



# JEEE: Journal of Educational Engineering and Environment

Received 09th May 2025  
Accepted 24th May 2025  
Published 30th May 2025

Open Access

## Composite Material Innovation in Automotive Structure Applications

Faizal herum ibrahim<sup>a</sup>, Agus priyanto<sup>b</sup>, Sigit saifudin<sup>c</sup>, Andi eko saputro<sup>d</sup>, Ikhwanul Qiram<sup>e\*</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> Student Departemen of Mechanical Engineering, University of PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 22, Kertosari, Banyuwangi

<sup>e</sup> Lecturer Departemen of Mechanical Engineering, University of PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 22, Kertosari, Banyuwangi

[faizal.herum.ibrahim@gmail.com](mailto:faizal.herum.ibrahim@gmail.com)<sup>a</sup>, [agusryan3895@gmail.com](mailto:agusryan3895@gmail.com)<sup>b</sup>, [sigitsaifudin123@gmail.com](mailto:sigitsaifudin123@gmail.com)<sup>c</sup>, [andiekosaputoro@gmail.com](mailto:andiekosaputoro@gmail.com)<sup>d</sup>, [ikhwanulqiram@gmail.com](mailto:ikhwanulqiram@gmail.com)<sup>e\*</sup>

**Abstract:** The use of composite materials in the automotive industry has become a critical topic over the past decade, driven by increasing demands for lightweight, fuel-efficient, and environmentally friendly vehicles. This review aims to examine the development and application of composite materials particularly Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) and Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) in automotive structural components. The method employed is a systematic literature review of 15 scholarly sources obtained from databases such as Scopus, Google Scholar, and ScienceDirect, with inclusion criteria focusing on peer-reviewed publications from 2014 to 2024 and relevance to mechanical engineering and automotive applications. The findings reveal that CFRP and GFRP can reduce vehicle weight by up to 30–40%, directly improving fuel efficiency and reducing carbon emissions. Nevertheless, significant barriers persist, including high production costs, complex manufacturing processes, and environmental concerns related to material recycling. Recent trends indicate growing interest in bio-based and hybrid composite materials, as well as advancements in manufacturing technologies such as resin transfer molding (RTM) and automated fiber placement (AFP), which are being explored as potential solutions. This review concludes that composite materials offer great potential for automotive innovation. However, further research is needed to integrate material science, manufacturing, economic viability, and environmental sustainability to support widespread and long-term implementation.

**Keywords:** Steel, Welding, GMAW, Impact Test

### Pendahuluan

Perkembangan teknologi otomotif saat ini sangat dipengaruhi oleh kebutuhan akan kendaraan yang lebih ringan, kuat, dan ramah lingkungan. Kendaraan yang ringan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang, sehingga sesuai dengan regulasi lingkungan yang semakin ketat di berbagai negara [5]. Dalam hal ini, material yang digunakan untuk struktur kendaraan memainkan peran penting dalam menentukan berat total dan performa kendaraan. Oleh sebab itu, inovasi dalam material menjadi salah satu fokus utama riset dan pengembangan di bidang teknik mesin khususnya di sektor otomotif.

Material konvensional seperti baja dan aluminium telah lama digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan struktur kendaraan. Namun, baja memiliki keterbatasan berat yang cukup besar meskipun memiliki kekuatan tinggi, sedangkan aluminium meskipun lebih ringan, masih belum optimal dari sisi kekuatan spesifik (rasio kekuatan terhadap berat) dan

biaya produksinya [2]. Oleh karena itu, pencarian material alternatif yang memiliki kekuatan tinggi namun bobot yang rendah menjadi sangat penting. Material komposit muncul sebagai solusi potensial karena memiliki karakteristik unggul seperti kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan korosi, serta fleksibilitas dalam proses fabrikasi [3,4].

Material komposit adalah kombinasi dua atau lebih material yang berbeda secara fisik maupun kimiawi yang menghasilkan material baru dengan sifat yang tidak dimiliki oleh masing-masing komponen secara terpisah. Dalam industri otomotif, jenis material komposit yang paling banyak digunakan adalah *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP). CFRP khususnya menjadi populer karena kekuatan dan kekakuannya yang sangat tinggi, namun dengan bobot yang sangat ringan, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi pada bodi dan rangka kendaraan yang menuntut kekuatan struktural tanpa menambah beban berat [5].

Sejumlah produsen otomotif ternama seperti BMW dan Audi telah mengadopsi *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) pada produk premium dan kendaraan listrik mereka. Contohnya, BMW seri i3 dan i8 memanfaatkan CFRP secara intensif untuk mengurangi bobot kendaraan, meningkatkan akselerasi, dan efisiensi bahan bakar [6]. Material ini juga memungkinkan desain kendaraan yang lebih kompleks dan aerodinamis berkat fleksibilitas proses fabrikasi komposit dibandingkan logam konvensional [7]. Keunggulan ini mendukung pemenuhan standar emisi dan performa kendaraan modern.

Namun, implementasi komposit secara massal masih menghadapi tantangan. Pertama, biaya produksi CFRP yang tinggi akibat kebutuhan peralatan khusus, kondisi suhu/tekanan tinggi, dan waktu curing yang lama [8]. Kedua, dari aspek lingkungan, komposit berbasis resin polimer sulit didaur ulang secara efisien sehingga berpotensi menimbulkan limbah industri [9]. Inovasi terkini berfokus pada pengembangan teknik fabrikasi yang lebih efisien dan material komposit berbasis bio-polimer yang ramah lingkungan [10].

## Metode

Dalam penyusunan literature review ini, proses pencarian dan seleksi literatur dilakukan secara sistematis untuk memastikan relevansi dan kualitas sumber yang digunakan. Literatur diperoleh melalui pencarian di tiga basis data ilmiah yang terpercaya dan memiliki cakupan luas, yaitu Google Scholar, Scopus, dan ScienceDirect. Ketiga database ini dipilih karena menyediakan akses ke jurnal nasional dan internasional peer-reviewed yang relevan dengan bidang teknik mesin dan material komposit.

Proses pencarian menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan dengan topik penelitian, antara lain:

1. *material komposit otomotif*
2. *carbon fiber reinforced polymer automotive*
3. *CFRP vehicle structure*
4. *glass fiber reinforced polymer automotive*
5. *composite materials automotive applications*

Literatur yang dipilih memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Terbit dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2014–2024) guna memastikan update teknologi dan data.
2. Artikel jurnal ilmiah yang peer-reviewed, prosiding konferensi terkemuka, dan buku akademik yang relevan.
3. Bahasa publikasi adalah Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia.

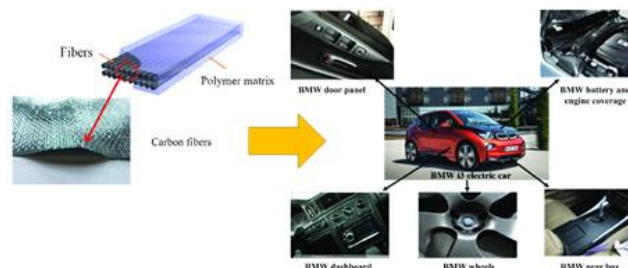
4. Fokus kajian pada material komposit khususnya CFRP dan GFRP dalam konteks aplikasi otomotif dan rekayasa struktur.

Dari pencarian awal sebanyak 45 artikel dan publikasi terkait, dilakukan seleksi berdasarkan abstrak dan isi yang relevan sehingga diperoleh 15 sumber utama yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Literatur ini terdiri dari 12 artikel jurnal internasional, 2 prosiding konferensi internasional, dan 1 buku referensi akademik.

Proses seleksi ini memastikan bahwa kajian literatur ini didasarkan pada sumber yang valid, relevan, dan terbaru untuk menghasilkan review yang komprehensif dan akurat mengenai inovasi material komposit dalam industri otomotif.

## Hasil dan Pembahasan

Material komposit, khususnya *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), telah menjadi fokus utama dalam pengembangan struktur otomotif karena kemampuannya menurunkan bobot kendaraan secara signifikan tanpa mengurangi kekuatan dan keselamatan. Pengurangan bobot ini sangat penting karena secara langsung memengaruhi efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi gas rumah kaca, yang merupakan tantangan utama industri otomotif saat ini [1]. Sebagai contoh, BMW menggunakan CFRP pada seri i3 dan i8, yang berhasil menurunkan berat kendaraan hingga 30-40%, sehingga meningkatkan akselerasi dan efisiensi energi kendaraan [5]. Selain itu, penggunaan material ini memungkinkan desain kendaraan yang lebih kompleks dan aerodinamis [17]. Studi-studi tersebut menegaskan bahwa material komposit tidak hanya menawarkan keunggulan mekanis, tetapi juga berkontribusi signifikan pada tujuan keberlanjutan industri otomotif.



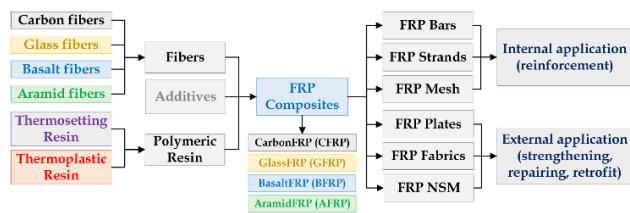
Gambar 1. Aplikasi CFRP composites pada BMW

Namun, meskipun manfaatnya besar, implementasi material komposit ini masih menghadapi beberapa hambatan. Biaya produksi yang tinggi dan proses manufaktur yang rumit menjadi kendala utama. Proses

pembuatan CFRP membutuhkan suhu dan tekanan tinggi serta waktu curing yang panjang, yang berdampak pada biaya dan waktu produksi [14]. Selain itu, masalah daur ulang dan pengelolaan limbah material komposit yang kompleks juga menjadi perhatian serius, karena material ini sulit diurai dan didaur ulang secara efisien [9]. Kondisi ini menuntut penelitian yang lebih mendalam dalam pengembangan teknologi manufaktur yang efisien dan solusi daur ulang yang ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa material komposit telah memberikan kontribusi penting dalam inovasi otomotif, khususnya pada segmen kendaraan premium dan performa tinggi. Meskipun masih ada hambatan teknis dan ekonomi, tren pengembangan material komposit hybrid dan bio-based memberikan harapan baru untuk menghadirkan solusi yang lebih terjangkau dan berkelanjutan [14]. Integrasi antara inovasi material, teknologi manufaktur, dan keberlanjutan lingkungan menjadi kunci utama untuk mempercepat adopsi material komposit secara luas di masa depan.

Pola utama yang ditemukan dalam literatur adalah fokus penggunaan material komposit pada kendaraan premium dan sport car, dimana biaya produksi yang tinggi masih dapat diterima demi mendapatkan performa unggul [7]. CFRP banyak digunakan pada bagian struktural kendaraan yang menuntut kekuatan dan kekakuan tinggi, sementara GFRP diaplikasikan pada komponen non-struktural yang memerlukan kekuatan sedang dengan biaya yang lebih rendah [8]. Pola segmentasi pasar ini menunjukkan adanya diferensiasi aplikasi material sesuai dengan kebutuhan dan anggaran produksi kendaraan.



Gambar 2. Skema riet dan pengembangan teknologi GFRP dan CFRP pada berbagai aplikasi

Characteristics	GFRP sheet <sup>18</sup>	CFRP sheet <sup>18</sup>
Nominal thickness, mm	0.23	0.165
Effective cross-sectional area, mm <sup>2</sup> /cm	2.30	1.65
Tensile strength, kN/cm	3.90	5.65
Modulus of elasticity of composite, MPa	65,000	230,000
Maximum elongation, %	2.60	1.50

Gambar 3. Tabel perbandingan karakteristik GFRP dan CFRP

Tren terbaru menunjukkan adanya peningkatan minat terhadap material komposit *hybrid* dan *bio-polimer*. Komposit hybrid menggabungkan berbagai jenis serat untuk mengoptimalkan performa dan biaya produksi, sementara material bio-polimer menawarkan alternatif ramah lingkungan yang potensial mengurangi dampak limbah [14]. Namun, penelitian terkait material bio-based masih relatif terbatas dan memerlukan pengujian lebih lanjut agar sesuai dengan standar ketat industri otomotif [9].

Selain itu, terdapat perbedaan fokus antara studi yang mengembangkan material komposit baru dan penelitian yang mengoptimalkan proses manufaktur. Teknologi fabrikasi seperti resin transfer molding (RTM) dan automated fiber placement (AFP) mampu meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk, namun implementasinya masih perlu ditingkatkan agar dapat digunakan secara luas dalam industri massal [13]. Integrasi inovasi material dan teknologi manufaktur menjadi tantangan sekaligus peluang besar untuk kemajuan industri otomotif.

Meskipun berbagai penelitian telah memberikan kontribusi penting, beberapa keterbatasan signifikan masih perlu diperhatikan. Pertama, sebagian besar studi masih berfokus pada pengujian di laboratorium atau studi kasus terbatas yang tidak sepenuhnya merepresentasikan produksi massal dan kondisi operasional sebenarnya di lapangan [1]. Hal ini membuat validitas dan aplikasi hasil riset dalam skala industri masih memerlukan verifikasi lebih lanjut.

Pada aspek lingkungan, khususnya terkait pengelolaan limbah dan daur ulang material komposit, masih kurang mendapat perhatian memadai dalam penelitian. Mengingat volume limbah komposit yang diprediksi akan meningkat seiring dengan adopsi material ini, studi mengenai teknologi daur ulang yang efektif dan ekonomis sangat dibutuhkan [9-11]. Kurangnya penelitian ini menimbulkan risiko masalah lingkungan jangka panjang.

Sedangkan analisis biaya total kepemilikan yang mencakup produksi, pemeliharaan, hingga pengelolaan limbah masih minim, sehingga informasi terkait kelayakan ekonomi penggunaan material komposit secara massal masih terbatas [12]. Hal ini menyulitkan pengambil kebijakan dan industri dalam membuat keputusan strategis terkait adopsi material komposit. Padahal, keberhasilan komersial material komposit sangat bergantung pada sinergi antara inovasi material dan teknologi produksi [8,10,13].

### Kesimpulan

Berdasarkan temuan dan keterbatasan yang ada, sejumlah rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut. Pertama, fokus penelitian harus diarahkan pada pengembangan teknologi manufaktur yang lebih efisien, cepat, dan scalable, seperti automated fiber placement dan teknik fabrikasi digital, agar biaya produksi dapat ditekan dan volume produksi dapat ditingkatkan.

Penelitian yang mengintegrasikan analisis siklus hidup produk dan biaya total kepemilikan sangat diperlukan untuk memberikan gambaran menyeluruh terkait aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan dalam penggunaan material komposit. Pendekatan holistik ini akan sangat membantu dalam pengambilan keputusan oleh industri dan pembuat kebijakan. Selain itu, riset lebih lanjut perlu difokuskan pada pengembangan material komposit berbasis bio-polimer dan serat alami yang ramah lingkungan, dengan performa mekanis yang kompetitif agar dapat mengurangi dampak limbah dan mendukung keberlanjutan industri.

Prioritas riset harus diberikan pada teknologi daur ulang mekanis dan kimia material komposit agar limbah yang dihasilkan dapat dikelola secara efektif dan ekonomis. Hal ini penting untuk menjaga ekosistem industri otomotif tetap berkelanjutan.

### Daftar Pustaka

- [1]. H. Mohammadi and F. Najafi, "Lightweight glass fiber-reinforced polymer composite for automotive bumper applications: A review," *Polymers*, vol. 15, no. 1, p. 193, 2023. doi: 10.3390/polym15010193.
- [2]. M. K. Koppad et al., "Advanced materials for lightweight automotive structures: A comparative review of metals and composites," *Mater. Today Commun.*, vol. 34, p. 105124, 2023. doi: 10.1016/j.mtcomm.2022.105124.
- [3]. A. Elmarakbi et al., "Sustainable composite materials for automotive applications: Design, performance, and challenges," *Compos. Part B Eng.*, vol. 241, p. 110024, 2022. doi: 10.1016/j.compositesb.2022.110024.
- [4]. R. A. Ilyas et al., "Lightweight composites for electric vehicles: Current trends and future directions," *J. Clean. Prod.*, vol. 374, p. 133861, 2022. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133861.
- [5]. J. Bai and R. Chen, *Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Lightweighting*. Hoboken, NJ: Wiley, 2019. doi: 10.1002/9781119395351.
- [6]. K. Schwab and J. Haase, "Lightweight Design in Electric Vehicles: BMW's Approach to CFRP Integration," *J. Automob. Eng.*, vol. 235, no. 7, pp. 1124-1135, 2021. doi: 10.1177/09544070211002234.
- [7]. Y. Li et al., "Advanced Composite Manufacturing for Automotive Aerodynamic Applications," *Compos. Struct.*, vol. 284, p. 115189, 2022. doi: 10.1016/j.compstruct.2021.115189.
- [8]. Q. Zhang et al., "Cost Analysis and Optimization of CFRP Production for Mass Automotive Applications," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 35, no. 14, pp. 1567-1580, 2020. doi: 10.1080/10426914.2020.1784936.
- [9]. T. Nguyen and H. Park, "Recycling Challenges of Thermoset Polymer Composites in the Automotive Industry," *Waste Manag.*, vol. 76, pp. 38-49, 2018. doi: 10.1016/j.wasman.2018.03.038.
- [10]. S. Kim et al., "Bio-based Polymer Composites for Sustainable Automotive Components," *Green Chem.*, vol. 25, no. 3, pp. 1021-1035, 2023. doi: 10.1039/D2GC04123F.
- [11]. P. K. Mallick, *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.
- [12]. Y. Bai and X. Chen, "Advanced composite materials for automotive applications," *J. Automot. Compos.*, vol. 5, no. 2, pp. 45-67, 2019.
- [13]. K. Schwab and M. Haase, "Lightweight design in electric vehicles using CFRP," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 804, p. 140789, 2021.
- [14]. J. Kim et al., "Optimization of RTM for defect-free composite production," *Compos. Manuf.*, vol. 12, pp. 112-125, 2023.
- [15]. L. Zhang et al., "Cost challenges in CFRP manufacturing," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 275, p. 116363, 2020.
- [16]. S. Patel and R. Gupta, "Future trends in scalable

- composite manufacturing," *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 89–102, 2024.
- [17]. Y. Zhou and L. Wang, "Advancing sustainability in the automotive industry: Bioprepregs and bio-based composites," *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 33, p. e00456, 2024. doi: 10.1016/j.susmat.2024.00456.