



## Analisis Termoset dan Termoplastik Komposit Polimer dan Pengaplikasian pada Kendaraan Darat Militer

### INFO PENULIS

Nurhaliza Syavika  
Universitas Pertahanan, Indonesia  
[nursyavika20@gmail.com](mailto:nursyavika20@gmail.com)

Sovian Aritonang  
Universitas Pertahanan, Indonesia  
[sovian.aritonang@idu.ac.id](mailto:sovian.aritonang@idu.ac.id)

### INFO ARTIKEL

ISSN: 2963-8933  
Vol. 6, No. 1, April 2026  
<http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajpp>

© 2026 Arden Jaya Publisher All rights reserved

### Saran Penulisan Referensi:

Syafika, N., & Aritonang, S. (2026). Analisis Termoset dan Termoplastik Komposit Polimer dan Pengaplikasian pada Kendaraan Darat Militer. *Arus Jurnal Psikologi dan Pendidikan*, 6 (1), 256-265.

### Abstrak

Material komposit polimer banyak dimanfaatkan di bidang militer karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang unggul dibandingkan material konvensional. Penelitian ini berfokus pada penggunaan material komposit polimer dalam aplikasi pertahanan, khususnya untuk kebutuhan balistik. Komposit polimer merupakan material yang tersusun dari matriks polimer sebagai bahan pengikat yang diperkuat oleh material lain, umumnya dalam bentuk serat. Penguat yang sering digunakan antara lain serat kaca, serat karbon, maupun serat alami, yang berfungsi meningkatkan kekuatan, kekakuan, serta ketahanan terhadap beban impact. Melalui kombinasi tersebut, dihasilkan material yang ringan, kuat, tahan korosi, dan memiliki kemampuan menyerap energi tumbukan dengan baik. Dalam konteks militer, terdapat beberapa kebutuhan utama yang menuntut ketahanan balistik tinggi, seperti perlindungan personel melalui pakaian dan helm, perlindungan kendaraan tempur, serta penguatan struktur. Dibandingkan material logam, komposit polimer terbukti memberikan performa lebih baik karena mampu mengurangi berat sistem tanpa mengorbankan kekuatan, sehingga meningkatkan mobilitas, efisiensi operasional, dan keselamatan personel di lapangan.

**Kata Kunci:** Balistik, Komposit, Polimer, Pertahanan Militer, Kendaraan Militer

### Abstract

Polymer composite materials are widely used in the military because they have a combination of superior mechanical properties compared to conventional materials. This research focuses on the use of polymer composite materials in defense applications, particularly for ballistic needs. Polymer composites are materials composed of a polymer matrix as a binder reinforced by other materials, generally in the form of fibers. Commonly used reinforcements include glass fiber, carbon fiber, and natural fibers, which function to increase strength, stiffness, and resistance to impact loads. Through this combination, the resulting material is lightweight, strong, corrosion-resistant, and has the ability to absorb impact energy well. In the military context, there are several key needs that demand high ballistic resistance, such as personnel protection through clothing and helmets, combat vehicle protection, and structural reinforcement. Compared to metal materials, polymer composites have been proven to provide better performance because they are able to reduce system weight without sacrificing strength, thereby increasing mobility, operational efficiency, and personnel safety in the field.

**Key Words:** Ballistics, Composites, Polymers, Military Defense, Military Vehicles

## A. Pendahuluan

### Latar Belakang

Karena kekuatan, daya tahan, dan bobotnya yang ringan, material komposit polimer telah menjadi pilihan populer untuk aplikasi balistik kontemporer. Matriks polimer yang diperkuat dengan serat atau partikel untuk meningkatkan kualitas mekanis dan ketahanan penetrasi membentuk komposit polimer. Manfaat utama material ini dalam konteks balistik adalah kapasitasnya untuk menyebarkan gaya secara efisien dan menyerap energi benturan, dua sifat penting untuk mencegah peluru dan pecahan (Sulaiman & Rahmat, 2018). Komposit polimer memiliki beberapa manfaat dibandingkan logam dan keramik konvensional, yang juga digunakan dalam aplikasi balistik, termasuk kepadatan yang berkurang, peningkatan fleksibilitas desain, dan ketahanan terhadap korosi (Mrp & Aritonang, 2022). Komposit balistik sering menggunakan polimer seperti epoksi, poliester, dan poliuretan sebagai matriks, sementara serat seperti serat karbon.

Material komposit polimer balistik dapat diaplikasikan pada berbagai aplikasi pertahanan, termasuk pertahanan infrastruktur, panel kendaraan militer, dan rompi antipeluru (P.K. Mallick, 2007). Komposit harus memenuhi persyaratan khusus untuk setiap jenis aplikasi, seperti kemampuan menahan beban benturan berulang pada panel kendaraan militer atau ketahanan terhadap penetrasi langsung pada rompi antipeluru. Benturan balistik dapat menyebabkan berbagai macam pola kerusakan pada material komposit polimer, termasuk delaminasi, retak matriks, dan pecahnya serat. Pemilihan material penguat dan matriks, serta tata letak lapisan dan orientasi serat dalam struktur komposit, semuanya memiliki dampak signifikan terhadap ketahanan terhadap kerusakan ini.

### Kajian Teoritis

Terdapat kesulitan tambahan dalam penggunaan komposit polimer dalam aplikasi balistik. Salah satu kelemahannya adalah ketahanannya terhadap suhu tinggi, yang dapat membahayakan stabilitas polimer dan mengurangi efektivitas perlindungan, terutama saat material tersebut terkena panas ekstrem. Masalah lingkungan juga muncul akibat tantangan daur ulang polimer termoset, yang sering digunakan dalam aplikasi balistik (Adolph, 2016). Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menciptakan polimer termoset yang lebih ramah lingkungan atau untuk mengidentifikasi pengganti yang tetap menawarkan kinerja yang sangat baik dalam aplikasi balistik.



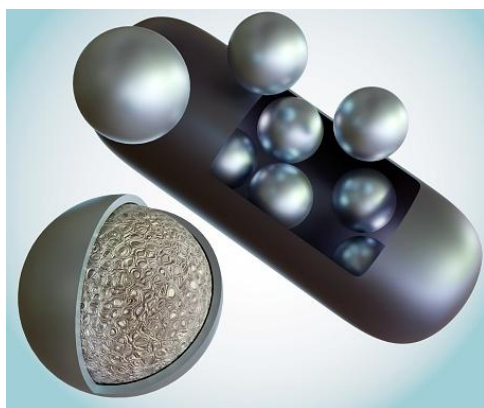
Sumber : (Ilmiah & Besar, 2025)

**Gambar 1** Komposit Polimer

Material komposit terbuat dari dua atau lebih material penyusun yang memiliki sifat mekanis berbeda dan dicampur menjadi campuran yang tidak homogen (Ngo, t.t.). Karena campuran tersebut akan menghasilkan material komposit dengan sifat dan karakteristik mekanis yang berbeda dari material penyusunnya, kekuatan material komposit akan bergantung pada material tersebut. Teknologi modern membutuhkan penggunaan material komposit yang dapat didaur ulang dan ramah lingkungan. Matriks resin, agen pengikat, dan pengisi anorganik membentuk komposisinya (Damaru dkk., 2021). Pengisi anorganik berkontribusi pada kekuatan komposit. Material komposit adalah material struktural yang terbuat dari dua atau lebih material yang tidak larut yang disatukan pada tingkat makroskopik. Komposit adalah sistem multifase yang terbuat dari material penguat dan matriks. Substansi matriks adalah fase terdispersi, dan fase kontinu adalah penguat. Serat, partikel, atau serpihan semuanya dapat digunakan sebagai material penguat (Mardiyati, 2018). Material yang menggunakan serat sebagai penguat dan polimer sebagai matriks dikenal sebagai komposit dengan matriks polimer. Serat kaca, serat karbon, dan serat organik lainnya sering digunakan

dalam material komposit polimer yang diperkuat serat. Dalam kebanyakan kasus, kekuatan dan kekakuan serat jauh lebih besar daripada matriks.

Bahan apa pun dapat berfungsi sebagai bahan matriks untuk komposit. Namun, bahan matriks umumnya keramik, logam, dan polimer. Pada kenyataannya, sebagian besar bahan matriks yang ada di pasar komposit adalah polimer (Sulaiman & Rahmat, 2018). Ada beberapa matriks polimer berbeda yang dapat digunakan dalam bahan komposit. Di antara komposit matriks polimer, komposit matriks termoset lebih dominan daripada komposit termoplastik. Meskipun termoset dan termoplastik terdengar serupa, keduanya memiliki sifat dan aplikasi yang sangat berbeda (Akbar, 2013). Memahami perbedaan per *formance* dapat membantu membuat keputusan sumber yang lebih baik dan desain produk sebagai komposit. Bahan utama dalam material komposit yang berfungsi sebagai dasar atau pengikat untuk menyatukan material penguat seperti serat atau partikel adalah matriks polimer. Matriks polimer dalam material komposit polimer mentransfer beban dari matriks ke material penguat sekaligus menopang, melindungi, dan mengamankan penguat. Matriks ini memberi material lebih banyak kekuatan secara keseluruhan dan memungkinkan komposit untuk menopang beban yang lebih berat.



Sumber:(Tujuan dkk., t.t.)

**Gambar 2** Matriks Polimer

Termoset adalah bahan yang mengalami reaksi kimia atau pengawetan dan tidak berubah dari cairan menjadi padat. Dalam bentuknya yang tidak diawetkan, bahan tersebut memiliki molekul kecil yang tidak terhubung yang dikenal sebagai monomer. Penambahan bahan kedua sebagai pengikat silang, bahan pengawet, katalis, dan/atau adanya panas atau beberapa pengaruh pengaktifan lainnya akan memulai reaksi kimia atau reaksi pengawetan. Selama reaksi ini, molekul saling berhubungan dan membentuk rantai molekul yang jauh lebih panjang dan jaringan ikatan silang, menyebabkan bahan mengeras. Perubahan keadaan termoset bersifat permanen dan tidak dapat diubah. Selanjutnya, paparan panas tinggi setelah pemadatan akan menyebabkan material terdegradasi, tidak meleleh. Ini karena bahan-bahan ini biasanya terdegradasi pada suhu di bawah tempat ia dapat meleleh (Nugraheni, 2019).

Termoplastik adalah plastik yang dapat dilebur dengan proses leleh. Bahan termoplastik diproses dengan panas. Ketika panas yang cukup ditambahkan untuk membawa suhu plastik di atas titik lelehnya, plastik meleleh, mencair, atau cukup lunak untuk diproses. Ketika sumber panas dihilangkan dan suhu plastik turun di bawah titik lelehnya, plastik mengeras kembali menjadi padatan seperti kaca. Proses ini dapat diulang, dengan plastik meleleh dan mengeras saat suhu naik di atas dan turun di bawah suhu leleh, masing-masing. Namun, bahan dapat semakin mengalami kerusakan dalam keadaan cairnya, sehingga ada batasan praktis untuk berapa kali pemrosesan ulang ini dapat dilakukan sebelum sifat material mulai menderita. Banyak polimer termoplastik adalah tipe tambahan, mampu menghasilkan panjang rantai molekul yang sangat panjang atau berat molekul yang sangat tinggi (Kasim & Shih, 2025).

Fenolik, epoksi, vinilester, dan poliester adalah resin termoset yang paling sering digunakan dalam komposit balistik. Ketika dipasangkan dengan serat kaca dan aramid, resin fenolik sering dipilih karena kekakuannya yang tinggi, ketahanan terhadap bahan kimia dan cairan, penghambat api, dan efisiensi balistik yang baik. Kualitas mekanis dan termal yang tinggi, ketangguhan yang baik, ketahanan air dan panas yang baik, tingkat penyusutan yang rendah, dan kemudahan fabrikasi adalah alasan mengapa resin epoksi dipilih. Vinilester menggabungkan kemudahan fabrikasi dengan kualitas mekanis yang baik. Fenolik, epoksi, vinilester, dan poliester adalah resin termoset yang paling sering digunakan dalam komposit balistik (Thakur, I, I, & I, t.t.). Ketika dipasangkan dengan serat kaca dan aramid, resin fenolik

sering dipilih karena kekakuannya yang tinggi, ketahanan terhadap bahan kimia dan cairan, penghambat api, dan efisiensi balistik yang baik.

## B. Metodologi

Metodologi penelitian dalam studi ini meliputi pengumpulan data, peninjauan literatur yang ada, identifikasi, dan penilaian perilaku material komposit polimer yang digunakan dalam helm antibalistik militer. Data sekunder dari basis data dan publikasi dari jurnal nasional dan internasional, termasuk Elsevier, Google Scholar, dan lainnya, yang relevan dengan artikel ini diambil untuk penelitian ini. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental, di mana pengujian dan pengukuran dilakukan secara empiris untuk mengevaluasi performa material yang berbeda. Desain penelitian ini bersifat eksperimental, yaitu dengan melakukan pengujian pada sampel material yang disesuaikan dengan kondisi aktual yang akan dihadapi kendaraan militer. Sampel material dipilih berdasarkan studi literatur dan kriteria teknis, seperti daya tahan, berat, kekuatan, dan kemampuannya dalam menyerap energi (*energy absorption capability*). Material yang umum digunakan dalam kendaraan militer, seperti baja tahan peluru, aluminium, serta komposit polimer dan keramik, akan diuji dan dibandingkan dengan material baru seperti komposit serat karbon dan nanomaterial. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memahami bagaimana karakteristik fisik dan mekanis dari setiap material mempengaruhi performa kendaraan dalam menghadapi ancaman tertentu, seperti ledakan dan proyektil.

## C. Hasil dan Pembahasan

### Termoset dan Termoplastik

**Table 1 Termoset dan Termoplastik**

	<b>Termoset</b>	<b>Termoplastik</b>
<b>Pengolahan</b>	Mengandung monomer yang saling berhubungan selama proses pengawetan untuk membentuk ikatan kimia yang tidak dapat diubah. Proses ikatan silang menghilangkan risiko produk meleleh kembali saat panas diterapkan, membuat termoset ideal untuk aplikasi panas tinggi seperti elektronik dan peralatan	Pelet melunak saat dipanaskan dan menjadi lebih cair saat panas tambahan diterapkan. Karakteristik ini memungkinkan termoplastik untuk dicetak ulang dan didaur ulang tanpa berdampak negatif pada sifat fisik material
<b>Fitur dan manfaat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ada beberapa resin termoset yang menawarkan berbagai manfaat kinerja</li> <li>• Secara signifikan meningkatkan sifat mekanik material, memberikan peningkatan ketahanan kimia, ketahanan panas, dan integritas struktural.</li> <li>• Termoset sering digunakan untuk produk tertutup karena ketahanannya terhadap deformasi</li> <li>• Tidak dapat didaur ulang Tidak dapat dicetak ulang atau dibentuk ulang (tidak meleleh jika panas)</li> <li>• Mudah membasahi serat penguat dan pengisi Lebih tahan terhadap suhu tinggi daripada termoplastik</li> <li>• Desain yang sangat fleksibel Kemampuan dinding tebal hingga tipis Penampilan estetika yang sangat baik Tingkat stabilitas dimensi yang tinggi Lebih sulit untuk permukaan akhir Hemat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ada beberapa termoplastik yang menawarkan berbagai manfaat kinerja</li> <li>• Umumnya menawarkan kekuatan tinggi, ketahanan menyusut, dan kemampuan ditekuk yang mudah.</li> <li>• Bergantung pada polimernya, termoplastik dapat melayani aplikasi dengan tekanan rendah seperti kantong plastik atau bagian mekanis bertekanan tinggi</li> <li>• Sangat dapat didaur ulang Dapat meleleh jika dipanaskan, kemampuan membentuk kembali / membentuk kembali Lebih sulit untuk membasahi serat penguat dan pengisi Ketahanan</li> </ul>

<b>Termoset</b>	<b>Termoplastik</b>
biaya	benturan tinggi <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tahan kimia Pilihan permukaan kristal keras atau keret Hasil akhir yang unggul secara estetika Manufaktur ramah lingkungan Umumnya, lebih mahal daripada termoset</li> </ul>

Secara umum, termoset cenderung telah ada sejak lama dan memiliki tempat yang mapan di pasar, seringkali memiliki biaya bahan baku yang lebih rendah, dan sering memberikan pembasahan yang mudah pada serat penguat dan mudah dibentuk untuk geometri bagian akhir. Dengan kata lain, termoset seringkali lebih mudah diproses daripada termoplastik. Termoplastik cenderung lebih keras atau kurang rapuh daripada termoset. Mereka dapat memiliki ketahanan kimia yang lebih baik, tidak memerlukan pendinginan seperti yang sering dilakukan termoset yang tidak diawetkan dan dapat lebih mudah didaur ulang dan diperbaiki. Tabel 1 menyajikan perbandingan antara termoset dan termoplastik. Tabel ini tidak memberikan semua melainkan beberapa informasi bagi para peneliti dan manuskrip ketika mempertimbangkan pemanfaatan bahan-bahan ini. Termoset diklasifikasikan menjadi resin poliester, resin epoksi, resin vinil ester, fenolik, poliuretan, dan resin suhu tinggi lainnya seperti ester sianat, dll. Industrialisasi yang cepat di negara-negara berkembang di seluruh dunia merupakan salah satu faktor pendorong utama untuk pasar termoset. Permintaan akan bahan berkinerja tinggi dan ringan dari berbagai industri penggunaan akhir seperti otomotif, tangki kimia, dan tangki air diperkirakan akan memperluas pasar global untuk termoset selama 6 tahun ke depan (Khanjar dkk., 2024).

**Table 2 Perbandingan termoset dan termoplastik**

	<b>Termoset</b>	<b>Termoplastik</b>
Pengolahan	Mengandung monomer yang saling berhubungan selama proses pengawetan untuk membentuk ikatan kimia yang tidak dapat diubah. Proses ikatan silang menghilangkan risiko produk meleleh kembali saat panas diterapkan, membuat termoset ideal untuk aplikasi panas tinggi seperti elektronik dan peralatan	Pelet melunak saat dipanaskan dan menjadi lebih cair saat panas tambahan diterapkan. Karakteristik ini memungkinkan termoplastik untuk dicetak ulang dan didaur ulang tanpa berdampak negatif pada sifat fisik material
Fitur dan manfaat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ada beberapa resin termoset yang menawarkan berbagai manfaat kinerja</li> <li>• Secara signifikan meningkatkan sifat mekanik material, memberikan peningkatan ketahanan kimia, ketahanan panas, dan integritas struktural.</li> <li>• Termoset sering digunakan untuk produk tertutup karena ketahanannya terhadap deformasi</li> <li>• Tidak dapat didaur ulang Tidak dapat dicetak ulang atau dibentuk ulang (tidak meleleh jika panas)</li> <li>• Mudah membasahi serat penguat dan pengisi Lebih tahan terhadap suhu tinggi daripada termoplastik</li> <li>• Desain yang sangat fleksibel Kemampuan dinding tebal hingga tipis Penampilan estetika yang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ada beberapa termoplastik yang menawarkan berbagai manfaat kinerja</li> <li>• Umumnya menawarkan kekuatan tinggi, ketahanan menyusut, dan kemampuan ditekuk yang mudah.</li> <li>• Bergantung pada polimernya, termoplastik dapat melayani aplikasi dengan tekanan rendah seperti kantong plastik atau bagian mekanis bertekanan tinggi</li> <li>• Sangat dapat didaur ulang Dapat meleleh jika dipanaskan, kemampuan membentuk kembali /</li> </ul>

Termoset	Termoplastik
sangat baik Tingkat stabilitas dimensi yang tinggi Lebih sulit untuk permukaan akhir Hemat biaya	membentuk kembali Lebih sulit untuk membasahi serat penguat dan pengisi Ketahanan benturan tinggi <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tahan kimia Pilihan permukaan kristal keras atau keret Hasil akhir yang unggul secara estetika Manufaktur ramah lingkungan Umumnya, lebih mahal daripada termoset</li> </ul>

Table 3 Sifat polimer

Jenis	Polimer	Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )	Elongasi (%)	Daya Tarik (MPa)	Modulus Young (GPa)	
Termoplastik	Acrylonitrile styrene acrylate (ASA)	1.0-1.1	30	43.5	2.2	
	Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	0.9	270	47	2.1	
	Cross-linked polyethylene (PE)	0.9-1	350	18	0.5	
	Ethylene vinyl acetate (EVA)	0.9-1	750	17	0.02	
	High-density polyethylene (HDPE)	1	150	32	1.3	
	High-impact polystyrene (HIPS)	0.9	2.5	42	2.1	
	Low-density polyethylene (LDPE)	1.1	400	11.6	0.2	
	Nylon 6 (PA 6)	1.1	60	81.4	2.8	
	Termoset	Epoxy (EP)	1.3	1.3	130	4.1
		Melamine formaldehyde (MF)	1.6	0.6	65	12
Phenol formaldehyde (PF)		1.2	1.2	60	7	
Rigid termoset polyurethane (RPU)		1.2	90	60	2.2	
Unsaturated polyester (UPE)		1.1	2	105	3.5	
Urea formaldehyde (UF)		1.6	0.8	65	9	
Polyurethane rubber		1.3	580	39	10	
	Vinyl ester (VE)	1.23	12	81	3.5	

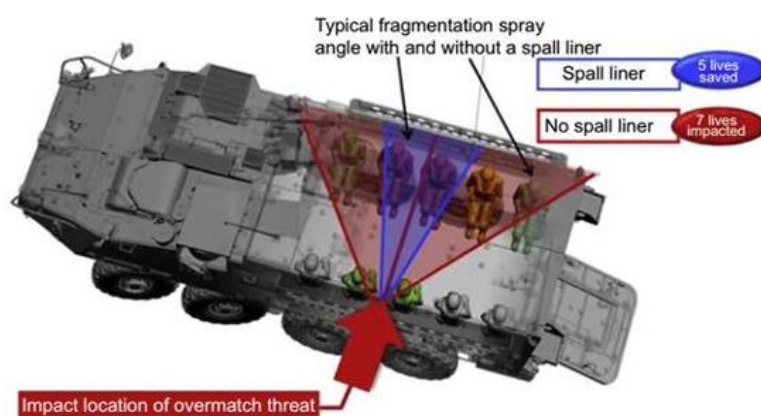
Termoplastik adalah bahan plastik yang dominan secara keseluruhan, terutama dalam aplikasi yang tidak diperkuat. Termoset digunakan dalam aplikasi yang tidak diperkuat untuk tujuan tertentu di mana mereka memiliki keunggulan karena beberapa sifat unik. Namun, dalam keadaan yang diperkuat atau komposit, termoset dominan dan termoplastik hanya digunakan dalam aplikasi di mana keunggulan uniknya penting. Dalam komposit, termoset mewakili sekitar 80% dari total bahan yang digunakan. Ukuran resin komposit global berdasarkan

aplikasi penggunaan akhir, dalam hal nilai, adalah USD 9317,4 Juta pada tahun 2014 dan diproyeksikan tumbuh pada CAGR 5,6% antara 2015 dan 2020. Seperti disebutkan di atas, termoplastik mampu berulang kali dilunakkan dengan penerapan panas dan dikeraskan dengan pendinginan dan memiliki potensi untuk menjadi yang paling mudah didaur ulang, yang telah membuatnya paling disukai dalam penyerapan komersial baru-baru ini, sedangkan realisasi yang lebih baik dari sifat serat umumnya dicapai dengan menggunakan termoset (Nugraheni, 2019).

### Aplikasi Komposit Polimer pada Kendaraan Militer

Penggunaan komposit polimer pada kendaraan tempur telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan perlindungan dan mobilitas, terutama dalam aplikasi armor dan struktur kendaraan. Beberapa studi menemukan bahwa komposit polimer yang diperkuat dengan serat karbon, serat kaca, atau kevlar memberikan kombinasi yang efektif antara kekuatan dan ringan, yang sangat penting untuk kendaraan militer yang membutuhkan mobilitas tinggi dan ketahanan terhadap serangan balistik (Nugroho & Wantogia, 2019). Material komposit yang diperkuat serat kini dapat digunakan untuk membuat kendaraan militer yang lebih ringan, lebih mudah bergerak, lebih irit bahan bakar, dan lebih awet. Kendaraan dapat mengangkut lebih banyak pasukan, amunisi, dan bahan bakar jika bobotnya lebih ringan. Baik dalam operasi militer maupun pemeliharaan perdamaian, kendaraan militer sangat penting. Jenis dan tingkat perlindungan lapis baja yang dibutuhkan untuk berbagai kendaraan militer bergantung pada misinya. Kendaraan tempur harus dilindungi dari berbagai ancaman seperti rudal, ledakan, pecahan peluru, dan peluru. Karena kendaraan taktis beroperasi jauh dari api, kendaraan tersebut mungkin tidak memerlukan lapis baja.

Dalam aplikasi kendaraan darat militer, pemilihan antara polimer termoset dan termoplastik sangat bergantung pada kebutuhan performa material terhadap kondisi ekstrem di medan tempur (Parmar dkk., 2024). Polimer termoset unggul dalam hal kekuatan struktural, stabilitas dimensi, dan ketahanan terhadap panas, menjadikannya ideal untuk komponen-komponen yang terpapar suhu tinggi dan tekanan berat, seperti panel luar dan rangka utama kendaraan. Sifat termoset yang tidak melunak pada suhu tinggi juga membuatnya tahan terhadap bahan kimia dan korosi, meskipun kekurangannya adalah sulit diperbaiki atau didaur ulang jika mengalami kerusakan. Di sisi lain, polimer termoplastik menawarkan keuntungan dalam hal fleksibilitas, kemudahan perbaikan, dan bobot yang lebih ringan, menjadikannya pilihan baik untuk komponen yang membutuhkan kelenturan, ketahanan benturan, atau perawatan cepat di lapangan (Thakur, I, I, I, dkk., t.t.). Termoplastik bisa dilelehkan kembali sehingga lebih mudah diperbaiki, dan beberapa jenis yang diperkuat seperti PEEK dan Kevlar memiliki kekuatan cukup untuk menghadapi kebutuhan militer (Rizal, 2020). Kendaraan darat militer umumnya menggunakan kombinasi dari kedua bahan ini; termoset dipilih untuk bagian struktural dan komponen mesin yang memerlukan ketahanan tinggi, sementara termoplastik lebih cocok untuk bagian interior dan panel pelindung yang memerlukan bobot ringan serta ketahanan terhadap guncangan (SUSWANTO, 2018).



**Gambar 3** Ilustrasi Penggunaan Spall Liner pada Kendaraan Militer

Istilah "*spall liner*" mengacu pada material lunak yang biasanya terbuat dari laminasi serat kaca, serat aramid, atau polietilena berdensitas tinggi (HDPE) dan digunakan sebagai bentuk

perlindungan interior di kompartemen kru kendaraan. Ini digunakan untuk melapisi permukaan interior tank, kendaraan tempur, dan pengangkut personel. Tujuan spall liner adalah untuk melindungi prajurit yang bertahan dari serangan pecahan (spall) yang dihasilkan selama konflik. Jika sistem pelindung terlalu kuat—yaitu, ketika peluru yang masuk memiliki daya tembus yang lebih tinggi daripada kemampuan menghentikan pelindung—*spall liner* dapat digunakan sebagai perlindungan ekstra (Black dkk., t.t.). Contoh spall liner yang menyelamatkan tentara dalam skenario yang tidak seimbang terlihat pada Gambar 3. Grafik tersebut menggambarkan bagaimana spall liner memperlambat penyebaran fragmentasi secara signifikan. Penting untuk diingat bahwa berat atau kerapatan areal spall liner dan material yang digunakan menentukan kapasitasnya untuk mengurangi sudut kerucut spall. Pada berat yang dikurangi, material komposit berkinerja tinggi dapat mengurangi sudut kerucut spall.

**Table 4 Komposit yang Digunakan pada *Spall Liner***

Jenis Komposit	Tipe Matriks	Bahan Penguat	Keunggulan Utama	Aplikasi
<b>Epoxy + Serat Karbon</b>	Termoset	Serat Karbon	Kekuatan tinggi, tahan panas, stabilitas dimensi	Struktur rangka, panel luar
<b>Epoxy + Serat Kevlar</b>	Termoset	Serat Kevlar	Ketahanan benturan, tahan aus, tahan korosi	Panel pelindung
<b>Vinil Ester + Serat Kaca</b>	Termoset	Serat Kaca	Tahan bahan kimia, tahan korosi, biaya relatif rendah	Panel eksterior, komponen pelindung
<b>Bismaleimida (BMI) + Serat Karbon</b>	Termoset	Serat Karbon	Sangat tahan panas, kuat, ringan	Komponen mesin, pelindung panas
<b>Polyetheretherketone (PEEK) + Serat Karbon</b>	Termoplastik	Serat Karbon	Tahan panas, kekuatan tinggi, mudah diperbaiki	Bagian mesin, komponen struktural
<b>Polyamide-imide (PAI) + Serat Kaca</b>	Termoplastik	Serat Kaca	Ketahanan kimia, kekuatan tinggi, fleksibel	Bagian interior, panel pelindung
<b>Nylon + Serat Kevlar</b>	Termoplastik	Serat Kevlar	Ringan, tahan benturan, elastis	Interior, panel pintu
<b>Polipropilena (PP) + Serat Kaca</b>	Termoplastik	Serat Kaca	Ringan, murah, mudah diproses	Panel dalam, pelindung ringan
<b>Polikarbonat + Serat Karbon</b>	Termoplastik	Serat Karbon	Tahan benturan, transparan opsional	Jendela tahan benturan, kanopi

Dalam kendaraan darat militer, komposit termoset dan komposit termoplastik masing-masing memiliki keunggulan yang sesuai untuk berbagai kebutuhan di medan tempur (Parmar dkk., 2024). Komposit termoset seperti epoxy yang diperkuat serat karbon menawarkan kekuatan struktural dan stabilitas dimensi yang tinggi, serta ketahanan panas yang baik. Hal ini membuatnya cocok untuk aplikasi pada rangka utama atau panel luar kendaraan. Komposit epoxy yang diperkuat serat Kevlar atau vinil ester dengan serat kaca memberikan ketahanan terhadap benturan dan bahan kimia, sehingga ideal untuk pelindung balistik atau panel pelindung luar. Bahan termoset lainnya, seperti *bismaleimida* (BMI) yang diperkuat serat karbon, memberikan ketahanan panas ekstrem dan bobot yang ringan, cocok untuk komponen yang berdekatan dengan sumber panas seperti bagian mesin.

Di sisi lain, komposit termoplastik memiliki keunggulan dalam hal kemudahan perbaikan, fleksibilitas, dan bobot yang lebih ringan. Komposit berbasis *Polyetheretherketone* (PEEK) yang diperkuat serat karbon menawarkan ketahanan panas dan kekuatan tinggi, yang ideal untuk

komponen struktural atau bagian mesin yang membutuhkan ketahanan benturan. Material lain seperti nylon yang diperkuat serat Kevlar atau polikarbonat yang diperkuat serat karbon menawarkan elastisitas dan ketahanan benturan yang baik, membuatnya cocok untuk panel interior atau pintu. Termoplastik lainnya, seperti polipropilena (PP) dengan serat kaca, memberikan bobot ringan dan biaya rendah, sehingga dapat digunakan untuk bagian dalam kendaraan yang tidak terlalu terpapar tekanan (Adolph, 2016). Dengan menggunakan kombinasi komposit termoset dan termoplastik, kendaraan darat militer dapat memanfaatkan keunggulan kedua jenis material untuk meningkatkan kinerja, ketahanan, dan kemudahan perawatan dalam lingkungan yang menantang.

#### D. Kesimpulan

Berdasarkan analisis, komposit termoset dan termoplastik memiliki peran masing-masing dalam kendaraan darat militer karena keunggulan unik yang dimiliki oleh kedua jenis polimer tersebut. Komposit termoset, seperti epoxy dan bismaleimida yang diperkuat serat karbon atau Kevlar, memberikan ketahanan struktural tinggi, stabilitas dimensi, dan ketahanan terhadap suhu tinggi, sehingga sangat cocok untuk bagian rangka dan panel luar kendaraan yang memerlukan daya tahan ekstrem. Namun, termoset sulit untuk diperbaiki atau didaur ulang. Sementara itu, komposit termoplastik, seperti PEEK dan nylon yang diperkuat serat kaca atau Kevlar, menawarkan fleksibilitas lebih, kemudahan perbaikan, dan bobot yang lebih ringan, menjadikannya ideal untuk komponen interior atau panel yang membutuhkan ketahanan benturan dan fleksibilitas di lapangan. Kombinasi penggunaan termoset untuk kekuatan struktural dan termoplastik untuk fleksibilitas serta perawatan cepat memungkinkan kendaraan militer mencapai keseimbangan optimal antara kinerja, daya tahan, dan kemudahan perawatan dalam lingkungan yang menantang.

#### E. Referensi

- Akbar, D. H. (2013). *PROSES TERMOSET dan TERMOPLASTIK*. 1–15.
- Applied, S., Lining, S., & Developed, P. (t.t.). *SPALL LINER*.
- Black, J., Premo, R., Goldberg, R. K., Asce, F., Ricks, T. M., Lyons, T., & Kim, H. (t.t.). *Multi-Scale Experimental Characterization for LS-DYNA MAT213 Modeling of Composite Structures under High Strain Rate*. 1–10.
- Damaru, R., Novaringga, A., dan Simparmin Br Ginting, D., Soemantri Bojonegoro No, J., & Lampung, B. (2021). Indonesian Journal of Chemical Science Resin Composite Synthesis Reinforced with Banana Tree Fiber with Carboxylic Silica (SiO<sub>2</sub>-COOH) Addition as a Nanofiller. Dalam *J. Chem. Sci* (Vol. 10, Nomor 1).
- Ilmiah, O., & Besar, G. (2025). *Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung REKAYASA MATERIAL*.
- Kasim, H., & Shih, Y. (2025). *Sustainable Reprocessing of Thermoset Composite Waste into Thermoplastics: A Polymer Blend Approach for Circular Material Design*.
- Khanjar, S., Barui, S., & Kate, K. (2024). *An Investigation into Mechanical Properties of 3D Printed Effects of Thermoplastic Skeletal Lattice Geometries and Thermoset Properties*.
- Mardiyati. (2018). Komposit Polimer Sebagai Material Tahan Balistik Polymer composite as ballistic-resistant material. *Jurnal Inovasi Pertahanan dan Keamanan*, 20(1), 20–28.
- Mrp, M., & Aritonang, S. (2022). MATERIAL KOMPOSIT POLIMER TAHAN BALISTIK UNTUK APLIKASI HELM MILITER DALAM MENDUKUNG MATERIAL PERTAHANAN INDONESIA. *ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN*, 9(2), 105–109. <https://doi.org/10.34128/je.v9i2.219>
- Ngo, T.-D. (t.t.). *Introduction to Composite Materials*.
- Nugraheni, T. (2019). Polimer termoplastik dan termoset. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Nugroho, G., & Wantogia, M. S. R. R. (2019). Proses Fabrikasi dan Sifat Mekanik Komposit Polimer dengan Metode Bladder Compression Moulding. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 1(2), 95–104. <https://doi.org/10.22146/jmdt.v1i2.53047>
- Parmar, H., Rubino, F., Tucci, F., Rotella, G., & Poza, P. (2024). Surface & Coatings Technology Manufacturing and cold spraying of hybrid composites—A path for metallizing thermoset matrix composites. *Surface & Coatings Technology*, 489(June), 131144. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.131144>
- P.K. Mallick. (2007). Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design. Dalam *CRC Press* (Vol. 19).

- Rizal, R. F. (2020). *Studi Numerik Aplikasi Komposit Rami Sebagai Material Tahan Balistik Tipe IV*. 1-75.
- Sulaiman, M., & Rahmat, M. H. (2018). Kajian Potensi Pengembangan Material Komposit Polimer Dengan Serat Alam Untuk Produk Otomotif. *Sistem*, 4(1), 9-15.
- SUSWANTO. (2018). Analisis Pengaruh Penambahan Fraksi Berat Termoset Dan Styrofoam Pada Komposit Berbasis Termoplastik (Ldpe) Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanik Untuk Aplikasi Material Konstruksi. *Repository.Its.Ac.Id*.
- Thakur, M., I N. N., I B. J., & I S. S. S. (t.t.). *Polymer Matrix Sand Composites for Enhanced Ballistic Impact Resistance*.
- Thakur, M., I N. N., I B. J., I S. S. S., Sekhar, S., & H P. (t.t.). *Sand Inclusion Composite Structures for Enhanced Ballistic Impact Resistance*.