



Analisis Sifat Mekanik Komposit Coco Fiber Epoxy/Carbon Sebagai Material Anti Peluru Dalam Menahan Energi Impak Proyektil

Mechanical Properties Analysis of Coco Fiber–Epoxy/Carbon Composite as Bulletproof Material Against Projectile Impact Energy

Melchior Dmitry Alexa Moningka^{1*}, F.S Damanik, S.Si., M.T²

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

Abstract— Natural fiber-based composites are lightweight materials with promising potential for environmentally friendly ballistic protection applications. One of the most attractive materials to investigate is a composite made of coconut fiber (coco fiber) combined with epoxy resin and carbon powder. This combination is expected to enhance energy absorption capacity while reducing overall weight compared to conventional metallic materials. This study aims to analyze the mechanical properties and ballistic impact resistance of a coco fiber–epoxy–carbon composite. Two specimens were fabricated with the same volume fraction composition, consisting of 20% coconut fiber, 20% carbon powder, and 60% epoxy resin, but with different thicknesses of 40 mm and 44 mm. Ballistic testing was conducted using live firing with 9 mm caliber bullets at a distance of 25 m and 5.56 mm caliber bullets at 100 m. Projectile velocities were measured using a chronograph to determine the absorbed energy of the composite. The results showed that both specimens experienced complete perforation under both projectile types. The dominant failure modes observed were delamination, radial cracking, and fiber pull-out due to weak fiber–matrix adhesion. Although the composite has not met the NIJ 0101.06 standard, it shows potential for application as an energy-absorbing backing layer in multilayer ballistic protection systems.

Keywords—Composite, Coco Fiber, Epoxy Resin, Carbon Powder, Ballistic Test.

Abstrak— Komposit berbasis serat alam merupakan alternatif material ringan yang berpotensi digunakan sebagai bahan pelindung balistik ramah lingkungan. Salah satu material yang menarik untuk diteliti adalah komposit serat kelapa (coco fiber) yang dikombinasikan dengan resin epoksi dan serbuk karbon. Kombinasi ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan serap energi sekaligus mengurangi berat dibanding bahan logam konvensional. Penelitian ini bertujuan menganalisis sifat mekanik dan kemampuan komposit coco fiber–epoxy–carbon dalam menahan energi impak proyektil. Dua spesimen dibuat dengan fraksi volume sama, yaitu 20% serat kelapa, 20% serbuk karbon, dan 60% epoxy resin, masing-masing dengan ketebalan 40 mm dan 44 mm. Pengujian dilakukan menggunakan metode uji tembak langsung dengan peluru kaliber 9 mm pada jarak 25 m dan 5,56 mm pada jarak 100 m. Hasil uji menunjukkan kedua spesimen mengalami perforasi penuh terhadap

*Melchior Dmitry Alexa Moningka
E-mail: Melchior.flare@gmail.com

kedua jenis proyektil. Kerusakan dominan berupa delaminasi, retak radial, dan fiber pull-out akibat lemahnya ikatan serat-resin. Meskipun belum memenuhi standar NIJ 0101.06, material ini memiliki potensi sebagai lapisan penyerap energi (backing layer) pada sistem pelindung balistik multilayer.

Kata kunci—**Komposit, Serat Kelapa, Epoxy Resin, Serbuk Karbon, Uji Balistik.**

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan material ringan namun memiliki ketahanan balistik yang baik semakin meningkat seiring perkembangan teknologi militer dan pertahanan sipil. Material komposit menjadi salah satu solusi potensial karena dapat mengombinasikan kekuatan tinggi dari serat dengan keuletan matriks polimer. Salah satu serat alam yang potensial adalah serat kelapa (coco fiber) yang memiliki kekuatan tarik tinggi, ramah lingkungan, dan melimpah di Indonesia. Penambahan serbuk karbon berfungsi meningkatkan kekakuan dan kemampuan penyerapan energi.

Material komposit memiliki keunggulan berupa rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi (*high strength-to-weight ratio*), kemampuan desain yang fleksibel, serta sifat mekanik yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan melalui variasi komposisi dan jenis penguat. Kombinasi antara matriks dan serat memungkinkan terjadinya distribusi beban dan energi impact secara merata, sehingga mampu mengurangi tingkat deformasi lokal akibat benturan peluru. Salah satu material penguat alami yang menjanjikan adalah serat kelapa (coco fiber), yang memiliki kekuatan tarik relatif tinggi, daya lentur baik, serta ketersediaan yang melimpah di Indonesia. Serat ini juga tergolong ramah lingkungan karena bersifat biodegradable dan berasal dari limbah pertanian yang mudah diperoleh.

Penelitian ini menganalisis kemampuan komposit coco fiber-epoxy-carbon dalam menahan energi impact proyektil peluru kaliber 9 mm dan 5,56 mm. Pengujian dilakukan dengan metode uji tembak sesuai acuan NIJ 0101.06 Level III. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan material lokal untuk aplikasi rompi anti peluru berbasis serat alam.

II. LANDASAN TEORI

A. Material Komposit

Material komposit merupakan kombinasi dua atau lebih material yang berbeda secara makroskopis untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya secara terpisah. Komposit umumnya tersusun atas dua komponen utama, yaitu matriks dan penguat (reinforcement). Matriks berfungsi sebagai pengikat dan pelindung serat, sementara penguat berfungsi meningkatkan kekuatan, kekakuan, serta ketahanan terhadap beban impact (Pickering et al., 2015).

B. Serat Kelapa (Coco Fiber)

Serat kelapa termasuk serat alam lignoselulosa yang tersusun dari selulosa ($\pm 40\text{--}45\%$), hemiselulosa ($\pm 20\%$), dan lignin ($\pm 40\%$). Struktur ini memberikan sifat lentur dan ketangguhan alami. Menurut Hasan et al. (2021), serat kelapa memiliki densitas sekitar $1,15 \text{ g/cm}^3$ dengan kekuatan tarik antara $100\text{--}200 \text{ MPa}$. Serat ini juga memiliki daya serap energi tinggi, namun kelemahan utamanya terletak pada ikatan antarmuka yang lemah dengan resin polimer. Untuk meningkatkan kekuatan ikatan, sering dilakukan perlakuan alkali (NaOH) guna menghilangkan lignin dan memperbaiki adhesi permukaan (Seid et al., 2024).

C. Resin Epoksi

Resin epoksi merupakan polimer termoset yang sering digunakan dalam material komposit karena memiliki kekuatan tarik tinggi ($40\text{--}90 \text{ MPa}$), kekakuan tinggi, serta ketahanan yang baik terhadap kelembaban dan suhu. Epoksi berfungsi menyatukan serat dan mendistribusikan beban secara merata. Menurut Pulungan (2017), penggunaan epoksi sebagai matriks meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap dampak. Namun, resin epoksi bersifat getas sehingga memerlukan bahan penguat untuk meningkatkan ketangguhannya.

D. Serbuk Karbon

Serbuk karbon berfungsi sebagai penguat partikel yang dapat meningkatkan modulus elastisitas dan kemampuan redaman energi. Puttaswamygowda (2024) menjelaskan bahwa partikel karbon mampu mengurangi mikroretak serta memperbaiki transfer tegangan antara serat dan matriks. Kombinasi serat kelapa dengan serbuk karbon menghasilkan efek sinergis terhadap kekuatan tarik, kekakuan, serta kemampuan menahan energi dampak.

E. Mekanisme Penyerapan Energi pada Komposit Balistik

Ketika proyektil menumbuk permukaan komposit, energi kinetik peluru diserap melalui beberapa mekanisme, antara lain deformasi plastis, delaminasi, *fiber pull-out*, dan fraktur matriks. Menurut De Araujo et al. (2014), kemampuan komposit dalam menahan penetrasi proyektil bergantung pada ketebalan panel, orientasi serat, dan kekuatan ikatan antar lapisan. Komposit dengan orientasi serat acak cenderung memiliki kemampuan serapan energi yang lebih merata dibanding orientasi tunggal.

Energi kinetik peluru dapat dihitung dengan persamaan:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

Energi yang diserap oleh komposit (E_{abs}) diperoleh dari selisih antara energi kinetik awal (E_i) dan energi residu setelah proyektil menembus panel (E_r):

$$E_{abs} = E_i - E_r$$

F. Standar NIJ 0101.06

Standar NIJ 0101.06 (National Institute of Justice) digunakan sebagai acuan pengujian ketahanan balistik material pelindung tubuh. Untuk Level III, material harus mampu menghentikan peluru kaliber 7.62 mm FMJ dengan energi sekitar 2.780 J tanpa terjadi perforasi. Walaupun penelitian ini menggunakan peluru kaliber 9 mm dan 5.56 mm , parameter perbandingan tetap mengacu pada standar tersebut untuk menilai performa relatif komposit.

METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode uji tembak langsung (ballistic test) untuk mengetahui kemampuan komposit coco fiber–epoxy–carbon dalam menahan energi impact proyektil. Metode ini mengacu pada prosedur uji balistik standar NIJ 0101.06 Level III, yang digunakan untuk menilai performa ketahanan material terhadap tembakan peluru berkecepatan tinggi.

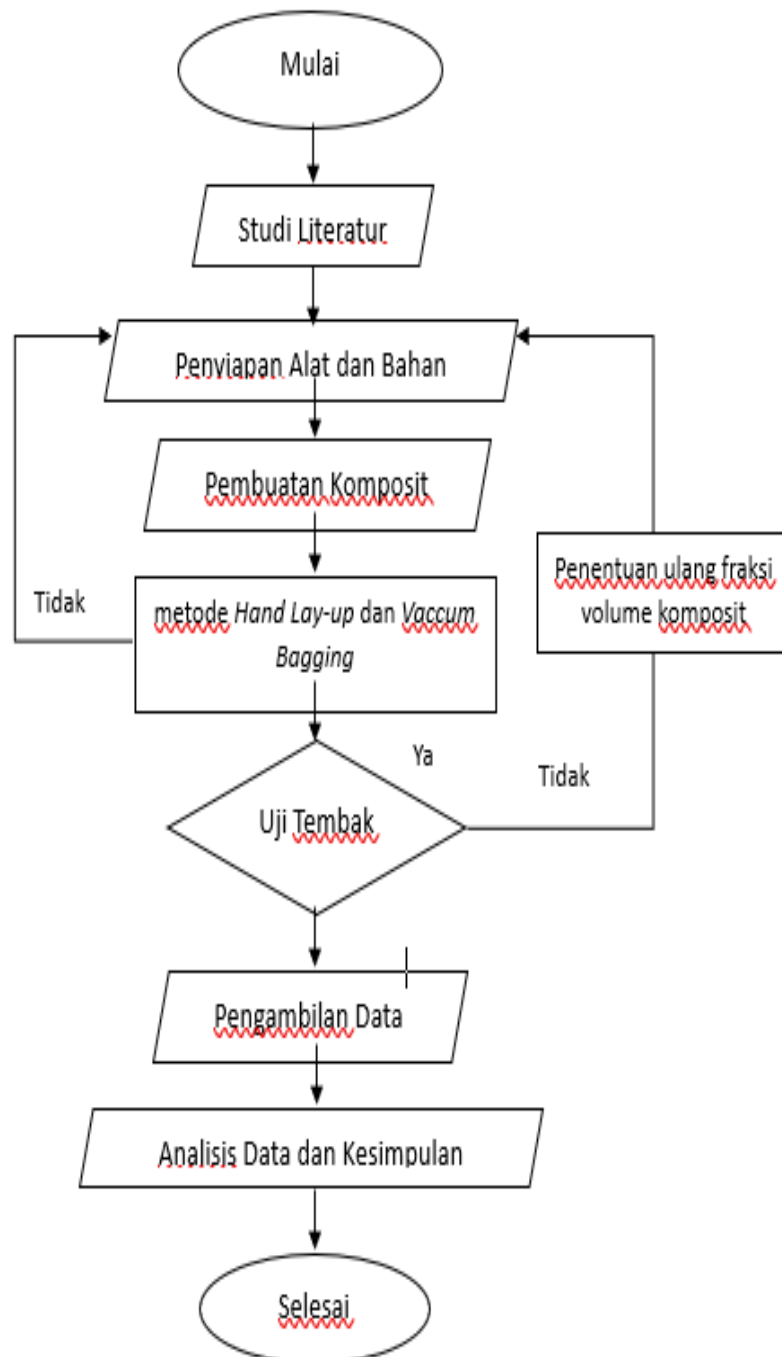
1. Pada tahap awal adalah mencari materi yang berhubungan dengan tugas akhir dengan judul dan materi yang telah ditentukan yaitu mencari informasi mengenai material komposit anti peluru.
2. Proses pembuatan spesimen dilakukan dengan *vacuum bagging*. Bahan penyusun komposit terdiri dari:
 - a. 20% serat kelapa (coco fiber) sebagai penguat utama,
 - b. 20% serbuk karbon sebagai penguat tambahan, dan
 - c. 60% resin epoksi sebagai matriks pengikat.



Gambar 1. Pembuatan *vacuum bagging*

3. Dua spesimen dibuat dengan dimensi 20 cm x 20 cm, namun dengan ketebalan berbeda, yaitu 40 mm (Spesimen 1) dan 44 mm (Spesimen 2). Spesimen yang dibuat nantinya dilakukan pengujian tembak dengan jarak 25 meter untuk laras pendek dan 100 meter untuk laras Panjang.
4. Hasil pengujian didapat hasil sebagai berikut :
 - a. Setelah pengujian, permukaan depan dan belakang komposit diamati menggunakan kamera makro untuk mendokumentasikan pola kerusakan, seperti:
 - 1) Delaminasi antar lapisan,
 - 2) Retak radial,
 - 3) Lubang perforasi, dan
 - 4) Pelepasan serat (fiber pull-out).

Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan komposit coco fiber-epoxy-carbon dalam menahan energi impak proyektil. Dua spesimen diuji, masing-masing dengan ketebalan 40 mm dan 44 mm, dengan komposisi fraksi volume serat kelapa 20%, serbuk karbon 20%, dan resin epoksi 60%. Uji tembak dilakukan menggunakan dua jenis peluru, yaitu peluru **pistol kaliber 9 mm** dengan jarak tembak **25 meter**, dan peluru **senapan 5.56 mm** dengan jarak **100 meter**. Masing-masing jenis peluru ditembakkan dua kali ke setiap specimen.

B. Pembahasan

Data -data yang diperlukan untuk pelaksanaan uji tembak Adalah sebagai berikut:

TABEL I
HASIL UJI TENBAK 40 MM

Spesimen	Ketebalan (mm)	Kaliber	Tembakan	Hasil	Catatan
Spesimen 1	40	9 mm	1	Tembus	Perforasi penuh, lubang keluaran
Spesimen 1	40	9 mm	2	Tembus	Perforasi penuh, lubang keluaran
Spesimen 1	40	5.56 mm	1	Tembus	Perforasi penuh, fragmentasi
Spesimen 1	40	5.56 mm	2	Tembus	Perforasi penuh, proyektil keluar

TABEL II
HASIL UJI TENBAK 44 MM

Spesimen	Ketebalan (mm)	Kaliber	Tembakan	Hasil	Catatan
Spesimen 2	44	9 mm	1	Tembus	Lubang keluaran, delaminasi
Spesimen 2	44	9 mm	2	Tembus	Lubang keluaran kecil
Spesimen 2	44	5.56 mm	1	Tembus	Perforasi, fragmen keluar
Spesimen 2	44	5.56 mm	2	Tembus	Perforasi penuh, lubang keluaran

Dari data hasil pengujian uji tembak terhadap kedua benda uji dengan ketebalan 40mm dan 44mm dapat terlihat bahwa kedua spesimen mengalami perforasi (tembus penuh), yang menunjukkan bahwa kekuatan impak material belum mencukupi untuk menahan energi kinetik proyektil baik dari 9 maupun 5.56 mm. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme disipasi energi internal komposit belum optimal, meskipun material menyerap sebagian besar energi kinetik yang datang, energi yang tersisa masih cukup besar untuk menyebabkan perforasi penuh. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan disipasi energi komposit masih belum memadai untuk menahan deformasi berkecepatan tinggi. Ketika proyektil mengenai permukaan depan panel, sebagian besar energi kinetik diubah menjadi energi deformasi lokal, menghasilkan tekanan tinggi pada resin dan serat. Resin epoxy, yang bersifat kaku namun rapuh, mengalami *crack initiation* di sekitar titik tumbukan. Serat kelapa, yang memiliki elongasi tinggi, berperan menyerap sebagian energi melalui deformasi elastik dan gesekan internal.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pengujian balistik terhadap komposit coco fiber-epoxy-carbon dengan variasi ketebalan 40 mm dan 44 mm, dapat disimpulkan bahwa Komposit berbasis serat kelapa dengan penguat serbuk karbon dan matriks resin epoksi belum mampu menghentikan penetrasi secara penuh. Seluruh spesimen mengalami perforasi (tembus total) pada kedua jenis peluru, hal ini menunjukkan bahwa ketebalan berpengaruh terhadap kemampuan komposit dalam menyerap energi kinetik proyektil. Mode kerusakan utama yang diamati adalah *delaminasi antar lapisan*, *retak radial*, dan *fiber pull-out*, yang menunjukkan bahwa mekanisme penyerap energi dominan terjadi melalui kegagalan antar muka serat dan matriks. Berdasarkan perbandingan dengan standar NIJ 0101.06 Level III, material ini belum memenuhi ketahanan balistik penuh karena seluruh spesimen mengalami perforasi.

REFERENSI

- [1] De Araujo, B.M., dkk., 2014. *Ballistic Performance of Sisal Fiber Reinforced Epoxy Composite in Multilayered Armor. Proceedings of the 21st CBECIMAT*, Cuiabá, Brazil.
 - [2] Hakam, M., Primaningtyas, W.E. & Nugroho, F.A., 2023. *Analisa sifat mekanik komposit serat sabut kelapa-serat karbon. Jurnal Teknik Mesin dan Material Indonesia*,
 - [3] Hasan, K.M.F., Hasan, M., Sultan, M.T.H., Jawaid, M., & Alothman, O.Y., 2021. *Thermo-mechanical properties of pretreated coir fiber and its composites. Scientific Reports*, 11(1), pp.1–13.
 - [4] Pickering, K.L., Efendy, M.G.A. & Le, T.M., 2015. *A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, pp.98–112.
 - [5] Pickering, K.L., Efendy, M.G.A. & Le, T.M., 2015. *A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, pp.98–112.
 - [6] Pulungan, M.A., 2017. *Analisis kemampuan rompi anti peluru yang terbuat dari komposit HGM-epoxy dan serat karbon dalam menyerap energi akibat dampak peluru. Jurnal Teknologi Dirgantara Indonesia*,
 - [7] Sapuan, S.M., Harimi, M. & Maleque, M.A., 2017. *Mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites: A review. Composite Structures*, 123, pp.10–20.
 - [8] Prabowo, H., Santoso, D. & Wibowo, T., 2021. *Studi eksperimental kekuatan komposit berbasis serat alam terhadap beban dampak dinamis. Jurnal Rekayasa Material dan Energi*, 7(2), pp.45–52.
 - [9] Seid, A. M., Adimass, S. A., et al., 2024. *Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites. Heliyon*, 10(20), e39116.
 - [10] Syahrial, A. & Batubara, A., 2020. *Analisa sifat mekanik komposit rompi anti peluru serat bambu dan arang batok kelapa dengan resin polyester. Jurnal Teknik Mesin Unimed*, 9(1), pp.12–18.
-