

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Perkembangan Material Armor Personel: Tinjauan Komparatif Baja, Serat Aramid dan UHMWPE, serta Keramik

The Development of Personnel Armor Materials: A Comparative Review of Steel, Aramid and UHMWPE Fibers, and Ceramics

D'Anne Marine Scandinavy Panjaitan*, Sovian Aritonang

*Program Studi Matematika Militer, Universitas Pertahanan RI

dwn.marine27@gmail.com* , sovian.aritonang@idu.ac.id

Abstract

Personnel armor must stop projectiles while remaining light enough to be worn, yet the literature on its materials is scattered across reviews of single material classes, and Indonesian studies mostly explore composites and local fibers. This article aims to synthesize the development of personnel armor materials and to compare steel, aramid fibers, ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) fibers, and ceramics by density, role in the armor system, relative cost, and main limitations. A narrative literature review of secondary data was carried out on review articles, institutional reports, and national studies, mostly published between 2016 and 2026, and the findings were arranged into a chronology and a comparison matrix without ballistic testing. The results show that armor development has been driven by weight: steel gave way to fibers and ceramics with densities of roughly 0.9 to 4.0 g/cm³, and modern plates combine a ceramic strike face with a polymer backing. The discussion shows that each material trades protection against weight, cost, brittleness, or environmental sensitivity, so none is superior in every respect. The Indonesian studies found are mostly early-stage work, while ballistic material needs are still met by imports. It is concluded that material selection should rest on the combination that suits the threat level, acceptable weight, and budget, and that testing under tropical conditions is needed in further research.

Keywords : *Aramid, Ceramics, Defense Materials, Personnel Armor, UHMWPE*

Abstrak

Armor personel harus menghentikan proyektil sekaligus cukup ringan untuk dikenakan, tetapi literatur tentang materialnya tersebar pada ulasan satu kelas material, sedangkan kajian dalam negeri umumnya berupa eksplorasi komposit dan bahan lokal. Artikel ini bertujuan merangkum perkembangan material armor personel dan membandingkan baja, serat aramid, serat polietilena berat molekul sangat tinggi (UHMWPE), dan keramik dari sisi densitas, peran dalam sistem armor, biaya relatif, dan keterbatasan utamanya. Metode yang digunakan adalah tinjauan pustaka naratif terhadap data sekunder berupa artikel review, laporan lembaga, dan studi nasional yang terbit terutama pada 2016–2026, dengan temuan disusun dalam kronologi dan matriks perbandingan tanpa pengujian balistik. Hasil menunjukkan bahwa perkembangan armor dipicu masalah bobot: baja digantikan serat dan keramik berdensitas sekitar 0,9–4,0 g/cm³, dan pelat modern memadukan muka keramik dengan penyangga polimer. Pembahasan memperlihatkan bahwa setiap material menukar proteksi dengan bobot, biaya, kegetasan, atau kepekaan terhadap lingkungan sehingga tidak ada yang unggul dalam semua aspek, dan kinerja sistem ditentukan pula oleh antarmuka antarlapisan. Studi dalam negeri yang ditemukan sebagian besar masih awal, sementara kebutuhan material balistik masih dipenuhi melalui impor. Disimpulkan bahwa pemilihan material perlu didasarkan pada kombinasi yang sesuai dengan tingkat ancaman, bobot yang dapat diterima, dan anggaran, serta bahwa pengujian pada kondisi tropis perlu dilakukan dalam penelitian lanjutan.

Kata Kunci: Aramid, Armor Personel, Keramik, Material Pertahanan, UHMWPE

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

Penulis Korespondensi : D'Anne Marine Scandinavy Panjaitan

I. PENDAHULUAN

Armor personel memiliki fungsi dasar yang tidak berubah sepanjang sejarah, yaitu menahan penetrasi senjata dan proyektil serta menyebarkan energi benturan agar tidak mencederai tubuh (Yadav et al., 2016). Persoalannya, proteksi yang tinggi biasanya menuntut massa yang besar, padahal armor yang berat menurunkan mobilitas dan kenyamanan pemakainya. Yadav et al. (2016) menyimpulkan bahwa logam berat mampu menghadapi amunisi modern tetapi tidak memenuhi tingkat kenyamanan dan mobilitas yang dibutuhkan. Dari sudut pandang fisika, persoalan ini adalah persoalan menyerap energi kinetik proyektil dengan massa pelindung sekecil mungkin, sehingga densitas material dan kerapatan area (*areal density*) menjadi ukuran penting dalam membandingkan material armor.

Literatur terkini menunjukkan kemajuan di beberapa lini. Mawkhlieng, Majumdar and Laha (2020) mengulas serat untuk armor lunak, termasuk faktor material dan struktur kain yang memengaruhi penyerapan energi impak. Abtew et al. (2019) mengulas tekstil balistik dan komposit berpenguat serat beserta mekanisme respons impaknya, sedangkan Abtew, Boussu and Bruniaux (2021) menelaah desain panel armor dan material prospektif seperti nanotube karbon, graphene, dan cairan pengental geser. Pada sisi keramik, Zhang, Han and Lu (2021) mencatat bahwa keramik telah dipakai sebagai material armor selama hampir 50 tahun dan bahwa kekangan (*confinement*) sangat menentukan kinerjanya. Crouch (2019) menekankan kematangan serat UHMWPE yang memungkinkan sistem pelat keras bertumpuk, sekaligus menyoroti kelemahan beberapa grade keramik. Adapun Yadav et al. (2016) menelusuri material armor dari baja hingga sistem biomimetik dalam satu ulasan. Pengetahuan yang tersedia dengan demikian cukup banyak tetapi terfragmentasi: pembaca yang ingin membandingkan kelas material harus menggabungkan beberapa ulasan yang berbeda ruang lingkup dan kriteria ujinya.

Di Indonesia, kajian material balistik yang ditemukan umumnya berupa eksplorasi komposit, misalnya komposit serat bambu dengan butiran keramik (Harmiansyah et al., 2022), komposit polimer untuk helm militer (Mrp and Aritonang, 2022), tinjauan serat alam sebagai bahan anti peluru (Haziza, Aritonang and Imastuti, 2024), dan komposit penguat rompi anti peluru (Hertanto, Aritonang and Murniati, 2024). Silalahi et al. (2023) menyatakan bahwa Indonesia masih minim kemandirian produksi material anti peluru dan kebutuhannya masih diimpor dari negara lain.

Meskipun demikian, sepanjang penelusuran penulis, kajian-kajian tersebut membahas satu kelas material atau satu aplikasi. Pengecualian parsial adalah Setiadi, Aritonang and Aziz (2026), yang melalui studi kepustakaan membandingkan data Kevlar, UHMWPE, dan komposit serat hibrida (SiC dan Ti6Al4V) pada rompi antipeluru. Kajian tersebut berfokus pada serat dan komposit hibrida untuk rompi, dengan membandingkan densitas areal dan mekanisme kegagalan tetapi tanpa membahas biaya, sedangkan tinjauan berbahasa Indonesia yang menelusuri perkembangan material dari baja hingga keramik dan membandingkan keempat kelas pada sumbu yang sama, yaitu densitas, peran dalam sistem armor, biaya relatif, dan keterbatasan, belum ditemukan dalam penelusuran penulis melalui Google Scholar. Ulasan lintas kelas yang luas memang telah ada (Yadav et al., 2016), tetapi terbit sebelum kematangan sistem pelat UHMWPE yang dibahas Crouch (2019) dan, sebatas yang dapat ditelaah penulis, tidak menempatkan densitas dan biaya antarmaterial dalam satu perbandingan numerik. Kebaruan artikel ini terletak pada (1) sintesis komparatif yang diperbarui dengan rujukan 2016–2026, (2) penggunaan sumbu perbandingan yang seragam, yaitu densitas, peran dalam sistem armor, biaya relatif, dan keterbatasan, serta (3) penempatan hasilnya pada konteks kebutuhan material pertahanan Indonesia.

Pemilihan material juga bergantung pada tingkat ancaman yang dihadapi, yang secara baku diklasifikasikan melalui standar seperti NIJ 0101.06 (National Institute of Justice, 2008), sehingga perbandingan

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

material tanpa menyebut konteks ancaman mudah menyesatkan. Berdasarkan kesenjangan tersebut, tujuan artikel ini adalah merangkum perkembangan material armor personel dari baja hingga serat sintetis dan keramik, membandingkan keempat kelas material pada sumbu yang seragam, serta menarik implikasinya bagi pengembangan material pertahanan di Indonesia.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif berupa tinjauan pustaka naratif (*narrative literature review*) terhadap data sekunder. Pengujian balistik tidak dilakukan dalam penelitian ini. Sumber data adalah artikel review dan artikel penelitian dalam jurnal, laporan lembaga, serta standar pengujian yang membahas material armor personel. Penelusuran dilakukan melalui Google Scholar pada 16 November 2026 dengan kata kunci berbahasa Inggris, yaitu *body armor materials*, *ceramic armor*, *UHMWPE ballistic*, *aramid soft armor*, dan *body armour history*, serta kata kunci berbahasa Indonesia, yaitu rompi anti peluru, material balistik, dan komposit anti peluru.

Kriteria inklusi adalah sumber yang (1) membahas material armor personel lunak maupun keras, (2) berupa artikel jurnal atau prosiding, laporan lembaga resmi, atau studi nasional, (3) terbit pada 2016–2026, dengan pengecualian laporan dan standar yang menjadi rujukan historis atau teknis, dan (4) berbahasa Inggris atau Indonesia. Naskah yang belum melalui telaah sejawat serta kajian material untuk kendaraan atau struktur dikecualikan. Informasi dari situs industri hanya digunakan sebagai pelengkap, ditandai secara eksplisit, dan tidak menjadi dasar kesimpulan.

Analisis data dilakukan dalam tiga langkah. Pertama, informasi setiap sumber diekstraksi ke dalam matriks berdasarkan empat aspek, yaitu densitas, peran dalam sistem armor, biaya relatif atau ketersediaan, dan keterbatasan utama. Kedua, tonggak perkembangan material disusun secara kronologis. Ketiga, temuan dibandingkan lintas material dan ditafsirkan secara tematik dengan menimbang kondisi uji tiap sumber. Karena ancaman uji, standar, dan konfigurasi panel berbeda antarstudi, angka kinerja balistik tidak dinormalkan, dan perbandingan dibatasi pada sifat material serta pola umum yang konsisten antarsumber. Setiap angka yang dikutip dicatat bersama jenis dan tahun sumbernya serta material yang dirujuk, sehingga perbedaan *grade* (misalnya densitas alumina 3,95 dan 3,98 g/cm^3) ditampilkan sebagai rentang, bukan dipilih salah satu. Angka yang berasal dari penelitian lain tetapi dilaporkan ulang dalam sumber yang ditelaah dirujuk melalui sumber yang ditelaah tersebut. Penelitian ini bukan tinjauan sistematis sehingga cakupan sumbernya tidak dimaksudkan menyeluruh.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Material armor personel berkembang dari felt, wol, kulit, kayu, besi, dan perunggu pada peradaban awal (Yadav et al., 2016) hingga sistem serat dan keramik masa kini. Tonggak utamanya dirangkum pada Tabel 1. Dua pola tampak jelas. Pertama, keluhan tentang bobot muncul berulang: baju zirah pelat sudah dikeluhkan karena beratnya sejak akhir abad ke-16 (Yadav et al., 2016), dan panel alumina era Perang Vietnam hanya dipakai saat berjaga di pos tetap karena terlalu berat (National Research Council, 2011). Kedua, titik balik armor lunak terjadi ketika serat sintetis berkinerja tinggi muncul: sutra hanya melindungi hingga sekitar 120 m/s dan rompi nilon tidak menahan sebagian besar ancaman pistol dan senapan (Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020), sedangkan serat sintetis baru pada akhir 1960-an melahirkan generasi rompi balistik berikutnya (Abtew et al., 2019), dengan Kevlar sebagai contoh utama (Yadav et al., 2016).

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Tabel 1. Tonggak Perkembangan Material Armor Personel

Tahun	Tonggak
Sekitar 1400	Baju zirah pelat lengkap dipakai prajurit (Yadav et al., 2016)
Perang Dunia I	Baja menjadi material pilihan di medan tempur (Yadav et al., 2016)
Perang Dunia II	Pelat baja dan pelat doron; rompi nilon menahan serpihan tetapi tidak menahan sebagian besar ancaman pistol dan senapan (Yadav et al., 2016; Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020)
1960-an	DuPont mengembangkan polimer aromatik yang menjadi Kevlar (Yadav et al., 2016; Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020)
Perang Vietnam	Panel alumina cetak dinilai terlalu berat dan hanya dipakai saat berjaga di pos tetap (National Research Council, 2011)
1970	Paten armor berpermukaan keramik alumina oleh Goodyear Aerospace (Yadav et al., 2016)
1975	5.000 rompi Kevlar diujicobakan ke 15 departemen kepolisian AS (Yadav et al., 2016)
2008	Terbit Standar NIJ 0101.06 (National Institute of Justice, 2008)
2019	Kematangan serat UHMWPE memungkinkan sistem pelat keras bertumpuk (Crouch, 2019)
2024	Skema sertifikasi NIJ untuk Standar 0101.07 diterbitkan (National Institute of Justice, 2024)

Baja unggul dalam kemudahan pengolahan, ketersediaan dalam berbagai ukuran dan ketebalan, serta tingkat proteksi yang meningkat seiring ketebalan, tetapi densitasnya yang tinggi membuat armor berat (Yadav et al., 2016). Densitas baja armor sekitar 7,85 g/cm^3 (Salawu, Hayatu and Ibrahim, 2026). Pada 1960–1976 paduan baja armor berkembang dari baja berkekerasan tinggi (1960) dan berkekerasan ganda (1964) hingga baja hasil peleburan ulang elektroslag (1972–1976), dengan catatan kelemahan seperti kegetasan, kesulitan pemesinan, dan penurunan ketangguhan pada suhu rendah pada sebagian jenisnya (Yadav et al., 2016). Yadav et al. (2016) bahkan menyebut baja tidak lagi menjadi material utama armor saat ini, meskipun Popescu et al. (2025) masih menyebut baja sebagai salah satu bahan pelat dengan bobot 4 kg atau lebih.

Serat aramid (Kevlar, Twaron) dan UHMWPE (Dyneema, Spectra) merupakan dua serat sintetis utama untuk armor lunak (Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020). Densitas UHMWPE sekitar 0,97 g/cm^3, lebih rendah daripada aramid yang sekitar 1,44 g/cm^3 (Liang, Chen and Soutis, 2022). Sebagai gambaran sifat mekanik, Kevlar 49 memiliki kekuatan tarik 2,96 GPa dan modulus 113 GPa, sedangkan Twaron 3,1 GPa dan 121 GPa (Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020). Kedua serat memiliki kelemahan lingkungan. Kevlar 29 kehilangan 23% kekuatannya setelah dua minggu pada kelembapan 100% dan suhu 150 °C, dan dilaporkan kehilangan 40% efektivitas terhadap peluru kaliber 0,22 dalam kondisi basah (Yadav et al., 2016). Paparan sinar UV selama dua hari mengurangi sekitar 5% kekuatan UHMWPE, dibandingkan hingga 25% pada Kevlar (Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020). Pada kajian helm, material berbasis UHMWPE dilaporkan memiliki deformasi muka belakang yang lebih besar daripada aramid (Liang, Chen and Soutis, 2022).

Serat PBO (Zylon) memiliki kekuatan tarik 5,8 GPa tetapi rentan terhadap degradasi hidrolitik dan fotolitik, dan Angkatan Darat AS tidak lagi merekomendasikannya untuk armor lunak setelah rompi Zylon gagal melindungi dua petugas polisi pada 2003 (Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020). Dari sisi sistem, kematangan serat UHMWPE memungkinkan pelat keras bertumpuk (Crouch, 2019), dan antarmuka di antara 30 hingga 150 lapisan pada sistem armor umum ikut memengaruhi kinerja balistik (Crouch, 2021).

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Tiga keramik yang paling berkembang untuk armor adalah alumina (Al_2O_3), boron karbida (B_4C), dan silikon karbida (SiC) (National Research Council, 2011). Densitasnya dilaporkan 3,98; 2,52; dan 3,29 g/cm^3 secara berurutan (National Research Council, 2011), sedangkan Popescu et al. (2025) serta Salawu, Hayatu and Ibrahim (2026) menyebut 3,95; 2,52; dan 3,21 g/cm^3 untuk jenis yang mereka tinjau. Alumina jauh lebih murah daripada SiC dan terutama B_4C karena diproduksi dalam volume besar, tetapi lebih berat sehingga terutama dipakai pada kendaraan; harga ubin B_4C dilaporkan 75–85 dolar AS per pon (National Research Council, 2011). Kinerja B_4C pada kecepatan tinggi dibatasi oleh amorfisasi (National Research Council, 2011).

Kelemahan umum keramik adalah kegetasan dan kegagalan katastrofik sehingga memerlukan pelat penyangga (Yadav et al., 2016). Kekangan memperbaiki kinerja keramik (Zhang, Han and Lu, 2021), dan pelapisan (*cladding*) dapat meningkatkan ketahanan serta kinerja tembakan berulang pelat keras (Crouch, 2019). Pelat tradisional memakai keramik monolitik dengan penyangga aramid atau UHMWPE, sedangkan perkembangan terkini beralih ke pelat polimer dan komposit penuh yang menawarkan bobot lebih ringan, ketahanan tembakan berganda, dan durabilitas lebih baik; berat pelat berkisar 2,5 kg untuk rancangan keramik/UHMWPE ringan hingga 4 kg atau lebih untuk baja atau keramik berat, dengan tebal 12–25 mm (Popescu et al., 2025).

Perbandingan keempat kelas material pada sumbu densitas, peran dalam sistem armor, biaya relatif, dan keterbatasan utama disajikan pada Tabel 2. Angka kinerja balistik tidak dinormalkan karena ancaman uji dan standar tiap sumber berbeda.

Tabel 2. Perbandingan Empat Kelas Material Armor Personel

Material	Densitas (g/cm^3)	Peran dalam sistem armor	Biaya relatif dan ketersediaan	Keterbatasan utama
Baja	7,85 (Salawu, Hayatu and Ibrahim, 2026)	Pelat monolitik; proteksi meningkat seiring ketebalan (Yadav et al., 2016)	Pengolahan mudah, tersedia dalam berbagai ukuran (Yadav et al., 2016); biaya rendah dibanding keramik (Popescu et al., 2025); harga eceran AS sekitar 75–150 dolar AS per pelat (Chase Tactical, n.d.), bersifat indikatif	Berat; sebagian paduan getas dan sulit dimesin; tidak lagi menjadi material utama armor (Yadav et al., 2016)
Serat aramid (Kevlar, Twaron)	1,44 (Liang, Chen and Soutis, 2022)	Armor lunak dan penyangga pelat keras (Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020; Popescu et al., 2025)	Indeks biaya penyangga 4 (sumber industri; Body Armor News, n.d.)	Kehilangan kekuatan dan efektivitas akibat kelembapan, panas, dan UV (Yadav et al., 2016; Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020)
Serat UHMWPE (Dyneema, Spectra)	0,97 untuk serat (Liang, Chen and Soutis, 2022); 0,93 untuk komposit pelat (Popescu et al., 2025)	Armor lunak, penyangga pelat keras, dan pelat polimer penuh (Crouch, 2019; Popescu et al., 2025)	Indeks biaya penyangga 8 atau lebih (sumber industri; Body Armor News, n.d.)	Deformasi muka belakang lebih besar daripada aramid pada kajian helm (Liang, Chen and Soutis, 2022)

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Material	Densitas (g/cm^3)	Peran dalam sistem armor	Biaya relatif dan ketersediaan	Keterbatasan utama
Keramik (alumina, SiC, B_4C)	Alumina 3,95–3,98; SiC 3,21–3,29; B_4C 2,52 (National Research Council, 2011; Popescu et al., 2025; Salawu, Hayatu and Ibrahim, 2026)	Muka pelat keras; alumina dan SiC mendukung kelas III/IV, B_4C kelas IV (Popescu et al., 2025)	Alumina jauh lebih murah daripada SiC dan B_4C; ubin B_4C 75–85 dolar AS per pon (National Research Council, 2011)	Getas dan gagal katastrofik sehingga perlu penyangga (Yadav et al., 2016); B_4C dibatasi amorfisasi pada kecepatan tinggi (National Research Council, 2011)

Catatan: angka kinerja balistik tidak dinormalkan antarsumber. Indeks biaya penyangga: E-glass = 1, S-glass = 2, aramid = 4, UHMWPE ≥ 8.

Tabel 2 memperlihatkan tiga pola. Pertama, densitas bertingkat: baja sekitar 7,85 g/cm^3, keramik 2,5–4,0 g/cm^3, dan serat sintetis di bawah 1,5 g/cm^3. Kedua, biaya sangat bergantung pada pilihan di dalam satu kelas: alumina jauh lebih murah daripada B_4C, dan indeks biaya penyangga UHMWPE (8 atau lebih) dua kali lipat atau lebih dibanding aramid (4) dalam sumber industri yang ditelaah (Body Armor News, n.d.). Ketiga, setiap kelas memiliki keterbatasan yang berbeda sifatnya, yaitu bobot pada baja, kepekaan lingkungan pada serat, dan kegetasan pada keramik.

Studi dalam negeri yang ditemukan lebih banyak mengeksplorasi bahan lokal. Haziza, Aritonang and Imastuti (2024) menelaah karakteristik mekanik serat alam sebagai bahan anti peluru dengan alasan bobot lebih ringan dan dampak lingkungan serat sintetis; Harmiansyah et al. (2022) meneliti komposit serat bambu berepoksi dengan penambahan butiran keramik sebagai studi awal; Mrp and Aritonang (2022) mengkaji komposit polimer tahan balistik untuk helm militer melalui kajian literatur; Hertanto, Aritonang and Murniati (2024) membahas efektivitas komposit dalam memperkuat rompi anti peluru; dan Setiadi, Aritonang and Aziz (2026) membandingkan data Kevlar, UHMWPE, dan komposit hibrida SiC dan Ti6Al4V pada rompi antipeluru melalui studi kepustakaan. Silalahi et al. (2023) menyebut kebutuhan material anti peluru Indonesia masih dipenuhi melalui impor.

2. Pembahasan

Temuan kronologis memperlihatkan bahwa perkembangan material armor personel digerakkan oleh satu persoalan fisis yang sama, yaitu bagaimana menyerap energi kinetik proyektil dengan massa pelindung sekecil mungkin. Rentang densitas pada Tabel 2 menggambarkan hal itu: baja sekitar 7,85 g/cm^3 (Salawu, Hayatu and Ibrahim, 2026), keramik 2,5–4,0 g/cm^3 (National Research Council, 2011; Popescu et al., 2025), dan serat sintetis di bawah 1,5 g/cm^3 (Liang, Chen and Soutis, 2022). Kisaran berat pelat dari 2,5 kg hingga 4 kg atau lebih (Popescu et al., 2025) menunjukkan bahwa selisih densitas muncul sebagai selisih beban yang dibawa pemakai, meskipun kisaran itu tidak dinormalkan pada tingkat ancaman yang sama. Densitas pun bukan satu-satunya penentu. Kinerja keramik, misalnya, tidak dapat diturunkan dari sifat *bulk* saja (National Research Council, 2011), dan kekangan serta antarmuka antarlapisan ikut menentukan hasil akhir (Zhang, Han and Lu, 2021; Crouch, 2021). Artinya, kinerja sistem armor ditentukan bukan hanya oleh material penyusunnya, tetapi juga oleh cara material itu dirangkai.

Perbandingan juga menegaskan bahwa tidak ada material yang unggul pada semua sumbu. UHMWPE lebih ringan daripada aramid dan lebih tahan paparan UV (Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020), tetapi indeks biayanya jauh lebih tinggi dalam sumber industri yang ditelaah (Body Armor News, n.d.) dan, pada kajian helm, deformasi muka belakangnya lebih besar (Liang, Chen and Soutis, 2022). Aramid lebih murah menurut indeks yang sama, tetapi peka terhadap kelembapan dan panas (Yadav et al., 2016). Keramik memberi kekerasan dan densitas rendah untuk menghadapi ancaman senapan, tetapi getas dan memerlukan penyangga (Yadav et al., 2016). Di antara keramik, alumina paling murah namun terberat,

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

sedangkan B_4C paling ringan tetapi paling mahal dan dibatasi amorfisasi (National Research Council, 2011). Baja mudah diolah tetapi berat (Yadav et al., 2016).

Kelemahan yang saling melengkapi ini menjelaskan mengapa sistem armor modern bersifat hibrida. Pelat tradisional memakai keramik monolitik dengan penyangga aramid atau UHMWPE, sedangkan perkembangan terbaru mengarah pada pelat polimer dan komposit penuh (Popescu et al., 2025). Crouch (2019) mengaitkan pergeseran ini dengan kematangan UHMWPE dan menekankan pentingnya ukuran relatif pelat keras terhadap sisipan armor lunak. Implikasinya bagi pemilihan material adalah bahwa pertanyaan yang tepat bukan material apa yang terbaik, melainkan kombinasi apa yang sesuai untuk tingkat ancaman, bobot yang dapat diterima, dan anggaran tertentu. Tingkat ancaman itu dirujuk pada standar seperti NIJ 0101.06, yang menetapkan kecepatan uji 847 ± 9,1 m/s untuk kelas III dan 878 ± 9,1 m/s untuk kelas IV serta deformasi muka belakang maksimum 44 mm (Mawkhlieng, Majumdar and Laha, 2020; National Institute of Justice, 2008), dan penerusnya NIJ 0101.07 (National Institute of Justice, 2024).

Bagi Indonesia, dua hal patut dicatat. Pertama, kelembapan tinggi iklim tropis relevan dengan temuan bahwa efektivitas Kevlar menurun dalam kondisi basah (Yadav et al., 2016). Namun sumber yang ditelaah tidak menguji kondisi tropis Indonesia secara khusus, sehingga hal ini merupakan implikasi yang perlu diuji, bukan temuan. Kedua, ketergantungan pada impor material anti peluru (Silalahi et al., 2023) menjelaskan mengapa studi dalam negeri menjajaki bahan lokal seperti serat alam (Haziza, Aritonang and Imastuti, 2024) dan serat bambu (Harmiansyah et al., 2022). Empat di antara studi dalam negeri yang dibahas berupa tinjauan literatur atau studi awal, sehingga kinerja bahan lokal pada tingkat ancaman yang setara pelat keras belum dapat disimpulkan dari sumber yang ditelaah. Arah ini sejalan dengan upaya mendukung material pertahanan Indonesia (Mrp and Aritonang, 2022), tetapi masih memerlukan pengujian bertahap sesuai standar.

Artikel ini memiliki beberapa keterbatasan. Tinjauan bersifat naratif sehingga cakupan sumber tidak menyeluruh. Data biaya yang dapat diverifikasi sangat terbatas: indeks biaya serat berasal dari situs industri, harga ubin B_4C dari laporan 2011, dan harga pelat baja dari situs penjual, sehingga perbandingan biaya hanya bersifat indikatif. Angka kinerja balistik juga tidak dinormalkan antarstudi. Nanomaterial seperti nanotube karbon dan graphene, yang disebut sebagai material prospektif (Abtew, Boussu and Bruniaux, 2021) dan diulas kinerja balistiknya oleh Naveen et al. (2021), tidak dibandingkan di sini karena artikel dibatasi pada empat kelas material yang sudah mapan; kelas tersebut layak menjadi topik tinjauan tersendiri.

IV. KESIMPULAN

Tujuan artikel ini tercapai dalam batas tinjauan naratif: perkembangan material armor personel berhasil dirangkum dan keempat kelas material dibandingkan pada sumbu yang seragam. Material armor personel berkembang dari baja yang kuat tetapi berat menuju serat sintetis dan keramik yang lebih ringan, dengan serat sintetis pada 1960-an sebagai titik balik armor lunak dan kematangan UHMWPE sebagai penentu sistem pelat keras modern. Perbandingan pada sumbu densitas, peran dalam sistem armor, biaya relatif, dan keterbatasan menunjukkan bahwa tidak ada material yang unggul dalam semua aspek: serat memberi bobot rendah tetapi peka terhadap lingkungan atau lebih mahal, keramik memberi kekerasan tinggi tetapi getas dan memerlukan penyangga, sedangkan baja mudah diolah tetapi berat. Karena itu sistem modern bersifat hibrida, dan kinerjanya ditentukan pula oleh antarmuka dan kekangan. Untuk Indonesia, studi dalam negeri yang ditemukan masih tahap awal dan berfokus pada bahan lokal, sementara kebutuhan material masih diimpor. Penelitian lanjutan disarankan menguji material pada kondisi tropis, mengumpulkan data biaya dari sumber yang dapat diverifikasi, dan memasukkan nanomaterial ke dalam perbandingan.



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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

DAFTAR PUSTAKA

Abtew, M. A., Boussu, F. and Bruniaux, P. (2021) 'Dynamic impact protective body armour: A comprehensive appraisal on panel engineering design and its prospective materials', *Defence Technology*, 17(6), pp. 2027–2049. doi: 10.1016/j.dt.2021.03.016.

Abtew, M. A., Boussu, F., Bruniaux, P., Loghin, C. and Cristian, I. (2019) 'Ballistic impact mechanisms – A review on textiles and fibre-reinforced composites impact responses', *Composite Structures*, 223, p. 110966. doi: 10.1016/j.compstruct.2019.110966.

Body Armor News (n.d.) 'Beneath the surface: Exploring hard armor plate materials'. Available at: https://www.bodyarmornews.com/hard-armor-plate-materials/ (Accessed: 12 November 2026).

Chase Tactical (n.d.) 'Steel Body Armor: Pros, Cons, and How It Compares to Ceramic'. Available at: https://www.chasetactical.com/intel/pros-and-cons-steel-body-armor (Accessed: 16 November 2026).

Crouch, I. G. (2019) 'Body armour – New materials, new systems', *Defence Technology*, 15(3), pp. 241–253. doi: 10.1016/j.dt.2019.02.002.

Crouch, I. G. (2021) 'Critical interfaces in body armour systems', *Defence Technology*, 17(6), pp. 1887–1894. doi: 10.1016/j.dt.2020.11.006.

Harmiansyah, Burmawi, Arman, R. and Efendi, R. (2022) 'Studi awal material komposit berpenguat serat bambu dengan matriks resin epoksi/hardener sebagai material antipeluru', *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 17(2), pp. 87–92. doi: 10.36289/jtmi.v17i2.351.

Haziza, E. P., Aritonang, S. and Imastuti (2024) 'Studi komparasi karakteristik mekanik serat alam sebagai bahan anti peluru: Jurnal review', *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 7(1), pp. 168–175. doi: 10.30596/rmme.v7i1.17326.

Hertanto, T. L. O., Aritonang, S. and Murniati, R. (2024) 'Efektivitas komposit dalam memperkuat rompi anti peluru', *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 7(1), pp. 160–167. doi: 10.30596/rmme.v7i1.17325.

Liang, Y., Chen, X. and Soutis, C. (2022) 'Review on manufacture of military composite helmet', *Applied Composite Materials*, 29(1), pp. 305–323. doi: 10.1007/s10443-021-09944-5.

Mawkhlieng, U., Majumdar, A. and Laha, A. (2020) 'A review of fibrous materials for soft body armour applications', *RSC Advances*, 10(2), pp. 1066–1086. doi: 10.1039/C9RA06447H.

Mrp, M. and Aritonang, S. (2022) 'Material polimer komposit tahan balistik untuk aplikasi helm militer dalam mendukung material pertahanan Indonesia', *ELEMEN: Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), pp. 105–109. doi: 10.34128/je.v9i2.219.

National Institute of Justice (2008) *Ballistic Resistance of Body Armor, NIJ Standard-0101.06*. Washington, DC: U.S. Department of Justice.

National Institute of Justice (2024) *NIJ CTP Document 101-07: Ballistic-Resistant Body Armor Scheme, Version 1.0*. Washington, DC: U.S. Department of Justice.

National Research Council (2011) *Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications*. Washington, DC: The National Academies Press.

Naveen, J., Jawaid, M., Goh, K. L., Reddy, D. M., Muthukumar, C., Loganathan, T. M. and Reshwanth, K. N. G. L. (2021) 'Advancement in graphene-based materials and their nacre inspired composites for armour applications—A review', *Nanomaterials*, 11(5), p. 1239. doi: 10.3390/nano11051239.

Popescu, C., Vasiliu, A. V., Călinescu, D., Cristea, G. C., Sandu, S. M. and Deleanu, L. (2025) 'Aspects of ballistic panels made of Endumax XF33, tested against different projectiles', *International Conference KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATION*, 31(3), pp. 134–141. doi: 10.2478/kbo-2025-0089.

Salawu, A. O., Hayatu, M. A. and Ibrahim, A. A. (2026) 'Suitability of metals and mineral compounds as materials for ballistic applications: A review', *International Journal of Engineering and Modern Technology*, 12(8), pp. 242–251.

Setiadi, D. R., Aritonang, S. and Aziz, M. N. (2026) 'Perbandingan kinerja ballistik Kevlar, UHMWPE dan komposit serat hibrida (SiC dan Ti6Al4V) pada uji rompi antipeluru', *Paradigma: Jurnal Filsafat, Sains, Teknologi, dan Sosial Budaya*, 32(1), pp. 424–433. doi: 10.33503/paradigma.v32i1.3160.

Silalahi, N. H. M., Wawan, L. Y., Pratomo, A. N., Fauzi, A. H., Fadri, M. F. and Aji L., S. B. (2023) 'Selimut anti peluru perlindungan diri (presiden): Kajian aplikatif material tahan balistik', *Jurnal TNI Angkatan Udara*, 2(3). doi: 10.62828/jpb.v2i3.69.

Yadav, R., Naebe, M., Wang, X. and Kandasubramanian, B. (2016) 'Body armour materials: from steel to contemporary biomimetic systems', *RSC Advances*, 6(116), pp. 115145–115174. doi: 10.1039/C6RA24016J.

Zhang, R., Han, B. and Lu, T. J. (2021) 'Confinement effects on compressive and ballistic performance of ceramics: A review', *International Materials Reviews*, 66(5), pp. 287–312. doi: 10.1080/09506608.2020.1830665.