

Review Komprehensif : Studi Perbandingan Antara Material Logam dan Komposit untuk Pembuatan Helm Anti Balistik

Sheila Athaya Miwazuki^{1*}, Puspita Anisa¹, RavaniaZackeisha Rustama¹, Athalia Christina¹ & Sovian Aritonang¹

¹Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Universitas Pertahanan Republik Indonesia

*Email: sheilaathaya29@gmail.com

ABSTRACT

The need to develop protective systems to protect against attacks from various sources is increasingly becoming a personal, social and national security issue. To develop innovative armor systems, it is necessary to monitor the developments made on the types, technology and performance of threats (weapons, projectiles, explosives, etc.) In particular, the use of helmets of a high level of protection on the battlefield is essential. Therefore, the development of evaluation methods that can predict injury and trauma is very important. However, the risk of injury or trauma that may result from induced acceleration is an additional consideration. To develop new materials and layouts for helmets, it is necessary to study the impacts caused by ballistic impacts on the human head in various scenarios. Composite materials in military applications have proven to be superior to metal materials, in increasing the mobility of Force personnel. The use of composite materials in military helmets is very important in relation to the speed of incoming bullets, one of which is made from thermoplastic and thermoset polymers. Particle composite material composed of Bisphenol A epoxy resin matrix and reinforcement in the form of Javanese jute fiber which is applied to bulletproof helmets. When using this composite, you can determine the number of sheets of Javanese jute fiber that is effective against the force of the bullet fired, this is to support the safety of its use.

Keywords: Composites, ballistics, helmets, military, jute fiber

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi militer, ancaman terhadap kedaulatan nasional semakin berkembang baik ancaman darat, laut, maupun udara. Untuk menanggapi ancaman yang mungkin datang kapan saja, dibutuhkan teknologi pada bidang pertahanan dan keamanan[1][2]. Kebutuhan untuk mengembangkan sistem pelindung untuk melindungi terhadap serangan dari berbagai sumber semakin menjadi masalah keamanan pribadi, sosial dan nasional. Dalam bidang militer, inovasi teknologi dan pengembangan material berperan penting dalam meningkatkan efektivitas dan perlindungan personel militer. Pengembangan teknologi material untuk aplikasi bidang pertahanan dan keamanan negara telah dimulai pada tahun 1980-an, khususnya teknologi pada material pertahanan[3][4].

Penggunaan material pertahanan pada bidang militer dapat dilihat pada kekuatan dengan berat rasionya, kekakuan, dan berat sehingga dapat muncul inovasi salah satunya helm anti peluru. Modifikasi helm militer telah dilakukan selama berabad-abad lamanya disesuaikan dengan kebutuhan militer di lapangan, seperti tingkat perlindungan, kompatibilitas pada saat mobilitas. Selama Perang Dunia II, helm baja yang lebih canggih dan tahan peluru digunakan oleh pasukan militer. Helm M1 Amerika Serikat adalah salah satu contoh yang terkenal. Helm baja tradisional cenderung efektif dalam melindungi kepala dari benturan dengan kecepatan rendah dan serangan yang bersifat tumpul seperti serangan dengan benda tumpul atau serangan yang tidak melibatkan peluru berkecepatan tinggi. Namun, helm baja memiliki keterbatasan dalam hal melindungi dari serangan peluru berkecepatan tinggi dan serangan tajam seperti proyektil peluru, fragmen ledakan, atau serangan dengan senjata api. Ini disebabkan oleh sifat material baja yang keras dan kaku[5][6].

Salah satu area di mana inovasi ini terlihat dengan jaram adalah dalam pengembangan helm militer yang lebih canggih dan tahan lama. Dalam upaya untuk melindungi tentara dari berbagai

ancaman, termasuk serangan peluru dan fragmen, dan untuk meningkatkan kesadaran situasional di medan perang. Pada aplikasi helm anti-peluru, pemilihan bahan sangat penting untuk memastikan perlindungan yang optimal terhadap serangan peluru dan serpihan. Bahan-bahan yang digunakan dalam helm anti-peluru seringkali terbuat dari baja. Pasukan tentara Amerika berusaha untuk menggunakan helm dari material yang kuat dan ringan berupa komposit yang dibuat dari resin aramid dan polimer. Hal tersebut dikarenakan helm ini dapat melindungi adanya ancaman balistik yang sangat baik. Salah satu jenis polimer yang kuat akan tahanan balistik adalah serat jute memiliki potensi unik untuk perbaikan lebih lanjut, karena memiliki ketahanan mulur dan kekuatantarik yang baik. Oleh karenanya, perkembangan dalam teknologi material, seperti Kevlar, serat jute, dan komposit dengan konsep Augmented Reality (AR) telah muncul sebagai salah satu solusi potensial yang menarik untuk pembuatan helm anti balistik. Helm militer tetap menjadi elemen kunci dalam perlengkapan militer yang terus beradaptasi dengan perkembangan zaman.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengumpulan, kajian literatur, identifikasi dan evaluasi terhadap perilaku material komposit polimer yang diaplikasikan untuk helm anti balistik militer. Pengambilan data digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapat dari database dan publikasi yang didapat dari berbagai jurnal baik nasional maupun internasional seperti elsevier, google scholar, dan lain sebagainya yang relevan sesuai dengan tulisan ini.

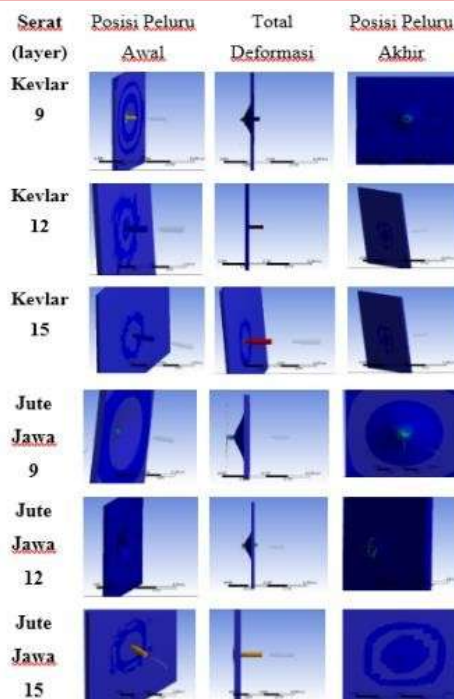
HASIL

Dari hasil perhitungan secara analitik numerik, terdapat perbedaan modulus elastisitas, modulus geser, *tensile strength*, *yield strength*, densitas pada serat jute jawa dengan variasi ketebalan serat sebesar 9, 12, dan 15 lembar serta pada Kevlar dengan variasi ketebalan sebesar 9, 12, dan 15 lembar. Hasil perhitungan dengan metode analisis numerik menunjukkan adanya perbandingan pada *material properties* antara serat jute jawa dengan kevlar sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Metode Analisis Numerik pada Material Properties antara Serat Jute Jawa dengan Kevlar

Serat (layer)	Jute Jawa9	Jute Jawa12	JuteJawa15	Kevlar9	Kevlar12	Kevlar15
Modulus Elastisitas(GPa)	6,189	6,5015	6,814	25,17	25,51	25,93
Modulus Geser(N/mm ²)	63,64	50,25	36,96	50,16	48,86	47,31
Tensile Strength(N/mm ²)	854,35	889,2	924,05	5057,79	5087,48	5120,89
Yield Strength(N/mm ²)	1,7087	1,7784	1,8481	10,11	10,17	10,24
Density(kg/m ³)	156,74	117,53	94,01	211,8	158,85	127,08

Dari hasil perhitungan secara analisis numerik, akan didapatkan simulasi gambar pola kerusakan pada masing-masing *material properties* melalui *software ansys R.17* sebagai berikut.



Gambar 1. Pola Kerusakan pada Masing-masing Material Properties Melalui *Software ansys*

Pola kerusakan serat jute jawa 9 lembar dari hasil simulasi adalah sangat parah, serat jute jawa 12 lembar menunjukkan pola kerusakan yang tidak cukup parah, sedangkan serat jute jawa 15 lembar menunjukkan pola kerusakan yang sangat kecil tetapi tidak tembus. Sedangkan hasil simulasi pada kevlar 9 lembar menunjukkan pola kerusakan yang cukup parah. Simulasi pada kevlar 12 lembar menunjukkan pola kerusakan yang tidak cukup parah dan pada kevlar 15 lembar menunjukkan tidak adanya kerusakan tetapi hanya menimbulkan bekas. Dari hasil simulasi pola kerusakan, didapatkan kesimpulan bahwa bahan serat jute jawa setebal 15 lembar aman untuk diaplikasikan pada helm anti peluru.

Komposit polimer adalah jenis material yang sangat penting dalam dunia rekayasa dan industri. Mereka terdiri dari dua atau lebih komponen, yaitu matrix polimer dan filler, yang digunakan untuk mencapai sifat-sifat tertentu yang lebih baik daripada material polimer murni. Komponen utama komposit polimer adalah matrik polimer. Matrix polimer adalah bahan dasar yang membentuk struktur dasar komposit. Polimer dapat berupa bahan sintesis seperti polietilen, polipropilen, polivinil klorida, atau bahan alami seperti kitosan, selulosa, atau sebagainya. Filler adalah komponen lain dalam komposit yang digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat komposit. Filler dapat berupa bahan organik atau anorganik. Bahan organik mungkin termasuk serat, partikel kayu, atau bahan lain yang berasal dari alam. Bahan anorganik seperti serat kaca, serat karbon, atau nanopartikel juga sering digunakan sebagai filler.

Keuntungan komposit polimer diantaranya adalah peningkatan kekuatan mekanik. Penambahan filler dapat signifikan meningkatkan kekuatan mekanik komposit, membuatnya lebih kuat daripada polimer murni. Komposit polimer dapat dirancang untuk menjadi tahan terhadap panas, membuatnya berguna dalam aplikasi suhu tinggi. Beberapa komposit polimer dapat dibuat tahan terhadap zat kimia tertentu atau api, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi di mana sifat-sifat ini penting. Komposit polimer sering lebih ringan daripada logam, yang membuatnya ideal untuk aplikasi di mana berat menjadi faktor penting. Meskipun penggunaan filler dalam komposit polimer memberikan berbagai keuntungan, ada tantangan dalam merancang komposisi yang tepat. Penggunaan terlalu banyak filler bisa menyebabkan komposit menjadi rapuh, yang tidak diinginkan. Selain itu, distribusi filler dalam matrix juga perlu diperhatikan untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan. Komposit polimer digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pembuatan kendaraan ringan, pesawat terbang, peralatan olahraga, industri perkapalan, dan banyak lagi. Mereka juga digunakan dalam industri medis, konstruksi, dan berbagai bidang lainnya. Dalam

pengembangan material komposit polimer, penelitian terus berlanjut untuk mencari formula yang optimal untuk aplikasi tertentu dan mengatasi kendala seperti pengurangan kerapuhan dan distribusi yang baik dari filler dalam matriks polimer. Hal ini menjadikan komposit polimer sebagai bidang yang terus berkembang dalam dunia rekayasa material.

Pada komposit polimer, penggunaan serat untuk memperkuatnya adalah serat kaca, karbon, dan organik lainnya. Kekakuan dan kekuatan serat yang lebih tinggi dari matrix dilakukan untuk kekuatan material. Sifat adhesi pada bahan matriks harus memiliki untuk memperkuat serat-serat sehingga dapat merekat dengan kuat dan beban yang ditanggung komposit dapat ditransfer ke serat-serat. Dalam komposit, sifat matriks, serat, dan antarmuka antara matriks dan serat memiliki pengaruh besar pada sifat komposit. Dalam klasifikasi material komposit polimer adalah polymer matrix komposit yang terdiri dari termoplastik dan termoset yang dapat dijadikan sebagai material untuk diaplikasikan salah satunya untuk bidang militer seperti rompi, helm dan lain sebagainya. Aplikasi material komposit polimer dalam bidang militer, seperti helm anti balistik, merupakan contoh yang sangat penting. Helm ini dirancang untuk memberikan perlindungan terhadap ancaman eksternal seperti peluru dengan kecepatan tinggi atau serpihan proyektil. Dalam hal ini, material komposit polimer, dengan serat karbon atau serat serupa, dapat memberikan perlindungan yang efektif dengan berat yang lebih ringan daripada helm logam tradisional. Penggunaan material komposit dalam perlengkapan militer telah membantu mengurangi berat dan meningkatkan daya tahan sambil mempertahankan tingkat perlindungan yang tinggi. Hal ini memungkinkan personel militer untuk tetap terlindungi dan mobilitas mereka lebih baik dalam situasi yang berbahaya.

Selain itu, material komposit yang dapat menyusun helm militer juga dapat dibuat melalui hibridisasi serat poliester/batang pisang dan komposit partikulat tanduk sapi. Pembuatan material balistik dengan menggunakan serat polietilen dengan berat molekul yang sangat tinggi (UHMWPE) dan serat karbon tentunya membutuhkan biaya yang sangat mahal dan ada kemungkinan tidak tersedia meskipun pada dasarnya memiliki sifat standar. Jika ingin biaya yang lebih murah tetapi tetap dapat melindungi keselamatan personil, maka dibuatlah helm anti balistik yang terbuat dari serat batang pisang (BSF) yang diperkuat dengan poliester dan komposit partikulat tanduk sapi (CHp). Polyester-berat 15 BSF+berat 4% CHp diproduksi menggunakan metode *hand laying* dan melalui proses pengeringan pada suhu 1000C selama 6 jam untuk kompositnya. Setelah melalui proses tersebut, didapatkan struktur mikro, kekuatan, nilai kekerasan, dan energi dampak yang sesuai standar. Nilai energi tumbukan, nilai kekerasan, dan kekuatan yang diperoleh sesuai dengan ketentuan standar produksi helm anti balistik. Keuntungan dari helm anti balistik yang terbuat dari hibridisasi serat poliester/ batang pisang dan komposit partikulat tanduk sapi adalah didapatkan helm dengan beban yang lebih ringan tetapi tetap dapat melindungi keselamatan personil, peningkatan kekuatan tarik sebesar 94,66%, dan energi dampak sebesar 174,79%.

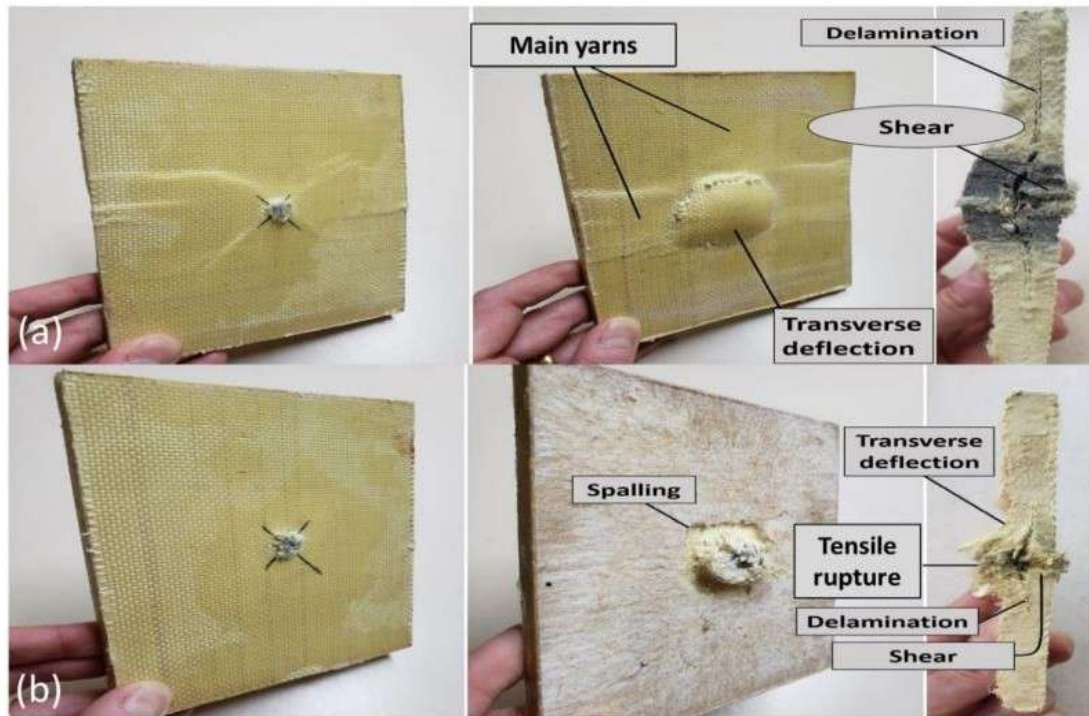
Tabel 2. Hasil Uji Tingkat Perlindungan Balistik[7][8]

Gabungan	Tingkat balistik	Proyektil	Kecepatan normatif (m/s)	Kecepatan proyektil yang diperoleh (m/s)	Hasil
E-19A/0C	II	FMJ 9 mm	358±15	358.51	hal ^A
		8,0 gram (124gr)	426±15	425.77	hal
E-15A/1C	II	FMJ 9 mm	358±15	352.56	hal
		8,0 gram (124gr)	426±15	432.43	dil ^B
E-10A/2C	II	FMJ 9 mm	358±15	354,75	dil
		8,0 gram (124gr)	332±15	337.30	dil
E-5w/3C	II	FMJ 9 mm	358±15	354,98	dil
		8,0 gram (124gr)	332±15	337.26	dil
E-0A/4C	II	FMJ 9 mm	358±15	354.11	dil
		8,0 gram (124gr)	332±15	340.26	dil

^A PP: Perforasi Parsial.
^B TP: Perforasi Total.

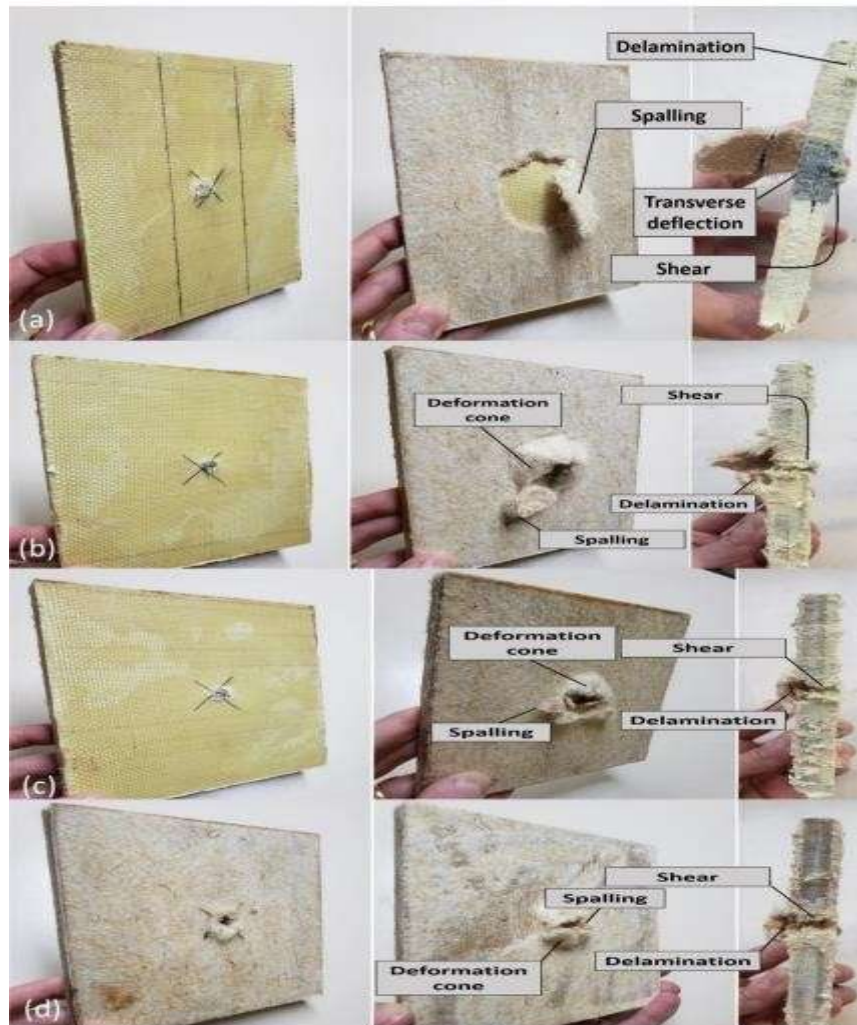
Tabel 2 menunjukkan hasil uji tingkat perlindungan balistik. Dengan asumsi proyektil tertahan di dalam lapis baja, perforasi dianggap sebagian (PP) dan lapis baja tersebut memenuhi tingkat perlindungan balistik yang sesuai. Jika tidak, terjadi perforasi total (TP). Berdasarkan tabel2, terlihat bahwa komposit E-19A/0C memiliki perlindungan balistik tingkat III-A, dan memenuhi

persyaratan teknis ketahanan terhadap penetrasi helm anti balistik. Komposit E-15A/1C memiliki perlindungan balistik tingkat II. Artinya bahan tersebut tidak memenuhi persyaratan teknis ketahanan terhadap penetrasi helm anti balistik



Gambar 2. Komposit (a)Ei19A/0C dan (b)Ei15A/1C, Setelah Pengujian Tingkat Balistik untuk III-A: Permukaan Tumbukan, Permukaan Pasca Tumbukan, dan Bagian Lurus Melalui Titik Tumbukan

Memperkenalkan lapisan tikar bukan tenunan curaua (komposit E-15A/1C), defleksi transversal menurun drastis, begitu pula area deformasi, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3(B). Kemudian dapat disimpulkan bahwa lapisan curaua membatasi defleksi melintang benang/serat aramid. Hasilnya, respon lokal, yaitu sangat dekat dengan ujung proyektil, mulai mengatur perilaku dinamis material. Dibandingkan dengan respons global, perilaku seperti ini secara signifikan mengurangi kapasitas ketahanan material terhadap dampak, ketika sejumlah kecil material ikut serta dalam respons ini. Selanjutnya seperti yang terlihat pada Gambar 4(a), efek samping lain dari pembatasan ini adalah penurunan derajat delaminasi, yang diperkuat oleh pengurangan jumlah lapisan pada komposit. Penjelasan yang mungkin untuk perilaku tikar bukan tenunan curaua ini adalah strukturnya. Dalam hal ini, serat curaua didistribusikan secara acak dalam mikrofibril, dipadatkan secara mekanis, dan terdapat rongga dan diskontinuitas yang dapat dengan mudah ditembus oleh resin. Fakta ini menghasilkan material yang hampir homogen dan isotropik serta sebagian besar bersifat rapuh karena epoksi. Oleh karena itu, kapasitas deformasinya jauh lebih rendah, yang diperkuat oleh kapasitas delaminasi yang lebih rendah karena pembasahan serat yang lebih efisien oleh resin. Pengamatan ini didukung oleh karakteristik efek seperti spalling pada material rapuh.



Gambar 3. Komposit (a)Ei15A/1C, (b)Ei10A/2C, (c)Ei5A/3C dan (d)Ei0A/4C, Setelah pengujian tingkat balistik untuk II: muka tumbukan, muka pasca tumbukan, dan penampang lurus melalui titik tumbukan.

Hasil batas balistik dari komposit hibrid laminasi, yang ditujukan untuk helm balistik, dimana lapisan kain tenun aramid tradisional dikombinasikan dengan tikar bukan tenunan curaua, memungkinkan kesimpulan sebagai berikut. E-15A/1C memperoleh tingkat perlindungan balistik maksimum; Perkiraan batas balistik berdasarkan kecepatan sisa E-10A/2C adalah 293 m/s, ~15% lebih rendah dari batas bawah kecepatan proyektil 9mm yang sesuai dengan level maksimum (level II), dan dengan aramid 55% lebih sedikit, dibandingkan dengan komposit yang biasa digunakan pada helm balistik PASGT. Pada kain tenun aramid luas daerah tariknya jauh lebih besar dibandingkan daerah deformasi, pada curaua tikar bukan tenunan hal ini mungkin tidak terjadi karena tidak adanya benang pakan. Oleh karena itu, kecenderungan dari matras ini adalah untuk menimbulkan respon lokal yang dominan dibandingkan dengan respon fabric yang didominasi secara global. Hal ini dibuktikan dengan berkurangnya luas deformasi, dan bertambahnya luas keruntuhan geser seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan curaua pada komposit dan berkurangnya jumlah lapisan aramid. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4(c) dan (d), yang menunjukkan sampel target E-5A/3C dan E-0A/4C setelah pengujian dari balistik tingkat II. Pengamatan ini menegaskan kinerja balistik matras yang lebih rendah dibandingkan dengan kain aramid.

KESIMPULAN

Aplikasi material komposit polimer dalam bidang militer, seperti helm anti balistik dirancang untuk memberikan perlindungan terhadap ancaman eksternal seperti peluru dengan kecepatan

tinggi atau serpihan proyektil. Helm anti balistik yang terbuat dari hibridisasi serat poliester/ batang pisang dan komposit partikulat tanduk sapi dinilai lebih efektif karena material ini menghasilkan helm dengan beban yang lebih ringan tetapi tetap dapat melindungi keselamatan personil, peningkatan kekuatan tarik sebesar 94,66%, dan energi dampak sebesar 174,79%. Hasil batas balistik dari komposit hibrid laminasi, yang ditujukan untuk helm balistik, dimana lapisan kain tenun aramid tradisional dikombinasikan dengan tikan bukan tenunan curaua, memungkinkan kesimpulan sebagai berikut. E-15A/1C memperoleh tingkat perlindungan balistik maksimum

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Pertahanan, "Buku putih pertahanan Indonesia," *Jakarta Kementerian. Pertahanan Republik Indones.*, 2015.
- [2] N. K. Sa'diyah and R. T. Vinata, "Rekonstruksi Pembentukan National Cyber Defense Sebagai Upaya Mempertahankan Kedaulatan Negara," *Perspekt. Kaji. Masal. Huk. dan Pambang.*, vol. 21, no. 3, pp. 168–187, 2016.
- [3] M. Supriyatno, *Tentang ilmu pertahanan*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia, 2014.
- [4] I. A. Sarjito, S. P. Djati, and M. Th, *Manajemen Pertahanan*. Indonesia Emas Group, 2023.
- [5] P. Skalfist, *Sejarah Senjata di Prasejarah dan Dunia Kuno*, vol. 1. Cambridge Stanford Books.
- [6] V. Teigens, P. Skalfist, and D. Mikelsten, *Sejarah Senjata dan Teknologi Militer Sejak Dimulainya*. Cambridge Stanford Books.
- [7] D. S. Anakottapary and T. G. T. Nindhia, "Interaksi antara Proyektil dan Komposit Polimer diperkuat Butiran Silikon Karbid (SiCp) dan Serat Karbon pada Pengujian Balistik," *J. Ilm. Tek. Mesin CakraM Vol*, vol. 4, no. 2, pp. 99–105, 2010.
- [8] M. S. Ma'arif, R. O. Bura, and R. H. Triharjanto, "SIMULASI NUMERIK BALISTIK INTERIOR PADA MUNISI KALIBER 5.56 X45 mm MENGGUNAKAN METODE FINITE VOLUME," *Tekmol. Persenjataan*, vol. 3, no. 1, 2021.