



Analisis Perbandingan Kekuatan Struktur Komposit Serat *Hibiscus Tiliaceus* dan Serat Karbon Kevlar dengan Metode *Vacuum Bag* menggunakan Uji Tembak

Comparative Analysis Of The Strength Of Hibiscus Tiliaceus Fiber And Kevlar Carbon Fiber Composite Structures With The Vacuum Bag Method Using A Shooting Test

Agung Anugrah Bilangpratama^{1*}, Hengky Emanuel F.²

^{1,2} Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara
E-mail: anugrah.agung04.aa@gmail.com

Abstract— *Composites are composite materials made from two or more materials that produce new, superior properties. This study examines the strength of composite structures made from natural Hibiscus Tiliaceus fiber (waru fiber) and synthetic carbon Kevlar fiber made using the vacuum bag method. Tests were conducted using 9 mm caliber bullets (MU-1TJ) at a distance of 25 meters according to NIJ standards. The results of the firing test showed that composites with a higher Kevlar fiber content had better resistance than composites with a higher proportion of Hibiscus Tiliaceus fiber. This study proves that variations in fiber composition affect the strength of composite structures produced by the vacuum bag method.*

Keywords— *Composite, Hibiscus Tiliaceus Fiber, Carbon Fiber, Vacuum Bag, Fire Test.*

Abstrak— *Komposit merupakan material gabungan dari dua atau lebih bahan yang menghasilkan sifat baru yang lebih unggul. Penelitian ini mengkaji kekuatan struktur komposit berbahan serat alam Hibiscus Tiliaceus (serat waru) dan serat sintesis karbon Kevlar yang dibuat dengan metode vacuum bag. Pengujian dilakukan menggunakan peluru kaliber 9 mm (MU-1TJ) pada jarak 25 meter sesuai standar NIJ. Hasil uji tembak menunjukkan bahwa komposit dengan kandungan serat Kevlar lebih tinggi memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan komposit dengan proporsi serat Hibiscus Tiliaceus lebih banyak. Penelitian ini membuktikan bahwa variasi komposisi serat memengaruhi kekuatan struktur komposit hasil metode vacuum bag..*

Kata Kunci— *Komposit, Serat Hibiscus Tiliaceus, Serat Karbon, Vacuum Bag, Uji tembak.*

*Agung Anugrah Bilangpratama
E-mail: anugrah.agung04.aa@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan teknologi material komposit telah membawa dampak yang signifikan dalam berbagai bidang industri, termasuk otomotif, kedirgantaraan, dan militer. Salah satu aspek penting dalam pengembangan material komposit adalah kekuatan mekanik yang dimiliki oleh material tersebut, yang sangat bergantung pada jenis serat yang digunakan sebagai penguat dalam matriks resin. Komposit merupakan bahan yang terdiri dari dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda, dimana penggabungan material-material ini menghasilkan material dengan karakteristik yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya.

Selain untuk mendapatkan sifat mekanik dan termal yang lebih baik, komposit juga dapat mengalami berbagai permasalahan yang mempengaruhi kinerja dan ketahanannya. Adapun permasalahan yang dapat terjadi pada struktur komposit seperti crack atau retakan adalah salah satu bentuk kerusakan paling umum yang terjadi pada struktur komposit, yang dapat terjadi baik pada matriks (resin) maupun pada serat yang membentuk komposit. Retakan ini dapat berkembang seiring waktu dan mengurangi kemampuan komposit untuk menahan beban. Salah satu penyebab utama retakan adalah delaminasi, yaitu pemisahan lapisan dalam komposit. Delaminasi terjadi ketika gaya geser atau tekanan yang berlebihan menyebabkan lapisan matriks dan serat terpisah.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut penulis melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Perbandingan Kekuatan Struktur Komposit Serat Hibiscus Tiliaceus dan Serat Karbon Kevlar dengan Metode Vacuum Bag menggunakan Uji Tembak” bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan antara komposit yang menggunakan serat alam waru dengan serat sintesis karbon kevlar, yang masing-masing dicampur dengan resin epoxy. Metode Vacuum Bag (atau Vacuum Bagging) pada pembuatan komposit adalah teknik manufaktur yang digunakan untuk meningkatkan kualitas laminasi komposit dengan menggunakan tekanan vakum untuk mengeluarkan udara dan kelebihan resin dari tumpukan laminat. Proses ini memberikan hasil akhir yang lebih kuat, ringan, dan bebas cacat. Untuk mengetahui kemampuan dan kekuatan struktur dari spesimen tersebut, komponen akan diuji dengan melakukan uji tembak pada spesimen tersebut..

II. LANDASAN TEORI

A. Teori Struktur.

Struktur material merujuk pada cara atom, molekul, atau komponen kecil lainnya tersusun dalam suatu material. Struktur ini memengaruhi sifat fisik dan mekanik material tersebut, seperti kekuatan, elastisitas, atau ketahanan terhadap keausan. Terdapat konsep-konsep yang digunakan untuk memahami dan menganalisis bagaimana struktur material terbentuk, bekerja, dan bertahan di bawah pengaruh beban atau kondisi tertentu. Ini berfokus pada perilaku dan sifat material yang digunakan dalam konstruksi atau produk teknik, serta bagaimana struktur tersebut mempengaruhi kinerja keseluruhan.

B. Teori Komposit

Komposit adalah suatu jenis material baru yang terbentuk dari hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih material dimana sifat masing-masing material berbeda satu sama lain baik itu sifat kimia maupun dari sifat fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari bahan pembuatannya maka komposit antar bahan harus terikat dengan kuat.

C. Teori Uji Tembak

Uji tembak adalah salah satu metode eksperimen yang paling penting dalam menilai performa balistik suatu material. Dalam konteks penelitian komposit serat *hibiscus tiliaceus* dan serat karbon kevlar, uji tembak bertujuan untuk mengukur kemampuan material komposit untuk menahan penetrasi proyektil dan menilai kerusakan struktural yang terjadi setelah proyektil mengenai material tersebut. Dengan uji tembak, dapat dilihat bagaimana struktur komposit berperilaku di bawah kondisi nyata, yaitu saat terkena gaya impact dari proyektil dengan kecepatan tertentu. Pengujian uji tembak ini berstandar *body armor* untuk rompi anti peluru standar NIJ-0101.06, “Ketahanan Balistik Pelindung Tubuh,” merupakan tolok ukur kinerja minimum yang dikembangkan bersama dengan *Office of Law Enforcement Standards* (OLES) dari *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Tujuan dari standar ini adalah untuk merumuskan spesifikasi minimum dan metode pengujian ketahanan balistik pelindung tubuh individu yang dirancang untuk memberikan perlindungan terhadap proyektil. Berdasarkan pedoman ini, pelindung balistik diklasifikasikan ke dalam beberapa tingkatan, yaitu level I, II-A, II, III-A, III, dan IV. Level I adalah kelas terendah dan level IV merupakan kelas tertinggi.

TABEL 1
Keterangan level caliber standar NIJ

Test variables						Performance requirements			
Armor Type	Test Bullet	Bullet Mass (gram)	Bullet Manufacturer	Conditioned Armor Test Velocity* m/s	New Armor Test Velocity* m/s	Hits Per Panel at 0° Angle	Maximum BFS Depth	Hits Per Panel at 30° or 45° Angle ¹	Shots Per Panel
IIA	9 mm FMJ RN	8.0	Remington 23558	355 ± 9	373 ± 9	4	44 mm	2	6
	.40 S&W FMJ	11.7	Remington 23686	325 ± 9	352 ± 9	4	44 mm	2	6
II	9 mm FMJ RN	8.0	Remington 23558	379 ± 9	398 ± 9	4	44 mm	2	6
	.357 Magnum JSP	10.2	Remington 22847	408 ± 9	436 ± 9	4	44 mm	2	6
IIIA	.357 SIG FMJ FN	8.1	Speer 4362	430 ± 9	448 ± 9	4	44 mm	2	6
	.44 Magnum SJHP	15.6	Speer 4453 or 4736	408 ± 9	436 ± 9	4	44 mm	2	6
III	7.62 mm NATO FMJ	9.6	US/NATO M80 ammunition	847 ± 9	-	6	44 mm	0	6
IV	.30 Caliber M2 AP	10.8	US Military	878 ± 9	-	1 to 6	44 mm	0	1 to 6

D. Metode Vacuum Bag

Metode Vacuum bag merupakan salah satu metode dalam proses pembuatan komposit yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas laminasi dengan cara menghilangkan udara dan tekanan udara sekitar yang berlebihan. Prinsip kerja metode Vacuum Bag didasarkan pada penggunaan kantong vacuum yang terbuat dari bahan fleksibel dan kedap udara, yang membungkus seluruh susunan lapisan komposit dan cetakannya. Setelah lapisan serat dan resin disusun pada cetakan, kantong vacuum dipasang dan udara di dalamnya dihisap menggunakan pompa vacuum sehingga tercipta tekanan negatif atau vacuum di dalam kantong. Tekanan ini menyebabkan udara dan gas yang terperangkap di antara lapisan komposit dapat keluar, mengurangi kemungkinan terjadinya void atau porositas yang dapat menurunkan kualitas komposit tersebut.

*Analisis Perbandingan Kekuatan Struktur Komposit Serat Hibiscus Tiliaceus dan Serat Karbon Kevlar dengan Metode Vacuum Bag menggunakan Uji Tembak
(Agung Anugrah Bilangpratama)*

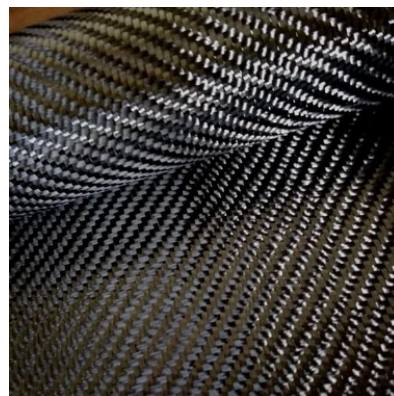
III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

Bab ini berisikan diagram alir (*flowchart*) yang meliputi proses penelitian, uraian data secara rinci mengenai penelitian, variabel penelitian, alat atau instrumen untuk mengumpulkan data, pembuatan spesimen yang akan dilakukan uji tembak dan melaksanakan uji tembak. Hasil dari pengujian kemudian akan dilaksanakan analisis dari speismen yang telah dilaksanakan uji tembak. Penjelasan singkat mengenai tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Pada tahap awal adalah mencari materi yang berhubungan dengan tugas akhir dengan judul dan materi yang telah ditentukan.
2. Selanjutnya adalah mengumpulkan bahan dan alat yang diperlukan untuk pembuatan spesimen komposit tersebut. Alat dan bahan yang diperlukan seperti tampak pada gambar berikut ini.



Gambar 1 Serat *Hibiscus Tiliaceus*



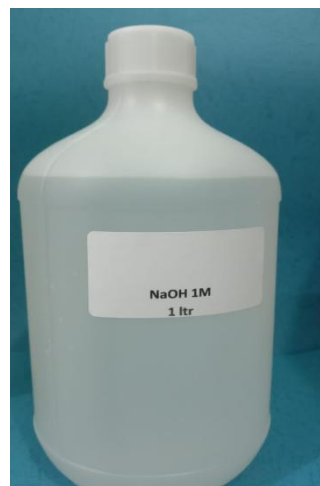
Gambar 2 Serat karbon kevlar



Gambar 3 Resin epoxy



Gambar 4 Resin hardenering



Gambar 5 Cairan NaOH

Analisis Perbandingan Kekuatan Struktur Komposit Serat Hibiscus Tiliaceus dan Serat Karbon Kevlar dengan Metode Vacuum Bag menggunakan Uji Tembak (Agung Anugrah Bilangpratama)



Gambar 6 Kaca Alas Komposit



Gambar 7 Cetakan kayu



Gambar 8 *Vacuum Pump*



Gambar 9 *Sealant tape*



Gambar 10 *Peel Ply*



Gambar 11 *Spiral Tube*



Gambar 3.12. *Infusion Tube Vacuum Infusion.*

*Analisis Perbandingan Kekuatan Struktur Komposit Serat Hibiscus Tiliaceus dan Serat Karbon Kevlar dengan Metode Vacuum Bag menggunakan Uji Tembak
(Agung Anugrah Bilangpratama)*



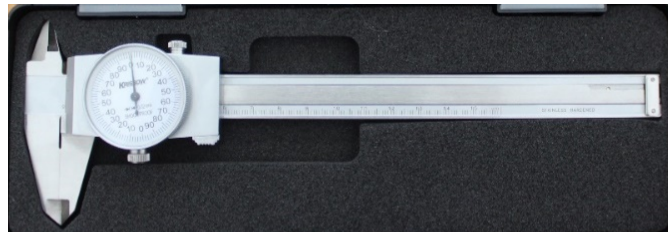
Gambar 3.13. Timbangan digital.



Gambar 3.14. *Infusion Part.*



Gambar 3.15. Kasa.



Gambar 3.16. Jangka Sorong.

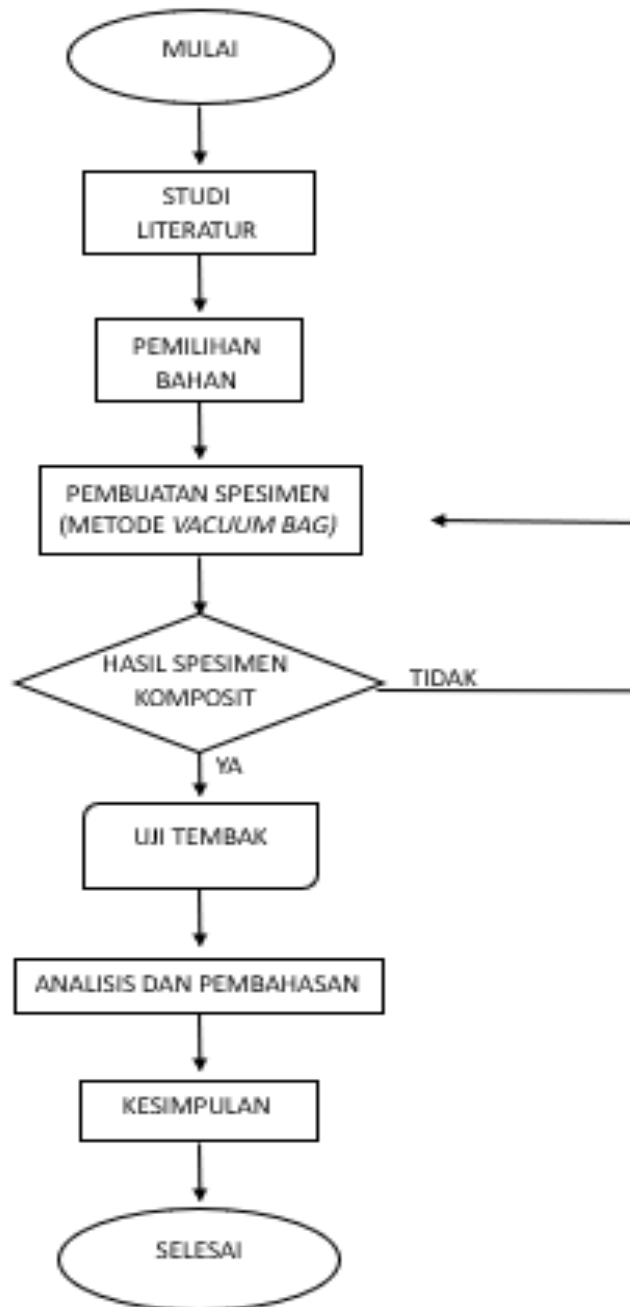


Gambar 3.17. Peluru kaliber 9 mm.

3. Selanjutnya membuat komposit dengan menggunakan metode Vacuum Bag.
4. Setelah itu proses pengujian spesimen menggunakan uji tembak.
5. Hasil simulasi dan pengujian didapat hasil sebagai berikut :
 - a. Spesimen 1 dengan komposisi 50% Serat Hibiscus Tiliaceus, 30% Serat karbon kevlar, 20% Resin epoxy yang di tembakan pada jarak 25 meter dimana jarak tersebut sudah masuk kedalam standar NIJ level IIA karena menggunakan kaliber 9mm dengan kecepatan $379 \pm 9 \text{ m/s}$. Pada penelitian ini ditembakkan 3 peluru dan ketiganya menembus spesimen. Cenderung menyerap banyak energi lewat mekanisme pull-out dan delaminasi sehingga mungkin menunjukkan damage area besar (backface, delamination) tetapi penetrasi bisa terjadi lebih mudah dibanding komposisi 2 jika energi per unit massa lebih rendah. Artinya lebih banyak kerusakan internal dan bekas benturan besar, namun tidak selalu mencegah penetrasi sebaik komposisi 2.
 - b. Spesimen 2 dengan komposisi 30% Serat Hibiscus Tiliaceus, 50% Serat karbon kevlar, 20% Resin epoxy yang di tembakan pada jarak 25 meter dimana jarak tersebut sudah masuk kedalam standar NIJ level IIA karena menggunakan kaliber 9mm dengan kecepatan $379 \pm 9 \text{ m/s}$. Pada penelitian ini ditembakkan 3 peluru dan ketiganya tidak menembus spesimen. Komposisi 30% Hibiscus Tiliaceus 50% karbon kevlar 20% epoxy paling mungkin menunjukkan performansi spesimen terbaik resistansi penetrasi terbesar, V50 tertinggi, dan lebih banyak energi diserap oleh serat teknis lebih kecil residual velocity atau non-penetration pada kecepatan yang sama dibanding komposisi lain.
 - c. Spesimen 3 dengan komposisi 30% Serat Hibiscus Tiliaceus, 30% Serat karbon kevlar, 40% Resin epoxy yang di tembakan pada jarak 25 meter dimana jarak tersebut sudah masuk kedalam standar NIJ level IIA karena menggunakan kaliber 9mm dengan kecepatan $379 \pm 9 \text{ m/s}$. Pada penelitian ini ditembakkan 3 peluru dan ketiganya menembus spesimen. Setelah di uji tembak spesimen ini ialah

performa dari spesimen tersebut kurang diantara ketiga spesimen yang diujikan karena kurangnya komposisi pada spesimen tersebut.

Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan pada gambar dibawah ini



IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian

Metode dalam penelitian ini menggunakan jenis pengujian Uji tembak, proses pengujian ini dilakukan di Penyimpanan Senjata Dinas Akademi Angkatan Udara. Sebelum melaksanakan pengujian tersebut maka dilakukan tahap persiapan bahan dan alat yang akan dipakai bahan dibentuk sesuai dengan bahan spesimen yang akan diujikan untuk mendapat hasil yang diinginkan setelah pengujian dari spesimen tersebut.

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis data, maka kemudian dilaksanakan pengujian berupa pengujian balistik yang dilaksanakan di Penyimpanan Senjata Dinas (PSD) Akademi Angkatan Udara. Sebelum pengujian tembak dimulai, spesimen dipasang pada lesan uji dengan jarak yang telah ditetapkan, yaitu 25 m. Masing-masing spesimen ditembak sebanyak tiga kali dengan pistol dengan amunisi kaliber 9×19 mm (MU-1 TJ). Menurut standar NIJ, jarak minimum titik perkenaan tembakan dari tepi spesimen adalah ± 19 mm (1,9 cm) dan jarak minimum antar titik perkenaan satu dengan lainnya adalah ± 100 mm (10 cm).

Namun dalam penelitian ini tidak digunakan mesin barrel di Depohar 60 yang memungkinkan penentuan titik perkenaan secara presisi; tembakan dilakukan secara manual oleh personel di Penyimpanan Senjata Dinas (PSD) Akademi Angkatan Udara. Kondisi ini menimbulkan keterbatasan dan kesulitan dalam mengarahkan amunisi tepat pada titik yang berjarak ± 19 mm dari tepi atau menjaga jarak antar perkenaan sebesar ± 100 mm. Selain itu, penelitian ini hanya melakukan tiga kali tembakan per spesimen, sementara standar NIJ mensyaratkan empat tembakan per panel pada sudut 0° dan dua tembakan pada sudut 35° atau 45° total enam tembakan. Dengan demikian pengujian ini mewakili sekitar 50% dari jumlah tembakan yang direkomendasikan, sebuah konsekuensi dari penggunaan tembakan manual yang menyulitkan penempatan tembakan sesuai ketentuan NIJ.

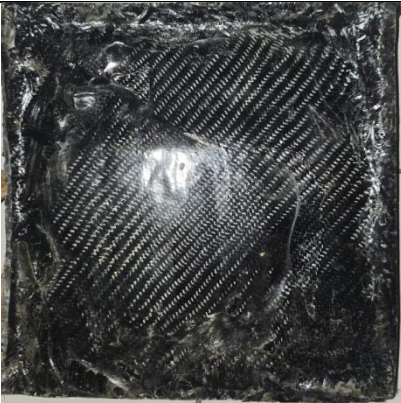
Backface Signature (BFS) Mengacu pada NIJ 0101.06 level IIA adalah kurang dari 44 mm dan peluru tidak tembus. Berdasarkan hasil pengujian terhadap setiap spesimen yang memiliki komposisi yang berbeda berupa pengujian balistik yang dilaksanakan di Penyimpanan Senjata Dinas (PSD) Akademi Angkatan Udara, didapatkanlah hasil dari setiap pengujian seperti ditunjukkan pada tabel. Adapun hasil kemampuan balistik yang diperoleh tersaji pada tabel 2 di bawah ini.

TABEL 2
KEMAMPUAN BALISTIK

No	Spesimen	Hasil penembakan	Hasil	Keterangan
1	2	3	4	5
1.	Spesimen 1 (50% <i>Hibiscus Tiliaceus</i> , 30% serat karbon)		Tembus	Tidak memenuhi Standar NIJ Level IIA

*Analisis Perbandingan Kekuatan Struktur Komposit Serat Hibiscus Tiliaceus dan Serat Karbon Kevlar dengan Metode Vacuum Bag menggunakan Uji Tembak
(Agung Anugrah Bilangpratama)*

	kevlar dan 20% <i>epoxy</i>)	 Tampak depan  Tampak belakang		
2.	Spesimen 2 (30% <i>Hibiscus Tiliaceus</i> , 50% serat karbon kevlar dan 20% <i>epoxy</i>)	 Tampak depan	Tidak tembus	Terdapat BFS Memenuhi Standar NIJ Level IIA

				
		Tampak belakang		
3.	Spesimen 3 (30% <i>Hibiscus Tiliaceus</i> , 30% serat karbon kevlar dan 40% epoxy)	 Tampak depan  Tampak belakang	Tembus	Tidak memenuhi Standar NIJ Level IIA

V. KESIMPULAN

a. Hasil uji tembak menunjukkan bahwa diantar ketiga spesimen yang diujikan, spesimen 2 yang mempunyai komposisi 30% serat Hibiscus Tiliaceus, 50% serat Karbon Kevlar dan 20% resin Epoxy memiliki ketahanan performansi balistik terbaik di antara ketiganya. Kemampuan ini mengindikasikan fraksi serat teknis yang lebih besar efektif dalam menyerap dan mendisperse energi tembakan sehingga mengurangi atau mengeliminasi residual velocity pada kondisi tersebut.

b. Berdasarkan hasil uji tembak balistik pada jarak 25 m terhadap tiga variasi komposit yang dibuat menggunakan metode vacuum bag, komposit dengan komposisi 30% Hibiscus Tiliaceus, 50% Karbon Kevlar, 20% resin epoxy menunjukkan ketahanan balistik terbaik ditandai oleh penetrasi paling sedikit, residual velocity terendah, dan back-face deformation yang paling kecil dibandingkan dua komposisi lainnya. Komposit dengan dominasi Hibiscus Tiliaceus, 50% Hibiscus, 30%, Karbon Kevlar, 20% resin epoxy mampu menyerap energi tumbukan cukup baik namun cenderung mengalami delaminasi dan sobekan serat sehingga performa anti penetrasi lebih rendah daripada komposit Karbon Kevlar yang dominan. Sementara itu, komposit dengan kandungan resin tinggi 30% Hibiscus Tiliaceus, 30% Kevlar, 40% resin epoxy memperlihatkan performa balistik terendah karena terbentuknya zona resin-rich yang mengurangi kontribusi mekanis serat terhadap penyerapan dan distribusi energi dampak. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi serat Karbon Kevlar secara signifikan meningkatkan kekuatan dan kemampuan menahan penetrasi, sedangkan peningkatan fraksi resin menurunkan kapasitas balistik meskipun meningkatkan homogenitas matriks.

- [1] Niskanen, S. (2009). OpenRocket: Software untuk Desain dan Simulasi Roket. Open Source Project Azissyukhron, M & Hidayat, S, 2018, Perbandingan Kekuatan Material Hasil Metode Hand Lay-up dan Metode Vacuum Bag Pada Material Sandwich Composite, Vol. 9 (2018): Industrial Research Workshop and National Seminar, Bandung, <https://doi.org/10.35313/irwns.v9i0.1072>
- [2] Rabbani, GN, 2022, Simulasi Kelelahan (Fatigue) Pada Rangka E-Motorbike Berbasis Ansys Workbench, Magelang : Universitas Tidar.
- [3] Wiranegara, CB, 2022, Pemanfaatan Serat Alam Dan Serat Sintetis Sebagai Material Bilah Horizontal Axis Wind Turbine, Vol 3, No 1, Magelang, <https://jurnal.untidar.ac.id/index.php/senaster/article/view/5546/2974>
- [4] J Yulius O. Bani, Daud P. Mangesa, Jefri S. Bale, Pembuatan Dan Pengujian Alat Fabrikasi Komposit Vacuum Bag Dengan Menggunakan Metode VDI 2221.
- [5] Zahrah, Lutfianisa. 2015. "Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM dalam Menyerap Energi Akibat Impact Proyektil". Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.
- [6] D'Orazio, L., Esposito Corcione, C., & Frigione, M. (2023). Ballistic penetration damage for hybrid carbon/Kevlar/UHMWPE fiber laminated composites. *Composites Part B: Engineering*, 256, 110736. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110736>
- [7] Zhang, Y., Wang, H., & Guo, J. (2024). Thickness effect on ballistic impact behavior of hybrid carbon/Kevlar composites. *Composites Science and Technology*, 244, 110997. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2024.110997>
- [8] Lee, C., & Park, J. (2022). Study on impact properties of carbon/Kevlar fiber hybrid composites. *Polymer Composites*, 43(8), 4687–4698. <https://doi.org/10.1002/pc.28367>
- [9] National Institute of Justice. (2023, October). Ballistic Resistance of Body Armor, NIJ Standard 0101.07 (NCJ Number 307346). U.S. Department of Justice, Office of Justice Programs. Retrieved from <https://nij.ojp.gov/library/publications/ballistic-resistance-body-armor-nij-standard-010107>