiliki karakteristik utama berupa bobot yang ringan, sehingga dapat dijadikan sebagai solusi pengganti material logam pada panel pintu kendaraan. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tekanan terhadap kekuatan tarik komposit *sandwich* yang diproses menggunakan metode *vacuum infusion*. Metode *vacuum infusion* dipilih karena mampu menghasilkan komposit dengan homogenitas tinggi dan minim cacat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan vakum berpengaruh terhadap impregnasi resin dan kekuatan tarik. Nilai tegangan tarik tertinggi diperoleh pada tekanan -1 bar sebesar 21,94 MPa, sedangkan tegangan tarik terendah terdapat pada tekanan -0,8 bar sebesar 12,25 MPa.

Kata Kunci: *Honeycomb*, Kekuatan tarik, Komposit *sandwich*, Serat karbon, *Vacuum infusion*

Abstract

Door panels are structural components in vehicle bodies that serve as access points for passengers and provide protection against impact. Metallic materials such as steel and aluminum are still widely used due to their high mechanical strength. However, the main drawback of these metals is their relatively heavy weight. Therefore, innovative alternative materials that are lighter yet still possess good mechanical strength and structural integrity are required. One such alternative is the use of sandwich composites based on carbon fiber skins and a honeycomb core. These composites are characterized by their lightweight nature, making them a potential substitute for metals in vehicle door panels. This study aims to analyze the effect of vacuum pressure variations on the tensile strength of sandwich composites manufactured using the vacuum infusion method. The vacuum infusion method was chosen due to its ability to produce composites with high homogeneity and minimal defects. The test results show that increasing vacuum pressure significantly affects resin impregnation and tensile strength. The highest tensile stress was obtained at a vacuum pressure of -1 bar with a value of 21.94 MPa, while the lowest tensile stress was recorded at -0.8 bar with a value of 12.25 MPa.

Keywords: *Honeycomb*, Tensile strength, Sandwich composite, Carbon fiber, Vacuum infusion

PENDAHULUAN

Panel pintu merupakan komponen struktural pada bodi kendaraan yang berfungsi sebagai akses keluar masuk sekaligus pelindung terhadap benturan. Material logam seperti baja dan aluminium masih sering digunakan karena kekuatan mekanik yang tinggi (Nurjaman et al., 2020). Namun, kelemahan utama dari material logam adalah bobot relatif berat. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi material yang lebih ringan, tetapi memiliki kekuatan dan ketahanan struktural yang baik untuk menjaga performa kendaraan (Kolodziejcki et al., 2020).

Salah satu material alternatif yang dapat dikembangkan adalah komposit *sandwich*. Struktur komposit ini, umumnya tersusun atas lapisan serat karbon sebagai kulit luar, *honeycomb* sebagai inti, serta resin sebagai matriks pengikat (Vaidya & Kumar, 2015). Karakteristik utama dari komposit *sandwich* adalah bobot

yang ringan, rasio kekuatan yang tinggi, serta ketahanan yang baik terhadap korosi. Keunggulan ini menjadikan material komposit *sandwich* sebagai solusi untuk dijadikan pengganti material logam pada panel pintu kendaraan (Birman & Kardomateas, 2018).

Dalam proses pembuatannya, metode *vacuum infusion* menjadi salah satu teknik manufaktur yang banyak digunakan karena mampu menghasilkan komposit dengan homogenitas tinggi dan minim cacat (Shah et al., 2016). Namun, dalam proses *vacuum infusion*, pengendalian tekanan vakum menjadi faktor utama yang berpengaruh terhadap impregnasi resin ke dalam serat penguat dan inti komposit *sandwich*. Jika tekanan terlalu rendah, resin tidak terserap secara optimal menyebabkan area yang tidak terimpregnasi sempurna, sehingga mengurangi kekuatan mekanik komposit *sandwich*. Sebaliknya, jika tekanan yang terlalu tinggi dapat mempercepat aliran resin, meningkatkan porositas, serta mengurangi kepadatan dan

kekuatan mekanik komposit *sandwich* (Kureemun et al., 2017). Oleh karena itu, pemilihan tekanan vakum yang optimal sangat penting untuk memastikan kualitas komposit *sandwich* yang dihasilkan.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tekanan vakum memengaruhi sifat mekanik komposit *sandwich*, dengan hasil kekuatan bending tertinggi bervariasi pada tekanan vakum -0,8 bar 21,5 MPa dan -0,9 bar 5,88 MPa (Saensuriwong, 2021)(Asyahid, 2022). Perbedaan hasil ini menunjukkan bahwa tekanan vakum memiliki pengaruh besar terhadap sifat mekanik komposit *sandwich*, terutama dalam distribusi resin dan struktur internal komposit (Belhaouchet et al., 2016). Namun demikian, sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada kekuatan lentur. Penelitian yang secara khusus menganalisis pengaruh variasi tekanan vakum terhadap kekuatan tarik, terutama pada struktur *sandwich* berbasis serat karbon dan inti *honeycomb*, masih relatif terbatas. Padahal, kekuatan tarik merupakan parameter penting dalam menilai kekuatan material terhadap gaya yang bekerja selama penggunaannya, khususnya pada komponen struktural kendaraan seperti panel pintu (Vaidya & Janowski, 2015). Hal ini menunjukkan perlunya kajian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi tekanan vakum pada metode infusi kekuatan tarik serat karbon berinti *honeycomb*, guna mendukung pengembangan material alternatif ringan dan kuat untuk panel pintu kendaraan.

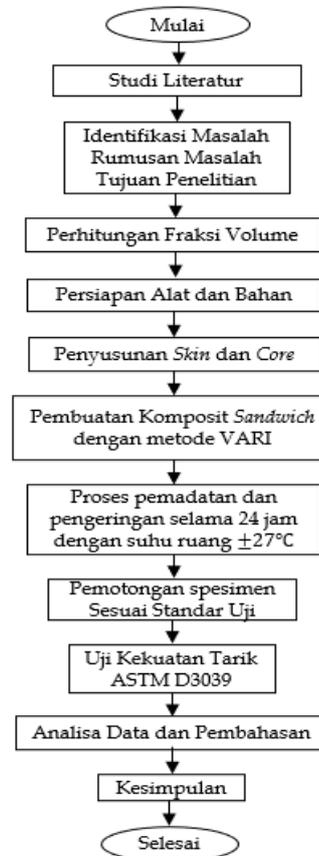
METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan tujuan menganalisis pengaruh tekanan vakum terhadap kekuatan tarik komposit berbahan serat karbon dengan inti *honeycomb*.

- Waktu dan Lokasi Penelitian
 1. Waktu Penelitian
Penelitian dilakukan pada bulan Maret – Mei 2025.
 2. Lokasi Penelitian
Pembuatan spesimen dilaksanakan di bengkel Garnesa Racing Team, Universitas Negeri Surabaya. Sementara, pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.
- Variabel Penelitian
 1. Variabel Bebas
Merujuk pada hasil penelitian (asyahid) menunjukkan tekanan vakum -0,9 bar menghasilkan kekuatan bending tertinggi 5,88 MP. Maka, digunakan variasi tekanan vakum -0,8, -0,9, dan -1 bar sebagai variabel bebas.
 2. Variabel Terikat
Hasil uji kekuatan tarik.
 3. Variabel Kontrol
 - a. Matriks yang digunakan yaitu jenis resin epoksi merk CHEMPOXY dengan hardener.
 - b. Perbandingan resin dan hardener 2:1.

- c. Proses pengeringan dan pemadatan dilakukan pada suhu ruang ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam.
- d. Menggunakan serat karbon sebagai kulit sebanyak 1 lapis atas dan bawah dengan komposisi 3K 220 g/m², 2x2 twill.
- e. Inti yang digunakan yaitu *honeycomb* polypropelene dengan ketebalan 8 mm, densitas 80 kg/m³.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Proses Pembuatan Komposit *Sandwich*

1. Tahap awal meliputi persiapan alat dan bahan yang diperlukan.
2. Pemotongan *skin*, *core*, *peel ply*, dan infusikan mesh disesuaikan dengan dimensi komposit yang akan dibuat.
3. Penyusunan *skin*, *core*, *peel ply*, dan infusikan mesh dilakukan secara berurutan setelah penyemprotan adhesive, diikuti dengan pemasangan selang spiral dan perekatan plastik bag menggunakan sealent tape.
4. Selang infuse dipasang untuk menghubungkan wadah resin ke cetakan, cetakan ke *catch pot*, dan *catch pot* ke pompa vakum.
5. Mengatur tekanan vakum -0,8, -0,9, -1 bar pada pressure gauge, disertai dengan pengecekan kebocoran. Jika ditemukan kebocoran, instalasi plastik bag diulang.

- Resin dan hardener ditimbang sesuai perbandingan, kemudian dicampur hingga homogen. Proses infusi dilakukan dengan mengalirkan resin ke dalam cetakan hingga seluruh permukaan komposit terimpregnasi secara merata.

Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menahan beban tarik hingga terjadi kegagalan atau putusnya spesimen. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D3039 dengan ukuran 175 × 25 × 8,57 mm. Untuk menghitung tegangan tarik dapat menggunakan persamaan (Aini et al., 2023):

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Regangan tarik dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (2)$$

Sedangkan untuk menentukan modulus elastisitas digunakan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- σ : Tegangan tarik (MPa)
- P : Beban tarik maksimum (N)
- A : Luas penampang spesimen uji (mm²)
- ε : Regangan tarik (%)
- ΔL : Elongasi (mm)
- L : Panjang awal spesimen (mm)
- E : Modulus elastisitas (MPa)



Gambar 2. Mesin Uji Tarik

Prosedur Foto Makro

Foto makro bertujuan untuk mengamati jenis patahan spesimen komposit sandwich yang telah diuji kekuatan tarik dengan menggunakan perbesaran kamera. Berikut langkah-langkah foto makro:

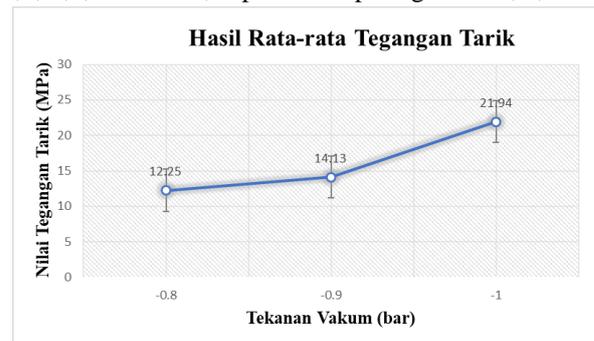
- Tempatkan spesimen patahan pada meja yang datar dan stabil.
- Siapkan kamera dan beberapa peralatan penunjang.
- Atur kamera dengan jarak yang sesuai dari spesimen untuk menangkap detail permukaan patahan secara dekat
- Pastikan fokus kamera terarah pada area patahan yang ingin dianalisa, seperti garis patahan atau lapisan dalam komposit sandwich yang terbuka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

Tekanan Vakum (bar)	Spesimen	Beban Tarik Maksimum (kg)	Elongasi/ΔL (mm)	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)
-0,8	1	255,20	37,42	11,68	21,38	54,63
	2	230,60	32,92	10,56	18,81	56,14
	3	316,60	32,92	14,50	19,66	73,75
	Rata-rata	267,47	34,42	12,25	19,95	61,50
-0,9	1	292,20	22,71	13,38	12,97	103,16
	2	393,80	29,54	17,99	16,88	106,57
	3	240,60	37,46	11,02	21,40	51,49
	Rata-rata	308,86	29,90	14,13	17,08	87,07
-1	1	437,60	26,88	20,04	15,36	130,46
	2	509,40	34,98	23,32	19,98	116,71
	3	490,60	23,37	22,46	13,35	168,23
	Rata-rata	479,20	28,41	21,94	16,23	138,46

Tabel 1. Menunjukkan hasil pengujian tarik berupa beban tarik maksimum (kg) dan elongasi/ΔL (mm). Dari hasil tersebut digunakan untuk menghitung tegangan (MPa), regangan (%), dan modulus elastisitas (MPa). Hasil perhitungan rata-rata tegangan, regangan, dan modulus elastisitas untuk masing-masing variasi tekanan vakum -0,8,-0,9, dan -1 bar, dapat dilihat pada gambar 3, 4, dan 5.



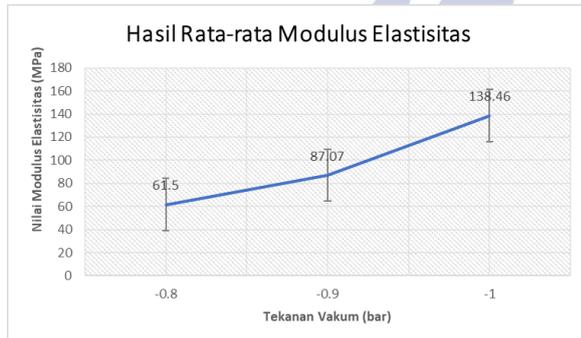
Gambar 3. Grafik Hasil Rata-rata Tegangan Tarik

Berdasarkan gambar 3. rata-rata tegangan tarik tertinggi diperoleh pada tekanan -1 bar sebesar 12,25 MPa. pada tekanan -0,9 bar, nilai regangan tarik mengalami penurunan menjadi 15,91 MPa, sedangkan tekanan -0,8 bar menghasilkan tegangan tarik terendah dengan rata-rata sebesar 12,25 MPa.



Gambar 4. Grafik Hasil Rata-rata Regangan Tarik

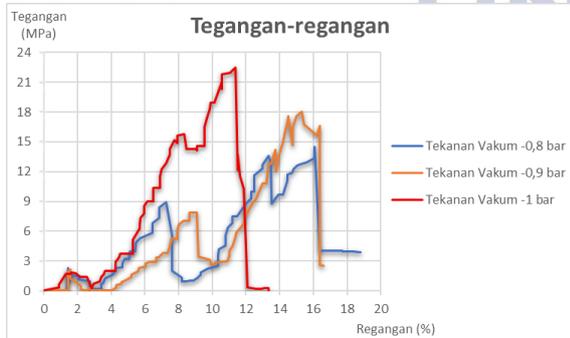
Gambar 4. Menunjukkan bahwa regangan tarik rata-rata tertinggi tercapai pada spesimen dengan tekanan vakum -0,8 bar sebesar 19,95%. Nilai menurun menjadi 17,08% pada tekanan -0,9 bar, dan kembali mengalami penurunan pada tekanan -1 bar dengan regangan rata-rata sebesar 16,23%.



Gambar 5. Grafik Hasil Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan gambar 5. spesimen dengan tekanan vakum -0,8 bar memiliki rata-rata modulus elastisitas sebesar 61,5 MPa. Nilai mengalami peningkatan pada tekanan -0,9 bar menjadi 87,07 MPa, dan mencapai nilai tertinggi pada tekanan -1 bar dengan rata-rata sebesar 138,46 MPa.

Tegangan-regangan



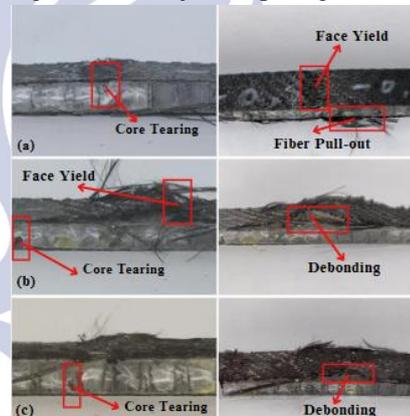
Gambar 6. Kurva Tegangan-regangan

Gambar 6. menyajikan kurva hasil uji tarik dari spesimen dengan variasi tekanan vakum, ditampilkan berdasarkan nilai tertinggi pada masing-masing variasi tekanan. Pada tekanan vakum -0,8 bar, spesimen dengan tegangan maksimum 14,50 MPa dan regangan 16,05%, dengan pola kurva yang menunjukkan sifat ulet dan

kekuatan rendah akibat distribusi resin tidak merata dan masih adanya void (Ariyanto & Nugroho, 2021). Kurva pada tekanan vakum -0,9 bar menunjukkan tegangan maksimum 17,99 MPa dan regangan 15,30% dengan pola stabil yang mencerminkan sifat semi-getas. Hal ini mengindikasikan bahwa cukup optimal dalam meminimalkan void tanpa menyebabkan kehilangan resin berlebih (Suherman et al., 2022). Kurva spesimen pada tekanan vakum -1 bar dengan tegangan maksimum tertinggi sebesar 22,4 MPa dengan reegangan rendah sekitar 11,37% serta penurunan tegangan tajam setelah puncak beban maksimum. Pola kurva tersebut menunjukkan sifat getas, dimana material gagal secara mendadak akibat resin yang terhisap berlebihan, sehingga komposit tidak terimpregnasi secara optimal (Rohit & Kumar, 2020).

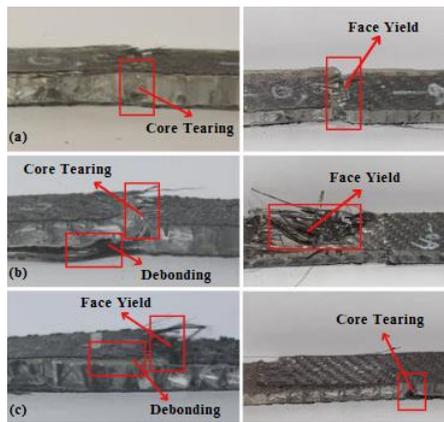
Analisa Jenis Patahan

Selain dilakukan pengujian kekuatan tarik, analisa visual terhadap spesimen menggunakan perbesaran kamera juga dilakukan untuk mengidentifikasi jenis patahan yang terjadi, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7, 8, dan 9.



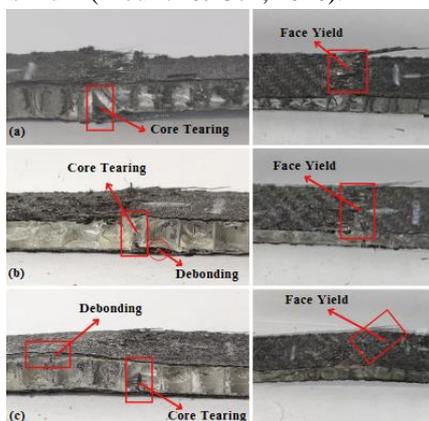
Gambar 7. Jenis Patahan Spesimen Dengan Tekanan Vakum -0,8 bar

Gambar 7. menunjukkan bahwa spesimen dengan tekanan vakum -0,8 bar mengalami variasi mode kegagalan, meliputi *face yield*, *core tearing*, *face yield*, dan *fiber pull-out*. *Face yield* terjadi akibat putusnya lapisan kulit karena beban tarik, *core tearing* disebabkan oleh kerusakan pada inti akibat gaya tarik maksimum, *face yield* merupakan lepasnya ikatan antar lapisan, dan *fiber pull-out* terjadi karena lemahnya ikatan antara serat dan matriks (Mouritz & Cox, 2016).



Gambar 8. Jenis Patahan Spesimen Dengan Tekanan Vakum -0,9 bar

Gambar 8. menunjukkan spesimen dengan tekanan vakum -0,9 bar mengalami kombinasi kegagalan *core tearing*, *face yield*, dan *face yield*. *Core tearing* terjadi pada inti akibat gaya tarik maksimum, *face yield* merupakan kerusakan pada kulit permukaan, dan *face yield* menunjukkan lepasnya ikatan antar lapisan akibat beban tarik maksimum (Mouritz & Cox, 2016).



Gambar 9. Jenis Patahan Spesimen Dengan Tekanan Vakum -0,1 bar

Gambar 9. menunjukkan spesimen dengan tekanan vakum -1 bar mengalami kegagalan berupa *core tearing*, *face yield*, dan *face yield*. *Core tearing* terjadi pada inti akibat beban tarik maksimum, *face yield* merupakan kerusakan pada kulit permukaan, dan *face yield* terjadi karena lepasnya ikatan antar lapisan akibat beban tarik maksimum (Mouritz & Cox, 2016).

Simpulan

Komposit *sandwich* berbasis serat karbon dengan inti *honeycomb* yang menggunakan metode *vacuum infusion* menunjukkan peningkatan hasil kekuatan tarik seiring meningkatnya tekanan vakum. Tekanan vakum -1 bar menghasilkan tegangan tarik tertinggi sebesar 21,94 MPa, sementara tekanan -0,8 bar menunjukkan nilai terendah sebesar 12,25 MPa. berdasarkan hasil analisa visual menunjukkan bahwa spesimen dengan tekanan -0,8 bar mengalami kerusakan paling parah, dengan mode

kegagalan berupa *core tearing*, *face yield*, *face yield*, dan *fiber pull-out*. Penerapan tekanan vakum yang optimal berperan penting dalam meningkatkan kualitas mekanik sekaligus mengurangi tingkat keparahan kerusakan pada struktur komposit.

Saran

1. Berdasarkan referensi buku *standar test method for tensile properties of polymer matrix composite materials*, untuk uji tarik komposit *sandwich* panel *honeycomb* berpenguat serat karbon disarankan menggunakan ASTM C297.
2. Perlu dilakukan pengujian mekanik tambahan, seperti uji tekan (*compression test*), uji bending (*flexural test*), dan uji dampak (*impact test*) guna untuk menganalisa karakteristik mekanik komposit *sandwich*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, K. N., Tjahjono, A., Muzayadah, N. L., Nugroho, A., & Nurtiasto, T. S. (2023). Analisis sifat mekanik komposit *sandwich* serat karbon twill 3K/Divinycell foam dengan variasi metode fabrikasi. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(2), 601–609.
- Ariyanto, E. D., & Nugroho, A. P. (2021). Analisis pengaruh tekanan vakum terhadap porositas dan kekuatan tarik komposit *sandwich* berbahan serat karbon. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 16(1), 45–52.
- Asyahid, A. (2022). *Studi pengaruh perbandingan resin-katalis dan tekanan vacuum terhadap kekuatan bending untuk pembuatan komposit sandwich menggunakan metode vacuum infusion* [Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta].
- Belhaouchet, L., Bouakba, M., & Bezazi, A. (2016). Effect of *vacuum infusion* process parameters on mechanical properties of composite materials. *Materials Today: Proceedings*, 3(10), 3701–3708.
- Birman, V., & Kardomateas, G. A. (2018). Review of current trends in composite materials and structures for aerospace applications. *Composite Structures*, 198, 35–54.
- Kolodziejski, M., Kozior, T., & Dziubek, T. (2020). Lightweight composite materials in automotive applications – A review. *Materials Science Forum*, 998, 124–130.
- Kureemun, U., Bickerton, S., Fernyhough, A., & Bhudolia, S. (2017). Influence of pressure and flow rate on void content in composite laminates manufactured by *vacuum infusion*. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 95, 29–39.
- Mouritz, A. P., & Cox, B. N. (2016). Failure mechanisms of *sandwich* composites. *Composites Science and Technology*, 123, 1–15.

- Nurjaman, D., Syahrial, A. Z., & Hidayat, M. (2020). Studi perbandingan penggunaan material baja dan aluminium pada struktur kendaraan bermotor. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(2), 85–92.
- Rohit, R., & Kumar, S. (2020). Effect of vacuum pressure on mechanical properties of fiber-reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 28(3), 1500–1505.
- Saensuriwong, K., et al. (2021). Laboratory study of polypropylene-based *honeycomb core* for sandwich composites. *Spektrum Industri*, 19(2), 97–104.
- Shah, D. U., Schubel, P. J., Clifford, M. J., & Licence, P. (2016). Micromechanics of void formation in vacuum infused natural fibre reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 82, 141–151.
- Suherman, S., Pratama, R. A., & Wijaya, H. (2022). Pengaruh variasi tekanan vakum terhadap kualitas dan sifat mekanik komposit serat alam. *Jurnal Teknologi Material*, 10(1), 25–32.
- Vaidya, U. K., & Kumar, B. G. (2015). Composites for automotive applications: A review. In U. K. Vaidya (Ed.), *Composites for automotive, truck and mass transit* (pp. 1–24). DEStech Publications, Inc.

