



Review Penggunaan Komposit Serat Fiber pada Uji Balistik untuk Peralatan Pelindung Personel

Fibre Composite Research on Ballistic Testing for Personal Protective Equipment

Faizal Arifurrahman

¹Centre for Defence Engineering Cranfield University at Defence Academy of United Kingdom, Shrivenham, Inggris SN6 8LA

²Pusat Teknologi Pertahanan dan Keamanan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia 40132
Email: faizal.arifurrahman@gmail.com

Abstrak. Dalam konteks militer modern, istilah pelindung personel meliputi pelindung badan (rompi yang melindungi torso), helm (melindungi cranium), pelindung wajah dan mata (terutama kacamata dan goggle), perlengkapan *Explosive Ordnance Disposal* (EOD), dan pelindung balistik. Sejak Perang Dunia I, tentara yang menjadi korban akibat pecahan fragmen dan peluru telah membawa institusi pertahanan dan peneliti untuk mengembangkan pelindung dan prosedur pengujian yang mampu menangkal ancaman proyektil balistik dan dampak ledakan. Pengurangan masa peralatan dan peningkatan level perlindungan menjadi tujuan utama desain body armor. Penelitian dan pengembangan telah dilakukan untuk mendapatkan material atau konfigurasi struktur yang dapat menyerap energy dari impact balistik. Serat fiber adalah salah satu material yang saat ini diteliti menggunakan berbagai metode dan simulasi. Serat fiber dalam bentuk tekstil dan telah dikembangkan untuk respon dari material dan armour pada beban impact balistik. Pengembangan tersebut bertujuan untuk mengurangi angka kejadian dan juga memberikan kenyamanan bagi personel selama bertugas. Penggunaan komposit serat fiber memiliki banyak keunggulan bagi personel diantaranya fleksibilitas armor, pengurangan masa total armor, meningkatkan level perlindungan dan meningkatkan factor ergonomis selama penggunaan armor.

Kata Kunci: Komposit Serat *Fiber*, *body armour*, *less weight*, *protection*.

Abstract. In the modern military context, the term personal armour includes body armour (waistcoat or vest-like garments covering the torso), helmets (covering the cranium), face and eye protection (primarily visors, glasses, and goggles), Explosive Ordnance Disposal (EOD) suits, and ballistic shields [1]. Since World War I, soldier casualties by the fragments and the bullet impact has brought the military institution and researcher to develop the protective armour and the testing procedure which is capable to deter the threat of ballistic projectile and blast impact. Since the less weight and enhancing the protection level became the primary aim for future protective armour, research and developments are conducted to obtain the material or structure configuration that can absorb the energy of ballistic impact due to the protection equipment for the personnel. Fibre is one of the materials that is recently researched by using many method and simulation. Fibre in the form of textiles and reinforced by polymeric matrix has been developed to investigate the response of the material and configuration under ballistic impact loading. This development has aimed to reduce the casualties and also the comfort of army personnel during the warfare. The utilize of composite fiber has brought many advantages for the personnel which are improve armour flexibility, reduce the total armour weight, increase the protection level by armour proven testing, and increase the ergonomic of personnel when wearing the armour.

Keywords: *fibre composite*, *body armour*, *less weight*, *protection*

1 Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, dinamika pertahanan telah berubah. Proyektil kecepatan tinggi dan peralatan ledak lain yang bersifat lebih merusak telah dikembangkan untuk

digunakan sebagai senjata dalam mencapai misi operasi. Seiring dengan penemuan senjata ofensif, armor pertahanan juga dikembangkan untuk melindungi personel dan kendaraan yang beroperasi. Dalam perang modern, distribusi agen luka sebagai korban perang dan operasi militer ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Distribusi jumlah dan penyebab agen yang terluka dalam operasi militer [2]

	Peluru	Fragmen	Lainnya
Perang Dunia I	39	61	-
Perang Dunia II	10	85	5
Perang Korea	7	92	1
Perang Vietnam	52	44	4
Operasi Borneo	90	9	1
Northern Island	55	22	20
Israel 1982	11.6	53	35.5*
Kepulauan Falkland	31.8	55.8	12.4

*Pendataan pada operasi Israel sulit diidentifikasi yang dimasukkan ke dalam kategori 'Lainnya'

Dalam konteks militer modern, istilah pelindung personel meliputi pelindung badan (rompi yang melindungi torso), helm (melindungi cranium), pelindung wajah dan mata (terutama kacamata dan goggle), perlengkapan Explosive Ordnance Disposal (EOD), dan pelindung balistik [1]. Penggunaan garmen juga dikembangkan untuk pelindung balistik seperti pelindung panggul dan leher [3]. Penyebab utama cedera pada personel selama operasi militer modern dilaporkan berasal dari pecahan fragmen amunisi konvensional seperti peluru artileri, granat dan mortar atau improvised explosive devices (IED).

2 Penggunaan Serat Fiber sebagai *Body Armour*

Pakaian pelindung balistik diperlukan untuk menangkal berbagai ancaman misalnya tembakan senjata ringan (senapan, senapan mesin dan meriam kecil), peluru jarak menengah hingga peluru kaliber besar. *Body Armour* sendiri biasanya terdiri dari elemen *soft* dan elemen *hard*. Element *soft* atau fleksibel dibuat dari serat polimer sintesis berkinerja baik memiliki ketahanan, kekakuan dan produk berbiaya tinggi. Serat ini termasuk para-aramid (Seperti Kevlar®, Twaron®) dan polietilen dengan berat molekul tinggi; UHMWPE (seperti Dyneema®, Spectra®). Elemen keras biasanya menggunakan komposit yang dibentuk keramik misalnya alumina atau para-aramid. Sebagai hasil dari komposisi tersebut, *body armour* dapat mencapai lebih dari 10 kg dan membatasi pergerakan personel. Baru-baru ini, armor perlindungan balistik untuk personel memiliki kecenderungan untuk menggunakan bahan ringan karena kelebihan massa yang ditinggalkan oleh personel saat tidak melakukan operasi atau dibuat dalam bentuk modular. Penelitian dan pengembangan dilakukan untuk mengidentifikasi material atau sistem baru dengan peningkatan kinerja dan masa lebih ringan. Komposit Boron karbida memberikan perlindungan paling tinggi dan penghematan berat dibandingkan sistem komposit keramik lainnya. Kombinasi teknologi pembuatan bahan UHMWPE dan Seamless Ballistic® memberikan bobot yang wajar untuk helm balistik. Bobot alat pelindung yang ringan akan memberi keuntungan bagi personel di medan perang yang meningkatkan mobilitas, mengurangi kepenatan, dan kenyamanan yang meningkat [4].

Serat kinerja tinggi (HPF) secara khusus digunakan untuk armor yang memerlukan kekuatan kuat, tahan panas dan tahan bahan kimiawi. HFP umumnya digunakan sebagai bahan komposit

ringan untuk pesawat terbang, otomotif, serat balistik rompi tahan peluru, pakaian anti-api dan pakaian tahan tusukan[5]. HPF untuk generasi lama umumnya meliputi serat gelas dan serat karbon. HPF aromatik rantai kaku seperti para-aramid misalnya. Kevlar® dan Twaron®. Serat termoplastik kinerja tinggi seperti serat kristal cair atau high-molecular-polyethylene, HMPE misalnya Spectra®. Selain serat aramid, serat UHMWPE saat ini sangat banyak digunakan di berbagai sistem armor di dunia.

Serat polimer dalam bentuk komposit digunakan sebagai body armor modern dan helm militer. Pada body armor, bahan ini biasanya digunakan dalam bentuk tekstil sebagai elemen *soft* atau dalam bentuk pelat keras sebagai elemen keras, sedangkan pada helm militer, tekstil diperkuat dengan matriks polimer. Sakaguchi dkk [6] telah melakukan eksperimen pengujian satu dan dua lapis para-aramid dibawah beban ledakan. 1.1 gram simulasi proyektil *chisel nosed fragment* (FSP) yang ditembakkan ke *fabric* pada V_{50} telah dilakukan. Tujuannya adalah untuk menentukan apakah konfigurasi satu atau dua lapis para-aramid dapat memberikan perlindungan terhadap proyektil FSP dengan peningkatan kekakuan, masa dan ketahanan termal. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan satu atau dua lapis para-aramid yang dipintal dalam bentuk pakaian dapat menawarkan perlindungan terhadap bagian ektrimiti seperti lengan dan kaki dari pecahan fragmen.

Morye dkk [7] melakukan studi mengenai pengembangan model sederhana untuk menghitung energy yang diserap oleh komposit polimer terhadap impact balistik. Batas kekuatan balistik dari komposit, V_0 ditentukan dari kontribusi model energinya. Faktor yang berkontribusi terhadap kehilangan energi selama impact merupakan energy dari kegagalan tarik komposit, energy deformasi elastis komposit, dan energy kinetic dari sebagian target komposit yang bergerak akibat terjadinya impact. Model V_0 ini dibandingkan dengan hasil eksperimen dari tiga susunan komposit yaitu tenun serat Nylon-66® dengan perbandingan campuran 50:50 terhadap resin phenol formaldehyde dan resin polyvinyl butyral, tenun serat aramids® terhadap matriks yang sama dan Dyneema UD66 (serat polyethylene® konfigurasi lurus yang diletakkan dalam susunan serat $0/90^\circ$ dalam matriks termoplastik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai energy yang diserap untuk balistik impact termasuk dalam jangkauan prediksi model.

Studi lain dilakukan untuk analisis kegagalan terhadap komposit ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) konfigurasi $0^\circ/90^\circ$ [8]. Eksperimen proyektil berkecepatan tinggi dan impact fragmen dilakukan. Stereo, alat uji optik dan electron scanning digunakan untuk menganalisis struktur mikroskopis UHMPWE. Kemudian mengkorelasikan hasil yang diperoleh dengan teknik karakterisasi lain seperti teknik pengambilan gambar cepat, inspeksi visual dan inspeksi ultrasonik.

Uji impact terhadap material serat dilakukan untuk banyak variasi aplikasi termasuk pakaian pelindung, komposit reinforces-fiber atau armor komposit ceramic. Beban impact dapat diklasifikasikan berdasarkan kecepatan tumbuk dan masa penetrator. Impact balistik merupakan fenomena dinamik kecepatan tinggi

The impact testing of fiber material is conducted for a variety of applications including fabric armor, fiber-reinforced composite or hard ceramic-faced composite armour. The impact loading can be classified into the following groups according to the striking velocity and the penetrator mass. Impact balistik adalah peristiwa yang melibatkan propagasi gelombang transien.



Gambar 1. Kegagalan balistik pada komposit lima lapis Kevlar-29, terjadi retakan pada matriks komposit [9]

Pada Tabel 2, ditunjukkan improvisasi pembuatan produk menggunakan serat aramids yang sama [5]. Perbedaan metode pintal memberikan efek performa balistik pada aplikasinya sebagai material helm proteksi. Komposit secara luas telah dikembangkan pada beberapa decade terakhir. Pada tahun 70an, militer Amerika menggunakan 100% helm proteksi dengan material fiber-reinforced pada operasi pembebasan Grenada. Rompi interceptor 24 pounds untuk *ranger* telah dikenalkan pada tahun 1999.

Tabel 2. Limit balistik (V_{50}) dan efisiensi balistik (V_{50} /berat tempurung) helm yang diproduksi dengan dua serat aramid tertentu

Fiber	Yarn denier	Shell wt (kg)	V_{50} (m/s)	V_{50} / wt (m/s/kg)	Tensile toughness (MPa)	Tensile strength (MPa)	Tensile strain at failure (m/ m)	Tensile modulus (GPa)
Kevlar-29	1500	1.34	686	511.94	51	2794	0.033	67
Kevlar- KM2	1500	1.13	697	616.81	72	3429	0.043	64
% difference		-15.67	1.60	20.48	41.18	22.73	30.0	-4.69

Bukan hanya kemampuan dari body armor terhadap ancaman balistik, sisi ergonomis juga menjadi perhatian dalam pengembangan perangkat perlindungan personel. Pada 2005, US Army Research Laboratory merilis laporan hasil eksperimen terhadap bentuk, kenyamanan dan penerimaan pengguna dari sistem badan Future Force Warrior dan sistem perangkat perlindungan kepala [10]. Percobaan dievaluasi pada over-garment kimia dan biologis (CB) dengan sistem ventilasi udara fungsional personal (PAVS) dan respirator pemurni udara fungsional personal (PARP).

3 Kesimpulan

Pengembangan komposit fiber telah dilakukan untuk meningkatkan kapabilitas dan fleksibilitas pengguna selama operasi. Uji impact selalu menjadi uji mekanika untuk meneliti kemampuan serat komposit terhadap beban balistik. Penggunaan material yang berbeda, fenomena delaminasi hingga kelakuan mikroskopis material diperiksa untuk memahami respon serat komposit selama uji impact berlangsung. Model sederhana untuk penyerapan energy selama uji V_0 juga telah dilakukan. Hasil studi tersebut digunakan untuk mengembangkan serat komposit pada aplikasi armor personel. FFW kit yang merupakan armor personal modular digunakan oleh

militer USA dan selalu dievaluasi untuk mendapatkan perangkat yang nyaman dan tepat tanpa mengurangi kapabilitas perlindungan.

Penggunaan serat komposit memiliki banyak keunggulan terhadap personel militer dan penegak hukum dimana meningkatkan level perlindungan, mengurangi beban armor, dan meningkatkan fleksibilitas rompi anti-peluru.

Daftar Referensi

- [1] Ministry of Defence Defence Standard 05-101 Part 2 Proof of Ordnance, Munitions, Armour and Explosives Part 2 – Guidance Incorporating Amendment 1. 2005.
- [2] Ryan JM., Cooper GJ., Haywood IR., Milner SM. Field surgery on a future conventional battlefield: Strategy and wound management. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*. 1991; 73(1): 13–20.
- [3] Wang F., Gao C. (eds.) *Protective clothing: Managing Thermal Stress*. Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 154; 2014.
- [4] Fundus M. *Ballistic Protection - Trends in Body Armor and Helmets*. 2013;
- [5] Bhatnagar A. *Lightweight Ballistic Composites*. *Lightweight Ballistic Composites*. 2006. 101-126 p. Available at: DOI:10.1533/9781845691554.1.101
- [6] Sakaguchi S., Carr D., Horsfall I., Girvan L. Protecting the extremities of military personnel: fragment protective performance of one- and two-layer ensembles. *Textile Research Journal*. 2012; 82(12): 1295–1303. Available at: DOI:10.1177/0040517512436826
- [7] Morye SS., Hine PJ., Duckett RA., Carr DJ., Ward IM. Modelling of the energy absorption by polymer composites upon ballistic impact. *Composites Science and Technology*. 2000; 60(14): 2631–2642. Available at: DOI:10.1016/S0266-3538(00)00139-1
- [8] Taylor S a., Carr DJ. Post failure analysis of 0 degrees /90 degrees ultra high molecular weight polyethylene composite after ballistic testing. *Journal of Microscopy*. 1999; 196(Pt 2): 249–256. Available at: DOI:10.1046/j.1365-2818.1999.00632.x
- [9] Song JW., Egglestone GT. *Proceedings for US Army Science Conference*. *Proceedings for US Army Science Conference*. 1988; (June).
- [10] Turner DD., Carstens CB., Torre J. *Future Force Warrior , Engineering Design Event Number 4*. 2005