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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Evaluasi Material Ringan untuk Perlindungan dan Mobilitas Personel Militer: Analisis Kinerja, Biaya, dan Ketersediaan dalam Perspektif Industri Pertahanan Indonesia

Evaluation of Lightweight Materials for the Protection and Mobility of Military Personnel: An Analysis of Performance, Cost, and Availability from the Perspective of Indonesia's Defense Industry

Barry Umar[1*], Sovian Aritonang[2]
[1]*Program Studi Matematika, Universitas Pertahanan Republik Indonesia*
[2]*Program Studi Fisika, Universitas Pertahanan Republik Indonesia*

[1]barryumei@gmail.com*, [2]sovian.aritonang@idu.ac.id

Abstract

This study evaluates lightweight materials for military personnel protection by considering ballistic performance, mobility, cost, and material availability in the context of Indonesia's defense industry. A structured literature review was conducted on 18 scientific publications and one relevant regulation and one relevant regulation. The literature was selected purposively and analyzed using descriptive-comparative analysis and thematic synthesis. The findings indicate that ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) demonstrates relatively high energy absorption per unit areal density in several reported tests, whereas unidirectional aramid shows lower back-face deformation in certain configurations. Hybrid aramid–UHMWPE composites offer further development potential, although their performance depends on layer arrangement and composite structure. The review also finds that the weight, design, fit, and load distribution of protective equipment are associated with personnel comfort and movement. Natural fibers, particularly kenaf and ramie, may be developed as alternative composite reinforcements, but their ballistic performance requires further testing. Quantitative information on domestic material prices, production capacity, and raw-material availability remains limited. The study therefore proposes a conceptual evaluation framework that places ballistic protection as the initial requirement, followed by mobility and industrial feasibility considerations. This framework can inform future material development, although it has not yet been validated as a quantitative assessment model.

Keywords: *Lightweight Materials, Ballistic Performance, Personnel Mobility, Defense Industry, Composite Materials.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi material ringan yang berpotensi digunakan untuk perlindungan personel militer berdasarkan aspek kinerja balistik, mobilitas, biaya, dan ketersediaan material dalam perspektif industri pertahanan Indonesia. Penelitian menggunakan metode tinjauan literatur terstruktur dengan mengkaji 18 publikasi ilmiah dan satu peraturan perundang-undangan yang relevan. Sumber dipilih secara purposif berdasarkan kesesuaian dengan fokus kajian, kemudian dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif-komparatif dan sintesis tematik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) memiliki kemampuan penyerapan energi per massa areal yang tinggi pada beberapa pengujian, sedangkan aramid dengan struktur unidirectional menunjukkan deformasi sisi belakang yang lebih rendah pada konfigurasi tertentu. Komposit hibrida aramid–UHMWPE berpotensi dikembangkan, tetapi kinerjanya bergantung pada susunan lapisan dan struktur komposit. Dari aspek mobilitas, bobot, desain, kesesuaian ukuran, dan distribusi beban perlengkapan berkaitan dengan kenyamanan serta keleluasaan gerak personel. Serat alam, khususnya kenaf dan rami, berpeluang dimanfaatkan sebagai penguat komposit alternatif, meskipun kemampuan perlindungan balistiknya masih memerlukan pengujian lebih lanjut. Penelitian juga menemukan bahwa informasi kuantitatif

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

mengenai biaya material, kapasitas produksi, dan ketersediaan bahan baku domestik masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menyusun kerangka evaluasi konseptual yang menempatkan kinerja balistik sebagai persyaratan awal, kemudian mempertimbangkan mobilitas personel dan kelayakan industri. Kerangka tersebut dapat menjadi dasar pertimbangan pengembangan material pelindung, tetapi belum tervalidasi sebagai model penilaian kuantitatif.

Kata Kunci: Material Ringan, Kinerja Balistik, Mobilitas Personel, Industri Pertahanan, Material Komposit.

Penulis Korespondensi: Barry Umar

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material memberikan peluang untuk meningkatkan kualitas perlengkapan perlindungan personel militer, khususnya dalam pengembangan rompi antipeluru, helm balistik, dan perlengkapan pelindung lainnya. Perlengkapan tersebut dituntut mampu memberikan perlindungan terhadap ancaman balistik, tetapi tetap memperhatikan bobot, kenyamanan, dan keleluasaan gerak personel ketika menjalankan tugas. Dalam pelaksanaannya, peningkatan tingkat perlindungan sering kali berkaitan dengan bertambahnya massa dan beban yang harus dibawa. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengembangan material pelindung tidak cukup hanya berorientasi pada kemampuan menahan proyektil, tetapi juga perlu mempertimbangkan pengaruhnya terhadap mobilitas dan kinerja personel militer. Oleh karena itu, penggunaan material ringan menjadi salah satu aspek penting dalam pengembangan sistem perlindungan personel yang efektif.

Berbagai penelitian telah mengkaji penggunaan material berbasis serat sintetis, terutama aramid dan ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE), sebagai bahan penyusun perlengkapan pelindung balistik. Abtew et al. (2019) menjelaskan bahwa respons material terhadap tumbukan balistik dipengaruhi oleh sejumlah karakteristik, seperti ketebalan, kekuatan, keuletan, ketangguhan, dan densitas material. Penelitian Bajya et al. (2021) membandingkan panel pelindung berbahan para-aramid dan UHMWPE dengan struktur kain tenun maupun unidirectional. Hasilnya memperlihatkan bahwa struktur dan jenis serat berpengaruh terhadap karakteristik perlindungan balistik, termasuk deformasi pada sisi belakang panel (back-face signature). Temuan tersebut menunjukkan bahwa keunggulan suatu material tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan jenis seratnya, tetapi juga perlu mempertimbangkan susunan dan struktur komposit yang digunakan.

Selain kemampuan balistik, aspek mobilitas dan ergonomi juga menjadi perhatian dalam penelitian perlengkapan pelindung militer. Loverro et al. (2015) menemukan bahwa peningkatan perlindungan dan penambahan beban perlengkapan dapat memengaruhi performa personel dalam aktivitas fisik tertentu. Sementara itu, Coltman et al. (2020; 2021) mengkaji permasalahan kesesuaian ukuran dan fungsi body armour pada personel militer, termasuk dampaknya terhadap kenyamanan dan pelaksanaan tugas. Penelitian yang lebih baru oleh Brisbine et al. (2026) juga menunjukkan bahwa ketidaksesuaian ukuran dan desain body armour berkaitan dengan rasa nyeri muskuloskeletal, gangguan penggunaan perlengkapan lain, serta keterbatasan mobilitas personel. Hasil-hasil tersebut memperlihatkan bahwa efektivitas perlengkapan pelindung perlu dinilai dengan mempertimbangkan hubungan antara karakteristik material, desain perlengkapan, dan kebutuhan gerak personel.

Kajian mengenai material alternatif juga berkembang melalui pemanfaatan serat alam sebagai bahan penguat komposit. Doddamani et al. (2023) dan Odesanya et al. (2021) membahas potensi serat alam untuk aplikasi balistik, termasuk peluang pengembangannya sebagai alternatif material komposit. Dalam konteks Indonesia, penelitian Azizah et al. (2024) mengkaji karakteristik serat kenaf sebagai alternatif serat sintetis, sedangkan Paundra et al. (2025) membahas potensi serat alam Indonesia untuk material komposit balistik. Permana et al. (2024) juga menguji penggunaan serat rami dalam komposit berlapis untuk aplikasi perlindungan

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

balistik. Meskipun penelitian-penelitian tersebut menunjukkan adanya peluang pemanfaatan serat alam, kemampuan perlindungannya masih perlu dinilai berdasarkan hasil pengujian, konfigurasi material, dan kondisi ancaman yang digunakan. Dengan demikian, potensi ketersediaan serat alam di Indonesia belum dapat secara langsung disamakan dengan kesiapan material tersebut untuk menggantikan serat sintetis pada perlengkapan pelindung militer.

Dalam perspektif industri pertahanan, pemilihan material pelindung juga berkaitan dengan biaya pengembangan, ketersediaan bahan baku, kemampuan produksi, dan keberlanjutan pasokan. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan memberikan landasan bagi pengembangan industri pertahanan nasional, termasuk upaya meningkatkan kemampuan industri dalam memenuhi kebutuhan alat peralatan pertahanan dan keamanan. Oleh sebab itu, pengembangan material ringan untuk perlindungan personel militer perlu ditempatkan tidak hanya sebagai persoalan teknis material, tetapi juga sebagai bagian dari upaya memperkuat kemampuan industri pertahanan dalam negeri. Material yang memiliki kinerja balistik baik belum tentu menjadi pilihan paling sesuai apabila biaya pengadaan, ketersediaan bahan baku, atau kemampuan produksinya sulit dipenuhi secara berkelanjutan. Sebaliknya, material yang tersedia di dalam negeri tetap harus memenuhi persyaratan perlindungan sebelum dipertimbangkan untuk digunakan dalam perlengkapan militer.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, pembahasan mengenai material pelindung balistik, mobilitas personel, dan potensi serat alam telah berkembang, tetapi ketiga aspek tersebut masih sering dikaji secara terpisah. Penelitian mengenai aramid dan UHMWPE lebih banyak menitikberatkan pada karakteristik dan hasil pengujian balistik, sedangkan penelitian ergonomi lebih berfokus pada beban, kesesuaian ukuran, dan pengaruh perlengkapan terhadap pergerakan personel. Di sisi lain, kajian mengenai serat alam Indonesia umumnya membahas karakteristik dan potensi material, tetapi belum sepenuhnya menyediakan informasi kuantitatif mengenai biaya, kapasitas produksi, dan ketersediaan bahan baku untuk kebutuhan industri pertahanan. Dengan demikian, masih diperlukan kajian yang mengintegrasikan aspek kinerja balistik, mobilitas personel, serta kelayakan industri dalam mengevaluasi material ringan. Kebaruan penelitian ini terletak pada penyusunan evaluasi komparatif yang menghubungkan ketiga aspek tersebut dalam satu kerangka kajian, dengan memberikan perhatian khusus pada peluang dan keterbatasan pengembangan material dalam perspektif industri pertahanan Indonesia. Kajian ini juga tidak hanya membandingkan material sintetis, seperti aramid dan UHMWPE, tetapi turut mempertimbangkan potensi serat alam, seperti kenaf dan rami, berdasarkan temuan penelitian yang tersedia.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi material ringan yang berpotensi digunakan dalam perlindungan personel militer berdasarkan aspek kinerja balistik, mobilitas, biaya, dan ketersediaan material dalam perspektif industri pertahanan Indonesia. Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur terstruktur terhadap 18 publikasi ilmiah dan satu peraturan perundang-undangan yang relevan. Hasil kajian diharapkan dapat memberikan gambaran komparatif mengenai keunggulan dan keterbatasan berbagai material, mengidentifikasi peluang pengembangan material dalam negeri, serta menjadi dasar pertimbangan awal dalam menentukan prioritas pengembangan material pelindung yang memperhatikan keseimbangan antara perlindungan, mobilitas, dan kelayakan industri.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif melalui metode tinjauan literatur terstruktur (structured literature review). Metode ini dipilih untuk mengidentifikasi, membandingkan, dan menyintesis hasil penelitian terdahulu mengenai penggunaan material ringan untuk perlindungan personel militer. Analisis dilakukan secara deskriptif-komparatif dan tematik dengan menghubungkan karakteristik material, kinerja balistik, mobilitas personel, serta aspek biaya dan ketersediaan material dalam perspektif industri pertahanan Indonesia. Penelitian ini tidak menggunakan pengujian laboratorium maupun pengumpulan data primer melalui wawancara dan

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

kuesioner. Oleh karena itu, seluruh temuan dan pembahasan disusun berdasarkan informasi yang tersedia dalam publikasi ilmiah dan peraturan perundang-undangan yang relevan.

Sumber data penelitian terdiri atas 18 publikasi ilmiah dan satu peraturan perundang-undangan. Publikasi ilmiah yang digunakan mencakup sembilan artikel tinjauan (review), lima penelitian eksperimental mengenai kinerja balistik material, dan empat penelitian mengenai ergonomi serta mobilitas personel militer. Literatur yang dikaji diterbitkan dalam rentang tahun 2015–2026. Penelusuran literatur dilakukan pada 4 November 2026 melalui mesin pencari daring dan penelusuran lanjutan pada laman penerbit jurnal, Directory of Open Access Journals (DOAJ), repositori ilmiah, serta Garuda. Selain itu, penelitian menggunakan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan sebagai sumber data regulatif untuk memberikan konteks mengenai pengembangan industri pertahanan nasional.

Pemilihan sumber data dilakukan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu pemilihan publikasi berdasarkan kesesuaian substansi dengan tujuan dan fokus penelitian. Kriteria inklusi meliputi publikasi yang membahas material ringan untuk perlindungan balistik, karakteristik aramid dan ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE), komposit hibrida, potensi serat alam untuk aplikasi balistik, serta pengaruh penggunaan perlengkapan pelindung terhadap mobilitas dan ergonomi personel militer. Publikasi yang membahas potensi pengembangan material dalam konteks industri pertahanan Indonesia juga dipertimbangkan. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup publikasi yang tidak memiliki keterkaitan langsung dengan fokus penelitian, tidak menyediakan informasi yang memadai untuk dianalisis, atau hanya membahas material tanpa relevansi terhadap perlindungan balistik maupun kebutuhan personel militer. Proses seleksi dilakukan dengan meninjau judul, abstrak, dan isi publikasi untuk memastikan kesesuaiannya dengan kriteria penelitian. Dari proses tersebut, ditetapkan 18 publikasi ilmiah dan satu peraturan perundang-undangan sebagai sumber data yang dianalisis.

Instrumen penelitian berupa lembar ekstraksi data yang disusun dalam bentuk matriks kajian literatur. Instrumen tersebut digunakan untuk mencatat informasi penting dari setiap sumber, meliputi identitas publikasi, tahun penerbitan, jenis penelitian, material yang dikaji, karakteristik atau parameter pengujian, temuan utama, serta keterbatasan penelitian. Pada penelitian mengenai material balistik, informasi yang diperhatikan meliputi jenis serat, struktur komposit, massa areal, kemampuan penyerapan energi, dan deformasi pada sisi belakang material (back-face signature). Pada penelitian mengenai mobilitas, informasi yang dicatat mencakup massa perlengkapan, kesesuaian ukuran, kenyamanan, dan pengaruh perlengkapan terhadap aktivitas fisik personel. Sementara itu, informasi mengenai biaya, ketersediaan bahan baku, dan industri pertahanan dihimpun berdasarkan pembahasan yang terdapat dalam publikasi ilmiah dan peraturan terkait.

Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi dengan menelusuri dan mempelajari publikasi ilmiah serta dokumen regulasi yang telah memenuhi kriteria pemilihan. Setiap publikasi yang terpilih dibaca dan ditelaah untuk mengidentifikasi informasi yang relevan dengan fokus penelitian. Informasi tersebut kemudian dikelompokkan ke dalam empat tema utama, yaitu (1) kinerja balistik material aramid, UHMWPE, dan komposit hibrida; (2) hubungan karakteristik perlengkapan pelindung dengan mobilitas dan ergonomi personel militer; (3) biaya dan ketersediaan material, termasuk potensi pemanfaatan serat alam; serta (4) peluang dan tantangan pengembangan material ringan dalam industri pertahanan Indonesia. Pengelompokan tersebut digunakan untuk memudahkan perbandingan temuan antarpenelitian dan mengidentifikasi aspek yang telah banyak dikaji maupun yang masih memiliki keterbatasan informasi.

Analisis data dilakukan melalui tiga tahapan. Pertama, analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik publikasi berdasarkan tahun penerbitan, jenis penelitian, dan fokus kajian. Kedua, analisis komparatif dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian mengenai karakteristik dan kinerja berbagai material berdasarkan parameter pengujian yang dilaporkan oleh masing-masing publikasi. Perbandingan dilakukan dengan memperhatikan perbedaan struktur material dan kondisi pengujian agar tidak menghasilkan kesimpulan yang bersifat mutlak ketika kondisi eksperimen antarpenelitian tidak sama. Ketiga, sintesis tematik

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

dilakukan dengan mengintegrasikan hasil perbandingan untuk mengidentifikasi keunggulan, keterbatasan, serta peluang pengembangan material berdasarkan aspek perlindungan, mobilitas, dan kelayakan industri.

Berdasarkan hasil sintesis tersebut, penelitian ini menyusun kerangka evaluasi konseptual yang mempertimbangkan tiga aspek utama, yaitu kinerja balistik, mobilitas personel, dan kelayakan industri. Kinerja balistik ditempatkan sebagai aspek utama yang harus dipenuhi sebelum suatu material dipertimbangkan lebih lanjut. Material yang memenuhi pertimbangan perlindungan selanjutnya dapat dievaluasi berdasarkan aspek mobilitas dan kelayakan industri, termasuk biaya serta ketersediaan bahan baku. Kerangka tersebut digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi awal mengenai pengembangan material ringan untuk perlindungan personel militer. Namun, kerangka evaluasi ini bersifat konseptual dan belum diterapkan sebagai model penilaian kuantitatif karena keterbatasan data empiris mengenai harga material, kapasitas produksi, dan ketersediaan bahan baku domestik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Berdasarkan hasil penelusuran dan seleksi literatur, penelitian ini menggunakan 18 publikasi ilmiah dan satu peraturan perundang-undangan yang relevan dengan pengembangan material ringan untuk perlindungan personel militer. Publikasi yang dikaji terdiri atas sembilan artikel tinjauan (review), lima penelitian eksperimental mengenai kinerja balistik, dan empat penelitian yang membahas ergonomi serta mobilitas personel militer. Literatur tersebut mencakup pembahasan mengenai material sintetis, komposit hibrida, serat alam, serta penggunaan perlengkapan pelindung dalam aktivitas militer.

Pengelompokan publikasi berdasarkan fokus kajian menunjukkan bahwa literatur yang digunakan tidak hanya membahas kemampuan material dalam menahan ancaman balistik, tetapi juga memperhatikan pengaruh perlengkapan pelindung terhadap kenyamanan dan pergerakan personel. Selain itu, beberapa publikasi membahas peluang pemanfaatan serat alam sebagai material alternatif. Sementara itu, aspek biaya dan ketersediaan material dalam konteks industri pertahanan Indonesia dikaji melalui informasi yang tersedia dalam literatur dan regulasi terkait.

Tabel 1. Karakteristik Publikasi Ilmiah Berdasarkan Analisis Penelitian

Jenis Publikasi	Jumlah	Persentase
Artikel tinjauan (review)	9	50,00%
Penelitian eksperimental balistik	5	27,78%
Penelitian ergonomi dan mobilitas	4	22,22%
Total	18	100%

Berdasarkan Tabel 1, artikel tinjauan merupakan jenis publikasi terbanyak, yaitu sembilan artikel atau 50% dari keseluruhan literatur. Penelitian eksperimental mengenai kinerja balistik berjumlah lima artikel atau 27,78%, sedangkan penelitian mengenai ergonomi dan mobilitas berjumlah empat artikel atau 22,22%. Komposisi tersebut memperlihatkan bahwa kajian material pelindung balistik telah banyak dibahas melalui penelitian tinjauan dan pengujian material. Namun, kajian mengenai pengaruh perlengkapan pelindung terhadap mobilitas personel juga menjadi bagian penting dalam mengevaluasi efektivitas material yang digunakan.

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa aramid dan ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) merupakan dua jenis serat sintetis yang banyak dibahas dalam pengembangan material pelindung balistik. Keduanya memiliki karakteristik dan mekanisme respons yang berbeda ketika menerima tumbukan proyektil. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh jenis serat, struktur kain, susunan lapisan, serta konfigurasi komposit yang digunakan.

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Abtew et al. (2019) menjelaskan bahwa respons material terhadap tumbukan balistik berkaitan dengan karakteristik mekanis dan struktur material. Penelitian Bajya et al. (2021) menunjukkan bahwa struktur kain tenun dan unidirectional menghasilkan karakteristik kegagalan yang berbeda pada panel pelindung berbahan aramid dan UHMWPE. Temuan ini memperlihatkan bahwa evaluasi material tidak cukup dilakukan hanya dengan membandingkan jenis serat, tetapi juga perlu memperhatikan bentuk dan susunan struktur komposit.

Dalam beberapa pengujian yang dikaji, UHMWPE menunjukkan kemampuan penyerapan energi yang lebih tinggi berdasarkan massa areal dibandingkan material pembanding. Namun, keunggulan tersebut tidak selalu diikuti oleh hasil deformasi sisi belakang yang lebih baik. Pada konfigurasi tertentu, aramid dengan struktur unidirectional menunjukkan kedalaman deformasi atau trauma yang lebih rendah dibandingkan komposit UHMWPE berbentuk kain tenun. Dengan demikian, kemampuan penyerapan energi dan tingkat deformasi sisi belakang perlu dipertimbangkan sebagai parameter yang berbeda dalam mengevaluasi perlindungan balistik.

Penelitian Ralph et al. (2023) juga menunjukkan bahwa kombinasi aramid dan UHMWPE dalam komposit hibrida berpotensi menghasilkan karakteristik perlindungan yang berbeda bergantung pada susunan lapisan yang digunakan. Karahan et al. (2024) memperkuat temuan bahwa jenis serat dan struktur kain berpengaruh terhadap respons material ketika mengalami tumbukan balistik. Oleh karena itu, tidak terdapat satu jenis material yang dapat dinyatakan paling unggul untuk seluruh kondisi pengujian. Kinerja material perlu dinilai berdasarkan konfigurasi, parameter perlindungan, dan kondisi ancaman yang menjadi dasar pengujian.

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Material Ringan untuk Perlindungan Balistik

Material	Karakteristik Hasil Kajian	Potensi Penggunaan	Keterbatasan
Aramid	Memiliki ketahanan terhadap tumbukan dan pada konfigurasi tertentu menunjukkan deformasi sisi belakang lebih rendah.	Panel rompi antipeluru dan komposit pelindung.	Kinerja dipengaruhi struktur kain dan susunan lapisan.
UHMWPE	Menunjukkan penyerapan energi per massa areal yang tinggi pada beberapa pengujian.	Material pelindung ringan.	Deformasi sisi belakang dapat berbeda menurut konfigurasi.
Komposit hibrida aramid–UHMWPE	Memungkinkan kombinasi karakteristik kedua jenis serat.	Panel pelindung dengan susunan lapisan tertentu.	Kinerja bergantung pada urutan lapisan dan struktur komposit.
Serat kenaf	Berpotensi sebagai bahan penguat komposit berbasis serat alam.	Pengembangan material alternatif.	Karakteristik mekanis dan perlindungan balistik masih perlu ditingkatkan.
Serat rami	Dapat digunakan sebagai penguat komposit berlapis.	Penelitian material komposit alternatif.	Hasil pengujian penetrasi belum menunjukkan ketahanan yang konsisten.

Berdasarkan Tabel 2, material sintetis aramid dan UHMWPE memiliki dasar penelitian yang lebih kuat untuk aplikasi perlindungan balistik dibandingkan serat alam yang dikaji. Komposit hibrida juga memiliki peluang pengembangan karena memungkinkan penggabungan karakteristik beberapa jenis serat. Sementara itu, serat kenaf dan rami masih memerlukan pengembangan serta pengujian lebih lanjut sebelum dapat dipertimbangkan sebagai bahan utama perlengkapan pelindung personel militer.

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Hasil kajian terhadap publikasi ergonomi menunjukkan bahwa penggunaan perlengkapan pelindung dapat memengaruhi mobilitas, kenyamanan, dan performa fisik personel militer. Pengaruh tersebut tidak hanya berkaitan dengan berat perlengkapan, tetapi juga tingkat perlindungan, desain, kesesuaian ukuran, dan distribusi beban pada tubuh. Dengan demikian, material yang memiliki kemampuan perlindungan tinggi belum tentu memberikan kenyamanan optimal apabila digunakan dalam desain perlengkapan yang kurang sesuai dengan kebutuhan personel.

Loverro et al. (2015) mengkaji pengaruh penggunaan body armour bersama beban perlengkapan tempur terhadap performa dan kinematika personel. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan perlengkapan pelindung bersama beban tambahan dapat memengaruhi pelaksanaan aktivitas fisik. Selanjutnya, Coltman et al. (2020; 2021) mengidentifikasi permasalahan kesesuaian ukuran dan fungsi body armour, khususnya terkait kebutuhan antropometri personel. Temuan tersebut menunjukkan pentingnya desain perlengkapan yang mempertimbangkan variasi bentuk tubuh agar perlindungan tidak menghambat aktivitas.

Penelitian Brisbine et al. (2026) juga mengidentifikasi adanya permasalahan kesesuaian perlengkapan, nyeri muskuloskeletal, serta gangguan mobilitas yang dialami personel ketika menggunakan body armour. Secara keseluruhan, hasil penelitian ergonomi memperlihatkan bahwa mobilitas personel merupakan hasil interaksi antara berat perlengkapan, desain, kesesuaian ukuran, dan aktivitas yang dilakukan. Namun, publikasi yang dikaji belum secara langsung membuktikan hubungan antara jenis serat tertentu, seperti aramid atau UHMWPE, dengan peningkatan mobilitas personel.

Tabel 3. Temuan Penelitian Terkait Mobilitas dan Ergonomi Personel Militer

Peneliti	Fokus Kajian	Temuan Utama
Loverro et al. (2015)	Penggunaan body armour dan beban perlengkapan tempur.	Penggunaan perlengkapan pelindung bersama beban tambahan berkaitan dengan perubahan performa dan kinematika personel.
Coltman et al. (2020)	Kepuasan personel terhadap kesesuaian dan fungsi body armour.	Kesesuaian ukuran dan fungsi perlengkapan menjadi aspek penting dalam kenyamanan penggunaan.
Coltman et al. (2021)	Permasalahan body armour pada personel perempuan.	Desain dan ukuran perlengkapan perlu mempertimbangkan variasi antropometri personel.
Brisbine et al. (2026)	Kesesuaian perlengkapan, nyeri muskuloskeletal, dan mobilitas.	Permasalahan kesesuaian perlengkapan berkaitan dengan rasa nyeri dan gangguan pergerakan.

Berdasarkan Tabel 3, aspek ergonomi memiliki peran penting dalam mengevaluasi perlengkapan pelindung militer. Berat perlengkapan, kesesuaian ukuran, dan desain perlu diperhatikan agar perlindungan yang diberikan tidak menimbulkan hambatan berlebihan terhadap mobilitas personel. Temuan ini juga menunjukkan bahwa evaluasi material ringan perlu mempertimbangkan penerapannya dalam bentuk perlengkapan pelindung secara keseluruhan, bukan hanya karakteristik material penyusunnya.

Hasil penelusuran literatur menunjukkan bahwa informasi mengenai biaya dan ketersediaan material pelindung masih lebih terbatas dibandingkan informasi mengenai karakteristik mekanis dan kinerja balistik. Sebagian besar publikasi yang dikaji berfokus pada kemampuan material dalam menerima tumbukan, karakteristik komposit, dan potensi penggunaannya sebagai perlengkapan pelindung. Sementara itu, informasi mengenai harga bahan baku, biaya produksi, kapasitas pemasok, dan keberlanjutan pasokan belum tersedia secara memadai untuk membandingkan seluruh jenis material secara kuantitatif.

Pada material sintetis, aramid dan UHMWPE telah banyak diteliti untuk aplikasi perlindungan balistik. Akan tetapi, pemanfaatannya dalam industri pertahanan tetap perlu mempertimbangkan akses terhadap bahan

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

baku dan kebutuhan proses produksi. Sementara itu, serat alam seperti kenaf dan rami memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan penguat komposit alternatif. Azizah et al. (2024) membahas karakteristik serat kenaf sebagai alternatif serat sintetis, sedangkan Permana et al. (2024) menguji penggunaan serat rami dalam komposit berlapis untuk aplikasi balistik. Meskipun demikian, hasil penelitian tersebut belum cukup untuk menyimpulkan bahwa serat alam dapat menggantikan material sintetis dalam perlengkapan pelindung militer.

Tabel 4. Perbandingan Aspek Biaya dan Ketersediaan Material Berdasarkan Literatur

Jenis Material	Informasi Biaya	Ketersediaan Bahan Baku	Kondisi Pengembangan
Aramid	Data biaya komparatif tidak tersedia secara memadai dalam literatur yang dikaji.	Memerlukan perhatian terhadap akses dan pasokan bahan baku.	Telah banyak diteliti untuk aplikasi perlindungan balistik.
UHMWPE	Data biaya komparatif tidak tersedia secara memadai dalam literatur yang dikaji.	Memerlukan perhatian terhadap akses dan pasokan bahan baku.	Memiliki potensi sebagai material pelindung ringan.
Komposit hibrida	Biaya produksi belum dapat dibandingkan secara kuantitatif.	Bergantung pada jenis dan kombinasi serat yang digunakan.	Memerlukan optimasi susunan lapisan dan proses produksi.
Serat kenaf	Belum ditemukan data biaya produksi untuk aplikasi balistik yang dapat dibandingkan.	Memiliki potensi sebagai serat alam yang dapat dikembangkan di Indonesia.	Masih memerlukan pengembangan karakteristik mekanis dan pengujian balistik.
Serat rami	Belum ditemukan data biaya produksi untuk aplikasi balistik yang dapat dibandingkan.	Memiliki potensi sebagai bahan penguat komposit.	Hasil pengujian balistik masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Berdasarkan Tabel 4, belum tersedia informasi kuantitatif yang cukup untuk menentukan material dengan biaya paling rendah atau tingkat ketersediaan paling tinggi. Potensi pemanfaatan serat alam di Indonesia dapat menjadi salah satu peluang pengembangan material alternatif, tetapi potensi tersebut masih perlu didukung data mengenai kualitas bahan baku, kontinuitas pasokan, biaya pengolahan, dan kemampuan produksi. Oleh karena itu, aspek biaya dan ketersediaan dalam penelitian ini belum dapat digunakan untuk menghasilkan peringkat ekonomis antarjenis material.

Hasil kajian menunjukkan bahwa pengembangan material ringan memiliki peluang untuk mendukung penguatan industri pertahanan Indonesia, terutama melalui penelitian material komposit dan pemanfaatan sumber daya dalam negeri. Salah satu peluang yang ditemukan adalah pengembangan serat alam sebagai bahan penguat komposit. Kajian Azizah et al. (2024) dan Paundra et al. (2025) menunjukkan bahwa serat kenaf dan serat alam Indonesia lainnya memiliki potensi untuk diteliti lebih lanjut sebagai material komposit balistik. Selain itu, penelitian Permana et al. (2024) memperlihatkan bahwa serat rami telah diuji dalam bentuk komposit berlapis untuk aplikasi perlindungan balistik.

Meskipun demikian, pemanfaatan serat alam masih menghadapi keterbatasan dari sisi kemampuan mekanis dan hasil pengujian balistik. Sebagai contoh, penelitian mengenai komposit serat rami menunjukkan bahwa ketahanan terhadap penetrasi belum konsisten pada seluruh spesimen dan kondisi pengujian. Dengan demikian, ketersediaan serat alam sebagai sumber daya domestik belum secara otomatis menunjukkan kesiapan penggunaannya untuk perlengkapan pelindung personel militer. Diperlukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan karakteristik material, mengoptimalkan struktur komposit, serta menguji kemampuan perlindungannya berdasarkan standar yang relevan.

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Dari sisi regulasi, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan memberikan landasan bagi pengembangan kemampuan industri pertahanan nasional. Dalam konteks penelitian ini, pengembangan material pelindung dapat menjadi salah satu bidang yang perlu diperhatikan melalui penguatan kegiatan penelitian, pengembangan teknologi, dan pemanfaatan sumber daya dalam negeri. Namun, literatur yang dikaji belum menyediakan data kuantitatif yang cukup mengenai kapasitas produksi material balistik domestik, jumlah pemasok bahan baku, maupun tingkat ketergantungan terhadap pasokan luar negeri. Oleh sebab itu, peluang pengembangan industri pertahanan dalam penelitian ini diidentifikasi berdasarkan potensi material dan kebutuhan pengembangan teknologi, bukan berdasarkan pengukuran kapasitas industri secara langsung.

Tabel 5. Peluang dan Tantangan Pengembangan Material Ringan dalam Industri Pertahanan Indonesia

Aspek	Peluang Pengembangan	Tantangan yang Ditemukan
Material sintetis	Pengembangan dan penerapan aramid serta UHMWPE untuk perlindungan balistik.	Ketersediaan bahan baku dan informasi biaya belum terukur secara memadai.
Komposit hibrida	Penggabungan karakteristik beberapa jenis serat untuk menghasilkan perlindungan yang sesuai kebutuhan.	Optimasi susunan lapisan, proses produksi, dan konsistensi kinerja.
Serat alam	Pemanfaatan kenaf dan rami sebagai bahan penguat komposit alternatif.	Karakteristik mekanis dan ketahanan balistik masih perlu ditingkatkan.
Industri pertahanan	Penguatan penelitian dan pengembangan material dalam negeri.	Data kapasitas produksi, pemasok, biaya, dan rantai pasok domestik masih terbatas.

Tabel 5 memperlihatkan bahwa pengembangan material ringan di Indonesia memiliki peluang melalui pengembangan material sintetis, komposit hibrida, dan pemanfaatan serat alam. Namun, setiap alternatif memiliki tantangan yang berbeda. Pengembangan serat alam, misalnya, memerlukan peningkatan karakteristik mekanis dan pengujian balistik, sedangkan penggunaan material sintetis dan komposit hibrida memerlukan perhatian terhadap biaya serta ketersediaan bahan baku. Dengan demikian, pengembangan material dalam negeri perlu mempertimbangkan kesesuaian kinerja teknis sekaligus kesiapan industri untuk mendukung proses produksi dan penyediaannya.

Berdasarkan sintesis seluruh literatur, penelitian ini menyusun kerangka evaluasi konseptual yang mengintegrasikan tiga aspek utama, yaitu kinerja balistik, mobilitas personel, dan kelayakan industri. Kerangka ini disusun untuk menunjukkan bahwa pemilihan material pelindung tidak dapat hanya didasarkan pada satu parameter. Material perlu terlebih dahulu memenuhi kebutuhan perlindungan balistik, kemudian dipertimbangkan berdasarkan pengaruhnya terhadap mobilitas personel dan kemungkinan pengembangannya dalam industri pertahanan.

Kinerja balistik ditempatkan sebagai persyaratan awal (protection gate) karena fungsi utama material adalah memberikan perlindungan terhadap ancaman balistik. Material yang memenuhi persyaratan perlindungan selanjutnya dapat dibandingkan berdasarkan aspek mobilitas, seperti bobot, kenyamanan, kesesuaian ukuran, dan keleluasaan gerak. Aspek kelayakan industri mencakup biaya material, ketersediaan bahan baku, kemampuan produksi, serta peluang pemanfaatan sumber daya dalam negeri.

2. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan material untuk perlindungan balistik tidak dapat hanya didasarkan pada kemampuan material dalam menyerap energi tumbukan. Terdapat beberapa karakteristik yang perlu dipertimbangkan secara bersamaan, antara lain massa areal, struktur serat, kemampuan menahan penetrasi, dan deformasi pada sisi belakang material. Temuan ini memperlihatkan bahwa efektivitas material pelindung merupakan hasil interaksi antara sifat dasar serat dan konfigurasi komposit yang digunakan. Dengan

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

demikian, material yang memiliki kemampuan penyerapan energi tinggi belum tentu memberikan tingkat perlindungan terbaik apabila indikator deformasi dan risiko cedera tidak diperhatikan.

UHMWPE menunjukkan potensi sebagai material pelindung ringan karena beberapa penelitian melaporkan kemampuan penyerapan energi yang tinggi berdasarkan massa arealnya. Karakteristik tersebut menjadi keunggulan karena salah satu kebutuhan utama perlengkapan pelindung militer adalah memperoleh perlindungan yang memadai tanpa menambah beban secara berlebihan. Meskipun demikian, kemampuan penyerapan energi tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator untuk menentukan kualitas perlindungan. Deformasi pada sisi belakang panel juga perlu diperhatikan karena berkaitan dengan energi yang diteruskan ke bagian tubuh pengguna setelah proyektil mengenai material pelindung.

Di sisi lain, aramid dengan struktur unidirectional pada konfigurasi tertentu menunjukkan deformasi sisi belakang yang lebih rendah dibandingkan UHMWPE dengan struktur kain tenun. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa keunggulan material dapat berubah berdasarkan struktur penyusunnya. Hal ini sejalan dengan penelitian Bajya et al. (2021) yang menunjukkan bahwa struktur kain dan orientasi serat memengaruhi mekanisme kegagalan panel pelindung. Abtew et al. (2019) juga menjelaskan bahwa respons balistik dipengaruhi oleh kombinasi karakteristik mekanis material dan kondisi tumbukan. Oleh karena itu, perbandingan antara aramid dan UHMWPE perlu dilakukan berdasarkan konfigurasi pengujian yang setara agar kesimpulan yang diperoleh tidak hanya didasarkan pada nama atau jenis material.

Perkembangan penelitian terbaru juga memperkuat pentingnya pendekatan tersebut. Lin et al. (2025), dalam penelitian mengenai komposit UHMWPE hibrida, membandingkan beberapa konfigurasi material UHMWPE, UHMWPE/aramid, dan UHMWPE/serat karbon dengan massa areal yang relatif serupa. Penelitian tersebut menunjukkan pentingnya kombinasi material dan orientasi permukaan tumbukan dalam menentukan respons deformasi balistik. Temuan ini mendukung pandangan bahwa pengembangan komposit hibrida dapat menjadi salah satu alternatif untuk mengoptimalkan karakteristik perlindungan, meskipun keunggulannya tetap harus dibuktikan melalui pengujian pada konfigurasi dan kondisi ancaman yang relevan.

Berdasarkan hasil tersebut, kontribusi penting dari kajian ini adalah menempatkan kemampuan penyerapan energi, deformasi sisi belakang, dan massa areal sebagai aspek yang perlu dievaluasi secara terpadu. Pendekatan ini memberikan pemahaman bahwa material dengan bobot lebih ringan tidak otomatis menjadi material paling efektif. Material pelindung harus mampu memberikan perlindungan yang memadai dengan bobot yang sesuai kebutuhan operasional. Oleh karena itu, pengembangan komposit hibrida aramid–UHMWPE layak dipertimbangkan sebagai salah satu arah penelitian lanjutan, khususnya untuk memperoleh keseimbangan antara kemampuan perlindungan dan pengurangan massa perlengkapan.

Temuan penelitian mengenai mobilitas menunjukkan bahwa efektivitas perlengkapan pelindung tidak hanya ditentukan oleh karakteristik material penyusunnya, tetapi juga oleh desain dan kesesuaian perlengkapan dengan kondisi fisik personel. Bobot perlengkapan memang menjadi salah satu faktor yang memengaruhi mobilitas, tetapi pengurangan bobot saja belum tentu menyelesaikan seluruh permasalahan penggunaan body armour. Ukuran pelat, distribusi beban, bentuk perlengkapan, dan kesesuaiannya dengan antropometri pengguna juga memiliki peran penting.

Loverro et al. (2015) menunjukkan bahwa penggunaan body armour bersama beban perlengkapan tempur dapat memengaruhi performa dan kinematika personel. Sementara itu, Coltman et al. (2020; 2021) memperlihatkan bahwa ketidaksesuaian ukuran dan bentuk perlengkapan dapat menimbulkan permasalahan kenyamanan serta mengganggu fungsi perlindungan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengembangan material ringan perlu diikuti dengan pengembangan desain perlengkapan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Apabila material yang lebih ringan digunakan tetapi desain dan ukuran perlengkapan tidak diperbaiki, hambatan mobilitas masih mungkin terjadi.

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Penelitian Kim et al. (2024) memberikan penguatan terhadap temuan tersebut melalui pendekatan penilaian kesesuaian body armour secara virtual menggunakan teknik yang dikembangkan NASA. Penelitian tersebut memperlihatkan bahwa perbedaan antropometri berpengaruh terhadap kesesuaian ukuran dan pola kontak antara tubuh dengan pelat pelindung. Hal ini menunjukkan bahwa desain perlengkapan perlu mempertimbangkan variasi bentuk tubuh personel, bukan hanya menggunakan satu ukuran standar untuk seluruh pengguna.

Temuan yang lebih baru dari Brisbine et al. (2026) juga menunjukkan bahwa permasalahan ukuran dan desain body armour berkaitan dengan nyeri muskuloskeletal, gangguan penggunaan perlengkapan lain, serta keterbatasan mobilitas personel. Penelitian tersebut menemukan bahwa panjang bagian depan perlengkapan menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi kesesuaian dan kenyamanan penggunaan. Dengan demikian, pengembangan perlengkapan pelindung perlu memperhatikan hubungan antara material, desain, dan karakteristik tubuh pengguna.

Dalam konteks penelitian ini, temuan tersebut memberikan implikasi bahwa evaluasi material ringan sebaiknya tidak berhenti pada perbandingan sifat mekanis di laboratorium. Material yang memiliki massa areal rendah perlu dipertimbangkan dalam penerapannya pada bentuk perlengkapan pelindung yang sebenarnya. Pengujian lanjutan dapat diarahkan pada pengukuran bobot total perlengkapan, distribusi beban, keleluasaan gerak, kenyamanan, serta kesesuaian ukuran berdasarkan variasi antropometri personel. Dengan demikian, hubungan antara material dan mobilitas dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa literatur yang dikaji belum secara langsung membuktikan bahwa penggunaan serat aramid, UHMWPE, atau komposit hibrida tertentu menghasilkan peningkatan mobilitas personel. Penelitian ergonomi lebih banyak membahas pengaruh perlengkapan pelindung secara keseluruhan, bukan membandingkan jenis serat penyusunnya. Oleh karena itu, hubungan antara material ringan dan peningkatan mobilitas dalam penelitian ini masih merupakan implikasi yang didukung oleh keterkaitan antara massa perlengkapan, desain, dan kenyamanan, bukan hubungan sebab-akibat yang telah diuji secara langsung.

Hasil kajian menunjukkan bahwa serat alam, khususnya kenaf dan rami, memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai bahan penguat komposit untuk aplikasi perlindungan balistik. Potensi tersebut berkaitan dengan karakteristik serat alam yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyusun komposit serta peluang pengembangan sumber daya lokal. Namun, potensi pemanfaatan serat alam tidak dapat langsung disamakan dengan kemampuan perlindungan balistik yang telah dimiliki oleh material sintetis seperti aramid dan UHMWPE.

Penelitian Azizah et al. (2024) membahas karakteristik serat kenaf sebagai alternatif serat sintetis, sedangkan Doddamani et al. (2023) dan Odesanya et al. (2021) menguraikan peluang serta tantangan penggunaan serat alam dalam komposit balistik. Secara umum, pengembangan serat alam masih menghadapi permasalahan terkait variasi karakteristik mekanis, interaksi antara serat dan matriks, serta kemampuan material dalam menahan penetrasi proyektil. Hal tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan penggunaan serat alam tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan bahan baku, tetapi juga oleh proses pengolahan dan rekayasa struktur komposit.

Penelitian Paundra et al. (2025) mengenai potensi serat alam Indonesia untuk material komposit balistik memperkuat relevansi pengembangan bahan lokal. Penelitian tersebut membahas serat seperti rami, abaka, bambu, dan sisal, serta mengidentifikasi tantangan berupa sifat hidrofilik dan variasi karakteristik serat. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa perlakuan kimia dan modifikasi permukaan berpotensi memperbaiki interaksi antara serat dan matriks komposit. Dengan demikian, pengembangan serat alam perlu diarahkan pada peningkatan kualitas antarmuka dan konsistensi karakteristik material sebelum digunakan dalam aplikasi perlindungan balistik.

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Hasil penelitian Permana et al. (2024) mengenai komposit berlapis serat rami juga menunjukkan bahwa penggunaan serat alam untuk perlindungan balistik masih memerlukan evaluasi lebih lanjut. Hasil pengujian penetrasi yang belum konsisten pada seluruh spesimen menunjukkan bahwa potensi serat rami belum dapat dijadikan dasar untuk menyatakan bahwa material tersebut telah mampu menggantikan serat sintetis. Penelitian lanjutan perlu mempertimbangkan variasi ketebalan, susunan lapisan, jenis matriks, dan kondisi pengujian agar karakteristik perlindungannya dapat diketahui secara lebih akurat.

Dengan demikian, serat alam lebih tepat diposisikan sebagai material alternatif yang masih berada dalam tahap pengembangan, bukan sebagai pengganti langsung aramid atau UHMWPE. Dalam perspektif industri pertahanan Indonesia, pemanfaatan kenaf, rami, dan serat alam lainnya dapat menjadi peluang untuk mengembangkan teknologi komposit berbasis sumber daya domestik. Namun, pengembangan tersebut harus disertai pengujian balistik yang memadai, peningkatan konsistensi mutu, dan evaluasi ketahanan material dalam kondisi penggunaan yang relevan.

Aspek biaya dan ketersediaan merupakan bagian penting dalam menentukan keberlanjutan pengembangan material pelindung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa publikasi yang dikaji lebih banyak memberikan informasi mengenai karakteristik mekanis dan kemampuan perlindungan material dibandingkan informasi mengenai harga bahan baku, biaya produksi, dan kapasitas pemasok. Keterbatasan tersebut menyebabkan penelitian ini belum dapat menentukan jenis material yang paling ekonomis untuk digunakan dalam industri pertahanan Indonesia.

Kondisi tersebut menunjukkan adanya perbedaan antara kelayakan teknis dan kelayakan industri. Kelayakan teknis berkaitan dengan kemampuan material memenuhi kebutuhan perlindungan balistik dan mendukung mobilitas personel. Sementara itu, kelayakan industri berkaitan dengan kemampuan memperoleh bahan baku, mengolah material, mempertahankan konsistensi mutu, dan menyediakan produk secara berkelanjutan. Material yang memiliki kinerja balistik baik belum tentu dapat diterapkan secara luas apabila proses produksinya membutuhkan bahan baku yang sulit diperoleh atau biaya yang belum dapat dipenuhi.

Di sisi lain, pemanfaatan serat alam dalam pengembangan komposit dapat menjadi salah satu peluang untuk memperluas penggunaan sumber daya dalam negeri. Paundra et al. (2025) menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi sumber daya serat alam seperti rami, abaka, bambu, dan sisal untuk dikembangkan sebagai material komposit balistik. Namun, potensi sumber daya tersebut tetap perlu dihubungkan dengan kesiapan proses pengolahan, standar kualitas, dan kemampuan produksi. Ketersediaan bahan baku secara alami tidak selalu menjamin bahwa bahan tersebut tersedia dalam jumlah, kualitas, dan kontinuitas yang dibutuhkan industri.

Dalam konteks kebijakan, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan memberikan landasan bagi penguatan kemampuan industri pertahanan nasional. Pengembangan material pelindung dapat menjadi salah satu bidang yang mendukung penguasaan teknologi dan peningkatan kemampuan industri dalam negeri. Akan tetapi, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa masih terdapat keterbatasan informasi mengenai kapasitas produksi material balistik domestik, jumlah pemasok bahan baku, dan struktur biaya produksi. Oleh karena itu, belum dapat ditarik kesimpulan mengenai tingkat kemandirian Indonesia dalam memenuhi kebutuhan material pelindung personel militer.

Implikasi praktis dari temuan ini adalah perlunya pengembangan material pelindung yang tidak hanya berorientasi pada pencapaian kinerja teknis, tetapi juga memperhatikan kesiapan rantai pasok dan kemampuan industri. Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada pengumpulan data harga bahan baku, biaya pengolahan, kapasitas produksi, dan ketersediaan pemasok domestik. Data tersebut diperlukan agar perbandingan antara material sintetis dan serat alam dapat dilakukan secara lebih objektif. Dengan demikian, keputusan pengembangan material dapat mempertimbangkan manfaat teknis sekaligus kemampuan industri untuk mendukung produksi secara berkelanjutan.

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Berdasarkan keseluruhan temuan, kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyusunan kerangka evaluasi material ringan yang mengintegrasikan tiga aspek, yaitu kinerja balistik, mobilitas personel, dan kelayakan industri. Penelitian terdahulu telah memberikan landasan mengenai kemampuan berbagai material dalam menghadapi tumbukan balistik, pengaruh perlengkapan pelindung terhadap ergonomi, serta potensi penggunaan serat alam. Namun, ketiga aspek tersebut masih sering dibahas dalam fokus penelitian yang berbeda. Penelitian ini menghubungkan temuan-temuan tersebut dalam satu kerangka evaluasi untuk memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai pertimbangan pemilihan material pelindung personel militer.

Kerangka evaluasi yang disusun menempatkan perlindungan balistik sebagai persyaratan awal sebelum material dipertimbangkan berdasarkan aspek lainnya. Penempatan tersebut didasarkan pada fungsi utama perlengkapan pelindung, yaitu memberikan perlindungan terhadap ancaman balistik. Setelah memenuhi kebutuhan perlindungan, material dapat dibandingkan berdasarkan aspek mobilitas, seperti bobot, kenyamanan, kesesuaian ukuran, dan keleluasaan gerak. Selanjutnya, aspek kelayakan industri digunakan untuk mempertimbangkan biaya, ketersediaan bahan baku, kapasitas produksi, dan keberlanjutan pasokan.

Pendekatan ini menunjukkan bahwa pemilihan material pelindung perlu mempertimbangkan beberapa aspek secara bersamaan. Material dengan kemampuan penyerapan energi tinggi tetap perlu dievaluasi berdasarkan deformasi sisi belakang, sedangkan material yang ringan harus memperhatikan pengaruhnya terhadap mobilitas personel. Selain itu, ketersediaan bahan baku juga perlu dipertimbangkan tanpa mengabaikan standar perlindungan balistik.

Secara teoretis, kerangka tersebut memperluas cara pandang evaluasi material pelindung dari pendekatan yang berfokus pada karakteristik mekanis menjadi pendekatan multidimensi yang menghubungkan aspek teknis, ergonomis, dan industri. Kerangka ini bukan merupakan teori baru yang telah tervalidasi, melainkan pengembangan konseptual berdasarkan sintesis hasil penelitian terdahulu. Kontribusi tersebut dapat menjadi landasan bagi penelitian berikutnya untuk mengembangkan model evaluasi kuantitatif dengan melibatkan pengujian balistik, pengukuran ergonomi, serta data biaya dan ketersediaan material.

Secara praktis, kerangka evaluasi ini dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan awal bagi peneliti, pengembang material, dan industri pertahanan dalam menentukan arah penelitian serta pengembangan perlengkapan pelindung personel militer. Pengembangan material tidak hanya diarahkan untuk menghasilkan produk dengan bobot rendah, tetapi juga mempertimbangkan tingkat perlindungan, kenyamanan penggunaan, dan kemampuan industri dalam menyediakan material secara berkelanjutan. Maka, hasil penelitian ini memberikan dasar konseptual untuk mendorong pengembangan material pelindung yang lebih sesuai dengan kebutuhan personel dan potensi industri pertahanan Indonesia.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian, material ringan yang berpotensi digunakan untuk perlindungan personel militer meliputi aramid, UHMWPE, komposit hibrida, serta serat alam seperti kenaf dan rami. Setiap material memiliki karakteristik dan keterbatasan yang berbeda dalam memberikan perlindungan balistik. UHMWPE menunjukkan kemampuan penyerapan energi yang tinggi berdasarkan massa areal pada beberapa pengujian, sedangkan aramid pada konfigurasi tertentu menunjukkan deformasi sisi belakang yang lebih rendah. Komposit hibrida juga memiliki potensi untuk menggabungkan karakteristik kedua material tersebut. Dari aspek mobilitas, bobot, desain, dan kesesuaian perlengkapan menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan untuk mendukung kenyamanan serta keleluasaan gerak personel. Sementara itu, serat alam Indonesia berpeluang dikembangkan sebagai material alternatif, meskipun kemampuan perlindungan balistiknya masih memerlukan pengujian lebih lanjut. Penelitian ini menghasilkan kerangka evaluasi konseptual yang mengintegrasikan aspek kinerja balistik, mobilitas personel,

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

dan kelayakan industri sebagai dasar pertimbangan dalam pengembangan material pelindung. Kerangka tersebut menempatkan kemampuan perlindungan balistik sebagai persyaratan utama, kemudian mempertimbangkan bobot dan kenyamanan penggunaan serta biaya dan ketersediaan bahan baku. Namun, keterbatasan informasi kuantitatif mengenai biaya, kapasitas produksi, dan ketersediaan material domestik menyebabkan kelayakan industri belum dapat dibandingkan secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian material secara langsung serta mengumpulkan data biaya dan kapasitas industri dalam negeri agar kerangka evaluasi ini dapat dikembangkan menjadi model penilaian yang lebih terukur.

DAFTAR PUSTAKA

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, 110966. doi: 10.1016/j.compstruct.2019.110966.

Azizah, Y.N., Jupriyanto, Jandhana, I.B.P. and Deksino, G.R. (2024) 'Studi efektivitas karakteristik serat alami kenaf (Hibiscus cannabinus) sebagai pengganti serat sintesis Kevlar untuk bahan komposit anti peluru: Jurnal review', J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin, 9(1), pp. 37–45. doi: 10.32528/jp.v9i1.2030.

Bajya, M., Majumdar, A., Butola, B.S., Arora, S. and Bhattacharjee, D. (2021) 'Ballistic performance and failure modes of woven and unidirectional fabric based soft armour panels', Composite Structures, 255, 112941. doi: 10.1016/j.compstruct.2020.112941 .

Barhoumi, H., Bhouri, N., Feki, I., Baffoun, A., Hamdaoui, M., Ben Abdessalem, S. et al. (2023) 'Review of ballistic protection materials: Properties and performances', Journal of Reinforced Plastics and Composites, 42(13–14), pp. 685–699. doi: 10.1177/07316844221137920.

Brisbine, B.R., Molloy, R.H., Carstairs, G.L. and Coltman, C.E. (2026) 'Soldiers experience fit issues, musculoskeletal pain, and equipment and mobility interference with military body armour', Applied Ergonomics, 130, 104645. doi: 10.1016/j.apergo.2025.104645.

Coltman, C.E., Steele, J.R., Spratford, W.A. and Molloy, R.H. (2020) 'Are female soldiers satisfied with the fit and function of body armour?', Applied Ergonomics, 89, 103197. doi: 10.1016/j.apergo.2020.103197.

Coltman, C.E., Brisbine, B.R., Molloy, R.H., Ball, N.B., Spratford, W.A. and Steele, J.R. (2021) 'Identifying problems that female soldiers experience with current-issue body armour', Applied Ergonomics, 94, 103384. doi: 10.1016/j.apergo.2021.103384.

Doddamani, S., Kulkarni, S.M., Joladarashi, S., Kumar, M.T.S. and Gurjar, A.K. (2023) 'Analysis of light weight natural fiber composites against ballistic impact: A review', International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, 6(3), pp. 450–468. doi: 10.1016/j.ijlmm.2023.01.003.

Karahan, M., Nasir, M.A. and Malik, R.A. (2024) 'Effect of fibre type and fabric structure on composite materials under ballistic shock impact', Tekstilec, 67(4), pp. 381–396. doi: 10.14502/tekstilec.67.2024090.

Li, Y., Fan, H. and Gao, X.-L. (2022) 'Ballistic helmets: Recent advances in materials, protection mechanisms, performance, and head injury mitigation', Composites Part B: Engineering, 238, 109890. doi: 10.1016/j.compositesb.2022.109890.

Loverro, K.L., Brown, T.N., Coyne, M.E. and Schiffman, J.M. (2015) 'Use of body armor protection with fighting load impacts soldier performance and kinematics', Applied Ergonomics, 46(Pt. A), pp. 168–175. doi: 10.1016/j.apergo.2014.07.015.

Miwazuki, S.A., Anisa, P., Rustama, R.Z., Christina, A. and 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), pp. 120–126. doi: 10.30596/rmme.v7i1.17285.

Odesanya, K.O., Ahmad, R., Jawaid, M., Bingol, S., Adebayo, G.O. and Wong, Y.H. (2021) 'Natural fibre-reinforced composite for ballistic applications: A review', Journal of Polymers and the Environment, 29(12), pp. 3795–3812. doi: 10.1007/s10924-021-02169-4.

Paundra, F., Basuki, P., Puspitasari, I. and Diharjo, K. (2025) 'A review on the potential of Indonesian natural fibers as ballistic composite materials', Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, 25(2), pp. 17–25. doi: 10.15294/jptm.v25i02.35870.

Permana, R.W., Hadi, S. and Dana, B.C.M. (2024) 'Analysis of ballistic capability in making bulletproof multilayers using woven ramie fiber, hardfacing metal with epoxy matrix for bulletproof vests', Journal of Mechanical Engineering Science and Technology, 8(1), pp. 92–107. doi: 10.17977/um016i12024p092.

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

Barongko
Jurnal Ilmu Kesehatan

Ralph, C., Baker, L., Archer, E. and McIlhagger, A. (2023) 'Optimization of soft armor: The response of homogenous and hybrid multi-ply para-aramid and ultra-high molecular weight polyethylene fabrics under ballistic impact', Textile Research Journal, 93(23–24), pp. 5168–5186. doi: 10.1177/00405175231194365.

Rubio, I., Valverde-Marcos, B., Loya, J.A. and Miguélez, M.H. (2025) 'From low velocity to real ammo impact behaviour of advanced aramid and UHMWPE composites', Thin-Walled Structures, 216, 113715. doi: 10.1016/j.tws.2025.113715.

Syduzzaman, M., Chowdhury, S.E., Pritha, N.M., Hassan, A. et al. (2024) 'Natural fiber reinforced polymer composites for ballistic protection: Design, performance, and challenges', Results in Materials, 24, 100639. doi: 10.1016/j.rinma.2024.100639.

Republik Indonesia (2012) Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan.