



**TUGAS AKHIR – TM141585**

**ANALISA KEMAMPUAN ABSORPSI ENERGI  
IMPACT DARIKOMPOSIT SERAT RAMI CHOPPED -  
HGM EPOXY KARBON FIBER TERHADAP IMPACT  
PROYEKTIL PELURU**

**ACHMAD BIMO SINGO WIJOYO**  
NRP. 0211104000056

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

DepartemenTeknikMesin  
FakultasTeknologiIndustri  
InstitutTeknologiSepuluhNopember



**TUGAS AKHIR – TM141585**

**ANALISA KEMAMPUAN ABSORPSI ENERGI  
IMPACT DARIKOMPOSIT SERAT RAMI CHOPPED -  
HGM EPOXY KARBON FIBER TERHADAP IMPACT  
PROYEKTIL PELURU**

**ACHMAD BIMO SINGO WIJOYO**  
NRP. 0211104000056

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

DepartemenTeknikMesin  
FakultasTeknologiIndustri  
InstitutTeknologiSepuluhNopember  
Surabaya 2018



**FINAL PROJECT – TM141585**

**ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OF IMPACT  
ENERGY ABSORPTION FROM COMPOSITE OF RAMI  
CHOPPED - HGM EPOXY FIBER CARBON ON IMPACT  
PROJECTORS**

ACHMAD BIMO SINGO WIJOYO  
NRP. 02111040000056

Faculty Advisor  
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
SepuluhNopemberIntstitut of Technology  
Surabaya 2018

**ANALISA KEMAMPUAN ABSORPSI ENERGI  
IMPACT DARIKOMPOSIT SERAT RAMI *CHOPPED* -  
HGM EPOXY KARBON FIBER TERHADAP *IMPACT*  
PROYEKIL PELURU**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

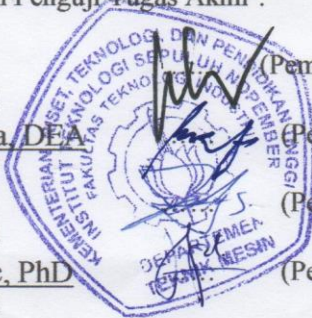
Oleh:

**ACHMAD BIMO SINGO WIJOYO**

NRP. 02111040000056

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr Eng. Sutikno,ST,MT  
NIP. 197407032000031001 (Pembimbing)
2. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA  
NIP. 195012111985021001 (Penguji I)
3. Indra Sidharta, ST, MSc.  
NIP. 198006192006041004 (Penguji II)
4. Fahmi Mubarok ST, MSc, PhD  
NIP. 197801152003121002 (Penguji III)



**SURABAYA**

**JULI, 2018**

**ANALISA KEMAMPUAN ABSORPSI ENERGI  
IMPACT DARI KOMPOSIT SERAT RAMI CHOPPED  
- HGM EPOXY KARBON FIBER TERHADAP  
IMPACT PROYEKTIL PELURU**

**Nama Mahasiswa : Achmad Bimo Singo Wijoyo**  
**NRP : 2110 100056**  
**Jurusan : Teknik Mesin**  
**Dosen Pembimbing : Sutikno, ST., MT., Dr, Eng.**

***Abstrak***

*Maraknya aksi terror dan tindak kejahatan senjata api membuat resah masyarakat Indonesia. Hal ini sejalan dengan data dari BNPT yang menunjukkan 2,7 juta orang Indonesia terlibat aksi terorisme. Dengan meningkatnya terorisme dan kejahatan, permintaan akan rompi anti peluru sebagai alat perlindungan keamanan negara meningkat hingga 80%. Akan tetapi bahan dasar Kevlar atau serat aramid sebagai bahan dasar rompi anti peluru susah didapat dan harus impor dari luar negeri. Sumber daya alam yang melimpah di Indonesia memiliki potensi untuk dikembangkan khususnya serat alam. Penelitian ini bertujuan untuk mencari komposisi terbaik dengan bahan dasar serat Rami, FiberKarbon, HGM dan epoksi resin.*

*Pada penelitian ini digunakan serat rami chopped yang banyak terdapat di Indonesia dan fiber karbon sebagai penguat komposit dengan epoxy resin sebagai matriks pengikat. Dengan komposisi 30% serat rami 16% HGM dan rami diharapkan mampu menahan impact dari proyektil peluru. Serat rami chopped tersebut di campur dengan hgm epoksi dan di konfigurasi pada posisi tertentu dengan fiber karbon dengan posisi di belakang. Sebelum dilakukan eksperimen tembak pada prototipe, dilakukan simulasi dengan menggunakan finite element*

*untuk mengetahui fenomena yang terjadi dan ketebalan paling optimum untuk menahan impact proyektil peluru.*

*Berdasarkan penelitian didapatkan konfigurasi 7mm komposisi HGM serat rami chopped 8 lapis fiber karbon dan epoksi resin sebagai penguat. Panel anti peluru meneruskan energi sebesar 138.52 joule dengan berat 1.618kg pada metode simulasi dan untuk konfigurasi 13mm panel dan 8layer meneruskan energy 106.85 Joule. Dengan energy serapan untuk serat rami untuk ketebalan 7mm sebesar 21.07 Joule dan 13mm sebesar 35.28mm. Energi serap terbesar ada pada fiber carbon pada 7mm sebesar 209.90 Joule dan pada 13mm 227.36 Joule*

***Kata kunci : rompi anti peluru, proyektil, komposit, impact.***

# **ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OF IMPACT ENERGY ABSORPTION FROM COMPOSITE OF RAMI CHOPPED - HGM EPOXY FIBER CARBON ON IMPACT PROJECTORS**

**Student Name** : Achmad Bimo Singo Wijoyo  
**NRP** : 2110 100056  
**Majoring** : Mechanical Engineering  
**Advisor** : Sutikno, ST., MT., Dr, Eng.

## **Abstract**

*The rise of acts of terror and gun crime has made Indonesian society anxious. This is in line with data from the BNPT which shows 2.7 million Indonesians involved in acts of terrorism. With the increase in terrorism and crime, the demand for bulletproof vests as a means of protecting the country's security has increased by 80%. However, the basic ingredients of Kevlar or Aramid fiber as a base material for bulletproof vests are hard to come by and must be imported from abroad. Abundant natural resources in Indonesia have the potential to be developed specifically for natural fibers. This study aims to find the best composition with basic ingredients of Hemp fiber, Fiber Carbon, HGM and epoxy resin.*

*In this study there are many chopped hemp fibers available in Indonesia and carbon fiber as a composite reinforcement with epoxy resin as a binding matrix. With a composition of 30% flax fiber 16% HGM and flax are expected to be able to withstand the impact of bullet projectiles. The chopped hemp fiber is mixed with*

*hgm epoxy and configured in a certain position with carbon fiber in the rear position. Before the firing was carried out on the prototype, a simulation was carried out using a finite element to determine the phenomenon that occurred and the most optimum thickness to withstand the impact of the bullet projectile.*

*Based on the research, it was found that the 7mm configuration of HGM composites of chopped fiber was 8 layers of carbon fiber and epoxy resin as reinforcement. The bulletproof panel continues energy of 138.52 joules with a weight of 1.618kg in the simulation method and for the 13mm panel configuration and 8layer continues the energy of 106.85 Joules. With energy absorption for flax fibers for 7mm thickness of 21.07 Joule and 13mm for 35.28mm. The greatest absorption energy is in carbon fiber at 7mm at 209.90 Joule and at 13mm 227.36 Joule*

**Keywords: bulletproof vest, projectile, composite, impact.**



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan Rahmat, Inayah, Taufik dan Hinayahnya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan makalah ini dalam bentuk maupun isinya yang sangat sederhana. Semoga makalah ini dapat dipergunakan sebagai salah satu acuan, petunjuk maupun pedoman bagi pembaca dalam administrasi pendidikan dalam profesi keguruan.

Tidak lupa saya ucapkan terima kasih kepada orang tua saya ibu May yang selalu mendoakan saya, bapak Sutikno yang selalu memacu saya agar berusaha lebih maju lagi, pasangan saya Aminatul Badriyah yang selalu sabar menanti kelulusan saya, warga lab metal yang selalu membantu saya Joko Ananata, Yola, Fitri, Afif, Usi, dan masih banyak lain nya yang tidak saya sebutkan satu persatu.

Harapan saya semoga makalah ini membantu menambah pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca, sehingga saya dapat memperbaiki bentuk maupun isi makalah ini sehingga kedepannya dapat lebih baik.

Makalah ini saya akui masih banyak kekurangan karena pengalaman yang saya miliki sangat kurang. Oleh karena itu saya harapkan kepada para pembaca untuk memberikan masukan-masukan yang bersifat membangun untuk kesempurnaan makalah ini.

Surabaya, 2 Agustus 2018

Penyusun

## DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
Abstract.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat .....	5
1.6 Sistematika Laporan.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori	
2.2.1 Rompi Anti Peluru.....	8
2.2.2 Peluru.....	10
2.2.3Komposit.....	11
2.2.3.1Material Komposit Serat.....	14
2.2.4 Komposit Serat Rami.....	15
2.2.4.1 Polimer Matriks Komposit.....	17
2.2.5Epoxy.....	18
2.2.6Fiber Karbon .....	19
2.2.7Hollow Glass Microspher.....	23
2.2.8 NIJ 0101.06.....	26
<b>BAB III METODOLOGI</b>	
3.1 Diagram Alir.....	28
3.2 Studi Literatur.....	30
3.3 Model Uji Rompi Anti Peluru.....	31
3.4 NIJ 0101.06 .....	32

3.5 Simulasi.....	33
3.6 Pembuatan Spesimen Uji.....	38
3.6.1 Alat dan Bahan.....	38
3.6.2 Langkah - langkah .....	39
3.7 Pengujian Balistik.....	39
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisa Data Simulasi Rompi Anti Peluru.....	40
4.1.1 Hasil Simulasi Fungsi Ketebalan dan Jumlah Lapisan Carbon Fiber pada Rompi Anti Peluru HGM, Serat Rami chopped, Carbon Fiber dengan Matriks Pengikat Epoxy.....	40
4.1.2 Hasil Bobot Panel Anti Peluru.....	43
4.2 Pembahasan Hasil Simulasi.....	45
4.2.1 Simulasi Penetrasi Proyektil.....	45
4.2.2 Simulasi Back Face Signature.....	47
4.2.3 Simulasi Energi Kinetik yang Diteruskan oleh Panel Anti Peluru.....	49
4.3 Hasil Eksperimen Uji Balistik.....	50
4.3.1 Penetrasi Hasil Eksperimen.....	51
4.3.2 Back Face Signature Hasil Eksperimen.....	55
4.4 Analisa Kegagalan.....	58
4.5 Perbandingan Simulasi dan Eksperimen.....	59
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Soft Body Armor</i> .....	9
Gambar 2.2	<i>Hard Body Armor</i> .....	10
Gambar 2.3	Contoh dan jenis peluru.....	11
Gambar 2.4	<i>Matrix, Reinforcement dan Composite</i> .....	12
Gambar 2.5	Klasifikasi komposit.....	14
Gambar 2.6	a) Serat berturut, b)serat terputus, c)serat acak terputus.....	15
Gambar 2.7	Tanaman rami.....	17
Gambar 2.8	Termoplastik dan termoset.....	18
Gambar 2.9	Fiber karbon 12k.....	20
Gambar 2.10	<i>Hollow Glass Microsphere</i> .....	24
Gambar 2.11	Ilustrasi uji tembak rompi anti peluru.....	27
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 3.2	Diagram alir simulasi.....	29
Gambar 3.3	Model rompi anti peluru.....	31
Gambar 3.4	Model proyektile peluru.....	31
Gambar 3.5	Ilustrasi ui tembak rompi anti peluru.....	32
Gambar 3.6	<i>Import model pada finite element</i> .....	33
Gambar 3.7	<i>Meshing panel</i> .....	37
Gambar 3.8	<i>Meshingpeluru</i> .....	38
Gambar 3.9	<i>Fix support panel rompi</i> .....	35
Gambar 3.10	<i>Running</i> .....	36
Gambar 3.11	Analisa hasil simulasi bagian depan.....	37
Gambar 3.12	Analisa hasil simulasi bagian belakang.....	38
Gambar 4.1	Panel Anti Peluru J-Force BAP-51A.....	43
Gambar 4.2	Belakang Panel J-Force BAP – 51A.....	43
Gambar 4.3	Presentase Penetrasi pada Panel Anti Peluru....	45
Gambar 4.4	<i>Back Face Signature Panel Rompi Anti Peluru</i> .....	44
Gambar 4.5	Energi Kinetik yang Diteruskan oleh Panel Anti Peluru.....	49

Gambar 4.6	(A) unit HS-9 (B) peluru caliber 9mm tipe 1 dan 2.....	51
Gambar 4.7	(A) Panel Sebelum di Tembak (B) Panel Sesudah di Tembak.....	52
Gambar 4.8	(A) Hasil Pengukuran Titik 1 (B) Hasil Pengukuran Titik 2 (C) Hasil Pengukuran Titik 3 .....	53
Gambar 4.9	(A) proyektil titik 4 (B) proyektil titik 5 (C) proyektil titik 2(D) proyektil titik 3.....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Mechanical Properties</i> Serat Rami.....	16
Tabel 2.2	<i>Mechanical Properties Resin</i> .....	19
Tabel 2.3	<i>Mechanical Properties</i> Karbon Fiber.....	21
Tabel 2.4	<i>Physical Properties Hollow Glass Microsphere</i> .....	25
Tabel 2.5	Syarat dan Kriteria Kerja NIJ 0101.06.....	26
Tabel 3.1	Syarat dan Kriteria Kerja NIJ 0101.06.....	31
Tabel 4.1	Hasil Simulasi Panel Rompi Anti Peluru.....	42
Tabel 4.2	Hasil simulasi berat panel rompi anti peluru....	44
Tabel 4.3	Hasil Penetrasi Uji Balistik.....	52
Tabel 4.4	Perbandingan Penetrasi Hasil Simulasi dan Eksperimen.....	54
Tabel 4.5	Perbandingan <i>Back Face Signature</i> Hasil Simulasi dan Eksperimen.....	56
Tabel 4.6	Perbandingan Simulasi dan Eksperimen.....	59

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Alat perlindungan diri telah di kembangkan dari jaman dahulu, diawali dengan baju zirah yang terbuat dari kulit hewan, baju zirah *ring* besi yang di susun berikatan yang di berinama *chain mail*, baju zirah yang terbuat lempengan besi yang disusun berseling selang disebut *scale mail*, hingga dikembangkan baju zirah terbuat dari plat untuk pertahanan diri. Tidak hanya alat pertahanan diri yang dikembangkan, senjata juga ikut berkembang. Pada awalnya menggunakan pedang dan panah berkembang menjadi senjata api. Sehingga alat pertahanan berkembang menjadi menjadi rompi peluru. Hingga perang dunia ke dua rompi anti peluru yang digunakan masih terbuat dari bahan plat besi sehingga menghambat pergerakan pengguna.

Pada tahun 1960 *National Institute of Justice* mulai mengembangkan serat fiber sebagai bahan dasar rompi anti peluru. Hal ini terus dilakukan hingga pada tahun 1970 perusahaan *Dupont* mengembangkan serat fiber kevlar yang mampu meredam energi hingga 95%. Serat fiber kevlar masih digunakan sebagai bahan utama rompi anti peluru yang ada di pasaran. Akan tetapi serat fiber kevlar masih sulit di dapatkan di Indonesia karena harus impor, hal ini berbanding terbalik dengan kebutuhan atas rompi anti peluru yang terus meningkat di Indonesia.

Rompi anti peluru diperlukan karena di Indonesia maraknya penembakan terhadap oknum keamanan ditambah dengan meningkatnya tren pelaku kejahatan dengan senjata api membuat resah masyarakat (Tribunnews, 2013). BNPT (Badan Nasional Penanggulangan Terorisme) menyebutkan ada 2,7 Juta orang Indonesia terlibat terorisme jumlah ini sekitar 1% dari total penduduk Indonesia. Di karenakan kriminalisme dan terorisme meningkat, sehingga pihak keamanan melengkapi personil dengan rompi anti peluru sehingga permintaan meningkat hingga

80 %. Rompi anti peluru banyak di gunakan untuk operasi militer dan kepolisian untuk menjaga keselamatan personil dari *impact* yang di sebabkan oleh proyektil peluru agar tidak langsung menembus badan dan melukai organ vital. Rompi peluru ini melindungi personil pada bagian dada, perut dan punggung.

Oleh karena itu diperlukan bahan alternative pengganti serat fiber kevlar yang mudah di dapatkan di Indonesia untuk membuat rompi anti peluru. Untuk membuat rompi anti peluru harus memenuhi standart yang sudah di tentukan. Penelitian kali ini standart pengujian menggunakan *NIJ STANDART "Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06"* halaman 3 poin 2.1 dan 2.2. Dalam hal ini penyerapan laju energy telah di serap dengan batas maksimal penekanan 4.4cm ( 44mm). Jika batasan tersebut dilewati, maka pengguna baju akan mengalami luka dalam (internal organs injuries), yang tentunya akan membahayakan keselamatan jiwa.

Pusat riset Daimler Chrysler di Eropa mengungkapkan bahwa serat alam mempunyai potensi yang kuat dalam industri automotive jika dibandingkan dengan serat gelas, karena harganya murah dan ringan (Peijs, 2002). Material komposit, khususnya dengan penguatan serat alam mulai dikembangkan karena meningkatnya kebutuhan akan material yang kuat, ringan , tahan korosi, murah dan ramah lingkungan (Ward, 2002). Dan Indonesia merupakan negara dengan potensi alam yang melimpah dan merupakan hal yang positive untuk memaksimalkan potensinya.

Rami (*Boehmeria nivea*) menjadi material substitusi pengganti kevlar dan spectra karena bahan baku yang melimpah di Indonesia. Tanaman Rami juga mudah di budidayakan di Indonesia yang beriklim tropis dan curah hujan seperti di Indonesia . Satu hektar dapat memproduksi 1,3 ton serat kering (LPTI, 2004) Dan tanaman rami per hektar per tahun menghasilka 2625 ton (Sastro supadi, 2004). Serat rami menjadi pilihan karena mempunyai modulus elastisitas dan densitas yang hampir sama



dengan Kevlar. Selain itu, serat rami memiliki *break strain* lebih tinggi dari Kevlar.

Rami juga memiliki beberapa kelebihan. Misalnya, dapat diproduksi dengan investasi rendah, prosesnya mudah, tidak memerlukan alat khusus dan tidak menyebabkan iritasi pada kulit. Rami juga merupakan isolator panas dan akustik yang baik. Rami pun terbarukan dan ramah lingkungan.

Penelitian sebelumnya LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) menunjukkan bahwa rami memiliki modulus elastisitas yang setara dengan Kevlar. Modulus elastisitas rami 44-90 gigapaskal, sedangkan Kevlar 40-140 gigapaskal. Tapi regangan patah (*break strain*) pada rami lebih tinggi daripada Kevlar (rami 2 persen dan Kevlar 1-3 persen). Densitas Kevlar dan rami pun hampir sama. Rami 1,50 gram per sentimeter kubik dan Kevlar 1,45 gram.

Balai Besar Tekstil telah melakukan penelitian pembuatan panel anti peluru berbasis komposit serat rami menggunakan berbagai macam resin maupun dengan penambahan bahan penguat dari polipropilena (PP), dan anyaman dari kawat yang tahan karat (*stainless steel*). Dari penelitian tersebut diperoleh hasil kekuatan pada level IIA dengan bobot panel yang sangat ringan (1,124 Kg). Masih perlu beberapa perbaikan terutama kelenturan (fleksibilitas), kekuatan, disain, serta kenyamanan dan keamanan dalam pemakaian. (Zubaidi, Moekarto M, Santoso S., 2009)

Penelitian tentang pengaruh penyerapan energi *impact* pada bumper kendaraan dengan menggunakan material komposit HGM (*Hollow Glass Microsphere*) dengan matrix *epoxy*. Pengujian menggunakan 5 buah spesimen dengan variasi ketebalan 4 mm hingga 8 mm. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa material ini mampu menyerap hingga 86,39% energi *impact* yang diberikan (Hindun, 2015). Di tahun yang sama, dilakukan penelitian tentang penyerapan energi *impact* dan kerusakan rompi anti peluru terhadap beban balistik proyektil. Pada penelitian tersebut rompi anti peluru menggunakan material komposit *epoxy*

HGM (*Hollow Glass Microsphere*). Hasil penelitian menunjukkan rompi anti peluru dengan ketebalan 25 mm mampu menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149.5 Joule (Zahra, 2015).

Penelitian yang dilakukan oleh Pulungan, tentang penyerapan energi *impact* dan BFS (*Back Face Signature*) yang terjadi pada plat pelindung rompi anti peluru yang terbuat dari HGM (*Hollow Glass Microsphere*) -serat karbon dengan matriksepoxy. Material komposit ini dibuat menggunakan HGM (*Hollow Glass Microsphere*) dengan fraksi volume 16% dan dilapisi dengan serat karbon pada bagian belakang. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa material komposit dengan tebal total 20 mm menyerap energi kinetik peluru dan meneruskan ke pengguna sebesar 138,77 J dan mempunyai bobot sebesar 1,384 kg dan memenuhi standar dari NIJ 0101.06 dengan kedalaman BFS (*Back Face Signature*) sebesar 3,28 mm (Pulungan, 2017).

Rompi anti peluru dengan ketebalan 16.40 epoxy – HGM (*Hollow Glass Microsphere*) –fiberkarbon HGM (*Hollow Glass Microsphere*) 10 mm dan 8 layer fiberkarbon. Energi yang diteruskan 160.35 Joule. Dan aman untuk digunakan sesuai standart Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher. (Wira, 2017). Rompi anti peluru dengan konfigurasi HGM (*Hollow Glass Microsphere*) – Sisal dan 10 lapis serat karbon meneruskan energi 98,14 Joule (Ridho Azhari, 2017).

Dari latar belakang yang di jelaskan pada penelitian ini akan di lakukan percobaan untuk mendapatkan komposisi yang optimal untuk menahan peluru yang terbuat dari serat rami, fiber karbon dan dengan matriksepoxy resin.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rompi anti peluru dari bahan kevlar yang beredar di pasaran umumnya telah memenuhi standar NIJ 0101.06 tetapi dalam beberapa aspek masih memiliki kekurangan. Sulitnya bahan dasar Kevlar yang didapat sehingga perlu bahan dasar pengganti.

Perlunya konfigurasi terbaik dari bahan dasar serat alam rami, fiber karbon dan HGM epoxy untuk menahan energi impact dari proyektil peluru dengan bobot yang ringan dan sesuai dengan standard NIJ 0101.06

Rompi anti peluru dengan konfigurasi terbaik yang terbuat dari serat Rami, fiber karbon dan HGM epoksi yang dibuat harus mampu menahan energi dan meneruskan energi ke tubuh pengguna kurang dari 170 Joule sesuai dengan jurnal Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan hasil yang di inginkan maka batasan masalah mengacu pada *NIJ STANDART "Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06"*
2. Diameter serat rami di asumsikan sama.
3. Serat rami yang di gunakan dari BALITTAS (Balai Penelitian Tanaman dan Seart) Malang
4. Pencampuran HGM dan *epoxy* di asumsikan merata

### **1.4 Tujuan**

Didapatkan prototype dengan rompi anti peluru konfigurasi terbaik panel dari serat rami HGM epoksi dan *fiber carbon* dengan standar NIJ 0101.06 "Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06"

### **1.5 Manfaat**

Penelitian ini di harapkan bisa bermanfaat untuk referensi pihak yang ingin mengembangkan rompi anti peluru dengan serat alam dan sebagai bahan pertimbangan lembaga terkait untuk produksi rompi anti peluru.

### **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika laporan penelitian yang digunakan yaitu:

1. BAB I, merupakan bab yang berisi tentang pendahuluan. Pada bab ini dibagi menjadi 4 bagian yaitu latar belakang percobaan, rumusan masalah, tujuan percobaan, dan sistematika laporan.
2. BAB II, berisikan tentang dasar teori yang mendasari penelitian.
3. BAB III, membahas tentang metodologi percobaan.
4. BAB IV, ini membahas tentang analisa data dan pembahasan. Di dalamnya terdapat 4 sub bab di dalamnya antara lain data percobaan dan hasil perhitungan.
5. BAB V, merupakan bab yang memuat tentang kesimpulan dan saran

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Komposit *epoxy*-Serat rami merupakan komposisi dengan matrik epoksi dengan penguat serat alam Rami. Serat Rami memiliki keunggulan modulus elastisitas dan densitas yang hampir sama dengan Kevlar. Selain itu, serat rami memiliki *break strain* lebih tinggi dari Kevlar. Rami juga memiliki beberapa kelebihan. Misalnya, dapat diproduksi dengan investasi rendah, prosesnya mudah, tidak memerlukan alat khusus dan tidak menyebabkan iritasi pada kulit. Rami juga merupakan isolator panas dan akustik yang baik. Rami pun terbarukan dan ramah lingkungan. Modulus elastisitas rami 44-90 gigapaskal, sedangkan Kevlar 40-140 gigapaskal. Tapi regangan patah (*break strain*) pada rami lebih tinggi daripada Kevlar (rami 2 persen dan Kevlar 1-3 persen). Densitas Kevlar dan rami pun hampir sama. Rami 1,50 gram per sentimeter kubik dan Kevlar 1,45 gram. Pada penelitian sebelumnya menggunakan berbagai resin, maupun berbagai bahan penguat seperti polipropilena dan anyaman kawat. Dari penelitian tersebut di dapat kekuatan pada level II A dengan bobot (1,124kg). Sesuai dengan NIJ Standard-0101.06.

Penelitian tentang pengaruh penyerapan energi *impact* pada bumper kendaraan dengan menggunakan material komposit HGM (*Hollow Glass Microsphere*) dengan matrix *epoxy*. Pengujian menggunakan 5 buah spesimen dengan variasi ketebalan 4 mm hingga 8 mm. Penelitian 6 tersebut menyimpulkan bahwa material ini mampu menyerap hingga 86,39% energi *impact* yang diberikan (Hindun, 2015). Di tahun yang sama, dilakukan penelitian tentang penyerapan energi *impact* dan kerusakan rompi anti peluru terhadap beban balistik proyektil. Pada penelitian tersebut rompi anti peluru menggunakan material komposit *epoxy* HGM (*Hollow Glass Microsphere*). Hasil penelitian menunjukkan rompi anti peluru dengan ketebalan 25 mm mampu

menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149.5 Joule (Zahra, 2015).

Penelitian yang dilakukan oleh Pulungan, tentang penyerapan energi *impact* dan BFS (*Back Face Signature*) yang terjadi pada plat pelindung rompi anti peluru yang terbuat dari HGM (*Hollow Glass Microsphere*) -karbon fiber dengan matrix *epoxy*. Material komposit ini dibuat menggunakan HGM (*Hollow Glass Microsphere*) dengan fraksi volume 16% dan dilapisi dengan serat karbon pada bagian belakang. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa material komposit dengan tebal total 20 mm menyerap energi kinetik peluru dan meneruskan ke pengguna sebesar 138,77 J dan mempunyai bobot sebesar 1,384 kg dan memenuhi standar dari NIJ 0101.06 dengan kedalaman BFS (*Back Face Signature*) sebesar 3,28 mm (Pulungan, 2017).

Rompi anti peluru dengan ketebalan 16.40 *epoxy* – HGM (*Hollow Glass Microsphere*) – karbon fiber HGM (*Hollow Glass Microsphere*) 10 mm dan 8 layer karbon fiber. Energi yang diteruskan 160.35 Joule. Dan aman untuk digunakan sesuai standart Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher. (Wira, 2017). Rompi anti peluru dengan konfigurasi HGM (*Hollow Glass Microsphere*) – Sisal dan 10 lapis serat karbon meneruskan energi 98,14 Joule (Ridho Azhari, 2017).

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru (Bulletproof vest) adalah baju pelindung atau baju zirah yang melindungi bagian tubuh seperti dada, perut, dan punggung orang yang memakainya dari proyektil peluru dan serpihan dari ledakan granat. Umumnya digunakan oleh personel militer dan orang-orang yang memiliki risiko terkena tembakan. Jenis-jenis rompi anti peluru yang beredar dipasaran dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *Soft Body Armor* dan *Hard Body Armor*.

a. *Soft body armor*

*Soft body armor* adalah rompi anti peluru yang terbuat dari serat aramid. Satu lapisan kevlar tebalnya kurang dari 1 mm, umumnya standar baju terdiri hingga 32 lapisan dan beratnya biasa mencapai 10 kg. Rompi ini cenderung lebih ringan sehingga menguntungkan untuk digunakan dalam tugas-tugas penyamaran, atau pengamanan bagi personel intelijen.



Gambar 2.1 *Soft Body Armor*  
(<http://leveliiibodyarmor.blogspot.co.id>)

b. *Hard Body armor*

Dengan menambahi *soft body armor* dengan lapisan tertentu, dapat dihasilkan rompi anti peluru *hard body armor*. Umumnya lapisan terbuat dari keramik ( $Al_2O_3$  "Alumina"), lempengan logam atau komposit. Bentuknya yang tebal dan berat menjadikannya tidak nyaman, hingga jarang dikenakan dalam tugas keseharian. Hanya

dalam tugas khusus yang beresiko tinggi, seperti operasi militer atau operasi tim SWAT yang akan mengenakan *hard body armor*.



Gambar 2.2 *Hard Body Armor*  
(<https://www.army-technology.com>)

### 2.2.2 Peluru

Proyektil peluru, mata peluru, atau anak peluru (peluru atau pelor dari bahasa Portugis: *pelouro* atau *pellouro*) adalah proyektil padat yang ditembakkan dari senjata api atau senapan angin, yang terbuat dari logam, umumnya dari timbal. Sebuah proyektil peluru merusak target dengan cara menembusnya dengan energi kinetik yang dihasilkan oleh kecepatannya yang sangat tinggi. Dalam konteks modern, sebuah proyektil peluru bersama dengan selongsong, bubuk mesiu, Rim, dan primer merupakan bagian dari amunisi. Cara kerja saat ditembakkan adalah dengan mendorong proyektil peluru dengan energi kinetik yang dihasilkan ledakan propelan, yang biasanya adalah bubuk mesiu. Bahan peledak ini dinyalakan oleh detonator kecil yang disebut primer.





Gambar 2.3 Contoh dan Jenis Peluru  
(<http://anonymous-1997.blogspot.com>)

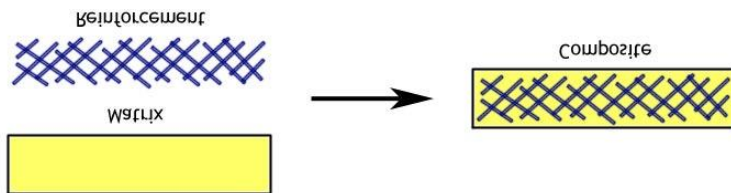
### 2.2.3. Komposit

Komposit merupakan material gabungan yang tersusun dari dua atau lebih material dengan sifat mekanik yang berbeda. Penggabungan material ini bertujuan untuk mendapatkan material ketiga dengan sifat mekanik yang lebih baik secara makroskopik. Sifat mekanik yang dapat ditingkatkan dalam pembuatan komposit antara lain :

1. Kekuatan
2. Kekakuan
3. Ketahanan aus
4. Ketahanan korosi
5. Fatigue life
6. Ketahanan thermal
7. Ringan

Pada umumnya, sifat mekanik tidak dapat ditingkatkan bersamaan dalam satu waktu, atau membutuhkan perlakuan khusus untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan. Hal ini dikarenakan ada beberapa sifat mekanik yang berlawanan secara alami (contoh, konduktifitas thermal berlawanan dengan *thermal insulation*).

Kebanyakan material komposit hanya tersusun dari dua fasa saja, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks adalah unsur penyusun terbanyak yang berkesinambungan mengelilingi penguat. Matriks mempunyai peran sebagai penghubung antar penguat, menahan dan meneruskan tegangan yang diterima oleh material komposit. Sedangkan penguat merupakan unsur yang tersebar diantara matriks. Penguat merupakan unsur utama yang menerima tegangan.



Gambar 2.4 *Matrix, Reinforcement* dan *Composite*  
(<https://artikel-teknologi.com>)

Properties material komposit merupakan fungsi dari properties matriks, jumlah relative, persebaran penguat, ukuran penguat, dan arah penguatnya. Komposit diklasifikasikan berdasarkan matriksnya menjadi :

a. *Polymer Matrix Composite*

*Polymer Matrix Composite* (PMCs) adalah komposit yang menggunakan Polimer sebagai matriks. PMCs banyak dikembangkan dalam dunia komposit karena pembuatannya yang mudah serta biaya yang tidak mahal

Contoh : *Aerospace Industry*

b. *Metal matrix composite*

*Metal Matrix Composite* (MMC) adalah komposit dengan fasa kontinunya merupakan metal. MMC memiliki beberapa keuntungan

diantaranya mampu bekerja di temperature tinggi, penguatnya dapat ditingkatkan secara spesifik, serta lebih tahan terhadap korosi. Namun MMC lebih mahal dibandingkan dengan PMC

Contoh : *Automobile Manufacture*

c. *Ceramic Matrix Composite*

*Ceramic Matrix Composite* (CMC) adalah komposit yang memiliki matriks keramik. CMC dapat digunakan pada temperatur tinggi.

Contoh : turbin gas pesawat terbang

d. *Carbon-Carbon Composites*

*Carbon-Carbon Composites* merupakan komposit yang tersusun dari fase kontinu (matriks) dan penguat berupa karbon. Komposit jenis ini tergolong baru dan mahal.

Contoh : Motor roket, komponen mesin press.

Komposit diklasifikasikan berdasarkan penguatnya menjadi :

a. *Fiber komposit material*

Fiber Komposit material adalah komposit terbuat dari serat dengan kekuatan dan modulus yang tinggi, terikat baik dengan matriksnya. Dapat dibedakan menjadi 2, serat panjang dan serat pendek.

Contoh : *Fiber Reinforcement plastic*

b. *Partikel komposit material*

Partikel komposit material adalah komposit yang diberi penguat berbentuk partikel atau serbuk.

Contoh : beton

c. *Struktural*

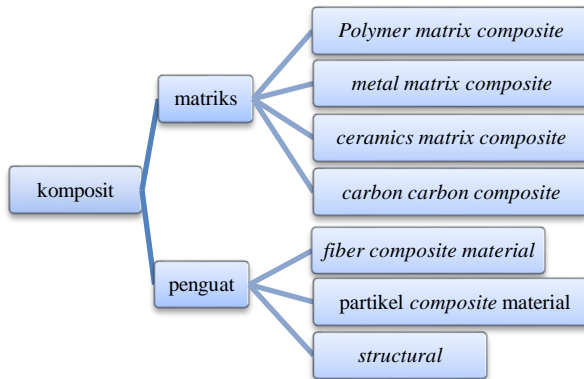
Struktural komposit normalnya tersusun dari dua buah komposit yang homogen. Sifat mekanik

yang diinginkan tidak hanya tergantung pada properties pokok material yang tersusun namun juga bergantung pada geometri desain, dan berbagai macam element struktur. Umumnya berbentuk laminar, dan sandwich.

Contoh : tembok bangunan, ekor pesawat terbang.

### 2.2.3.1 Material Komposit Serat

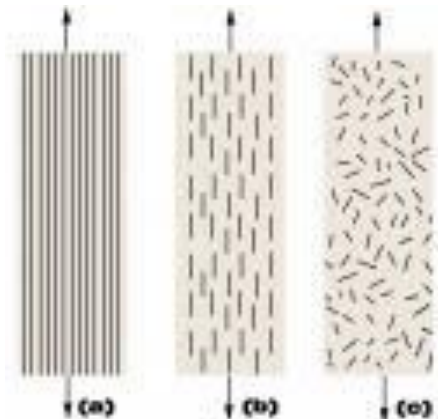
Komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi,



misalnya serat dengan resin sebagai bahan perekat, sebagai contoh adalah FRP (*Fiber*

Gambar 2.5 Klasifikasi komposit

*Reinforce Plastic*) plastik diperkuat dengan serat dan banyak digunakan, yang sering disebut *fiber glass*. Terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matriks dan serat. Skema penyusunan serat dapat dibagi menjadi tiga.



Gambar 2.6 (a) serat berturut, (b) serat terputus, (c) serat acak terputus

### 2.2.4 Komposit Serat Rami

Tanaman rami (*Boehmeria nivea*) merupakan tanaman tahunan yang mudah tumbuh dan berkembang baik di daerah tropis. Rami merupakan tanaman yang serba guna. Daunnya merupakan bahan kompos dan pakan ternak bergisi tinggi, pohonnya baik untuk bahan bakar, tetapi yang paling bernilai ekonomi tinggi adalah serat dari kulit kayunya. Serat rami ini merupakan bahan yang dapat diolah untuk kain fashion berkualitas tinggi dan bahan pembuatan selulosa berkualitas tinggi (*selulose  $\alpha$* ). Selulosa  $\alpha$  berkualitas tinggi merupakan salah satu unsur pokok pembuatan bahan peledak dan atau propelan (*propellant*) yaitu isian dorong untuk meledakkan peluru. Kayu dan serat rami dapat diolah menjadi *pulp* berkualitas tinggi sebagai bahan baku pembuatan aneka jenis kertas berharga.

Tanaman rami juga sangat baik ditanam di lahan gundul atau di lereng ketinggian yang memiliki kemiringan besar. Karena rami tumbuh dari tunas akar sehingga dapat tumbuh dan berkembang biak berumpun dengan cepat seperti halnya bambu. Oleh karena itu tanaman rami sangat efektif untuk menahan erosi.

Bentuk Serat Rami. Serat rami panjangnya sangat bervariasi dari 2,5 cm sampai dengan 50 cm dengan panjang rata-rata 12,5 cm sampai dengan 15 cm. diameternya berkisar antara 25  $\mu$  sampai dengan 75  $\mu$  dengan rata-rata 30 – 50  $\mu$ . Bentuk memanjang serat rami seperti silinder dengan permukaan bergaris-garis dan berkerut-kerut membentuk benjolan-benjolan kecil. Sedangkan irisan lintang berbentuk lonjong memanjang dengan dinding sel yang tebal dan lumen yang pipih.

Tabel 2.1 *Mechanica Properties* Serat Rami

Diameter	0.04-0.08 mm
Massa Jenis	1.5-1.6 gr/cm <sup>3</sup>
Kekuatan Tarik	400-1050 Mpa
Modulus Elastisitas Tarik	61.5 Gpa
Regangan	3.6%

Membujur Bentuk memanjang seperti silinder dengan permukaan bergaris-garis dan berkerut-kerut membentuk benjolan-benjolan kecil. Melintang Bentuk lonjong memanjang dengan dinding sel yang tebal dan lumen yang pipih. Ujung sel tumpul dan tidak berlumen.



Gambar 2.7 Tanaman rami (*Boehmeria nivea*)  
(<https://fitinline.com>)

#### **2.2.4.1 Polimer Matiks Komposit**

Polimer memiliki arti kata bagian yang banyak, atau dapat dikatakan sebagai molekul dengan unit yang banyak berulang. Polimer matriks komposit tersusun dengan menggunakan polimer sebagai matriksnya. Polimer diklasifikasikan berdasar sifatnya menjadi 3 jenis yaitu:

##### *1. Thermosetting*

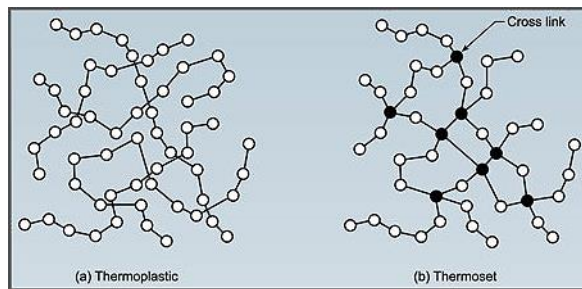
Polimer jenis thermoset bila dipanaskan di atas temperatur kritis, ia dapat mengeras, tetapi bila dipanaskan kembali ia tidak akan menjadi lunak. Sehingga, polimer jenis ini tidak mampu dibentuk dengan proses pemanasan dan tidak dapat didaur ulang.

Contoh : *epoxy*, *polyester*, dan *phenolic*

## 2. Thermoplastic

Polimer jenis thermoplastic ketika dipanaskan di atas temperature kritisnya ia akan menjadi lunak. Polimer jenis ini dpat diberi perlakuan panas dan dapat didaur ulang.

Contoh : *polyethylene* (PE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), dan *polystyrene*.



Gambar 2.8 Termoplastik dan termoset

### 2.2.5. Epoxy

*Epoxy* Resin didefinisikan sebagai sebuah molekul yang terdiri lebih dari satu kelompok epoxide. *Epoxy* merupakan produk reaksi dari epiklorodin dan bisphenol-A. *Epoxy*-resin dpat bereaksi satu sama lain melalui penambahan co-reactan yang sering disebut sebagai pengeras. Reaksi cross-lingking terjadi dalam pencampuran tersebut, yang umumnya disebut sebagai curing membentuk polimer jenis thersmoset.

Pada umumnya *epoxy* juga merupakan tipe adhesive yang kuat untuk melekatkan dan melindungi permukaan. *Epoxy*-resin merupakan polimer dengan ketangguhan dan kekakuan yang baik. Selain itu memiliki keras, getas, ketahanan terhadap zat kimia dan panas yang baik, penyusutan yang rendah, penyerapan air yang



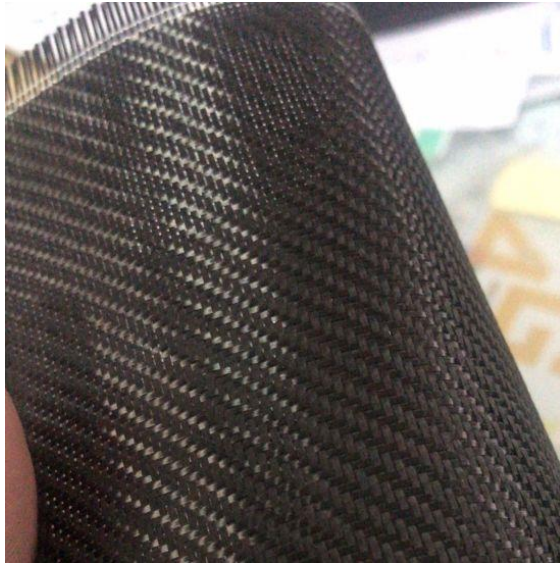
rendah, dan dapat melekat baik dengan . penguat dalam komposit. Properties dari *epoxy* ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 *Mechanical Properties Resin*

Mechanical Properties <i>Epoxy</i>	
Glass transition temperatur	120 - 130 C
Tensile strengt	85 N/mm <sup>2</sup>
Tensile Modulus	10500 N/mm <sup>2</sup>
Elongation	0,80%
Flexural strength	112 N/mm <sup>2</sup>
Flexural Modulus	10000N/mm <sup>2</sup>
Compresive Strenght	190 N/mm <sup>2</sup>
Coefficient of linear thermal expansion	34 10 <sup>-6</sup>
Water absorption 24hour at 23C	5-10 mg (0,06 -0,068%) ISO 62 (1980)

### 2.2.6 Fiber Karbon

*Carbon* fiber atau serat karbon merupakan bahan yang sangat tipis yang terdiri dari serat dengan ketebalan 0,005-0,01 mm dan sebagian besar terdiri dari karbon atom. Atom karbon berada sejajar dengan panjang serat dan terikat bersama di dalam satu kristal mikroskopis. Beberapa ribu serat karbon tersusun menjadi sebuah benang, yang pada akhirnya akan dapat dibentuk anyaman atau kain.



Gambar 2.9 Fiber Karbon 12k  
(<https://haisan.en.made-in-china.com>)

Serat karbon dapat digunakan sebagai penguat pada material komposit dikarenakan memiliki weight-to-strength yang baik dikarenakan kepadatan yang rendah jika dibandingkan dengan baja. Sifat serat karbon seperti kekuatan tarik tinggi, berat jenis rendah, dan ekspansi dikarenakan panas yang rendah sangat cocok bila diaplikasikan pada material luar angkasa, militer maupun otomotif.

Tabel 2.3 *Mechanical Properties Fiber Karbon*

Spesifikasi TC35R-12K		
Properties	Value	Unit
Tensile Strength	620	Ksi
Tensil Modulus	35,5	Msi
Yield	812	Tx
Elongation	1,62	%
Density	1,79	g/cm <sup>3</sup>
Sizing	1,18	wt%
<i>CarbonContent</i>	92,5	%

Sifat dari karbon fiber dipengaruhi oleh beberapa faktor. Satu faktor yang paling utama adalah arah atau alur serat karbon. Berbeda dengan material logam, karbon fiber khususnya dan material komposit lain pada umumnya, disebut sebagai material anisotropik. Maksudnya adalah sifat properti material ini dipengaruhi oleh bentuk dan arah serat penyusunnya. Sehingga kekuatan karbon fiber sangat bergantung terhadap bentuk dan arah serat karbon penyusunnya. Di sisi lain, material-material semacam logam, plastik, dan berbagai macam lainnya memiliki sifat yang tetap sekalipun bentuk dan arah butir-butir molekulnya berbeda-beda. Karena itulah material-material ini disebut material isentropik.

Berikut adalah beberapa faktor utama yang mempengaruhi sifat-sifat karakteristik karbon fiber:

1. Tipe serat karbon dan resin yang digunakan.
2. Rasio campuran serat karbon dan resin.
3. Bentuk serat karbon: searah, bersilangan, berkaitan, atau tidak tentu.
4. Kualitas serat: distribusi serat yang merata, ada tidaknya celah.

Proses pembuatan karbon fiber sebagian merupakan proses kimia dan sebagian yang lain adalah proses mekanik. Berikut adalah tahapan proses manufaktur karbon fiber yang menggunakan bahan baku polyacrylonitrile:

### 1. *Spinning*

Bubuk acrylonitrile dicampur dengan plastik lain seperti methyl acrylate atau methyl methacrylate, serta direaksikan dengan katalisator untuk menghasilkan plastik polyacrylonitrile. Plastik ini lalu dibentuk menjadi serat dengan jalan mencampurnya dengan bahan kimia tertentu lalu dipompa melewati nozzle kecil ke dalam sebuah wadah berisi cairan kimia sehingga ia terkoagulasi dan memadat membentuk serat-serat. Pada proses ini terjadi pembentukan struktur atom di dalam serat. Selanjutnya fiber dicuci dan ditarik (*stretching*) untuk mendapatkan ukuran diameter yang diinginkan.

### 2. *Stabilizing*

Sebelum proses selanjutnya, fiber dipanaskan di media udara pada suhu 200-300°C untuk mengikat molekul oksigen dari udara sehingga susunan ikatan kimia molekul serat menjadi lebih stabil. Karena proses kimia yang terjadi akan menimbulkan panas internal, maka pengawasan proses ini harus dilakukan dengan ketat untuk menghindari *overheating*. Proses ini biasanya dilakukan dengan jalan melewati serat ke beberapa ruang panas yang tersusun secara seri.

### 3. *Carbonizing*

Setelah molekul serat stabil, serat dipanaskan pada temperatur 1.000-3.000°C di dalam ruangan berisi campuran gas yang tidak mengandung oksigen sama sekali. Tidak adanya kandungan oksigen di dalam ruang pemanas berfungsi untuk mencegah terbakarnya serat karbon. Tekanan gas di dalam pemanas dijaga lebih tinggi daripada tekanan udara atmosfer untuk mencegah udara luar masuk ke dalam pemanas. Selain itu sisi keluar dan masuk serat

karbon di-sealing untuk mencegah kebocoran gas. Tahapan proses ini berfungsi untuk menghilangkan atom-atom non-karbon yang terkandung di dalam serat seperti uap air, gas amonia, karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen, nitrogen, dan lain sebagainya. Keluarnya molekul-molekul non-karbon tersebut akan membuat molekul-molekul karbon saling membentuk ikatan kristal yang lebih kuat. Proses karbonisasi ini biasanya melibatkan dua atau lebih ruang pemanas yang masing-masing berbeda temperatur untuk lebih memudahkan dalam mengontrol kenaikan temperatur.

#### 4. *Oxidation*

Setelah proses karbonisasi, permukaan fiber tidak memiliki ikatan yang kuat dengan resin maupun juga komponen komposite lainnya. Untuk menghasilkan ikatan yang kuat dipermukaan fiber, maka diperlukan proses oksidasi lanjutan. Penambahan atom oksigen akan menghasilkan ikatan kimia yang lebih kuat pada permukaannya, serta menghasilkan semacam lapisan kuat dipermukaan serat. Proses oksidasi ini dapat dilakukan dengan merendam serat karbon di dalam udara, karbon dioksida, ozon, atau cairan kimia seperti sodium hipoklorit dan asam nitrit. Proses ini harus dikontrol dengan amat cermat agar tidak menimbulkan cacat permukaan.

#### 5. *Sizing*

Setelah proses perlakuan permukaan, serat karbon dilapisi dengan bahan yang sesuai dengan tipe resin yang digunakan, seperti *epoxy*, *polyester*, *nylon*, *urethane*, dan bahan lainnya. Pelapisan ini berfungsi untuk melindungi fiber dari kerusakan pada proses selanjutnya. Serat karbon yang telah dilapisi ini berbentuk lembaran dan digulung untuk proses penyimpanan. Gulungan serat karbon ini disebut *bobbin*. Serat karbon dalam bentuk lembaran ini siap dipotong dan dibentuk untuk berbagai kebutuhan.

### **2.2.7 Hollow Glass Microsphere**

Sejak pertengahan tahun 1960-an, *hollow glass microsphere* (HGM) banyak digunakan sebagai pengisi yang memiliki densitas rendah untuk berbagai jenis senyawa polimer. HGM merupakan kaca berdingding tipis yang berrongga dan terbuat dari kaca yang mengandung sodium borosilicate. HGM tidak cukup kuat untuk menahan gaya geser yang tinggi dan tekanan tinggi yang terlibat dalam pembuatan plastik dan injection molding.



Gambar 2.10 *Hollow Glass Microsphere* (HGM)  
(<http://www.plasticsnews.com/>)

Sampai pada tahun 1980-an, 3M memperkenalkan microsphere kaca seperti gambar 2.15 dengan kekuatan isostatic (penggunaan tekanan kekuatan proporsi yang sama dari segala arah) yang mencapai 10.000 psi, lebih dari dua kali kekuatan sebelumnya yang tersedia. Dengan ditemukannya jenis ini berarti bahwa HGM dapat digunakan sebagai pengisi dalam proses-proses yang membutuhkan tegangan geser cukup tinggi. Pada jenis

HGM iM30K, memiliki kekuatan tekan (kompresi) tertinggi di dunia untuk produk tersebut dan juga memiliki rasio strength-to-density tertinggi dari jenis-jenis HGM di pasar. Terbuat dari bahan soda / kapur borosilikat (soda/lime borosilicate) , dapat menahan tekanan injection molding hingga sekitar 30.000 psi. Memiliki ukuran rata-rata 16 micron tiap butirnya , serta memiliki kekuatan isostatic mencapai 28.000 psi dengan densitas 0,6 g/cc

Tabel 2.4 *Physical Properties Hollow Glass Microsphere*

Physical Propertis		
Property	IM30K	Test Method
Isostatic Crush Strength (psi)	28000	3M QCM 14.1.8
True density (g/cc)	0,6	3M QCM 14.24.1
Packing Factor (bulk density to true particle density)	63%	
Oil Absorbtion (g oil/100cc)	33,5	ASTM D282-84 OF POLYMER ADDITIVE
Softening (*C)	600	
Floating (density<1.0 g/cc)	90%	3M QCM 37.2
Volatile Content (by weight)	0,5% max	3M QCM 1.5.7
Alkalinity (millequivalents)	0,5	3M QCM 55.19/gram max
pH (5% loading water)	9,5	ASTM D3100-1982
Diameter (average)	19 microns	3M QCM 193.0

### 2.2.8 NIJ STANDART “Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06”

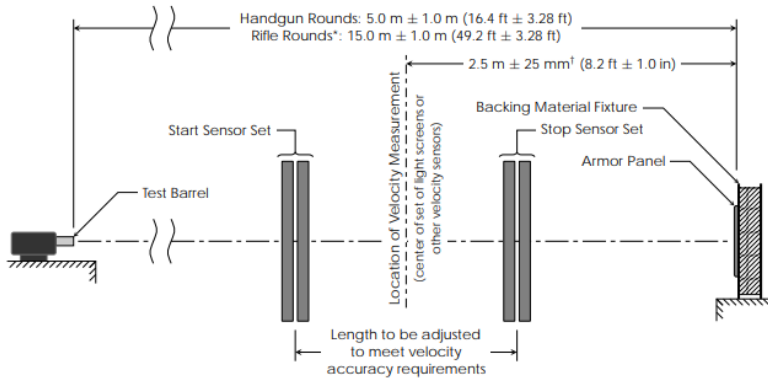
NIJ 0101.06 adalah standart pengujian balistik yang di terbitkan lembaga resmi pemerintah Amerika Serikat. Dalam membuat rompi anti peluru harus lulus uji dan standar agar pengguna aman saat menggunakan. Kriteria dan syarat kerja bisa dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.5 Syarat dan Kriteria Kerja NIJ 0101.06

Syarat Pengujian	Tolak Ukur Kriteria
Jarak tembak dari ujung laras hingga spesimen uji balistik sebesar 5 meter	Back Face Signature tidak lebih dari 44mm
Peluru yang di gunakan tipe III dengan kecepatan 1430ft/s dengan unit S&W 354 <i>full metal jacket</i> (FMJ)	Energi yang di teruskan rompi anti peluru kepada pengguna tidak lebih dari 170 J
	Rompi anti peluru tidak tembus oleh proyektil peluru

Jarak dan pengkondisian uji tebak pada rompi anti peluru juga sesuai standar NIJ 0101.06 yang dapat di lihat pada gambar di bawah ini



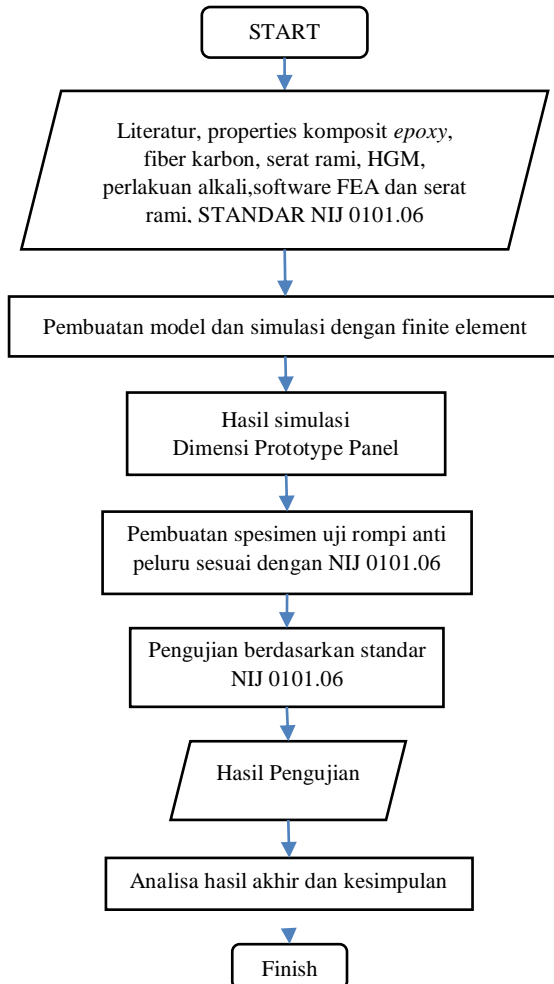


Gambar 2.11 Ilustrasi uji tembak rompi anti peluru  
(NIJ 0101.06)

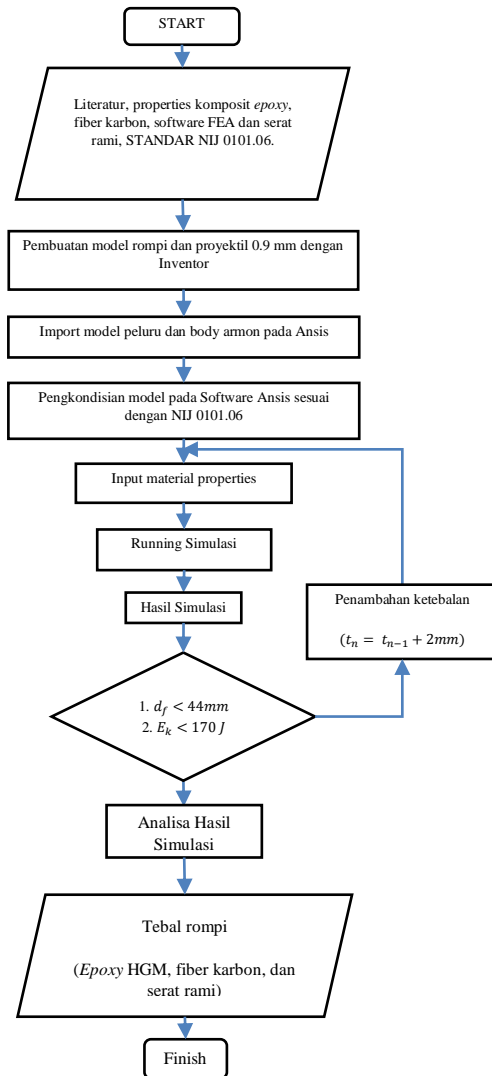
**(Halaman ini sengaja di kosongkan)**

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir simulasi

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari informasi yang diperlukan untuk menunjang penelitian. Berikut informasi yang di dapat dari studi literatur :

1. Hasil penelitian sebelumnya

Dari penelitian sebelumnya terkait dengan penggunaan serat rami dalam bahan dasar pembuatan rompi anti peluru telah dilakukan oleh LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) pada tahun 2009. Penelitian sebelumnya terkait dengan penerapan material komposit *epoxy* – HGM dalam berbagai bidang, khususnya body amor oleh Zahra (2015). Lebih lanjut, penelitian terkait body amor dengan bahan keramik dan fiber telah dilakukan oleh Burger (2010).

2. Serat Rami

Serat tanaman rami (*Boehmeria nivea*) merupakan tanaman tahunan yang mudah tumbuh dan berkembang baik di daerah tropis. Serat rami panjangnya sangat bervariasi dari 2,5 cm sampai dengan 50 cm dengan panjang rata-rata 12,5 cm sampai dengan 15 cm. diameternya berkisar antara 25  $\mu$  sampai dengan 75  $\mu$  dengan rata-rata 30 – 50  $\mu$ .

3. Karbon Fiber

Literatur berupa data sheet material *carbon* fiber 12k yang diterbitkan oleh produsen. *Data sheet* berisi properties serta informasi pendukung terkait.

4. NIJ 0101.06

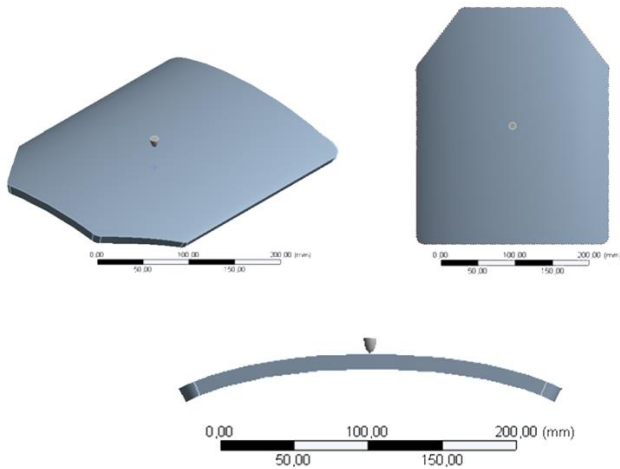
NIJ 0101.06 diterbitkan oleh US Department of Justice pada Agustus tahun 2005. Adapun NIJ 0101.06 berisi standar pengujian yang dilakukan terhadap rompi.

5. Hollow Glass Microsphere

HGM terbuat dari gelembung / bubuk kaca berukuran mikro dengan diameter 18 – 25 mikron dengan bentuk bola berongga. HGM biasanya digunakan sebagai pengisi alternatif. Adapun informasi lain berupa datasheet yang dikeluarkan oleh produsen.

### 3.3 Model Uji Rompi Anti Peluru

Geometri model uji yang digunakan mengacu pada NIJ 0101.04. Properties material yang diterapkan pada model disesuaikan dengan material yang akan digunakan pada pengujian eksperimental. Adapun geometri model uji tercantum pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Model rompi anti peluru



Gambar 3.4 Model proyektil peluru

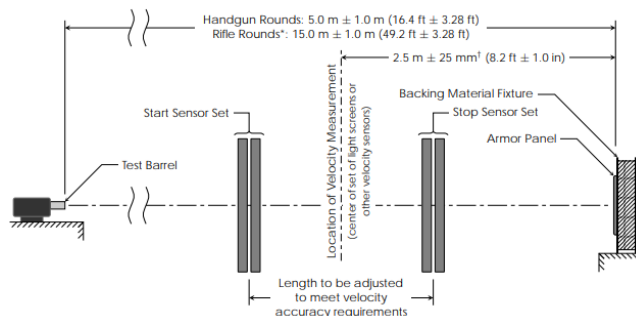
### 3.4 NIJ STANDART “Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06”

NIJ 0101.06 adalah standart pengujian balistik yang di terbitkan lembaga resmi pemerintah Amerika Serikat. Dalam membuat rompi anti peluru harus lulus uji dan standar agar pengguna aman saat menggunakan. Kriteria dan syarat kerja bisa dilihat pada tabel berikut

Tabel 3.1 Syarat dan Kriteria Kerja NIJ 0101.06

Syarat Pengujian	Tolak Ukur Kriteria
Jarak tembak dari ujung laras hingga spesimen uji balistik sebesar 5 meter	Back Face Signature tidak lebih dari 44mm
Peluru yang di gunakan tipe III dengan kecepatan 1430ft/s dengan unit S&W 354 <i>full metal jacket</i> (FMJ)	Energi yang di teruskan rompi anti peluru kepada pengguna tidak lebih dari 170 J
	Rompi anti peluru tidak tembus oleh proyektil peluru

Jarak dan pengkondisian uji tembak pada rompi anti peluru juga sesuai standar NIJ 0101.06 yang dapat di lihat pada gambar di bawah ini



Gambar 3.5 Ilustrasi uji tembak rompi anti peluru

### 3.5 Simulasi

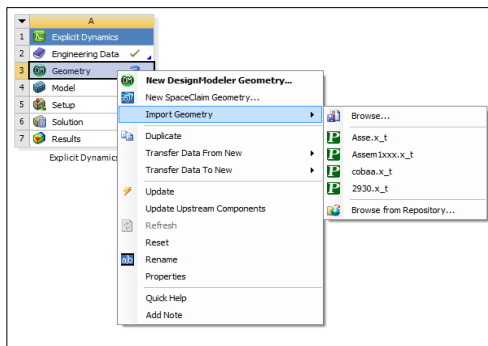
Simulasi pengujian NIJ 0101.06 terhadap *body armor* menggunakan perangkat lunak *finite element*. Adapun gambaran langkah-langkah simulasi adalah sebagai berikut:

#### 1. Pembuatan model

Geometri model uji proyektil dan rompi anti peluru mengacu pada ketentuan NIJ 0101.06. Pembuatan model menggunakan perangkat lunak 3D-CAD. Selanjutnya, dilakukan proses *assembly* terhadap model panel dan proyektil sesuai dengan ketentuan NIJ 0101.06. Setelah itu, model uji proyektil dan rompi anti peluru di-*export* ke dalam perangkat lunak *finite element*.

#### 2. *Material and properties*

Nilai properties dari suatu material dimasukkan ke dalam sub menu engineering data pada perangkat lunak *finite element*. Adapun properties material yang dimasukkan merupakan properties material *epoxy – Ramidengan fraksi volume 30%, 70%epoxy - HGM* serta *epoxy – carbon fiber TC35R 12k*.



Gambar 3.6 *Import model* pada *finite element*

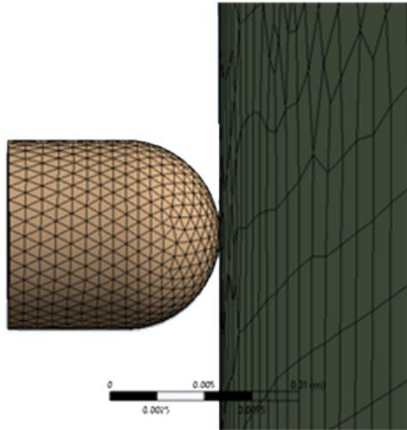


### 3. *Meshing*

*Meshing* atau penentuan simpul – simpul pengamatan suatu komponen yang terhubung satu sama lain (*nodes*). Pemilihan *meshing* ditujukan untuk mengatur tingkat keakuratan hasil simulasi. Pada penelitian ini menggunakan *meshing* 2 mm.



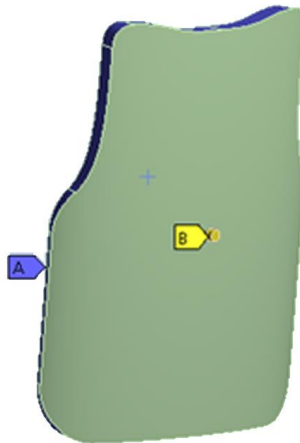
Gambar 3.7 *Meshing* Panel



Gambar 3.8 Meshing Proyektil

#### 4. *Boundary condition*

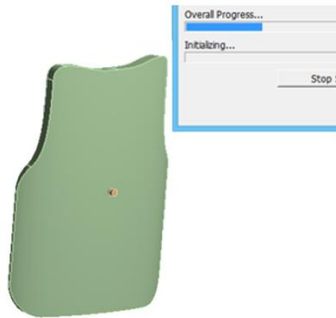
Pada boundary condition, dilakukan pengkondisian area-area fixed support dan pemberian initial condition seperti kecepatan yang bekerja pada model uji seperti pada gambar 3.9



Gambar 3.9 *Fix support panel rompi*

5. *Running*

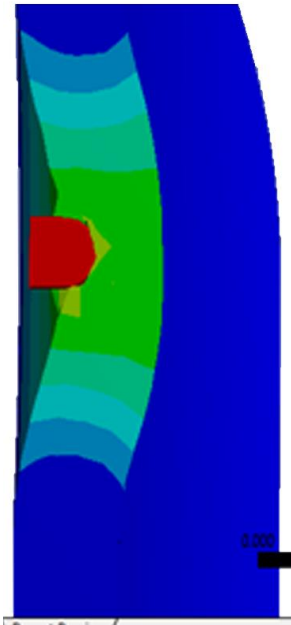
Proses *running* dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi.



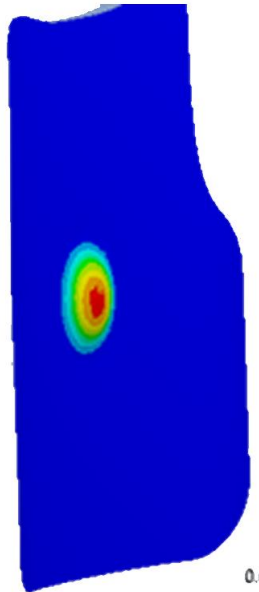
Gambar 3.10 *Running*

6. Analisa hasil simulasi

Analisa hasil simulasi ditujukan untuk memperoleh konfigurasi *epoxy* – Rami – *carbon fiber* yang memenuhi ketentuan NIJ 0101.06. Dari konfigurasi yang didapatkan, dipilih konfigurasi dengan massa paling ringan, BFS kurang dari 44mm dan tidak tembus peluru untuk selanjutnya dilakukan pembuatan *prototype*.



Gambar 3.11 Analisa hasil simulasi bagian depan



Gambar 3.12 Analisa hasil simulasi bagian belakang

### 3.6 Pembuatan spesimen uji

Spesimen uji dibuat berdasarkan hasil terbaik dari simulasi, yaitu geometri meliputi ketebalan dan konfigurasi jumlah lapisan *carbon fiber*. Dari konfigurasi yang didapatkan harus memenuhi kriteria uji balistik NIJ 0101.06. dan dipilih yang bobotnya ringan.

#### 3.6.1 Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Peralatan keselamatan : sarung tangan, masker, kacamata.
2. Resin *epoxy* dan *hardener*, Rami, *carbon fiber* TC35R-12K.
3. Alat bantu : Cetakan, timbangan digital, gelas plastik, penggaris, sumpit bambu, gunting.
4. Peralatan dan bahan pendukung yang lain (box).

### 3.6.2 Langkah – langkah

Adapun metode yang dilakukan pada pembuatan spesimen uji antara lain:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Permukaan cetakan dipastikan bersih dan diberikan *wax* dengan digosok secara merata dan dibiarkan kering.
3. Rendam serat rami pada larutan NaOH selama 2jam
4. Potong serat rami dengan panjang 2cm
5. Serat *Carbon* dan serat rami ditimbang dengan ketentuan pada penelitian
6. Serat *Carbon*, resin *epoxy* dan *hardener* dicampur dan diaduk secara merata.
7. Serat rami cacahdicampur dengan HGM dan epoksi resin di aduk hingga merata.
8. Masukkan serat adonan serat rami pada cetakan dan di tekan hingga menutup cetakan.
9. Tunggu hingga campuran *Carbon*-serat rami keras, lalu spesimen dilepaskan dari cetakan.
10. Tutup dengan plastik dan *seal tape* direkatkan pada bagian tepi spesimen.
11. Selang dan pompa penghisap resin dipasang. Pastikan tidak ada kebocoran sebelum spesimen di-*vacuum*.

### 3.7 Pengujian Balistik

Pengujian balistik dilakukan pada spesimen uji mengacu pada standar NIJ 0101.06. yang diterbitkan oleh *Department of Justice* USA. Pengujian dilakukan oleh instansi terkait dengan perizinan yang legal.

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisa Data Simulasi Rompi Anti Peluru**

Ketebalan dan jumlah lapisan *carbonfiber* untuk rompi anti peluru yang terbuat dari HGM, Serat Rami *chopped*, *carbonfiber* dengan matriks pengikat epoxy berpengaruh terhadap fungsi utama rompi anti peluru yaitu :

1. Penyerapan energi kinetik yang mampu di terima oleh tubuh manusia berdasarkan Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher menyatakan bahwa energi kinetik sebesar 170,2 Joule dapat menyebabkan kehilangan kesadaran sesaat (blackout) kepada pengguna.
2. Berdsarkan NIJ 0101.06 tentang *Back Face Signature*(BFS), deformasi pada belakang rompi anti peluru tidak lebih dari 44mm
3. Keberhasilan panel rompi anti peluru dalam menahan proyektil dibuktikan dengan tidak tertembusnya panel rompi anti peluru.

##### **4.1.1 Hasil Simulasi Fungsi Ketebalan dan Jumlah Lapisan *CarbonFiber* pada Rompi Anti Peluru HGM, Serat Rami *chopped*, *CarbonFiber* dengan Matriks Pengikat *Epoxy*.**

Hasil simulasi pada table 4.1 menunjukkan pengaruh ketebalan plat rompi anti peluru dan jumlah lapisan *carbonfiber* terhadap energi kinetik yang diteruskan pada tubuh, *Back Face Signature* dan penetrasi.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Panel Rompi Anti Peluru

Panel (mm)	FiberCarbon (layer)	Tebal Total (mm)	Penetrasi (mm)	B F S (mm)	Energi Kinetik (J)	Keterangan
6	2	7.6	17.10	25.30	210.22	Gagal Indentasi dan Energi
	4	9.2	17.00	14.47	189.10	Gagal Indentasi dan Energi
	6	10.8	13.14	13.19	161.75	Gagal Indentasi
	8	12.4	11.91	11.90	141.53	Gagal Indentasi
	10	14	9.33	10.16	130.17	Gagal Indentasi
7	2	8.6	20.12	35.30	201.56	Gagal Indentasi
	4	10.2	14.25	25.31	183.41	Gagal Indentasi dan Energi
	6	11.8	13.46	12.53	146.03	Gagal Indentasi
	8	13.4	12.20	6.21	138.52	Berhasil
	10	15	9.56	5.57	127.56	Berhasil
8	2	9.6	26.32	20.71	196.64	Gagal Indentasi dan Energi



	4	11.2	23.72	18.55	175.98	Gagal Indentasi
	6	12.8	16.10	10.01	140.56	Gagal Indentasi
	8	14.4	13.30	8.98	130.16	Berhasil
	10	16	12.97	4.61	122.78	Berhasil
9	2	10.6	24.91	28.12	193.56	Gagal Indentasi dan Energi
	4	12.2	20.09	21.74	172.33	Gagal Indentasi dan Energi
	6	13.8	16.31	10.12	151.57	Berhasil
	8	15.4	15.53	7.22	126.66	Berhasil
	10	17	14.15	9.59	117.34	Berhasil
10	2	11.6	13.67	24.96	183.12	Gagal Indentasi dan Energi
	4	13.2	12.73	21.70	162.72	Berhasil
	6	14.8	9.87	11.48	138.90	Berhasil
	8	16.4	8.63	6.23	125.29	Berhasil
	10	18	7.10	4.39	111.39	Berhasil

Sumber : Simulasi

 : Lolos

### 4.1.2 Hasil Bobot Panel Anti Peluru

Berat panel rompi anti peluru menjadi salah satu pertimbangan layak dijadikan material alternative dari rompi konvensional yang beredar di pasaran. SATBRIMOB Jawa Timur menggunakan spesifikasi panel sebagai berikut :

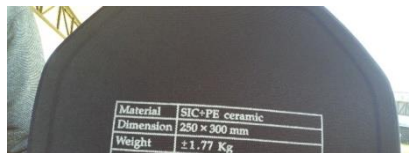
Material : SiC + PE

Dimensi : 250 x 300 x 22 mm

Berat : ~ 1.77 Kg



Gambar 4.1 Panel Anti Peluru J-Force BAP-51A



Gambar 4.1 Belakang Panel Anti Peluru J-Force BAP-51A

([www.j-foreces.co.id](http://www.j-foreces.co.id))

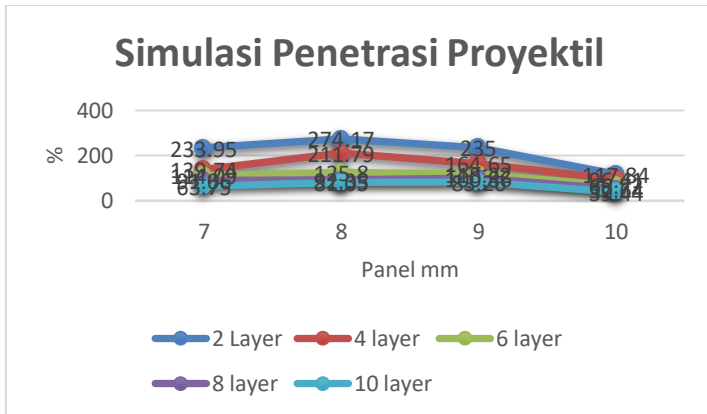
Hasil simulasi mengenai bobot atau berat dari rompi anti peluru dari konfigurasi yang memenuhi kriteria ditabulasikan pada table 4.2

Tabel 4.2 Hasil simulasi berat panel rompi anti peluru

Panel (mm)	<i>FiberCarbon</i> (unit)	Tebal Total (mm)	Bobot (kg)
7	8	13.4	1.618
	10	15	1.721
8	8	14.4	1.8507
	10	16	1.9311
9	6	13.8	2.0820
	8	15.4	2.2561
	10	17	2.3912
10	4	13.2	2.3134
	6	14.8	2.4314
	8	16.4	2.5614
	10	18	2.6197

## 4.2 Pembahasan Hasil Simulasi

### 4.2.1 Simulasi Penetrasi Proyektil



Gambar 4.3 Presentase Penetrasi pada Panel Anti Peluru

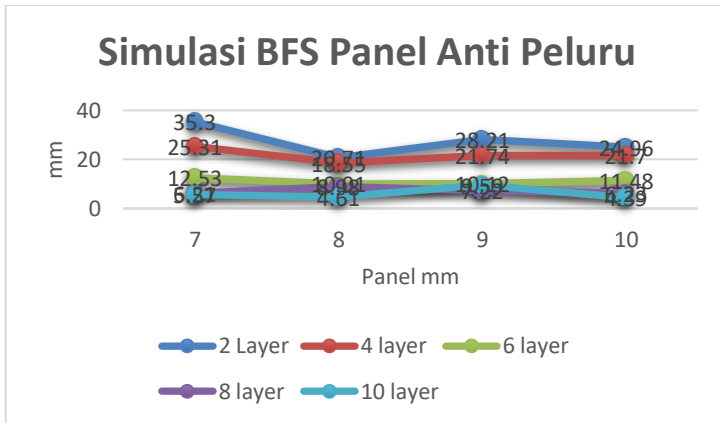
Berdasarkan pada Gambar 4.3 terdapat hubungan antara nilai penetrasi seiring dengan penambahan ketebalan rompi anti peluru. Grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan rompi anti peluru, maka kecenderungan persentase penetrasi yang terjadi akan semakin kecil. Persentase penetrasi dibanding dengan total tebal panel plat rompi tersebut.

Berdasarkan pada standar NIJ 0101.06, terdapat 9 konfigurasi ketebalan dari panel anti peluru yang memenuhi kriteria penetrasi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 dengan menunjukkan penetrasi dibawah 100%. Angka di bawah 100% menunjukkan bahwa rompi tidak tertembus dan mampu menahan proyektil. Konfigurasi yang memiliki nilai penetrasi terkecil

adalah konfigurasi dengan ketebalan 10 mm dengan jumlah lapisan *carbonfiber* 10 lapis dengan nilai penetrasi sebesar 7.10 mm. Konfigurasi ini juga mempunyai persentase penetrasi terkecil denn nilai 39.44 %. Ketebalan terkecil panel anti peluru di ketebalan 7 layer dengan 8layer karbon dengan nilai penetrasi 91.06%

Penambahan lapisan *carbonfiber* sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai penetrasi. Hal ini dapat dilihat pada konfigurasi 10 mm dengan variasi jumlah 10 lapisan *carbonfiber*. Penambahan kelipatan dua lapis jumlah lapisan *carbonfiber* pada ketebalan 6 mm HGM-Serat *rami* menurunkan persentase dari nilai penetrasi berturut turut sebesar 117.84 %, 96.41 %, 66.72%, 52.64% dan 39.44%. Dengan kata lain, peran dari material *carbonfiber* dalam menahan laju proyektil agar tidak menembus tebal dari rompi anti peluru sangat signifikan. Hal ini diakibatkan mekanikal property kekuatan tarik dari material *carbonfiber* yang sangat tinggi.

#### 4.2.2 Simulasi *Back Face Signature*



Gambar 4.4 *Back Face Signature* Panel Rompi Anti Peluru

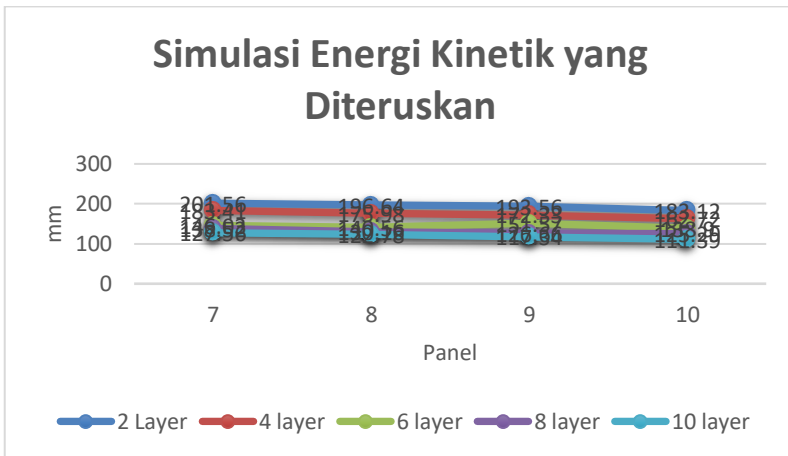
*Back Face Signature* adalah besar deformasi yang terjadi pada bagian belakang rompi anti peluru. Berdasarkan pada Gambar 4.4 terdapat hubungan antara *Back Face Signature* seiring dengan penambahan ketebalan rompi anti peluru. Grafik pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan rompi anti peluru, maka nilai *Back Face Signature* yang terjadi akan semakin kecil.

Berdasarkan pada standar NIJ 0101.06 dengan nilai maksimal *Back Face Signature* sebesar 44 mm, semua konfigurasi ketebalan dari rompi anti peluru memenuhi kriteria seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.4. Konfigurasi yang memiliki nilai *Back Face Signature* terkecil adalah konfigurasi dengan ketebalan

10 mm dengan jumlah lapisan *carbonfiber* 10 lapis dengan nilai *Back Face Signature* sebesar 4.39 mm.

Penambahan lapisan *carbonfiber* sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai *Back Face Signature*. Hal ini dapat dilihat pada contoh konfigurasi 7 mm dengan variasi jumlah lapisan *carbonfiber*. Penambahan kelipatan dua lapis jumlah lapisan *carbonfiber* pada ketebalan 7 mm HGM-Serat *rami* menurunkan nilai *Back Face Signature* berturut turut sebesar 35.3 mm, 25.31 mm, 12.53, dan 5.57 mm. Dengan kata lain, peran dari material *carbonfiber* dalam menahan proyektil peluru yang mengakibatkan deformasi agar tidak menembus tebal dari rompi anti peluru sangat tinggi. Dikarenakan kekuatan Tarik dan modulus young fiber karbon yang tinggi. Hal ini diakibatkan posisi *carbonfiber* di belakang serat dan material propertis kekuatan tarik dari material *carbonfiber* yang sangat tinggi.

### 4.2.3 Simulasi Energi Kinetik yang Diteruskan oleh Panel Anti Peluru



Gambar 4.5 Energi Kinetik yang Diteruskan oleh Panel Anti Peluru

Berdasarkan Gambar 4.4., terdapat hubungan antara energi kinetik yang diteruskan ke pengguna seiring dengan penambahan ketebalan rompi anti peluru. Grafik pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan rompi anti peluru, maka nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna akan semakin menurun.

Menurut Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher dengan limitasi nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 170.2 Joule, terdapat 13 konfigurasi ketebalan dari rompi anti peluru memenuhi kriteria seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.5. Konfigurasi yang



memiliki nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna terkecil adalah konfigurasi dengan ketebalan 10 mm dengan jumlah lapisan *carbonfiber* 10 lapis dengan nilai sebesar 111.39 Joule.

Penambahan ketebalan HGM-Serat *rami* sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna. Hal ini selaras dengan fungsi utama HGM yaitu meredam impact.

### **4.3 Hasil Eksperimen Uji Balistik Panel 13 mm 8 Layer Fiber Karbon**

Uji balistik di lakukan berdasarkan standar NIJ 0101.06 LEVEL IIIA dan dilakukan di lapangan tembak BATALYON A SATBRIMOB POLDA JATIM. Pengujian menggunakan unit HS – 9 9x19 menggunakan 2 tipe peluru kaliber 9mm. Pengujian jarak tembak sejauh 5 meter, dari eksperimen ini bertujuan untuk mengkonfirmasi simulasi dan mendapatkan data penetrasi dan *Back Face Signature*.



A

B

Gambar 4.6 (A) unit HS-9 (B) peluru caliber 9mm tipe 1 dan 2

### 4.3.1 Penetrasi Hasil Eksperimen

Berdasarkan NIJ 0101.06 rompi anti peluru di katakan berhasil tidak boleh melebihi dari tebal rompi atau kata lain proyektil harus bersarang di panel rompi anti peluru. Pengujian dilakukan 5 tembakan pada spesimen lalu dilakukan pengamatan *Back Face Signature*, penetrasi oleh proyektil.



(A) Panel Sebelum di Tembak (B) Panel Sesudah di Tembak

Gambar 4.7 (A) Panel Sebelum di Tembak (B) Panel Sesudah di Tembak

Tabel 4.3 Hasil Penetrasi Uji Balistik

Tembakan	Penetrasi (mm)
1	15.16
2	19.03
3	7.94
4	-
5	-

Sumber : Hasil Uji Balistik

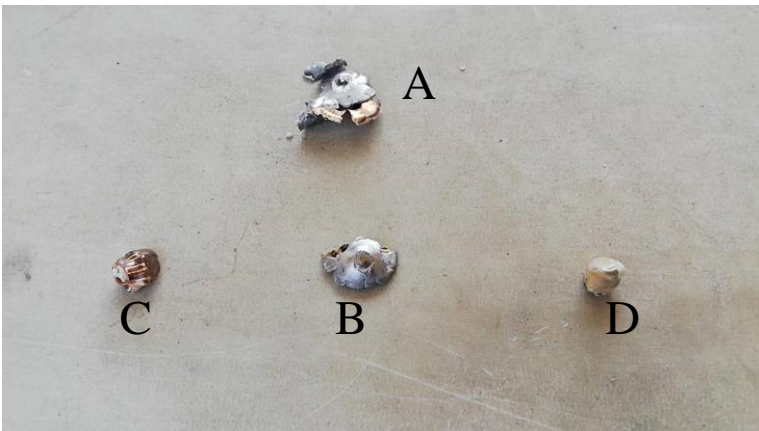
Tembakan pada titik 1 menggunakan caliber 9mm tipe 1 di dapatkan penetrasi 15.16 mm. Pada titik 2 menggunakan tipe caliber 9mm tipe 2 di dapatkan penetrasi 19.03 mm dan pada titik 3 menggunakan caliber 9mm tipe 1 dengan penetrasi 7.94 Hasil tembak pada titik 1,2 dan 3 berhasil, akan tetapi pada titik 4 dan 5 tertembus pada saat pembuatan spesimen ketebalan tidak uniform dikarenakan keterbatasan alat untuk membuat spesimen uji sehingga tidak dapat melakukan press pada saat mencetak.



(A) (B) (C)

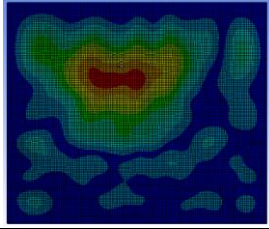

Gambar 4.8 (A) Hasil Pengukuran Titik 1 (B) Hasil Pengukuran Titik 2 (C) Hasil Pengukuran Titik 3

Adapun bentuk proyektil yang berhasil menembus panel yang di tangkap oleh material plat yang diletakan di belakang spesimen uji



Gambar 4.9 (A) proyektil titik 4 (B) proyektil titik 5 (C) proyektil titik 2 (D) proyektil titik 3

Tabel 4.4 Perbandingan Penetrasi Hasil Simulasi dan Eksperimen

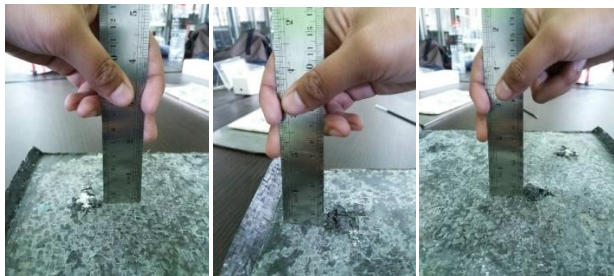
Model Penelitian	Tebal (mm)	Gambar	Penetrasi (mm)
Simulasi	13.4		12.20
Eksperimen	13.09 – 19.22		7.94 15.16 19.03

Tabel 4.4 menunjukkan perbedaan hasil simulasi dan eksperimen. Perbedaan ini diakibatkan oleh proses pembuatan rompi anti peluru baik dari sisi metodologi yaitu pencampuran HGM dan resin *epoxy*, proses penekanan serat *rami*, proses pelapisan *carbonfiber* dan proses *vacuum* yang menyebabkan adanya perbedaan hasil simulasi dan eksperimen. Kondisi unit senjata, temperatur

pengujian balistik dan sudut arah tembak juga dapat berpengaruh terhadap perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimen.

#### 4.3.2 *Back Face Signature* Hasil Eksperimen

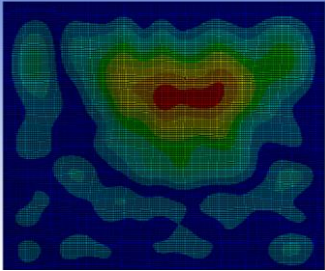
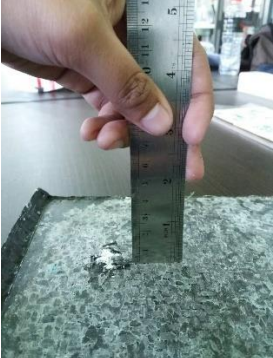
*Back Face Signature* yang terjadi saat pengujian balistik tidak boleh melebihi 44 mm sesuai standar NIJ 0101.06. Berikut *Back Face Signature* yang terjadi pada saat pengujian balistik dapat dilihat pada gambar 4.10

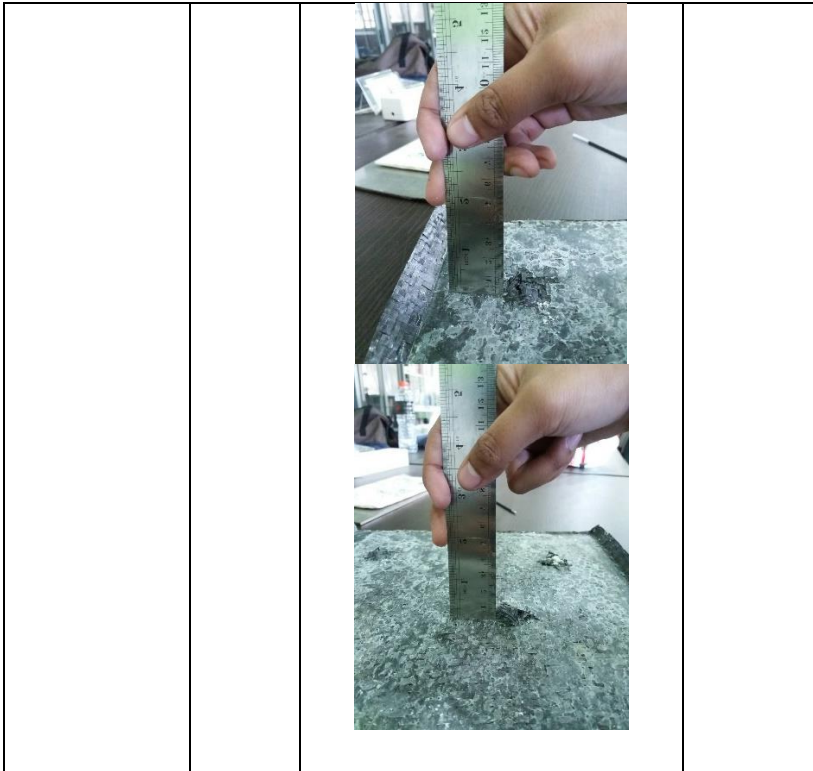


A B C  
Gambar 4.10 (A) BFS Titik 1 (B) BFS Titik 2  
(C) BFS 3

Hasil uji balistik menunjukkan *Back Face Signature* yang terjadi sebesar xx mm pada titik 1, xx mm pada titik 2 dan xx mm pada titik 3. *Back Face Signature* tersebut memenuhi standar NIJ 0101.06

Tabel 4.5 Perbandingan *Back Face Signature* Hasil Simulasi dan Eksperimen

Metode Penelitian	Tebal Panel (mm)	Gambar	BFS (mm)
Simulasi	13.4		6.21
Eksperimen	13.09 – 19.22		±10mm



Tabel 4.5 menunjukkan perbedaan *Back Face Signature* hasil simulasi dan eksperimen. Perbedaan ini diakibatkan oleh proses pembuatan rompi anti peluru baik dari sisi metodologi yaitu pencampuran HGM dan resin *epoxy*, proses penekanan serat *rami*, proses pelapisan *carbonfiber* dan proses *vacuum* yang menyebabkan adanya perbedaan hasil simulasi dan eksperimen. Kondisi unit senjata, temperatur pengujian balistik dan sudut arah



tembak juga dapat berpengaruh terhadap perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimen.

#### 4.4 Analisa Kegagalan

<b>Tebal HGM Serat Rami</b>	<b>Tebal <i>CarbonFiber</i></b>	<b>Tegangan HGM Serat Rami</b>	<b>Tegangan <i>CarbonFiber</i></b>	<b>Regangan <i>CarbonFiber</i></b>
7	8	18.22	1322	0.016

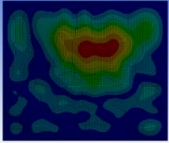
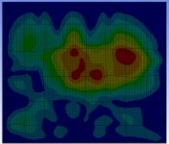

Sumber : Hasil Simulasi

Ditinjau dari nilai tensile strength HGM-*rami* sebesar 18.22 MPa, HGM yang memiliki ketebalan sebesar 7 mm tidak mengalami kegagalan. Hal ini disebabkan tegangan yang terjadi pada HGM-serat Rami berada di bawah nilai tensile strength HGM-serat *rami*. Hal yang sama terjadi pada tegangan *carbonfiber* hasil simulasi. Nilai tegangan *carbonfiber* sebesar 1322 MPa masih berada di bawah tensile strength *carbonfiber*.

Aspek regangan juga menjadi patokan analisa kegagalan dari rompi anti peluru ini. Regangan yang terjadi pada *carbonfiber* hasil simulasi bernilai sebesar 0.008 berada dibawah nilai maximum elongation dari *carbonfiber* yang bernilai 0.016

## 4.5 Perbandingan Simulasi dan Eksperimen

Tabel 4.6 Perbandingan Simulasi dan Eksperimen

Metode	Gambar	Tebal Total mm	Energi serap Rami Joule	Energi serap fiber carbon Joule	Energi diteruskan Joule	Indentasi mm	BFS mm
Simulasi 7mm 8layer		13.4	21.07 J	209.90	138.52	12.2	5.57
Simulasi 13mm 8layer		19.4	35.28 J	227.36	106.85	6.78	3.94
Eksperimen		17.21 (titik 1) 22.11 (titik 2) 25.23 (titik 3)				15, 16 (titik 1) 19,31 (titik 2) 12,81 (titik3)	11 (titik 1) 13 (titik 2) 8 (titik 3)

Berdasarkan table 4.6 terdapat perbedaan antara simulasi dan eksperimen. Dilihat dari BFS eksperimen sebesar 10mm. Hal ini

lebih besar dari simulasi karena faktor kerapatan paner rompi anti peluru yang disebabkan udara terbak di dalam panel.

Untuk indentasi eksperimen tiga kali percobaan tembak menyebabkan indentasi berbeda dari 12mm, 15mm dan 19mm. Hal ini di sebabkan dengan jenis peluru yang berbeda, kemungkinan arah tembakan, dan ketebalan peluru.

Dilihat tinjau dari simulasi serat fiber karbon memiliki kemampuan energy serap yang tinggi dan meningkat seiring bertambah tebal. Kemampuan serap fiber karbon 8layer untuk ketebalan 13mm sebesar 227.36 Joule dan untuk 7mm sebesar 209.90 Joule

Untuk kemampuan energy serap dari material rami untuk ketebalan 7mm sebesar 21.07 Joule dan untuk 13mm sebesar 35.28 Joule. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa serat rami murni tidak dapat menahan energy proyektil peluru.

**(Halaman ini sengaja di kosongkan)**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk panel rompi yang terbuat dari serat rami HGM epoksi tidak dapat menahan energy proyektil peluru akan tetapi bila di kombinasikan dengan panel rompi *fiber carbon* epoksi dengan konfigurasi tertentu dapat menahan energy impact proyektil caliber 9mm
2. Konfigurasi terbaik panel anti peluru dengan bahan dasar rami, hgm epoksi dengan ketebalan 7mm dan panel *fiber carbon* 8layer mampu menahan energi *impact* proyektil peluru kaliber 9mm.
3. Konfigurasi panel anti peluru dengan bahan dasar rami 7mm dan 8layer *fiber carbon* pada posisi belakang memiliki bobot sebesar 1,618kg untuk metode simulasi dan 1,544kg. Terjadi perbedaan antara simulasi karena keterbatasan manufaktur yang menyebabkan udara terjebak di dalam panel. Pada proses tekan pada cetakan ada sedikit epoksi yang keluar.
4. *Back Face Signature* pada konfigurasi 7mm dan 8layer *fiber carbon* untuk metode simulasi sebesar 6.21mm dan 12mm untuk metode eksperimen. Hal ini diakibatkan

rongga udara yang terjebak didalam melemahkan ikatan antara penguat dan matrik pengikat.

5. Konfigurasi panel anti peluru dengan bahan dasar rami 7mm dan 8 layer *fiber carbon* berhasil meneruskan energi ke pengguna sebesar 138,52 Joule lebih rendah dengan standar energi yang mampu di terima tubuh manusia sebesar 170 Joule dan berdasarkan Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S.

## 5.2 **Saran**

Saran dalam penelitian ini adalah :

1. Pencampuran HGM dan resin *epoxy* diusahakan dalam media *vacuum* untuk meminimalisir udara terperangkap di dalam matriks.
2. Pemotongan serat rami menggunakan mesin potong agar bisa lebih presisi
3. Manufaktur cetakan yang lebih disempurnakan.
4. Penggunaan alat press yang sesuai untuk menekan cetakan agar lebih padat dan uniform.

## DAFTAR PUSTAKA

Amalia, Hindun. (2015). “*Pengaruh Komposit Epoxy HGM pada Bumper Depan Kendaraan untuk Mereduksi Energi Impact*”. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

Azhari, Ridho. (2017). “*Analisa Komposit Multi Reinforcement Sebagai Material Alternatif Rompi Anti Peluru Dalam Menahan Energi Impact Proyektil*”. Teknik Mesin ITS. Surabaya

De Araujo, B. M., dkk. (2014). “*Ballistic Performance of Sisal Fiber Reinforced Epoxy Composite in Multilayered Armor*”. 21<sup>th</sup> CBECIMAT. Cuiaba.

De Morais W.A., dkk. (2003). “*Effect of The Fiber Reinforcement on The Low Energy Impact Behavior of Fabric Reinforced Resin Matrix Composite Materials*”. Journal of the Brazil Society of Mechanical Science and Engineering, Vol. 25, No. 4.

Kumaresan, M., dkk. (2015). “*Effect of Fiber Orientation on Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Epoxy Composites*”. Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 18, No. 3.

Mukasey, Michael B dkk. (2008) “*Ballistic Resisten of Body Armor NIJ Standard-0101.06*”. National Institut of Justice. United State.

Pulungan, Muhammad Anhar. (2017). *“Analisis Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit Hgm-Epoxy dan Serat Karbon dalam Menyerap Energi Akibat Impact Peluru”*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

Ritonga, Widiyansah, (2014). *“Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur curing dan Post-Curing Terhadap karakteristik Tekan Komposit Epoxy – Hollow Glass Microspheres IMK30K”*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

Zahrah, Lutfianisa. (2015). *“Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM dalam Menyerap Energi Akibat Impact Proyektil”*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.