

# Interaksi antara Proyektil dan Komposit Polimer diperkuat Butiran Silikon Karbid ( $\text{SiC}_p$ ) dan Serat Karbon pada Pengujian Balistik

Daud Simon Anakottapary<sup>1</sup>, Tjokorda Gde Tirta Nindhia<sup>2</sup>

1. Mahasiswa S2 Teknik Mesin Universitas Udayana Bali

2. Jurusan Teknik Mesin universitas Udayana Bali

email: [nindhia@yahoo.com](mailto:nindhia@yahoo.com)

---

## Abstrak

Dengan meningkatnya gangguan keamanan dan serangan teroris yang melibatkan penggunaan senjata api serta untuk menjaga keamanan secara optimal maka perlindungan maksimal terhadap keselamatan baik satuan pengaman (satpam), tentara dan kepolisian haruslah dilakukan. Untuk dapat menjalankan tugasnya dengan baik dan melindungi keselamatannya, personil keamanan haruslah dilengkapi dengan baju anti peluru. Namun harga baju anti peluru komersial yang terdapat di pasar saat ini sangatlah mahal, sehingga hanya personil keamanan khusus (special force) saja yang mungkin memilikinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan anti peluru yang ekonomis tetapi memiliki kemampuan yang baik untuk digunakan oleh satpam atau petugas keamanan. Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah polimer dari jenis polyester dengan penguat butiran silikon karbid ( $\text{SiC}_p$ ) dan serat karbon. Butiran silikon karbid dipress sampai rata kedalam cetakan yang berdiameter 11.5cm dan tinggi 1cm. Setelah itu dituangkan resin polyester yang sudah dicampur dengan serat karbon sampai mencapai ketebalan 1cm. Proses pengerasan dilakukan secara alami dengan waktu 24 jam dengan menambahkan katalisator. Pengujian balistik dilakukan pada instansi terkait sesuai prosedur pengujian untuk dianalisa kemampuannya dalam menahan terjanagan peluru.

**Kata kunci :** anti peluru, komposit, poliester, silikon karbid, serat karbon.

## Abstract

With increasing the security treat and terrorisms that involving the use of firearm and to optimize the security then maximum protection for he safety of the security guards, armies, and polices should be put in consideration. In order to conduct their duties properly and to protect their safety, the security guard should be completed with bulletproof body armor. Since the price of commercial bulletproof body armors is very expensive that only special force is possible to have it. It is the purpose of this research to develop material for bulletproof body armor with reasonable price but having good performance that can be used by security guard. In this research the  $\text{SiC}_p$  was pressed in order to have a diameter surface in the 11.5cm and high 1 cm mould. Afterward the mixture of polyester and carbon fiber was poured in to the mold until reach 1 cm thickness. The natural cooling was done naturally for about 24 hours with addition of catalyst to solidify the composite. The ballistic test performance will be conducted with cooperation with the institution that has authority for this activity, and the result will be analyzed and reported.

**Key words:** bulletproof body armor, composite, polyester, silicon carbide, carbon fiber

---

## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan ilmu material untuk pelindung tubuh tahan peluru (*body armors*) sangat pesat sesuai dengan tuntutan. Secara tradisional, bahan baju tahan peluru terbuat dari baja dengan tingkat kekerasan yang tinggi. Namun, permintaan baja ringan untuk perlindungan tubuh dari terjanagan proyektil peluru telah menyebabkan penyelidikan tertuju pada bahan alternatif[1].

Dalam beberapa dekade terakhir, bahan bukan logam, seperti keramik dan komposit, telah dimasukkan dalam kelompok penelitian untuk semakin lebih efisien sebagai bahan ringan. Secara khusus, karena kepadatan keramik yang rendah, kekerasan tinggi, kekakuan tinggi dan kekuatan dalam kompresi, sehingga keramik banyak digunakan sebagai bahan armor [2].

Secara umum definisi dari Kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis menjadi suatu bahan yang berguna [3]. karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan. [4]

Pada umumnya komposit terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan utama membentuk matrik sedangkan penguat ditanamkan di dalamnya. Bahan penguat dapat

berbentuk serat, partikel, serpihan atau juga dapat berbentuk yang lain [5].

Komposit dapat dibagi lima berdasarkan konstituennya yaitu:

- a. Komposit serat yang terdiri dari serat dengan atau tanpa matriks
- b. Komposit *flake* yang terdiri dari *flake* dengan matriks
- c. Komposit partikel yang terdiri dari partikel dengan atau matriks
- d. Komposit rangka (komposit terisi) yang terdiri dari matriks rangka selanjut yang terisi dengan bahan kedua
- e. Komposit laminat yang terdiri dari konstituen lapisan atau laminat. [6]

Unsur utama komposit adalah serat. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti : kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik yang lainnya. Seratlah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit, sedangkan matriks bertugas melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik. Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material tersebut untuk diarahkan sehingga kekuatannya dapat diatur hanya pada arah tertentu yang kita kehendaki. Hal ini dinamakan "tailoring properties" dan ini adalah salah satu sifat istimewa komposit dibandingkan dengan material konvensional lainnya. Selain kuat, kaku dan ringan komposit juga memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi serta memiliki ketahanan yang tinggi pula terhadap beban dinamis [7].

[25]. Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Komposit Karbon adalah bahan serat kinerja tinggi yang paling umum digunakan penguat di lanjut (yaitu nonfiberglass) alasan composites. The polimer matrix untuk ini adalah sebagai berikut:

1. Serat karbon memiliki modulus spesifik tertinggi dan kekuatan tertentu dari semua bahan penguat serat.
2. Mereka mempertahankan modulus tarik tinggi dan kekuatan yang tinggi pada temperatur tinggi oksidasi suhu tinggi, bagaimanapun, mungkin menjadi masalah.
3. Pada suhu kamar, serat karbon tidak terpengaruh oleh kelembaban atau lebar berbagai pelarut, asam, dan basa.
4. Serat ini memperlihatkan keragaman karakteristik fisik dan mekanik, memungkinkan komposit serat ini menggabungkan memiliki spesifik direkayasa properti.
5. Serat dan proses manufaktur komposit telah dikembangkan yang relatif murah dan biaya yang efektif. komposit kinerja tinggi adalah komposit yang

memiliki kinerja lebih baik dibandingkan bahan struktural konvensional.

Sebuah komposit struktural biasanya terdiri dari kedua homogen dan komposit bahan, sifat yang tidak hanya tergantung pada sifat-sifat konstituen bahan tetapi juga pada desain geometris dari berbagai struktural elemen. Ikatan antara matriks dengan bahan penguat sangat penting, karena beban yang diberikan pada komposit diteruskan ke bahan penguat. Oleh karena itu modulus elastisitas bahan penguat harus lebih tinggi daripada modulus elastisitas bahan matriksnya karena bahan penguat memikul beban komposit yang diteruskan dalam matriks [8]. laju pemanasan yang optimum pada komposit akan menghasilkan ikatan-ikatan segmen polimer yang baik dan kuat. Pemanasan yang melebihi batas temperatur dan waktu curing optimum akan membuat komposit mengalami kerusakan pada ikatan molekulnya [9].

Matriks pada material komposit antara lain berfungsi untuk mendistribusikan beban pada serat-serat penguat. Oleh karena itu adanya cacat seperti void, retak pada matriks akan mempengaruhi fungsi matriks sebagai pendistribusi beban, misalnya terjadi pada konsentrasi tegangan disekitar cacat yang menurunkan sifat mekanik baik statis maupun dinamis dari material komposit [10].

Kriteria komposit didasarkan kepada jenis matriks yang digunakan seperti komposit bermatriks material organik yang disebut sebagai (Organic Matrix Composites/OMCs), Komposit bermatriks logam (Metal Matrix Composites/MMCs). Komposit bermatriks keramik (Ceramic Matrix Composites/CMCs) [11].

Komposit partikulat termasuk komposit isotropik karena partikel penguatnya tersebar merata pada matriks, sehingga distribusi penguatnya sama kesegala arah. Komposit partikulat pada umumnya keuletan (ductility) dan ketangguhannya (failure toughness) menurun dengan semakin tingginya fraksi volume penguatnya Komposit partikulat ketangguhan lebih rendah daripada komposit berserat panjang. Akan tetapi, komposit ini sering lebih unggul ketahanan aus (wear resistant). [12].

Berikut adalah tabel pemilihan komposit seperti berikut;

Tabel;1 Pertimbangan Pemilihan Komposit

Alasan Digunakan	Material yang Dipilih	Aplikasi
Ringan, kaku, kuat	Boron, semua karbon/ grafit, dan beberapa jenis aramid	Peralatan militer
Tidak mempunyai nilai ekspansi termal	Karbon/Grafit, yang mempunyai nilai modulus yang sangat tinggi	Untuk perlatan luar angkasa, contohnya sensor optik pada satelit
Tahan terhadap perubahan lingkungan	Fiber glass, vinyl ester, bisphenol A.	Untuk tangki dan sistim perpipaan, tahan korosi dalam industri kima.

Sumber: Harper, 2002. Handbook of Plastics, Elastomers and Composites, [13]

Silikon karbida berkelanjutan digunakan serat untuk monofilamen berdiameter besar dan benang multifilamen halus. Silicon karbida serat secara inheren lebih ekonomis dari serat boron, dan sifat serat silikon karbida umumnya baik atau lebih baik dari pada boron. Komposit partikulat pada umumnya diberi penguat material keramik seperti SiC, dan material keramik yang lainnya. Keunggulan dari material MMCs, mempunyai sifat kekakuan yang tinggi, densitas yang rendah, kekerasan yang tinggi dan biaya produksi yang cukup rendah [14].

Konsep reaksi interfasial pada material komposit sangat penting, karena hal tersebut akan menghasilkan fase baru dan energi-energi interfasialnya dapat dirubah secara substansial sehingga kebasahan atau perekatan antara penguat dan matrik dapat terjadi dengan baik. Fase interfasial yang terbentuk pada permukaan matrik –penguat, yang terjadi akibat reaksi kimia atau hasil rekayasa pelapisan ketebalannya dapat menurunkan kekuatan komposit [15].

Prinsip kerja baju anti peluru adalah dengan mengurangi sebanyak mungkin lontaran energi kinetik peluru ketika peluru menerjang baju tahan peluru, peluru tertangkap didalam jaring serat mengabsorpsi dan mendispersi energi dari benturan menyebabkan peluru akan terdeformasi kebentuk pendek. Balistik adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang perjalanan peluru (proyektil) ketika ditembakkan dari suatu senjata. Perjalanan tersebut meliputi perjalanan di dalam laras senjata (internal ballistics), perjalanan di udara hingga menyentuh target (external ballistics), dan perjalanan melalui target jika terjadi penetrasi [16].

Peluru merusak targetnya karena energi kinetik yang dimilikinya. Ada tiga cara proses perusakan target:

1. Mengoyak dan menghancurkan. Hal ini dilakukan oleh peluru berkecepatan rendah dari pistol, dengan kecepatan kurang dari 1000 ft/s. Proses pengoyakan dikenal sebagai peristiwa penetrasi.
2. Melubangi. Hal ini dihasilkan oleh peluru yang berkecepatan di atas 1000 ft/s. Hal ini disebut juga sebagai perforasi.
3. Gelombang kejut yang menekan medium udara, namun hanya terjadi dalam beberapa mikrosekon.[17]

Berbagai kerusakan akibat tumbukan proyektil antara lain : Tipe *plugging* dihasilkan oleh proyektil tumpul dengan hidung hemispherical pada kecepatan mendekati balistik limit. Lubang yang dihasilkan memiliki diameter hampir sama dengan diameter proyektil. Kerusakan radial biasanya terjadi pada material keramik, tidak menghasilkan lubang seperti *plugging*, dan merupakan hasil perforasi proyektil berujung tajam. Kerusakan *petaling* dihasilkan dari radial dan *circumferential stress* setelah terjadinya gelombang kejut awal. Kerusakan

ini diperoleh dari proyektil berujung ogiv atau *conical* pada kecepatan rendah, atau dari proyektil tumpul dengan kecepatan mendekati batas balistik. Kerusakan tipe *fracture* dihasilkan dari gelombang kejut awal yang melebihi batas kekuatan material yang biasanya berdensitas rendah. Kerusakan *radial fracture* menunjukkan adanya retakan di bagian belakang target, ketika terjadi penetrasi proyektil. Kerusakan tipe *brittle fracture* adalah terbentuknya retakan-retakan pada target yang tertumbuk proyektil. Pada kerusakan tipe fragmentasi, target yang terkena proyektil akan terlepas menjadi bagian-bagian yang lebih kecil.[18].

Butiran silikon karbida (SiC<sub>p</sub>) merupakan salah satu diantara keramik yang sangat keras. Silikon karbida (SiC) dengan struktur tetrahedra dari karbon dan atom silikon dengan ikatan yang kuat dalam kisi kristal. Hal ini menghasilkan bahan yang sangat keras dan kuat. Butiran silikon karbida tahan terhadap asam atau basa serta garam sampai 1800-1900 °C.

Di udara, silikon karbida membentuk oksida pelindung pada 1100° C dan dapat digunakan mencapai 1700 ° C dan sangat efektif sebagai bahan tahan peluru ukurannya yang kecil, dan memiliki derajat kekuatan yang tinggi kesempurnaan kristal dan yang hampir tidak ada cacat yang memberikan kekuatan yang sangat tinggi [19,20,21,22,23].

Resin adalah suatu material yang berbentuk cairan pada suhu ruang, atau dapat pula berupa material padatan yang akan meleleh pada suhu di atas 200 °C. Pada dasarnya resin adalah matriks, sehingga memiliki fungsi yang sama dengan matriks. Resin dapat dibagi menjadi dua bagian besar :

a. Resin Termoset Resin termoset adalah resin yang akan mengeras jika dipanaskan, namun jika dipanaskan lebih lanjut tidak akan melunak, atau dengan kata lain proses pengerasannya irreversible. Beberapa contoh resin termoset antara lain resin phenolic, polimer melamin, resin epoksi, polyester, silicon, dan poliamyde.

b. Resin Termoplastik Resin termoplastik adalah resin yang melunak jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan, atau dapat dikatakan bahwa proses pengerasannya bersifat reversible. Resin termoplastik memberikan sifat-sifat yang lebih unggul daripada resin termoset, karena memiliki kekuatan lentur yang lebih baik, ketahanan terhadap cracking yang lebih tinggi, dan lebih mudah dibentuk tanpa katalis. Namun resin tipe ini sulit dikombinasikan dengan reinforcement karena viskositas dan kekakuannya yang tinggi, Resin polyester mempunyai harga yang murah, mudah digunakan dan sifat versalitasnya. Selain itu polyester mempunyai daya tahan terhadap impak, tahan terhadap segala cuaca, transparan dan efek permukaan yang baik. Kerugian dari penggunaan resin polyester adalah daya rekat yang kurang baik dan sifat inhibisi dari udara dan filler. [24].

Tabel 2. Perbandingan Serat Karbon

	Epoksi	Polyester
Density (Mg/m <sup>3</sup> )	1.1-1.4	1.1-1.5
Young's modulus (GNm <sup>-2</sup> )	3-6	2-4.5
Tensile strength (MNm <sup>-2</sup> )	35-100	40-90
Poisson's ratio	0.38-0.4	0.37-0.39
Compressive strength (MNm <sup>-2</sup> )	100-200	90-250
Shrinkage on curing (%)	1-2	4-8
Water absorpstion 24 h to 20°C (%)	0.1-0.4	0.1-0.3

Sumber: Hull, D. 1982 *An Introduction to Composite material* [25]

Volume padatan yang relatif kurang dipengaruhi oleh perubahan tekanan dan temperatur daripada yang dari cairan atau gas. Sebagai penelitian awal, pengujian dilakukan untuk mendapatkan data mengenai interaksi proyektil terhadap beberapa variabel komposit yaitu komposisi butiran silikon karbid (SiCp), dengan komposisi lapisan serat karbon. Karakteristik bahan yang paling penting terutama yang rapuh, adalah bahwa diameter serat kecil lebih kuat dari bahan massal. Karena sulitnya mekanisme kegagalan, belum ada yang berlaku umum model analisis yang secara akurat dapat memprediksi dampak kerusakan komposit, dengan daya rendah energi pada struktur komposit telah menjadi subyek banyak penelitian [26]

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua bahan penguat komposit yaitu butiran silika karbida (SiCp) dan satu serat putus-putus carbon, dan untuk metrik digunakan resin type 108. Dengan menggunakan cetakan berukuran diameter dalam 11.5 cm dan tinggi 1 cm. Untuk bahan penguat, butiran silikon karbid (SiCp) ditimbang 0.10 kg sebagai referensi awal didalam cetakan. Untuk pembuatan komposisi bahan metrik pencampuran cairan resin polyester sebanyak 100 ml dan katalis 20 tetes pipet kecil. Terdapat 2 jenis komposisi bahan komposit yang disiapkan dalam penelitian ini yaitu:

1. Komposisi bahan penguat satu lapis serat karbon yang diletakkan pada permukaan bahan penguat butiran silikon karbida

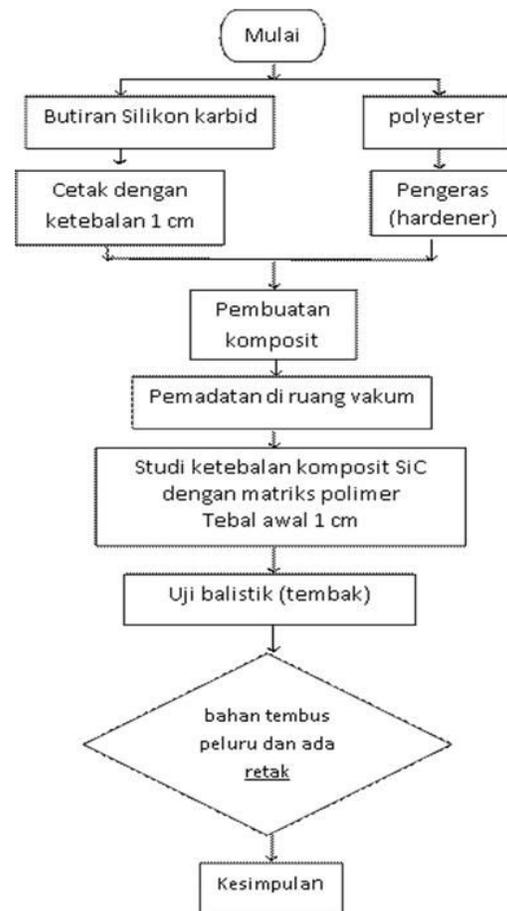
2. Komposisi bahan penguat dua lapis serat karbon yang diletakkan pada bagian bawah dan bagian atas dari bahan penguat butiran silikon karbida

A. Proses pengerjaan ; untuk kedua komposisi komposit ini dilakukan dengan pencampuran butiran silika karbida (SiCp) dengan serat putus-putus carbon sampai bercampur dan diberikan resin dilanjutkan dengan pemberian hardener diaduk dan dicetak, sama untuk kedua

komposisi komposit. proses dilakukan untuk mendapatkan tipe komposit isotropic yang dapat menahan dan menyerap laju proyektil dari berbagai arah atau sudut datangnya proyektil peluru. Hasil cetakan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 1. Komposit polimer diperkuat SiCp dan serat karbon



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pengujian balistik dilakukan dilapangan tembak. Data yang ada dilapangan antara lain: Jenis Senjata api laras pendek ( pistol) Revolver 686 Kaliber 357 Magnum seperti terlihat pada Gambar 2,

Jenis Peluru 38 Spesial, kecepatan maksimum 290 m/s, Panjang 51 mm, panjang proyektil 13 mm, berat proyektil 10.2 gram Diameter 9 mm. Jarak tembak dalam penelitian ini adalah 10 m.



**Gambar 2.** Pistol Magnum



**Gambar 3.** Proyektil yang digunakan dalam penelitian ini

### 3. 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari hasil uji balistik yang didapat pada spesimen yang terdiri dari satu lapis serat karbon, komposit ditembusi proyektil peluru, proyektil masuk kedalam dan komposit mengalami kerusakan pada bagian depan seperti pada (gambar 4) yang berbentuk cerobong dari besar ke kecil artinya butiran silika karbida yang keras dapat meredam dan menyerap sedikit energi dari laju proyektil peluru, seperti pada gambar berikut ini. Dari gambar juga terlihat laju proyektil dapat merusakkan kekuatan resin diperlihatkan dengan adanya keretakan pada bahan komposit. Besarnya kerusakan pada bagian depan sebesar 25mm diukur kerusakan yang paling jauh dari pusat kerusakan.



**Gambar 4.** Deformasi komposit serat karbon satu lapis tampak depan

Pada gambar 5, diperlihatkan tampak belakang dari komposit dengan satu lapis serat karbon, terlihat ada kerusakan resin dengan adanya keretakan dan diameter yang di tembusi peluru sebesar 12.4 mm berikut gambar 5.



**Gambar 5.** Deformasi komposit satu lapis bagian belakang

Berikut dari hasil uji balistik pada bahan tahan peluru dengan perbandingan komposisi komposit untuk serat karbon dua lapis yang terdiri dari satu lapis bagian bawah dan satu lapis bagian atas. Proses pengerjaannya sama dimana setelah diatur serat untuk dua lapis, dan serat karbon, butiran silika karbida dengan resin ditambahkan hardener dicampur membentuk isotropik yang diharapkan dapat menahan laju proyektil peluru secara menyeluruh dari berbagai sudut. Pada gambar 6, diperlihatkan tampak depan komposit yang mengalami deformasi setelah mendapat hantaman dari proyektil peluru terjadi kerusakan resin/ matrix dengan adanya keretakan sampai membentuk fragmen-fragmen dengan tingkat kerusakan sebesar 30 mm, dilakukan sebanyak 2 kali uji tembak pada gambar 6,



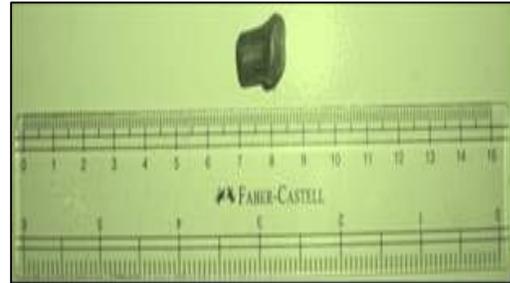
**Gambar 6.** Deformasi komposit serat karbon dua lapis bagian depan

Pada gambar 7 diperlihatkan tampak belakang dari komposit yang terdiri dari 2 lapis serat karbon setelah mengalami uji tembak sebanyak 2 kali dengan tingkat kerusakan sebesar 20 cm.



**Gambar 7.** Deformasi komposit dua lapis bagian belakang.

Interaksi proyektil peluru setelah mengenai target komposit dengan serat karbon satu lapis, terlihat proyektil peluru yang mengalami deformasi akibat material komposit dengan butiran silika karbida ( $\text{SiC}_p$ ) yang keras dapat mengabsorpsi energi dari proyektil peluru sehingga proyektil peluru mengalami deformasi tetapi komposit tidak dapat menahan laju kecepatan proyektil sehingga proyektil dapat lolos atau menembusi komposit dengan adanya tumbukan terjadi deformasi pada proyektil peluru dengan perubahan panjang proyektil. Proyektil peluru dengan panjang mula-mula 13mm menjadi, 9 mm deformasi sebesar 4cm seperti pada (gambar 8).



**Gambar 8.** Interaksi Proyektil dan komposit  $\text{SiC}_p$  dengan satu lapis serat karbon

Untuk Interaksi proyektil peluru setelah mengenai target komposit dengan dua lapis serat karbon yang terdiri dari satu lapis bagian atas dan satu lapis bagian bawah, terlihat proyektil peluru yang mengalami deformasi akibat laju kecepatan peluru yang menghantam komposit dengan butiran silika karbida yang keras maka proyektil peluru mengalami deformasi dari panjang mula proyektil 13mm menjadi 5mm. Tingkat deformasi sebesar 8 cm, seperti gambar berikut;



**Gambar 9.** Interaksi Proyektil dan komposit  $\text{SiC}_p$  dengan dua lapis serat karbon

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Komposit polimer dengan penguat butiran silika karbida dan serat karbon dengan matrix resin dapat digunakan untuk bahan tahan peluru.

2. Komposit polimer yang diperkuat butiran silikon karbid ( $\text{SiC}_p$ ) dan satu lapis penguat serat karbon setelah diuji balistik dapat memberikan perlawanan terjangan proyektil yang dibuktikan dengan perubahan proyektil yang semula panjangnya 13mm menjadi 9mm.

3. Hasil yang lebih baik diperoleh pada komposit polimer dengan ditambahkan dua lapis serat karbon pada bagian atas dan bagian bawah sehingga menghasilkan penahanan terjangan proyektil yang

lebih baik yaitu dari 13 mm sebelum tumbukan menjadi 5 mm setelah tumbukan.

## 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Bahan-bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh atas kebaikan dari Grup Riset Industri Manufaktur dan Permesinan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana. Untuk itu terimakasih ditujukan atas kerjasamanya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shokrieh, M.M. dan Javadpour, G.H., 2008, *Penetration analysis of a projectile in ceramic composite armor*. Composite Structures, 82, pp. 269–276.
- [2] Karandikar, P.G., Evans, G., Wong, S. dan Aghajanian, M. K., 2008, *A Review Of Ceramics For Armor Applications*, Advances in Ceramic Armor IV, John Wiley and Sons, Inc., USA.
- [3] Jones, P.M., 1975, *Mechanics Of Composite Materials*, Institute Of Technology, Southern Methodist University, Mc Graw-Hill, Dallas.
- [4] Schwartz, M.M., 1984, “Composite Materials Handbook”, McGraw-Hill Inc, New York.
- [5] Campbell, F. C., 2004, *Manufacturing Processes For Advanced Composites*, St. Louis, Missouri
- [6] Ashby, M.F. dan Jones, D.R., 2005, *Engineering Materials 1, An Introduction to their Properties and Applications*, Butterworth-Heinemann, UK.
- [7] Hadi, B.K., 2001, *Mekanika Struktur Komposit*, Departemen Pendidikan Nasional, Bandung.
- [9] Rahadhy, S. 1993. Pengaruh Temperatur dan Tekanan Pada Saat Curing Terhadap Sifat Mekanis Komposit. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok.
- [10] Panggabean, M. 1996. Mekanisme Kerusakan Lelah Akibat Pembebanan Tarik. Tarik Dinamis Pada Komposit Serat Gelas-Poliester. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas, Indonesia, Depok.
- [11] Sannino, A.P., Rack, H.J. 1996, *Journal of Materials Science* Vol. 30
- [12] Froyen, L., Verlinden, B. 1994. *Aluminium Powder Metallurgy*. Talat 1401. Belgium, European Aluminium Associations (EAA).
- [13] Harper, CA. 2002. *Handbook of Plastics, Elastomers and Composites*, McGrawHill, Lutherville-Maryland,
- [14] Bentson, L. D., Price, R. J., Purdy, M. J. dan Stover, E. R. 1989. *Fibers And Composites*, US Pat 5298 311, Edited by Pierre Delhaès, Taylor & Francis Inc, New York.
- [15] Long, S., Beffort, O. 1999. *Mat.Sci & Eng*, Vol A, In March ,
- [16] Phoenix, S.L. dan Porwal, P.K., 2003, *A New Membrane Model for the Ballistic Impact Response and Performance of Multi-Ply Fibrous Systems*, International Journal of Solids and Structures, 40, pp. 6723–6765.
- [17] Sudiarta, IM. 2007. *Pembuatan Pelat Komposit Tahan Peluru Berbahan Dasar Serat Pisang Abacca*. Skripsi, Depok, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia,
- [18] Zukas, J.A. 1982. *Impac Dynamics*. Wiley-Interscience Publication. New York.
- [19] Bhagwan A. D., 1980. *Analysis and Performance of fiber Composite*, Jon & Sons . Inc. New York.
- [20] Strife, J. S. dan Sheenan, J. E. 1988, *Ceramic Bulletin*, 67, 369, dalam *Fibers And Composites*, Edited by Pierre Delhaès, Taylor & Francis Inc, New York.
- [21] Lenel, F.V., 1980. *Powder Metallurgy principles and applications*, Metal Powder, Industries Federation, New Jersey,
- [22] Gulbransen, E. A. dan Jansson, S. A. 1972, *Oxidation of Metals*, 4, 181 dalam *Fibers And Composites*., Edited by Pierre Delhaès, by Taylor & Francis Inc, New York.
- [23] Nickel, K. G. 1992 *J. Europ. Ceram. Soc.*, 9, 3–8, dalam *Fibers And Composites*, Edited by Pierre Delhaès, Taylor & Francis Inc, New York.
- [24] Hull, D. 1981. *An Introduction to Composite Material*, University of Cambridge, New York,
- [25] Callister, W. D. 2007. *Material Science and Engineering, An Introduction 7ed*, John Willey and Sons, USA.
- [26] Hosur, M.V., Murthy, C.R.L., Ramamurthy, T.S. and Shet, "Estimation of Impact Induced Damage in CFRP Laminates through Ultrasonic Imaging," *NDN&E International*, Vol. 31, No. 50, 1998, pp. 359-374.