e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Perbandingan Sifat Mekanik Material Logam Dan Komposit Pada Helm Anti-Balistik

Comparison Of The Mechanical Properties Of Metal And Composite Materials For Anti-Ballistic Helmets

Bima Raditya Putra Difa[1*], Sovian Aritonang[2], Aulia Putri Ariendi[3], Brillian Salman Al Farisi[4]
[*1,3,4]*Program Studi Fisika Militer, Universitas Pertahanan Republik Indonesia*
[2]*Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia*

[1]radytbima22@gmail.com[*] , [2]sovian.aritonang@idu.ac.id , [3]auliaputriariendi754@gmail.com ,
[4]brillianfarisi62@sma.belajar.id

Abstract

Anti-ballistic helmets have evolved from steel shells to fibre-reinforced polymer composites in order to reduce weight while maintaining protection. This study compares the mechanical properties of metallic and composite materials for anti-ballistic helmets using a literature study with quantitative analysis of secondary data. Specific strength, specific modulus and longitudinal stress-wave velocity were calculated for reinforcing fibres, and the percentage change in ballistic limit velocity (VBL) and specific energy absorption (SEA) was calculated for composite and fibre–metal laminate configurations. Aramid fibre has a specific strength of 2,083–2,250 MPa·cm³/g and a wave velocity of 6,455–6,708 m/s, far higher than jute (302–595 MPa·cm³/g; 4,515 m/s). Changing the aramid architecture from 2D woven to 3D angle-interlock increased VBL by 25.0% and SEA by 52.6%, while a titanium back layer increased SEA by only 3.2%. These results show that composites are superior to metals per unit mass, whereas metals are more suitable as a hard strike-face layer in hybrid systems.

Keywords **:** *Anti-Ballistic Helmet, Aramid Composite, Metal, Specific Strength, Specific Energy Absorption*

Abstrak

Helm anti-balistik telah berkembang dari cangkang baja menjadi komposit polimer berpenguat serat untuk menurunkan berat tanpa mengurangi tingkat perlindungan. Penelitian ini membandingkan sifat mekanik material logam dan komposit untuk helm anti-balistik menggunakan metode studi literatur dengan analisis kuantitatif data sekunder. Kekuatan spesifik, modulus spesifik, dan kecepatan gelombang tegangan longitudinal dihitung untuk serat penguat, sedangkan persentase perubahan kecepatan batas balistik (VBL) dan serapan energi spesifik (SEA) dihitung untuk konfigurasi komposit dan laminat serat-logam. Serat aramid memiliki kekuatan spesifik 2.083–2.250 MPa·cm³/g dan kecepatan gelombang 6.455–6.708 m/s, jauh lebih tinggi daripada jute (302–595 MPa·cm³/g; 4.515 m/s). Perubahan arsitektur aramid dari anyaman 2D menjadi 3D *angle-interlock* menaikkan VBL sebesar 25,0% dan SEA sebesar 52,6%, sedangkan lapisan belakang titanium hanya menaikkan SEA sebesar 3,2%. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit lebih unggul daripada logam per satuan massa, sedangkan logam lebih sesuai digunakan sebagai lapisan muka keras pada sistem hibrid.

Kata Kunci: Helm Anti-Balistik, Komposit Aramid, Logam, Kekuatan Spesifik, Serapan Energi Spesifik

Penulis Korespondensi : Bima Raditya Putra Difa

Author@ This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

I. PENDAHULUAN

Helm merupakan perlengkapan pelindung utama bagi prajurit terhadap ancaman proyektil dan fragmen ledakan. Material helm tidak hanya harus mampu menahan penetrasi, tetapi juga harus membatasi deformasi muka belakang (*back-face deformation*) yang dapat menimbulkan trauma pada kepala (Miwazuki, 2024; Promma, 2021).

Helm generasi awal, seperti helm M1, dibuat dari baja. Baja mampu menahan perforasi, tetapi massanya besar, dan sifatnya yang keras serta kaku membatasi perlindungan terhadap peluru berkecepatan tinggi (Miwazuki, 2024; Promma, 2021). Keterbatasan tersebut mendorong pengembangan helm PASGT dan ACH berbahan serat aramid dengan matriks resin, dan material para-aramid/PVB-fenolik masih menjadi standar helm balistik hingga saat ini (Dias, 2024; Promma, 2021).

Komposit berpenguat serat aramid dan UHMWPE lebih ringan, mudah dibentuk mengikuti geometri kepala, dan memiliki serapan energi spesifik yang tinggi, sehingga banyak menggantikan logam pada pelindung personel (Liang, 2022; Rana, 2026). Logam tetap digunakan dalam bentuk laminat serat-logam (*fibre metal laminate*) sebagai lapisan muka tumbukan (Rana, 2026). Selain itu, serat alam seperti jute dan curaua mulai dikembangkan sebagai penguat pendamping aramid untuk menekan biaya dan dampak lingkungan (Cardoso, 2026; Nurazzi, 2021).

Penelitian ini bertujuan membandingkan sifat mekanik material logam dan komposit untuk helm anti-balistik melalui dua parameter, yaitu sifat spesifik serat penguat dan kinerja balistik konfigurasi komposit serta laminat serat-logam.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan analisis kuantitatif data sekunder. Data sifat mekanik serat penguat dan data kinerja balistik dihimpun, diseragamkan ke satuan SI, lalu dihitung menggunakan persamaan berikut.

Kekuatan spesifik dan modulus spesifik digunakan untuk membandingkan material yang memiliki massa jenis berbeda:

$$\sigma_{sp} = \sigma_u / \rho \quad (1)$$

$$E_{sp} = E / \rho \quad (2)$$

Kecepatan gelombang tegangan longitudinal dihitung karena serat dengan rasio modulus terhadap massa jenis yang tinggi menyebarkan tegangan lebih cepat dan menyerap energi lebih efisien (Rana, 2026):

$$c = \sqrt{(E / \rho)} \quad (3)$$

Perubahan kinerja balistik antara konfigurasi acuan dan konfigurasi modifikasi dinyatakan dalam persen:

$$\Delta = (X_{modifikasi} - X_{acuan}) / X_{acuan} \times 100\% \quad (4)$$

Pada persamaan (1) – (4), σu adalah kekuatan tarik, E modulus elastis, ρ massa jenis, c kecepatan gelombang, dan X parameter balistik yang ditinjau, yaitu VBL atau SEA.

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan sifat spesifik dan kecepatan gelombang serat penguat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Spesifik dan Kecepatan Gelombang Longitudinal Serat Penguat

Serat	ρ (g/cm³)	σu (MPa)	E (GPa)	σu/ρ (MPa·cm³/g)	E/ρ (GPa·cm³/g)	c (m/s)
Karbon	1,78–1,81	2.500–6.350	230–400	1.381–3.567	127–225	11.273–14.990
Aramid	1,40	3.000–3.150	63	2.143–2.250	45,0	6.708
Kevlar	1,44	3.000	60	2.083	41,7	6.455
S-glass	2,50	4.570	86	1.828	34,4	5.865
E-glass	2,50	2.000–3.500	70	800–1.400	28,0	5.292
Jute	1,30	393–773	26,5	302–595	20,4	4.515
Kenaf	1,45	215,4	53	149	36,6	6.046

Aramid menghasilkan kekuatan spesifik 2.083–2.250 MPa·cm³/g, sekitar 1,5 kali E-glass dan 3,5–6,9 kali jute. Kecepatan gelombangnya (6.455–6.708 m/s) juga 43–49% lebih tinggi daripada jute. Gelombang tegangan yang merambat lebih cepat menyebarkan energi tumbukan ke area serat yang lebih luas sebelum perforasi terjadi, sehingga aramid sangat efektif sebagai cangkang helm (Rana, 2026). Mekanisme ini berbeda dengan logam, yang menyerap energi secara lokal melalui deformasi plastis dan *shear plugging* di sekitar titik tumbukan.

Karbon memiliki modulus spesifik tertinggi, tetapi seratnya getas sehingga kemampuan menyerap energi regangan terbatas. Serat alam seperti jute dan kenaf memiliki kekuatan spesifik yang jauh lebih rendah daripada aramid, sehingga lebih tepat digunakan sebagai penguat pendamping dalam komposit hibrid daripada sebagai pengganti penuh (Nurazzi, 2021).

Persentase perubahan VBL dan SEA akibat modifikasi arsitektur serat, hibridisasi, dan penambahan lapisan logam ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perubahan Kinerja Balistik Komposit Aramid dan Laminat Serat-Logam

Sistem	Parameter	Acuan	Modifikasi	Perubahan
Kevlar 29/MAg-PP, anyaman 2D → 3D *angle-interlock*	VBL (m/s)	376	470	+25,0%
Kevlar 29/MAg-PP, anyaman 2D → 3D *angle-interlock*	SEA (J·m²/kg)	97	148	+52,6%
Kevlar 49/Elium → Kevlar 49 + UHMWPE/Elium	SEA (J·m²/kg)	51,68	87,20	+68,7%
FML: Kevlar diapit baja → Kevlar di muka tumbukan	VBL (m/s)	222	262	+18,0%
FML: lapisan belakang FRP → titanium	SEA	–	–	+3,2%

Peningkatan terbesar diperoleh dari perubahan arsitektur serat. Anyaman 3D *angle-interlock* menaikkan VBL sebesar 25,0% dan SEA sebesar 52,6% dibandingkan anyaman 2D tanpa menambah massa. Hal ini terjadi karena serat pada arah ketebalan menahan delaminasi, sehingga lebih banyak serat ikut menahan proyektil (Rana, 2026). Hibridisasi aramid dengan UHMWPE juga meningkatkan SEA sebesar 68,7%.

e-ISSN: 2964-0849
Vol.5 No.1 November 2026
DOI :https://doi.org/10.59585/bajik

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Sebaliknya, penambahan logam hanya memberikan peningkatan kecil. Lapisan belakang titanium menaikkan SEA sebesar 3,2%, karena tambahan massa logam menurunkan serapan energi per satuan berat. Penempatan Kevlar di muka tumbukan bahkan menghasilkan VBL 18,0% lebih tinggi dibandingkan Kevlar yang diapit lapisan baja. Temuan ini sejalan dengan peralihan helm dari baja M1 ke komposit aramid (Promma, 2021) dan dengan capaian perlindungan level III-A NIJ 0106.01 pada helm komposit aramid bermatriks termoplastik (Dias, 2024). Dengan demikian, komposit berperan sebagai penyerap energi utama, sedangkan logam lebih tepat digunakan sebagai lapisan muka keras pada sistem hibrid.

IV. KESIMPULAN

Komposit serat berkinerja tinggi lebih unggul daripada logam untuk cangkang helm anti-balistik bila dinilai per satuan massa. Serat aramid memiliki kekuatan spesifik 2.083–2.250 MPa·cm³/g dan kecepatan gelombang 6.455–6.708 m/s, jauh di atas serat alam seperti jute. Peningkatan kinerja balistik terbesar diperoleh dari perubahan arsitektur serat, yaitu kenaikan VBL 25,0% dan SEA 52,6%, sedangkan penambahan lapisan titanium hanya menaikkan SEA 3,2%. Oleh karena itu, logam lebih sesuai digunakan sebagai lapisan muka keras dalam sistem hibrid, bukan sebagai material utama cangkang helm.

DAFTAR PUSTAKA

Cardoso, R. L. B., Ribeiro, M. M., Silva, D. S., Junio, R. F. P., Filha, E. M. L., Monteiro, S. N., & Rodrigues, J. da S. (2026). Development and mechanical characterization of a jute fiber-reinforced polyester composite helmet produced by vacuum infusion. *Polymers, 18*(2), 235.

Dias, R. R., Meliande, N. M., Kotik, H. G., Camerini, C. G., & Pereira, I. M. (2024). Thermoplastic-based ballistic helmets: Processing, ballistic resistance and damage characterization. *Journal of Composites Science, 8*(10), 385.

Liang, Y., Chen, X., & Soutis, C. (2022). Review on manufacture of military composite helmet. *Applied Composite Materials, 29*, 305–323.

Meliande, N. M., Oliveira, M. S., Lemos, M. F., Pereira, A. C., Figueiredo, A. B.-H. da S., Monteiro, S. N., & Nascimento,
L. F. C. (2023). Thermal behavior of curaua-aramid hybrid laminated composites for ballistic helmet. *Polymers, 15*(15), 3214.

Miwazuki, S. A., Anisa, P., Rustama, R. Z., Christina, A., & Aritonang, S. (2024). Review komprehensif: Studi perbandingan antara material logam dan komposit untuk pembuatan helm anti balistik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 7*(1), 120–126. h

Nurazzi, N. M., Asyraf, M. R. M., Khalina, A., Abdullah, N., Aisyah, H. A., Rafiqah, S. A., Sabaruddin, F. A., Kamarudin,
S. H., Norrrahim, M. N. F., Ilyas, R. A., & Sapuan, S. M. (2021). A review on natural fiber reinforced polymer composite for bullet proof and ballistic applications. *Polymers, 13*(4), 646.

Promma, R., Phongphinittana, E., & Nimdum, P. (2021). FEM model of protection bullet helmet made from composite material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1137*, 012030.

Rana, K., Sajid, Z., Baluch, A. H., & Špatenka, P. (2026). Aramid fibre composites for ballistic impact protection: A mechanistic review of recent advances. *Applied Composite Materials, 33*, 103.