



Analisis Uji Balistik Komposit Dengan Motif Yang Berbeda Sebagai Pengganti *Body Armour* Standar TNI

(Analysis of Composite Ballistic Tests with Different Motifs as a Replacement for Standard TNI Body Armour)

Irfan Bachrul Azmi¹, Herman²,

^{1,2} Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara
E-mail: irfan.b.a99@gmail.com

Abstract —A composite is a material formed by combining two or more materials with different mechanical properties, where the mixing process is not homogeneous to achieve optimal results. This study focuses on developing a bulletproof vest made from carbon fiber as an alternative to the heavier metal and steel materials. Carbon fiber was chosen for its lightweight and strong properties, with various patterns tested in this study, namely Hexagonal, Green Reflective Metallic TWILL 200Gsm L, and Kevlar 3k 240Gsm PLAIN. The composite was manufactured using the Hand Lay-up method, which allows for manual mixing of resin with carbon fiber to create the desired composite structure. Testing was conducted by firing 5.56mm caliber bullets using the SS2-V2 gun to evaluate the strength and effectiveness of each composite variation in resisting the bullet's impact. The results showed that the carbon fiber composite with a Hexagonal pattern was the most effective in resisting damage compared to the other variations. Although all specimens experienced penetration, the Hexagonal pattern was better at mitigating the damage impact than the others. Additionally, the carbon fiber composite using epoxy resin was found to be more economical, although it still requires some modifications in the manufacturing method or the addition of materials to enhance its ability to withstand 5.56mm caliber bullets, making it comparable to standard TNI armor plates. Thus, further development in material aspects and production methods has the potential to produce lighter and more effective bulletproof vests.

Keywords — Composite, Bulletproof Vest, Carbon Fiber, Hand Lay-up Method, Shooting test.

Abstrak —Komposit merupakan material yang terbentuk dari gabungan dua atau lebih bahan dengan sifat mekanik berbeda, di mana proses pencampurannya tidak homogen untuk mencapai hasil yang optimal. Penelitian ini berfokus pada pengembangan rompi anti peluru berbahan serat karbon sebagai alternatif dari material logam dan baja yang berat. Serat karbon dipilih karena sifatnya yang ringan dan kuat, dengan berbagai motif yang diuji dalam penelitian ini, yaitu motif Hexagonal, Green Reflective Metallic TWILL 200Gsm L, dan Kevlar 3k 240Gsm PLAIN. Pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode Hand Lay-up, yang memungkinkan pencampuran manual resin dengan serat karbon untuk menghasilkan struktur komposit yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan menembakkan peluru kaliber 5.56mm menggunakan alat Tembak SS2-V2 untuk mengevaluasi kekuatan dan efektivitas masing-masing variasi komposit dalam menahan laju peluru. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit serat karbon motif Hexagonal adalah yang paling efektif dalam menahan kerusakan dibandingkan dengan variasi lainnya. Meskipun semua spesimen mengalami penetrasi, motif Hexagonal mampu mengurangi dampak kerusakan lebih baik daripada motif lainnya. Selain itu, komposit serat karbon yang menggunakan resin epoxy dinilai lebih ekonomis, meskipun masih memerlukan beberapa modifikasi pada metode pembuatan atau penambahan material untuk meningkatkan kemampuannya menahan peluru kaliber 5.56mm

* Irfan Bachrul Azmi
E-mail: irfan.b.a99@gmail.com

hingga dapat dibandingkan dengan plat armor standar TNI. Dengan demikian, pengembangan lebih lanjut pada aspek material dan metode produksi berpotensi menghasilkan rompi anti peluru yang lebih ringan dan efektif.

Kata Kunci — Komposit, Rompi Anti Peluru, Serat Carbon Fiber, Metode Hand Lay-Up, Uji Tembak

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi senjata dalam peperangan mendorong inovasi dalam pembuatan alat pelindung seperti rompi anti peluru. Pada Perang Dunia I, prajurit dari Kekaisaran Jerman menggunakan baju zirah yang terbuat dari logam atau baja, yang meskipun efektif menahan peluru, memiliki kelemahan signifikan yaitu beratnya yang mengurangi mobilitas prajurit. Hingga Perang Dunia II, bahan logam dan baja tetap menjadi pilihan utama, namun perkembangan senjata modern yang semakin canggih menuntut adanya perlindungan yang lebih baik dan ringan [1]. Penggunaan logam yang lebih tebal dan berat menjadi tidak praktis, sehingga para ilmuwan dan insinyur mulai mencari alternatif bahan yang lebih ringan namun tetap kuat.

Seiring kemajuan dalam ilmu material, muncul penggunaan bahan komposit sebagai alternatif dalam pembuatan rompi anti peluru. Komposit merupakan material yang terbentuk dari gabungan dua atau lebih bahan yang memiliki sifat mekanik berbeda, menghasilkan material baru yang lebih unggul. Bahan komposit ini terdiri dari dua unsur utama: serat sebagai penguat dan resin sebagai bahan pengikat. Salah satu serat yang paling sering digunakan adalah serat karbon, yang dikenal karena sifatnya yang ringan namun kuat, serta mudah diperoleh di pasaran. Penggunaan bahan komposit ini bertujuan untuk menciptakan rompi anti peluru yang lebih ringan, namun tetap mampu memberikan perlindungan maksimal. Selain serat karbon, resin yang digunakan dalam komposit juga memegang peran penting. Resin seperti polyester dipilih karena kekuatannya yang baik serta ketahanan kimianya yang tinggi. Resin epoksi juga memberikan keunggulan seperti sifat dielektrik, ketahanan terhadap asam, dan sifat kedap air, yang membuatnya menjadi pilihan populer dalam berbagai aplikasi industri. Dengan penggunaan resin yang tepat, bahan komposit dapat memiliki karakteristik yang jauh lebih baik dibandingkan logam dalam hal kekuatan dan efisiensi biaya.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan menguji kemampuan rompi anti peluru berbahan komposit serat karbon dalam menyerap energi balistik proyektil berkaliber besar [2]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa bahan komposit memiliki potensi yang besar dalam menyerap energi kinetik peluru, baik dengan maupun tanpa tambahan material lain seperti rubber. Penelitian ini mengarahkan perhatian pada potensi penggunaan komposit sebagai pengganti *body armour* standar yang digunakan oleh militer. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis uji balistik terhadap komposit dengan motif yang berbeda, untuk mengevaluasi kemampuan bahan komposit tersebut dalam menahan peluru. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mencari alternatif yang lebih ringan dan efektif sebagai pengganti *body armour* standar TNI, dengan harapan dapat meningkatkan perlindungan prajurit tanpa mengorbankan mobilitas dan kenyamanan.

II. LANDASAN TEORI

A. Literature Review

Santos dkk. (2020) menemukan bahwa hard armor yang menggunakan keramik di bagian depan, dikombinasikan dengan komposit serat alam (PALF/epoxy), memenuhi standar perlindungan balistik level IIIA dari National Institute of Justice (NIJ). Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi material konvensional dan serat alam tidak hanya mampu menyediakan perlindungan yang setara dengan material sintetis, tetapi juga berpotensi lebih ramah lingkungan.

Penelitian Naveen dkk. mengungkapkan bahwa komposit berbasis serat alam memiliki kemampuan penyerapan energi balistik yang hampir setara dengan komposit serat aramid sintetis seperti Kevlar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa armor multilayer berbasis serat alam memiliki kedalaman lekukan yang lebih rendah dibandingkan dengan Kevlar, yang berarti material ini mampu memberikan perlindungan lebih baik terhadap penetrasi proyektil.

Azissyukhron dan Hidayat membandingkan metode *Hand Lay-up* dan *Vacuum Bag* dalam pembuatan komposit sandwich. Mereka menemukan bahwa metode *Vacuum Bag*, yang menggunakan proses vakum untuk menghilangkan resin berlebih dan udara terperangkap, menghasilkan material dengan sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan metode *Hand Lay-up*. Uji tarik menunjukkan bahwa metode *Vacuum Bag* menghasilkan komposit yang lebih kuat dan efektif untuk aplikasi balistik.

Dalam penelitian ini penulis akan melakukan penelitian tentang pengujian material terhadap material komposit *sandwich* hasil dari metode *hand lay-up* dan *vacum bag* dengan proses uji Tarik untuk mengetahui perbedaan sifat materialnya.

B. Uraian Teori

Body Armour adalah perlengkapan pelindung yang dirancang untuk melindungi pemakainya dari ancaman balistik, seperti peluru, pecahan proyektil, dan ancaman fisik lainnya [3]. Biasanya digunakan oleh personel militer, petugas penegak hukum, dan individu yang bekerja di lingkungan berisiko tinggi. Tujuan utama dari *body armour* adalah melindungi tubuh dari ancaman senjata api serta benda tajam, dengan cara menyerap dan mendistribusikan energi proyektil ketika terjadi benturan. Armour ini bekerja dengan mendeformasi dan menyebarkan energi proyektil, mengurangi risiko penetrasi dan cedera bagi pengguna.

Plat Baja Kevlar *Body Armour Level III-A* (NIJ 0101.06), menurut uji balistik dengan Pistol Glock kaliber 9 mm pada jarak 10 meter, menunjukkan bahwa lapisan pertama mampu menahan penetrasi sementara lapisan kedua berhasil menghentikan proyektil tanpa kerusakan lebih lanjut. Ini menunjukkan kemampuan perlindungan yang signifikan dari *body armour Level III-A* dalam menghadapi ancaman balistik. Standar NIJ 0101.06 yang diterbitkan pada 2006 oleh *US Department of Justice* menetapkan kriteria pengujian untuk *body armour*, termasuk jarak tembak 50 meter, tipe peluru 5.56 mm, dan energi kinetik yang diteruskan ≤ 170 Joule.

Sementara itu, Komposit sebagai bahan perlindungan balistik semakin banyak digunakan. Komposit adalah material yang terdiri dari penggabungan dua atau lebih bahan dengan sifat yang berbeda, menghasilkan material baru dengan sifat mekanik unggul (Dhiki Ramadhani, 2011). Ada beberapa tipe komposit, termasuk *particle*

composite yang menggunakan partikel sebagai penguat, *fiber composite* yang menggunakan serat sebagai bahan penguat, dan *laminated composite* yang menyusun bahan dalam bentuk lembaran untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan material. Komposit memberikan fleksibilitas lebih besar dalam desain dan pengoptimalan karakteristik material untuk perlindungan balistik.

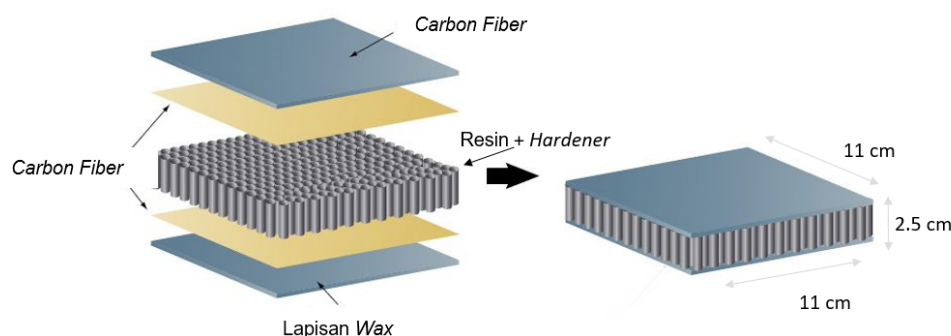
III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Hand lay-up* dengan tiga jenis lapisan serat karbon yang berbeda. Setiap lapisan serat karbon diaplikasikan satu per hari, dengan proses pengeringan di antara setiap lapisan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sifat mekanik komposit dengan matriks yang diperkuat oleh tiga varian serat karbon. Selain itu, penelitian ini juga akan melakukan uji balistik untuk mengevaluasi kemampuan perlindungan balistik dari komposit yang terdiri dari tiga motif serat karbon tersebut.

Sebelum melakukan pengujian sifat mekanis dan kemampuan balistik, perlu disiapkan spesimen komposit yang akan digunakan. Pembuatan komposit ini dilakukan melalui beberapa tahap menggunakan metode *Hand Lay-up*. Langkah pertama adalah membersihkan cetakan dan memberikan lapisan wax untuk memudahkan pelepasan komposit setelah kering. Setelah itu, resin *epoxy*, hardener, dan serat Carbon Fiber disiapkan. Resin epoxy, polyester, dan matriks kemudian dicampur secara manual selama sekitar 30 detik, diikuti dengan penambahan hardener dan kembali diaduk selama 30 detik. Perbandingan campuran resin dan hardener yang digunakan adalah 2:1. Campuran tersebut kemudian diratakan dengan kuas di atas cetakan, dan serat Carbon Fiber pertama diletakkan di atasnya.

Setelah serat pertama diterapkan, proses pengeringan berlangsung selama 24 jam. Jika belum kering, proses ini diteruskan hingga komposit benar-benar kering. Langkah selanjutnya adalah menambahkan lapisan resin dan hardener, kemudian meletakkan serat Carbon Fiber kedua dan menunggu hingga kering kembali. Proses ini diulang sampai ketebalan spesimen mencapai 3,5 cm, yang merupakan ketebalan standar plat Kevlar pada *body armour* TNI. Setelah proses pengeringan selesai, komposit dilepaskan dari cetakan menggunakan alat bantu seperti gunting atau pisau.

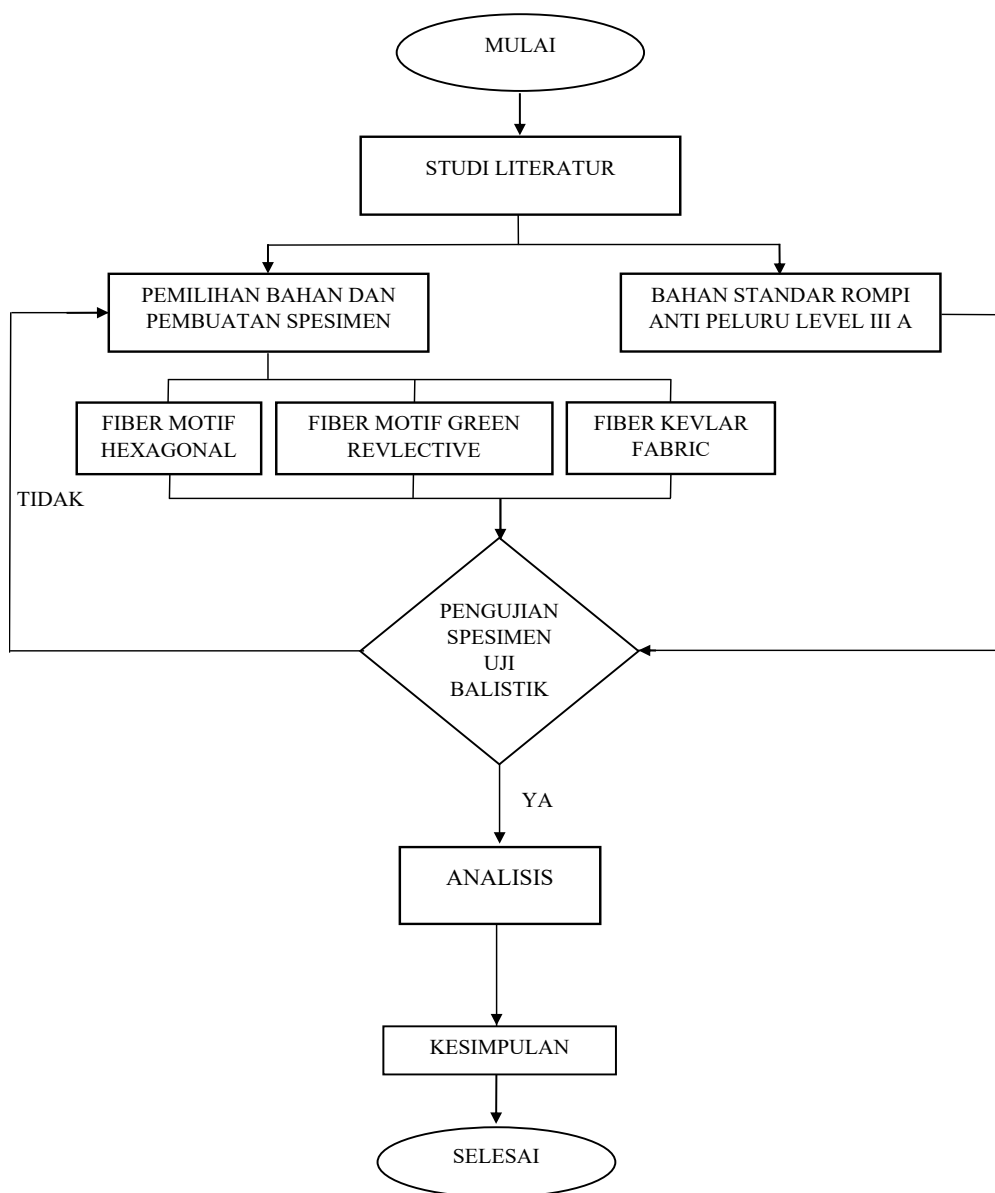
Berikut ilustrasi rancangan pembuatan susunan specimen komposit



Gambar 1. Susunan Spesimen Komposit [4]

Kemudian Langkah-langkah pelaksanaan uji balistik dimulai dengan mengatur posisi spesimen pada tumpuan sasaran yang berada di depan penembak dengan jarak 50 meter. Selanjutnya, dilakukan uji tembak menggunakan amunisi kaliber 5.56mm dengan dua butir peluru per spesimen di fasilitas PSD Akademi Angkatan Udara. Setelah penembakan selesai, spesimen komposit diamati untuk melihat pola kerusakan serta mengukur kedalaman penetrasi yang terjadi.

Uji Kekuatan Tembak Pada *Carbon Fiber* dengan Komposisi Motif Yang Berbeda Sebagai Alternatif Pengganti Bahan *Body Armour* Standar TNI dengan metode ini dilakukan selama 6 bulan dan proses pembuatan dan pengujian spesimen akan dilakukan di Departemen Aeronautika dan proses uji tembak dilaksanakan di Lapangan tembak Astra Krida di Akademi Angkatan Udara.



Gambar 2. Diagram Alir Uji Balistik

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Analisa data yang dilakukan berdasarkan data-data yang diambil dari proses pengujian tembak seperti pada Tabel 1.

TABEL 1
DATA PENGUJIAN TEMBAK

Spesimen	Jumlah <i>Carbon Fiber</i>	Jarak Tembak	Massa Komposit	Keterangan Komposit	Massa peluru
Karbon Fiber Motif Hexagonal	45 layer	50m	398,4 gr	Tembus dengan hasil kerusakan daya impak 2,6 cm	4.00 gr
Komposit Serat Karbon Motif <i>Green Reflective Metalic TWILL</i> 200Gsm L	45 layer	50m	373,7 gr	Tembus dengan hasil kerusakan daya impak 2,2 cm	4.00 gr
Karbon Fiber Kevlar <i>Fabric</i> 3k 240Gsm PLAIN r	45 layer	50m	327,4 gr	Tembus dengan hasil kerusakan daya impak 2,4 cm	4.00 gr

Pengujian balistik dilakukan dengan dua kali tembakan pada setiap spesimen menggunakan proyektil peluru MU 5-TJ seberat 4,00 gram. Hasil pengujian menunjukkan kerusakan yang berbeda-beda pada setiap spesimen.

1. Pada tembakan pertama terhadap spesimen A1 menggunakan peluru kaliber 5.56 mm dari jarak 50 meter, terlihat kerusakan sesuai dengan yang ditampilkan di Gambar 4.2. Pada tembakan kedua, peluru berhasil menembus spesimen A1 dengan dampak kerusakan mencapai kedalaman 2,6 cm.
2. Pada tembakan pertama spesimen A2, peluru kaliber 5.56 mm dari jarak 50 meter berhasil menembus spesimen. Tembakan kedua juga menembus spesimen A2, menghasilkan pecahan tembus dengan kerusakan impak sebesar 2,2 cm.
3. Pada tembakan pertama terhadap spesimen A3, peluru berhasil menembus dengan kerusakan impak sebesar 2,4 cm. Tembakan kedua kembali menembus spesimen A3, dengan kerusakan impak sebesar 2,2 cm.

B. Pembahasan

Uji balistik dilakukan di Lapangan Tembak Astra Krida Akademi Angkatan Udara dengan menembakkan peluru kaliber 5.56mm pada spesimen komposit dari jarak 50 meter. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan dan efek kerusakan pada berbagai motif serat karbon. Tiga jenis komposit diuji, dan masing-masing menunjukkan tingkat ketahanan yang berbeda. Penggunaan resin yang kuat dalam komposit menunjukkan perbedaan kerusakan antara tampak depan dan belakang komposit setelah ditembak.

Hasil uji tembak menunjukkan bahwa komposit dengan motif Hexagonal lebih efektif dalam menahan laju peluru dibandingkan dengan komposit motif Green Reflective Metallic TWILL 200Gsm L dan Kevlar Fabric 3k 240Gsm PLAIN r, membuktikan ketahanan superior dari motif Hexagonal dalam uji balistik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa ketahanan balistik komposit yang terbuat dari resin epoxy dan serat karbon dengan tiga motif yang berbeda menunjukkan variasi tingkat kerusakan. Karbon Fiber Motif Hexagonal dapat ditembus peluru kaliber 5.56mm dari jarak 50 meter, menghasilkan kerusakan dengan diameter $\pm 2,6$ cm pada bagian belakang spesimen. Komposit Serat Karbon Motif Green Reflective Metallic TWILL 200Gsm L mengalami kerusakan dengan diameter $\pm 2,2$ cm, sementara Karbon Fiber Kevlar Fabric 3k 240Gsm PLAIN r menunjukkan kerusakan dengan diameter $\pm 2,4$ cm. Dari ketiga motif tersebut, Karbon Fiber Motif Hexagonal menunjukkan ketahanan balistik terbaik karena dampak yang dihasilkan lebih besar dibandingkan motif lainnya. Sebaliknya, Komposit Serat Karbon Motif Green Reflective Metallic TWILL 200Gsm L dan Karbon Fiber Kevlar Fabric 3k 240Gsm PLAIN r memiliki ketahanan yang lebih rendah terhadap penetrasi peluru.

Pembuatan komposit dengan tiga motif serat karbon menggunakan metode hand lay-up masih memungkinkan tembusnya peluru kaliber 5.56mm dari jarak 50 meter. Untuk meningkatkan ketahanan komposit dengan biaya rendah, disarankan menggunakan lapisan tambahan seperti Kevlar atau filler aluminium. Komposit berbahan karbon fiber dengan resin dan epoxy saja tidak cukup kuat, sehingga perlu ditambahkan filler atau lapisan tambahan agar lebih tahan terhadap peluru. Plat armour level III A TNI terbukti mampu menahan peluru karena menggunakan campuran material lain. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan metode dan bahan yang lebih baik serta dilakukan di Depohar 60 Madiun untuk hasil yang lebih akurat.

REFERENSI

- [1] Bird, John. (1974). *Electrical Circuit Theory and Technology*. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, UK. Published by Elsevier Ltd.
 - [2] P. A. Rosen and G. M. Buccolo. (2007). Perspectives on Worldwide Spaceborne Radar Programs. *IEEE Radar Conference*. pp. 740-745.
 - [3] University of Maryland. (2020, August 4). *APA Paper Formatting 7th Edition* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=onNWzuFOu7k>.
 - [4] Yaacob, A.R. (2023, September 21). The potentials and pitfalls of Indonesia's military modernization. The Jakarta Post. <https://www.thejakartapost.com/opinion/2023/09/21/the-potentials-and-pitfalls-of-indonesias-military-modernization.html>
-