



TESIS - TM 142501

**ANALISIS KEMAMPUAN ROMPI ANTI PELURU  
YANG TERBUAT DARI KOMPOSIT *HGM-EPOXY*  
DAN SERAT KARBON DALAM MENYERAP ENERGI  
AKIBAT *IMPACT* PELURU**

MUHAMMAD ANHAR PULUNGAN  
NRP 2114201006

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Eng Sutikno, ST. MT

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA DAN SISTEM MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TESIS**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

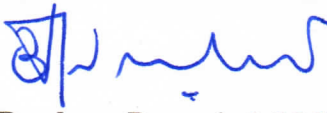
**Oleh:  
Muhammad Anhar Pulungan  
NRP. 2114201006**

**Tanggal Ujian : Selasa, 17 Januari 2017  
Periode Wisuda : Maret 2017**

**Disetujui Oleh:**

  
1. **Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.** (Pembimbing)  
NIP: 19740703 200003 1 001

2. **Prof. Dr. Ir. I Made Londen Batan., M.Eng.** (Penguji)  
NIP: 19581106 198601 1 002

  
3. **Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D.** (Penguji)  
NIP: 19691203 199403 1 001

  
4. **Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.** (Penguji)  
NIP: 19800520 200501 1 003



**Direktur Program Pascasarjana,**

**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.**  
NIP: 196012021987011001

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# **Analisis Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM - Epoxy dan Serat Karbon dalam Menyerap Energi Akibat Impak Peluru**

Mahasiswa : Muhammad Anhar Pulungan  
NRP : 2114201006  
Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT

## **ABSTRAK**

Komposit merupakan material yang terbuat dari dua atau lebih material yang berbeda. Tujuan dari penggunaan komposit adalah untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya. Pada penelitian ini digunakan komposit partikel yang tersusun dari *matrix* epoxy dengan penguat berupa *hollow glass microsphere* dan serat karbon. Rompi anti peluru berfungsi sebagai peredam energi impact yang berasal dari tembakan peluru. Pembuatan rompi anti peluru yang ringan dan dapat menyerap energi impact dengan baik sangat diharapkan, hal ini untuk menunjang mobilitas dan keselamatan penggunanya.

Pada penelitian ini dilakukan analisis rompi anti peluru yang terbuat dari komposit *matrix* epoxy dengan penguat *hollow glass microsphere* dan serat karbon melalui simulasi dengan metode *finite element*. Simulasi dilakukan sesuai dengan *national institute of justice* standard 0101.06 U.S. department of justice, dimana kecepatan awal peluru sebesar 426 m/s untuk kategori senjata kelas IIIA dan energi kinetik dari peluru sebesar 528,37 Joule. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan ketebalan rompi anti peluru hingga didapatkan ketebalan optimal. Setelah didapatkan ketebalan optimal dari rompi anti peluru, kemudian verifikasi dengan eksperimental akan dilakukan untuk memvalidasi hasil simulasi.

Hasil simulasi pada ketebalan 20 mm mampu menyerap energi peluru sebesar 348,27 Joule dan energi kinetik yang diteruskan ketubuh sebesar 138,77 Joule dengan kedalaman penetrasi 5,54 mm, artinya energi yang diteruskan ke badan lebih kecil dari 170 Joule. Sesuai dengan pernyataan Major General Julian S. Hatcher, a U.S. Army ordnance expert.

Kata kunci: rompi anti peluru, *matrix epoxy*, *Hollow Glass Microsphere* (HGM), serat karbon dan energi impact

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# **Analysis Capabilities of bullet vests are made of Composite HGM - Epoxy and Carbon Fiber in Energy Absorbing Impact Due Bullets**

Student Name : Muhammad Anhar Pulungan  
NRP : 2114201006  
Supervisor : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

## **ABSTRACT**

A composite material is made from two or more different materials. The purpose of the use of composites is to obtain better mechanical properties than those of constituent materials. In this studies used epoxy matrix with reinforcement in the form of hollow glass microsphere and carbon fiber. A bulletproof vest to function as impact energy absorbers derived from bullet fire. Manufacturer of bulletproof vests lighter and can absorb impact energy well is expected, it is to support the mobility and safety of its users.

In the present world, analysis of bullet-proof vests made of epoxy matrix composites with reinforcement in the form of hollow glass microsphere and carbon fiber through simulation with finite element method. Simulations conducted in accordance with national institute of justice standard 0101.06 from the U.S. department of justice, where the initial velocity of the bullet 426 m / s for the category IIIA class weapon with a kinetic energy of a bullet at 528,37 Joules. The simulation was performed by varying the thickness of bulletproof vests to obtain optimal thickness. Having obtained the optimum thickness of bulletproof vest, then with experimental verification will be performed to validate the simulation results.

The simulation results in a thickness of 20 mm is capable of absorbing energy at 348.27 Joule bullets and kinetic energy is transmitted into the body of 138, 77 Joule with penetrasi depth of 5,54 mm, which means that the energy transmitted to the body is smaller than 170 Joules. In accordance with the statement of Major General Julian S. Hatcher, a U.S. Army ordnance expert.

Keywords: Bulletproof vest, epoxy matrix, Hollow Glass Microsphere (HGM), carbon fiber and the impact energy.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberi rahmat dan hidayah serta anugrah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan lancar. Selawat beriring salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulisan tesis dengan judul **“Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM - Epoxy dan Serat Karbon dalam Menyerap Energi Akibat Impak Peluru”** telah selesai dilaksanakan. Tesis ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan guna memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2017.

Penulis menyadari selama penyusunan tesis ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan jajarannya.
2. Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST., MT, selaku dosen pembimbing yang selalu memberi nasehat, bimbingan dan motivasi.
3. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. I Made Londen Batan, M.Eng, Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D dan Bapak Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberi saran yang bermanfaat kepada penulis.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng. selaku Kaprodi Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin, FTT-ITS, yang telah memberi arahan dan kemudahan kepada penulis dalam penyelesaian tesis.
5. Pihak Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan kesempatan penulis dalam mengenyam pendidikan Magister di Teknik Mesin lewat pemberian program beasiswa *Pra S2-S2 Saintek 3T* di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013.
6. Bapak Dr. Muhammad Ilham Maulana, S.T., M.T. selaku Direktur, Bapak Nuzuli Fitriadi, S.T., M.T. dan Bapak Hardisal, S.T., M.T. selaku Wakil

Direktur Politeknik Aceh Selatan yang telah memberi kesempatan penulis menempuh studi Pascasarjana.

7. Orang tua penulis, Ayahanda Abdul Kholid Pulungan dan Ibunda Iswita yang telah memberikan curahan kasih sayang, dukungan, semangat, motivasi dan do'a kepada penulis.
8. Istri tercinta Aninta Khairunnisa, belahan hatiku Raisa Mahira, ayah-ibu (Jalaluddin-Khadijah) dan adik-adikku (Muhammad Iqbal Pulungan, S.T, Mailita Sari Pulungan, S.Si, Salman Khasyogi, S.Sos, Winditia Puspita, Amd.Kep) yang selalu memberi dukungan, semangat dan do'a.
9. Teman-teman Teknik Mesin, khususnya Bidang Rekayasa dan Sistem Manufaktur, Moh. Muzaki, Sufiyanto, Ali Sai'in, Thenny, Benedictus, Firman, Balkhaya, Husnul Abid, Jariyanti, Hiding dan Faisal Manta yang telah sama-sama berjuang dalam menuntut ilmu.
10. Teman-teman Teknik Mesin Bidang Rekayasa Konversi Energi, Alfi Tranggono, Agus Choirul Arifin, Indarto, Luthfi, Izhari, Romy Djafar, Sulaiman Ali dan Masrur atas kebersamaannya.
11. Teman-teman Teknik Material dan Metalurgi, Fahriadi Pakaya, Saddam Husen, Mustofa, Yulianti Malik dan Nia Sasria yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
12. Seluruh karyawan Jurusan Teknik Mesin yang banyak membantu dalam penyelesaian pengerjaan tesis ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah banyak memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan atas keterbatasan pengetahuan dan penelitian sehingga dimungkinkan ada kekeliruan dan kesalahan yang tidak sengaja. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan guna perbaikan dan pengembangan lebih lanjut. Semoga tesis dapat bermanfaat dan memenuhi apa yang diharapkan.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGHANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Dasar Teori .....	5
2.1.1 Rompi Anti Peluru .....	5
2.1.2 Peluru .....	7
2.1.3 Komposit.....	7
2.1.4 <i>Epoxy</i> .....	9
2.1.5 <i>Hollow Glass Microspheres</i> .....	10
2.1.6 Serat Karbon.....	12
2.2 Tinjauan Pustaka .....	13

<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	29
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2 Standart Pengujian .....	31
3.3 Pembuatan Model .....	31
3.4 Pengkondisian Model .....	32
3.5 Peralatan dan Bahan .....	35
3.5.1 <i>Hollow Glass Micropsheres</i> .....	35
3.5.2 <i>Polivinil Alkohol</i> .....	35
3.5.3 Serat Karbon.....	36
3.5.4 Timbangan Digital .....	37
3.5.5 Pompa Vakum.....	37
3.6 Langkah-langkah Percobaan .....	38
3.6.1 Pembuatan Rompi Komposit .....	38
3.6.2 Pengamatan Bentuk Fisik Komposit .....	39
3.7 Pelaksanaan Uji Tembak .....	39
3.7.1 Spesimen Uji Tembak.....	39
3.7.2 Prosedur Uji Tembak .....	39
<b>BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN SIMULASI</b> .....	41
4.1 Hasil Data Penelitian Pemodelan Simulasi .....	42
4.2 Analisa Data dan Pembahasan Pemodelan Simulasi.....	45
4.2.1 Penetrasi Peluru Terhadap Rompi Anti Peluru Simulasi .....	45
4.2.2 Kecepatan Peluru Simulasi .....	47
4.2.3 Pola Kerusakan pada Rompi Anti Peluru Simulasi.....	48
4.2.4 Energi Kinetik Peluru Simulasi .....	50
4.2.5 Energi Internal Rompi dan Energi Kinetik Sisa Simulasi .....	51
4.2.6 Energi Panas pada Rompi Simulasi .....	54
4.2.7 Total Penyerapan Energi Kinetik Peluru oleh Rompi Simulasi.....	56
4.3 Pembahasan Eksperimen .....	57

<b>BAB 5 KESIMPULAN dan SARAN .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>67</b>

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> <i>Soft body armor</i> .....	6
<b>Gambar 2.2</b> <i>Hard body armor</i> .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Peluru 6,5 x 5,5 mm.....	7
<b>Gambar 2.4</b> Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit.....	8
<b>Gambar 2.5</b> Aplikasi serat karbon.....	12
<b>Gambar 2.6</b> Gambar grafik hasil uji DSC pada <i>epoxy</i> murni.....	14
<b>Gambar 2.7</b> Gambar grafik hasil uji DSC pada serbuk HGM.....	14
<b>Gambar 2.8</b> Perbandingan antara tegangan hasil pengujian dengan tegangan teoritis hasil perhitungan.....	15
<b>Gambar 2.9</b> Grafik penurunan energi kinetik proyektil.....	17
<b>Gambar 2.10</b> Grafik peningkatan energi kinetik pada rompi anti peluru.....	17
<b>Gambar 2.11</b> Fractograpik aspek dari komposit.....	20
<b>Gambar 2.12</b> <i>Typical load vs time curve</i> untuk tiga tipe dari komposit.....	21
<b>Gambar 2.13</b> (a) Lapisan keramik dan komposit terpisah, (b) Lapisan keramik dan komposit mampu ditembus.....	23
<b>Gambar 2.14</b> (a) Lapisan keramik dan komposit terpisah, (b) Lapisan keramik dan komposit mampu menahan.....	23
<b>Gambar 2.15</b> (a) Grafik energi kinetik yang diterima model, (b) Grafik energi dalam yang timbul pada model.....	24
<b>Gambar 2.16</b> Daerah kerusakan yang timbul.....	25
<b>Gambar 2.17</b> Perbandingan grafik orientasi $0^{\circ}/90^{\circ}$ dan orientasi $\pm 45^{\circ}$ .....	27
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian simulasi.....	30
<b>Gambar 3.2</b> Model rompi.....	32
<b>Gambar 3.3</b> Model peluru.....	32
<b>Gambar 3.4</b> Pemilihan material.....	33
<b>Gambar 3.5</b> Langkah pemilihan meshing.....	33
<b>Gambar 3.6</b> Hasil pemilihan meshing.....	34
<b>Gambar 3.7</b> Langkah pemberian beban berupa kecepatan pada peluru.....	34
<b>Gambar 3.8</b> Pemberian fixed support pada dua sisi model rompi.....	34

<b>Gambar 3.9</b> <i>Hollow Glass Micropsheres</i> IM30K .....	35
<b>Gambar 3.10</b> <i>Polivinil Alkohol</i> (PVA).....	36
<b>Gambar 3.11</b> Serat karbon TC-35 .....	36
<b>Gambar 3.12</b> Pemberian sudut orientasi pada serat karbon (a) Sudut 45°.	
(b) Sudut -45° .....	37
<b>Gambar 3.13</b> Timbangan Digital .....	37
<b>Gambar 3.14</b> Pompa Vakum .....	38
<b>Gambar 4.1</b> Posisi Serat Karbon .....	41
<b>Gambar 4.2</b> Grafik penurunan penetrasi peluru terhadap ketebalan .....	46
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Penurunan kecepatan peluru .....	47
<b>Gambar 4.4</b> Pola Kerusakan Rompi dengan variasi ketebalan .....	48
<b>Gambar 4.5</b> Grafik penyerapan energi .....	49
<b>Gambar 4.6</b> Grafik penurunan energi kinetik peluru .....	50
<b>Gambar 4.7</b> Grafik peningkatan energi internal pada rompi anti peluru .....	51
<b>Gambar 4.8</b> Grafik peningkatan energi internal pada rompi anti peluru .....	52
<b>Gambar 4.9</b> Grafik penurunan energi kinetik sisa pada rompi anti peluru .....	52
<b>Gambar 4.10</b> Grafik penurunan energi kinetik sisa pada rompi anti peluru .....	53
<b>Gambar 4.11</b> Grafik perbandingan energi kinetik dan energi internal rompi .....	54
<b>Gambar 4.12</b> Grafik Peningkatan Energi Panas pada Rompi .....	55
<b>Gambar 4.13</b> Grafik Peningkatan Temperatur pada Rompi .....	55
<b>Gambar 4.14</b> Perbandingan energi pada rompi dan peluru .....	57
<b>Gambar 4.15</b> Spesimen HGM dan Serat Karbon.....	58
<b>Gambar 4.16</b> Hasil Pengujian Impak Peluru Spesimen HGM dan Serat Karbon .....	58



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Sifat material termoset .....	9
<b>Tabel 2.2</b> Perbandingan epoxy resin dan polimer lain .....	10
<b>Tabel 2.3</b> Spesifikasi HGM IM30K .....	11
<b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi rompi anti peluru.....	16
<b>Tabel 2.5</b> Energi yang dimiliki oleh rompi dan proyektil .....	16
<b>Tabel 2.6</b> Data <i>sheet</i> dari serat penguat dan pre-preg lamina.....	19
<b>Tabel 2.7</b> Hasil eksperimental dari uji impak.....	20
<b>Tabel 2.8</b> Properties material untuk 3 model rompi anti peluru.....	22
<b>Tabel 2.9</b> Kekuatan impak komposit SK-SGS-Phenolic dengan orientasi serat 0°/90°.....	26
<b>Tabel 2.10</b> Kekuatan impak komposit SK-SGS-Phenolic dengan orientasi serat 0°/90°.....	26
<b>Tabel 3.1</b> Properties material peluru .....	30
<b>Tabel 3.2</b> Standart pengujian NIJ standart 0101.06 .....	31
<b>Tabel 4.1</b> Penyerapan energi peluru rompi tebal 1 mm .....	42
<b>Tabel 4.2</b> Spesifikasi rompi anti peluru .....	43
<b>Tabel 4.3</b> Energi yang dimiliki oleh rompi dan peluru .....	43
<b>Tabel 4.4</b> Kedalaman penetrasi peluru pada rompi anti peluru .....	44
<b>Tabel 4.5</b> Total penyerapan energi kinetik peluru oleh rompi .....	56
<b>Tabel 4.6</b> Perbandingan hasil penetrasi simulasi dan eksperimen .....	59
<b>Tabel 4.7</b> Perbedaan ketebalan dan bobot rompi anti peluru .....	60

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baju zirah merupakan seperangkat pakaian yang digunakan dalam peperangan dengan tujuan untuk memberi perlindungan terhadap senjata. Pada perang dunia pertama pasukan kekaisaran Jerman menggunakan baju zirah yang terbuat dari logam atau baja sebagai rompi anti peluru. Hingga perang dunia kedua, rompi anti peluru masih terbuat dari logam atau baja. Para pembuat senjata yang melakukan perkembangan peluru, memaksa penggunaan rompi anti peluru dengan bahan metal yang lebih tebal dan berat. Rompi anti peluru tradisional yang terbuat dari bahan metal dapat mengurangi mobilitas penggunanya. Seiring dengan perkembangan teknologi bahan, baju rompi anti peluru tersebut sudah terbuat dari kulit atau kevlar. Pada saat ini telah banyak dipelajari tentang material pengganti untuk membuat baju anti peluru yang tipis dan ringan

Rompi anti peluru banyak digunakan oleh personil militer, untuk menjaga keselamatan dari serangan proyektil dan sebaran material ledakan. Selain itu rompi anti peluru tersebut juga mencegah perpindahan energi dari proyektil terhadap tubuh khususnya di bagian dada, perut, dan punggung. beberapa penelitian terdahulu telah meneliti tentang bahan pengganti logam yang tahan terhadap sifat kuat dan tekan.

Arista (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan Hollow Glass Microsphere (HGM) terhadap sifat fisik dari komposit dengan *matrix epoxy*. Bahan penelitian yang digunakan adalah *epoxy resin adhesives* dan HGM jenis IM30K dengan perbandingan 1:3. Hasil penelitian tersebut diketahui bahwa dengan presentase 15-20% komposit partikel memiliki kekuatan tekan yang tinggi.

Penelitian tentang temperatur *curing* dan *post-curing* terhadap karakteristik tekan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* IM30K juga telah dilakukan oleh Ritonga (2014). Pada penelitian ini dilakukan variasi fraksi volume, penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16% pada *epoxy* dengan respon ketangguhan. Hasil penelitian menunjukkan nilai ketangguhan maksimum adalah

sebesar  $21,54 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$  didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 16%.

Hindun (2015), melakukan penelitian mengenai analisa komposit matriks *epoxy* dengan Penguat HGM untuk membuat bumper depan kendaraan. Penelitian dilakukan membuat 5 (lima) model bumper dengan ketebalan 8 mm. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata penyerapan energi kinetik untuk HGM-*epoxy* sebesar 86,39%. Pada tahun yang sama Lutfianisa (2015), melakukan penelitian tentang analisa kemampuan rompi anti peluru yang terbuat dari komposit HGM 16% dalam menyerap energi akibat impact proyektil. Hasil penelitian menunjukkan pada ketebalan 25 mm anti peluru mampu menyerap energi kinetik peluru sebesar 149,5 Joule.

Penelitian tentang pengaruh serat karbon terhadap energi impact rendah telah dilakukan oleh Morais, dkk. (2003). Pada penelitian ini membahas tentang pengaruh serat yang digunakan sebagai penguat dalam material komposit resin matriks. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit serat karbon memiliki kinerja yang lebih baik dari pada serat kaca dan kevlar komposit. Perilaku ini sebagian disebabkan oleh penyerapan energi elastis yang lebih tinggi dari serat karbon yang menunda penyebaran delaminasi.

Maples dkk, (2014), melakukan penelitian tentang kualitas serat karbon komposisi komposit yang diperkuat epoxy dengan kekakuan terkendali. Penelitian dilakukan dengan menginvestigasi sudut yang terjadi pada serat karbon yang digunakan serta menyelidiki sifat mekanik dari serat karbon. Hasil penelitian menunjukkan sifat tekan dan tarik berkurang secara signifikan pada  $120^{\circ} \text{ C}$  karena adanya *interleaves polystyrene* melunak. Hasil tes kekuatan lentur pada  $20^{\circ} \text{ C}$  menunjukkan bahwa ada kebutuhan untuk perbaikan *adhesi* antara *polystyrene* dan serat karbon dengan *epoxy*.

Guden dkk. (2011) menganalisa kemampuan model rompi anti peluru untuk menyerap energi akibat *impact ballistic* proyektil. Model yang diuji terbuat dari komposit dan serat karbon. Pengujian dilakukan dengan menggunakan AP Projectile type M61 berukuran  $7,62 \times 51 \text{ mm}$  pada jarak penembakan sejauh 15 m, kecepatan awal pelontaran sebesar 800 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit tanpa sisipan dan yang disisipi oleh

rubber mengalami peningkatan energi kinetik yang hampir sama. Aluminium *foam* dan *Teflon* disisipkan, energi kinetik yang timbul tertunda serta mampu mengurangi energi kinetik secara drastis pada kedua model tersebut

Dari latar belakang yang sudah dipaparkan pada penelitian ini akan dilakukan investigasi mengenai penyerapan energi impact dan mereduksi bobot pada rompi anti peluru oleh beban balistik impact proyektil yang menggunakan komposit partikel yang terbuat dari serat karbon dan HGM 16 % dengan *matrix epoxy*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rompi anti peluru saat ini yang berbahan dasar kevlar hanya mampu menahan beban penetrasi yang ditimbulkan dari proyektil sehingga masih ada energi impact disalurkan ketubuh yang mengakibatkan cedera cukup parah pada tubuh, kemudian rompi anti peluru saat ini memiliki bobot biasa mencapai 10 kg yang cukup berat serta memiliki ketebalan 32 mm yang menyulitkan pergerakan sehingga mempengaruhi fleksibilitas pengguna (*Protective body armor garment shell US5331683 A*).

Berdasarkan penelitian terdahulu telah dibuktikan bahwa kandungan 16% HGM-*epoxy* mampu menyerap energi impact maksimal dengan ketebalan 25 mm yang mampu menyerap energi impact sebesar 149,5 Joule. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan kombinasi komposit yang terbuat dari serat karbon 16% HGM sebagai penguat dengan *matrix epoxy* yang mampu menyerap energi impact secara baik serta mereduksi bobot yang terdapat pada rompi anti peluru tersebut.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Properties material yang digunakan merupakan properties dari serat karbon dan 16% HGM-*epoxy* dianggap *homogen*.

2. Pengujian impak pada rompi anti peluru yang terbuat dari komposit partikel tersebut berdasarkan standart pengujian NIJ Standard 0101.06 dari U.S. Department of Justice.
3. Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher, a U.S. Army ordnance expert menyatakan energi sebesar 170 joule dapat menyebabkan kelumpuhan pada manusia.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari peneltian ini adalah:

1. Mencari ketebalan rompi anti peluru dengan material serat karbon dan 16% HGM-epoxy yang mampu memenuhi Major General Julian S. Hatcher.
2. Menghasilkan rancangan rompi anti peluru yang ringan serta meningkatkan mobilitas dan fleksibilitas pengguna.
3. Menghasilkan rancangan rompi anti peluru yang mampu menahan laju penetrasi peluru sesuai standar pengujian NIJ Standard 0101.06.
4. Menghasilkan rancangan rompi anti peluru dengan material serat karbon dan 16% HGM-epoxy yang mampu menyerap energi kinetik peluru sehingga energi kinetik yang diterima tubuh kecil.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari peneltian ini adalah:

1. Memberikan gambaran secara kualitatif dan kuantitatif bagaimana perpaduan kekuatan impak serat karbon dan HGM -*Epoxy*.
2. Dapat menjadi alternatif tambahan untuk memberikan keamanan serta fleksibilitas demi mendukung pergerakan saat pemakaian.
3. Dapat memberikan sumbangsih hasil riset penelitian dalam perkembangan referensi rancangan rompi anti peluru khususnya pada dunia permiliteran indonesia.

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Dasar Teori

##### 2.1.1 Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru merupakan baju pelindung yang digunakan di dalam dunia militer. Rompi tersebut digunakan untuk melindungi badan bagian dada, perut, dan punggung. Organ-organ vital manusia terletak diantara punggung dan dada seperti jantung, hati, paru-paru, organ-organ pencernaan dan ginjal. Dimana organ-organ tersebut apabila terjadi kerusakan dapat berakibat fatal dan bahkan mengalami kehilangan nyawa seketika.

Pada abad pertengahan, Jepang menggunakan rompi anti peluru berbahan sutera. Tahun 1960 *National Institute of Justice* mengembangkan rompi anti peluru dengan bahan serat *kevlar*. *Army's Edgewood Arsenal* (1973) juga mengembangkan rompi anti peluru dengan serat *kevlar* berlapis yaitu sebanyak tujuh lapis, namun rompi tersebut mengalami penurunan daya tahan ketika basah, dicuci berulang ataupun terpapar sinar matahari. Pada penelitian yang dilakukan Tasdemirci, dkk., (2011) menunjukkan bahwa energi yang mampu diserap oleh rompi anti peluru yang terbuat dari kevlar paling tinggi adalah sebesar 27 J dengan model yang tidak disisipi apapun. Berikut baju anti peluru dibedakan menjadi dua adalah:

##### 1. *Soft body armor*.

*Soft body armor* umumnya terbuat dari serat *aromatic polyamide* (aramid). Aramid memiliki struktur yang kuat, alot (*tough*), memiliki sifat peredam yang bagus (*vibration damping*), tahan terhadap asam (*acid*) dan basa (*leach*), serta dapat menahan panas hingga temperatur 370°C. Aramid biasa juga disebut *Kevlar*. Satu lapisan *Kevlar* memiliki ketebalan 1 mm, umumnya standar baju terdiri hingga 32 lapisan dengan berat mencapai 10 kg. Rompi ini cenderung lebih ringan sehingga menguntungkan untuk digunakan dalam tugas-tugas penyamaran, atau pengamanan bagi personel intelijen. Gambar 2.1 menunjukkan model rompi *Soft Body Armor*



Gambar 2.1 *Soft Body Armor* ([www.kabarmasasilam.blogspot.com](http://www.kabarmasasilam.blogspot.com) (10 Mei 2014))

## 2. *Hard body armor*

Dengan menambahi *soft body armor* dengan lapisan tertentu, dapat dihasilkan *hard body armor* Gambar 2.2. 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. Rompi anti peluru ini sering digunakan dalam tugas khusus yang beresiko tinggi, seperti operasi militer atau operasi tim SWAT.



Gambar 2.2 *Hard Body Armor* ([www.kabarmasasilam.blogspot.com](http://www.kabarmasasilam.blogspot.com) (10 Mei 2014))



### 2.1.2 Peluru

Peluru merupakan objek proyektil yang ditembakkan dengan senjata api. Pada zaman dulu peluru terbuat dari tanah liat yang digunakan sebagai amunisi ketapel untuk berburu. Tahun 1500-1800 peluru berubah sedikit dimana bentuknya menjadi lebih bundar. Tahun 1847 *Claude-Etienne Minie* menemukan peluru dengan bentuk kerucut berlubang. Dimana lubang tersebut diisi dengan *smokeless powder ammunition*. Ujung peluru dapat meleleh ketika bergesekan dengan bore senjata api ataupun terkena gas panas dari belakang akibat pembakaran *powder ammunition*. Pada saat ini peluru terbuat dari paduan timah dan tin yang memiliki kecepatan tinggi. Gambar 2.3 menunjukkan jenis peluru kaliber 6,5 mm x 5,5 mm.



Gambar 2.3 Peluru 6,5 mm x 5,5 mm (Bule<http://en.wikipedia.org/>(14 Mei 2014)

### 2.1.3 Komposit

Komposit merupakan material multi fase yang didapatkan dari kombinasi material yang berbeda untuk mendapatkan sifat mekanik (Arista, 2013). Komponen-komponen penyusun komposit tetap bisa dibedakan secara makro. Material komposit banyak diaplikasikan karena memiliki kombinasi sifat yang tidak bisa didapatkan apabila menggunakan materian konvensional seperti logam, polimer, maupun keramik.

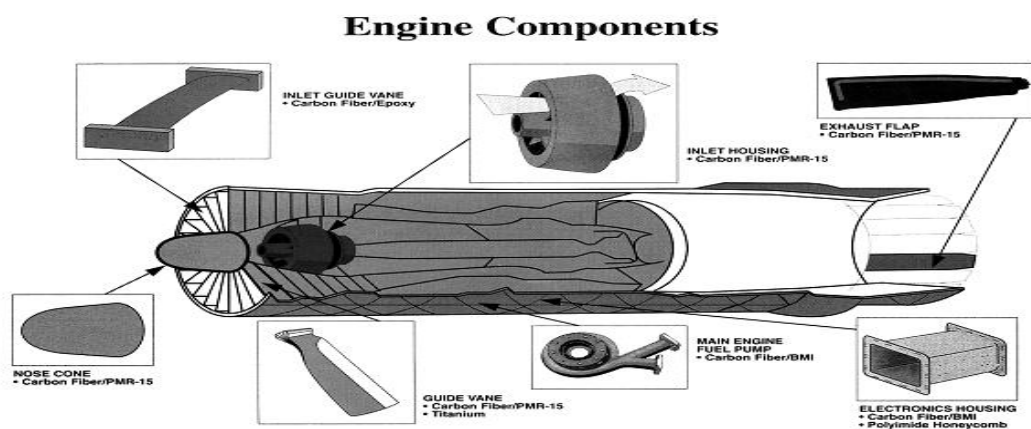
Sifat komposit bervariasi tergantung dari berbagai macam faktor di antaranya jenis komponen yang dipilih, distribusi komponen, dan morfologi komponen.

Ada beberapa kelebihan dari komposit apabila dibandingkan dengan material konvensional antara lain:

1. Material komposit mampu berperan sebagai terintegrasi sifat, misalnya satu komposit mampu menggantikan peran dari beberapa material logam.
2. Komposit memiliki *stiffness-to-density ratio* yang baik. Rasionya 1/5 dari baja dan 1/2 aluminium.
3. Komposit memiliki *strength-to-density ratio* yang baik. Kelebihan ini apabila digunakan sebagai bahan konstruksi pesawat atau kendaraan bermotor bisa lebih efisien dalam hal bisa bergerak lebih cepat, bahan bakar yang lebih irit karena material lebih ringan dibandingkan dengan logam. Kekuatan spesifiknya komposit ini hingga 3:5 lebih baik jika dibandingkan dengan baja.
4. *Endurance limit (fatigue strength)* dari komposit baik. Untuk paduan aluminium maupun baja *endurance limit* berada pada 50% dari nilai *static strength*, sementara untuk *unidirectional carbon/epoxy composite* bisa mencapai 90% dari *static strength* (Prabhakaran dkk., 2012)

Komposit banyak diaplikasikan dalam dunia industri salah satunya adalah industri pesawat terbang. Komponen pesawat terbang harus memiliki *strength-to-density* yang baik, komponen harus ringan tapi kuat, dimana dengan berat yang sama komposit mampu menahan beban yang memiliki nilai lebih tinggi jika dibanding dengan baja agar pesawat mampu terbang dengan kinerja lebih baik.

Berikut ini contoh gambar aplikasi pada komponen penyusun mesin pesawat terbang yang terbuat dari komposit :



Gambar 2.4 Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit (S. Prabhakaran, dkk. 2012)

#### 2.1.4 Epoxy

Epoxy didapatkan dengan proses *curing* (*cross-linking*) secara kimiawi dengan amina, anhidrida, fenol, asam karboksilik, dan alkohol. Epoxy merupakan resin cair yang mengandung beberapa group epoksida seperti *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA) yang memiliki dua grup epoksida. Proses *curing* dilakukan dengan cara menambahkan *curing agennt*, misalnya *diethylene triamine* (DETA).

Selama proses *curing* molekul-molekul DGEBA akan membentuk ikatan cross-link. Ikatan ini akan menghasilkan bentuk tiga dimensi yang disebut network dan akhirnya membentuk *epoxy* padat.

Epoxy merupakan salah satu polimer termoset. Epoxy merupakan material serba guna yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Epoxy* banyak digunakan dalam industri penerbangan maupun digunakan untuk peralatan olahraga. Ada berbagai jenis dan *grade*, sehingga bisa disesuaikan untuk aplikasinya. Adapun beberapa kelebihan dari *epoxy* antara lain :

- Penyusutan material rendah.
- Sifat adhesif material baik.
- Ketahanan kimia material yang baik.
- Material memiliki sifata mekanik, seperti ketangguhan yang baik.
- Epoxy dapat diformulasikan dengan material lain maupun *epoxy* jenis lain untuk mendapatkan sifat sesuai keinginan. Tabel 2.1 berikut menunjukkan sifat material termoset.

Tabel 2.1 Sifat material termoset

Resin Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile Modulus GPa (10 <sup>6</sup> psi)	Tensile Strength MPa (10 <sup>3</sup> psi)
Epoxy	1.2-1.4	2.5-5.0 (0.36-0.72)	50-110 (7.2-16)
Phenolic	1.2-1.4	2.7-4.1 (0.4-0.6)	35-60 (5-9)
Polyester	1.2-1.4	1.6-4.1 (0.23-0.6)	35-95 (5.0-13.8)

Sumber : Henry A., dkk., 2010

Dari berbagai jenis material termoset ada kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Berikut ini adalah tabel perbandingan epoxy resin dan material polimer lain :

Tabel 2.2. Perbandingan epoxy resin dan polimer lain

<p><b>Polyesters Advantages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Easy to use.</li> <li>• Lowest cost of resins available.</li> </ul>	<p><b>Disadvantages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Only moderate mechanical properties.</li> <li>• High styrene emissions in open moulds.</li> <li>• High cure shrinkage.</li> <li>• Limited range of working times.</li> </ul>
<p><b>Vinylesters Advantages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Very high chemical</li> <li>• Higher mechanical properties than polyesters.</li> </ul>	<p><b>Disadvantages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Postcure generally required for high propertis.</li> <li>• High styrene content.</li> <li>• Higher cost than polyester.</li> <li>• High cure shrinkage.</li> </ul>
<p><b>Epoxy Advantages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High mechanical and thermal properties.</li> <li>• High water resistance.</li> <li>• Long working times availalable</li> <li>• Temperatur resistance can be up to 140<sup>0</sup>c.</li> <li>• Low cure shrinkage.</li> </ul>	<p><b>Disadvantages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• More expensive than vinylesters.</li> <li>• Critical mixing.</li> <li>• Corrosive handling.</li> </ul>

Sumber : Daniel Bürger, A., dkk., 2010

### 2.1.5 *Hollow Glass Microspheres*

*Hollow Glass Microsphere* merupakan bola kaca berukuran mikroskopis yang diaplikasikan untuk; penelitian, dunia medis, dan produk untuk konsumen di berbagai jenis industri. Bola kaca ini umumnya memiliki diameter mulai dari 1 mikron hingga 1000 mikron.

*Hollow Glass Microsphere* memiliki range diameter dari 10 mikron hingga 300 mikron. HGM biasanya digunakan sebagai pengisi untuk material komposit, kelebihan dari HGM ini antara lain :

- HGM memiliki massa jenis yang kecil.
- Konduktivitas termal yang rendah
- Ketahanan terhadap beban kompresi yang baik

*Hollow Glass Micropsheres* (HGM) merupakan penguat jenis partikel. HGM merupakan bola yang terbuat dari kaca dengan ketebalan tertentu dan di dalamnya memiliki lubang berisi gas inert. HGM memiliki berbagai kelebihan, misalnya memiliki densitas yang kecil karena memiliki lubang sehingga cocok digunakan untuk menghasilkan kombinasi material (komposit) yang ringan. HGM jenis IM30K, merupakan HGM yang terbuat dari material *soda-lime-borosilicate glass* dengan densitas 0,6 g/cc, dengan diameter rata-rata untuk setiap partikelnya adalah 18 mikron. HGM ini memiliki kekuatan isostatic crush yang cukup tinggi yaitu 28000 psi. Tabel 2.3 menunjukkan spesifikasi HGM IM30K.

Tabel 2.3 Spesifikasi HGM IM30K

<b>Ciri-ciri</b>	<b>IM30K</b>	
Bentuk	<i>Hollow spheres with thin walls</i>	
Komposisi	<i>Soda-lime-borosilicate glass</i>	
Warna yang umum	<i>White powder</i>	
<b>Sifat fisik</b>	<b>IM30K</b>	<b>Metode pengujian</b>
<i>Isostatic Crush Strength</i>	28000 psi	3M QCM 14.1.8
<i>True Density</i>	600 kg/m <sup>3</sup>	3M QCM 14.24.1
<i>Packing Factor (bulk density to true particle density)</i>	63%	
<i>Oil Absorption</i>	33.5	ASTM D282-84 of polymer additive
<i>Softening Point</i>	600 <sup>0</sup> C	
<i>Flotation Density</i>	90% (in volume)	3M QCM 37.2
<i>Volatile content (by weight)</i>	0,5 % max	3M QCM 1.5.7
<i>Alkalinity (miliequivalents)</i>	0,5	3M QCM 55.19gr/max
<i>pH(5% loading in water)</i>	9,5	ASTM D3100-1982
<i>Diameter</i>	18 μ	3M QCM 193.0

Sumber: Alexander T., dkk., 2007

### 2.1.6 Serat Karbon

Serat karbon merupakan salah satu bentuk material komposit. Material komposit, yang diambil dari istilah Bahasa Inggris *composition materials* atau dipendekkan menjadi *composite materials*, adalah suatu material yang dibuat dari dua atau lebih material penyusun yang saling memiliki perbedaan sifat fisik dan kimia, yang jika dikombinasikan akan menghasilkan material berkarakteristik berbeda dengan material-material penyusunnya. Komposit serat karbon merupakan salah satu jenis material komposit yang menggunakan serat karbon sebagai salah satu penyusunnya. Gambar 2.5 merupakan aplikasi serat karbon.



Gambar 2.5 Aplikasi serat karbon

Sifat dari serat karbon 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 serat karbon bergantung pada bentuk dan arah serat penyusunnya. Di sisi lain material seperti logam, plastik, dan lainnya memiliki sifat yang tetap sekalipun bentuk dan arah butir-butir molekulnya berbeda-beda. Karena itulah material-material ini disebut material isentropik.

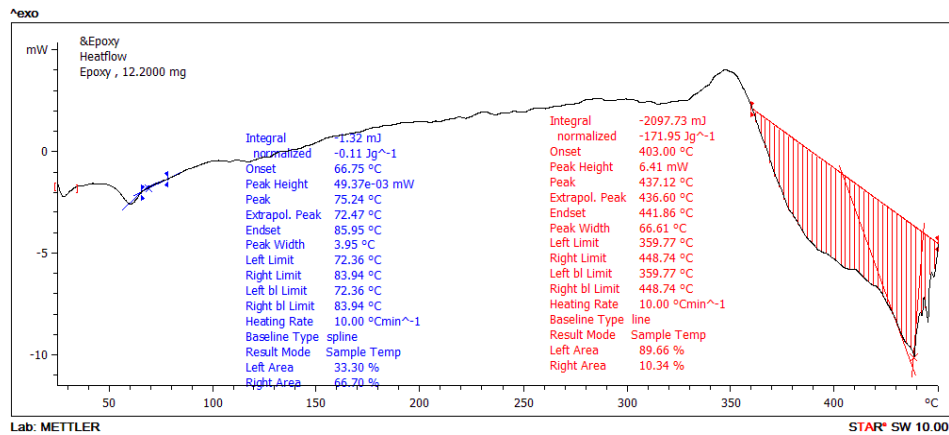
Karbon merupakan material dengan performa sangat baik dan paling banyak digunakan sebagai penguat dalam komposit polimer karena:

- a. Serat karbon memiliki *specific modulus* dan *specific strength* yang paling tinggi diantara semua serat penguat.
- b. Serat karbon tetap memiliki *tensile modulus* dan *strength* yang tinggi pada temperature tinggi, meskipun pada temperature tinggi ada masalah oksidasi.
- c. Pada temperature kamar, serat karbon tidak dipengaruhi oleh uap air, berbagai solven, asam dan basa.
- d. Serat karbon memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang sangat beragam, sehingga komposit yang terbuat dengan serat karbon dapat memiliki sifat beragam, sesuai dengan yang diinginkan.

## 2.2 Tinjauan Pustaka

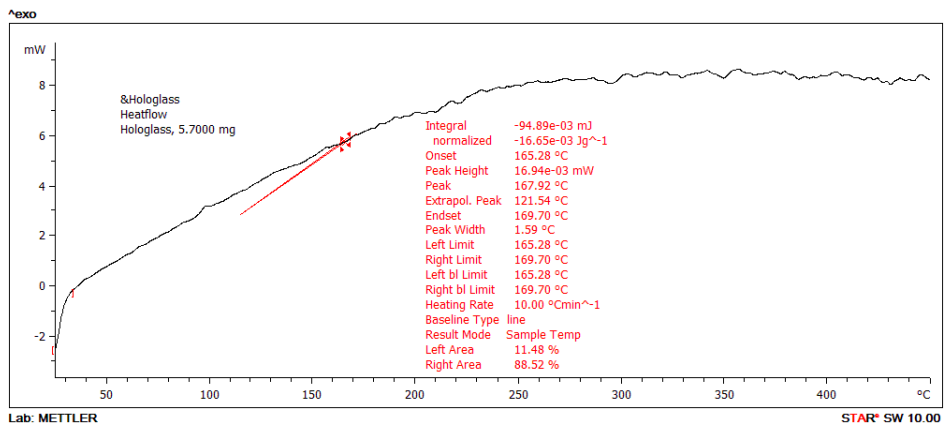
Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan energi impact serta penetrasi yang terjadi pada serat karbon dan HGM-epoxy. Untuk itu ada beberapa riset yang dapat dijadikan referensi dalam menunjang penelitian ini diantaranya Arista (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan HGM terhadap sifat fisik dari komposit dengan *matrix epoxy*. Pada penelitian ini digunakan jenis *epoxy resin adhesives* dengan perbandingan 1:3 dan menggunakan HGM jenis IM30K. Penelitian ini lebih menitik beratkan pada penambahan fraksi volume HGM sebanyak 5% mulai dari 0% sampai dengan 30%. Serta temperatur *curing* pada suhu ruang dan temperatur 90°C selama 24 jam.

Gambar 2.6 hasil pengujian DSC tampak bahwa penambahan fraksi volume 15% dan 20 % yang memiliki hasil kekuatan paling optimal. Nilai Tg ditunjukkan oleh nilai *peak* pada gambar grafik dibawah ini. Spesimen diuji DSC dari temperatur kamar hingga temperatur 450°C dengan kenaikan 10°C/min.



Gambar 2.6 Gambar grafik hasil uji DSC pada epoxy murni (Arista, 2013)

Dari hasil pengujian DSC, pada gambar 2.6 menunjukkan bahwa temperatur transisi ( $T_g$ ) dari epoxy resin murni sebesar 75.24<sup>o</sup>.

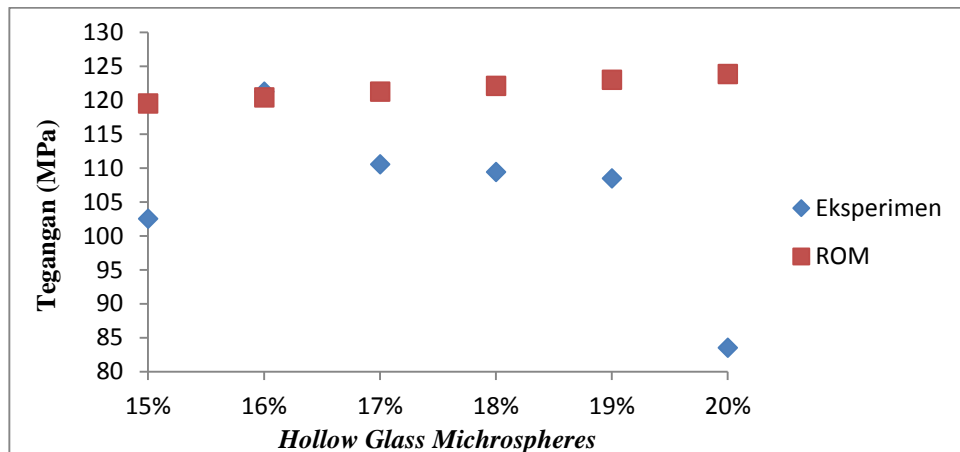


Gambar 2.7 Gambar grafik hasil uji DSC pada serbuk hollow glass microsphere (Arista, 2013)

Dari hasil pengujian DSC, pada gambar 2.7 menunjukkan bahwa temperatur transisi ( $T_g$ ) dari HGM memiliki temperature transisi ( $T_g$ ) sebesar 167.92<sup>o</sup>C.

Ritonga (2014) melakukan penelitian Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy-Hollow Glass Microspheres IM30K. Temperatur curing 27<sup>o</sup>C selama 24 jam, (b) Temperatur curing 27<sup>o</sup>C selama 24 jam lalu post-curing 90<sup>o</sup>C selama 5 jam, (c) Temperatur curing 90<sup>o</sup>C selama 24 jam.





Gambar 2.8 Perbandingan antara tegangan hasil pengujian dengan tegangan teoritis hasil perhitungan (Ritonga, 2014).

Berdasarkan gambar grafik 2.8 terjadi perbedaan hasil antara kekuatan tekan secara teoritis dengan kekuatan tekan pada saat pengujian. HGM jenis IM30K memiliki kekuatan tekan sebesar 28000 PSI atau 193,05 MPa. Epoxy resin memiliki kekuatan tekan 60 MPa untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, 74,45 MPa untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan 106,58 untuk Temperatur *curing* 90°C selama 24 jam. Sehingga dengan penambahan fraksi volume HGM pada epoxy akan semakin meningkatkan kekuatan tekannya.

Berdasarkan gambar grafik 2.8 terjadi perbedaan hasil antara kekuatan tekan secara teoritis dengan kekuatan tekan pada saat pengujian. HGM jenis IM30K memiliki kekuatan tekan sebesar 28000 PSI atau 193,05 MPa. Epoxy resin memiliki kekuatan tekan 60 MPa untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, 74,45 MPa untuk temperatur *curing* 27°C selama 24 jam lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan 106,58 untuk Temperatur *curing* 90°C selama 24 jam. Sehingga dengan penambahan fraksi volume HGM pada epoxy akan semakin meningkatkan kekuatan tekannya.

Lutfianisa (2015) melakukan penelitian tentang Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM 16% dalam Menyerap Energi Akibat *Impact* proyektil. Data yang didapat dari simulasi ditunjukkan pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Spesifikasi rompi anti peluru

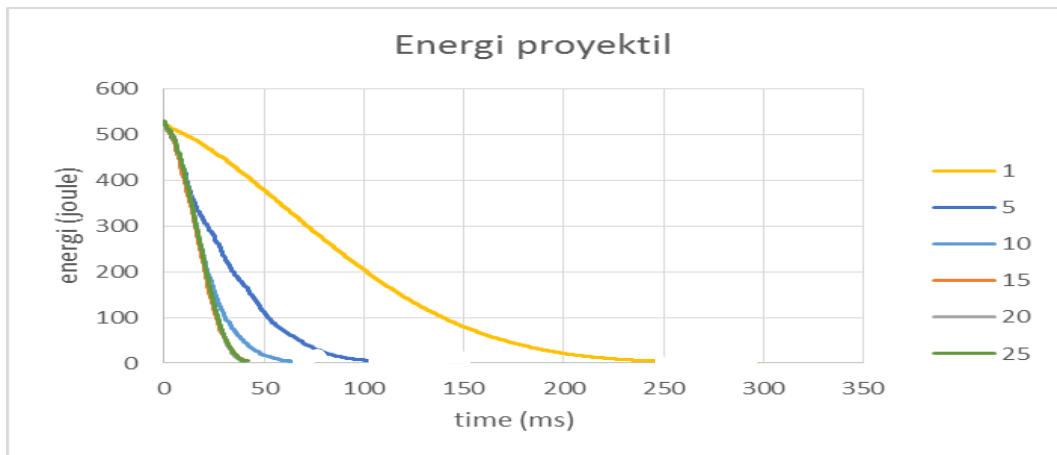
No	Ketebalan (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (Kg)
1	1	0,0001	0.0707
2	5	0.0003	0.35091
3	10	0.0007	0.69483
4	15	0.001	1.0308
5	20	0.0013	1.3591
6	25	0.00162	1.6794

Tabel 2.5 Energi yang dimiliki oleh rompi dan proyektil

No	Ketebalan (mm)	Energi Kinetik Proyektil (J)	Energi Kinetik Rompi (J)	Energi Internal Rompi (J)
1	1	528.37	311.16	239.01
2	5	528.37	249.19	269.17
3	10	528.37	242.92	260.57
4	15	528.37	219.08	270.73
5	20	528.37	191.82	295.97
6	25	528.37	149.5	353.57

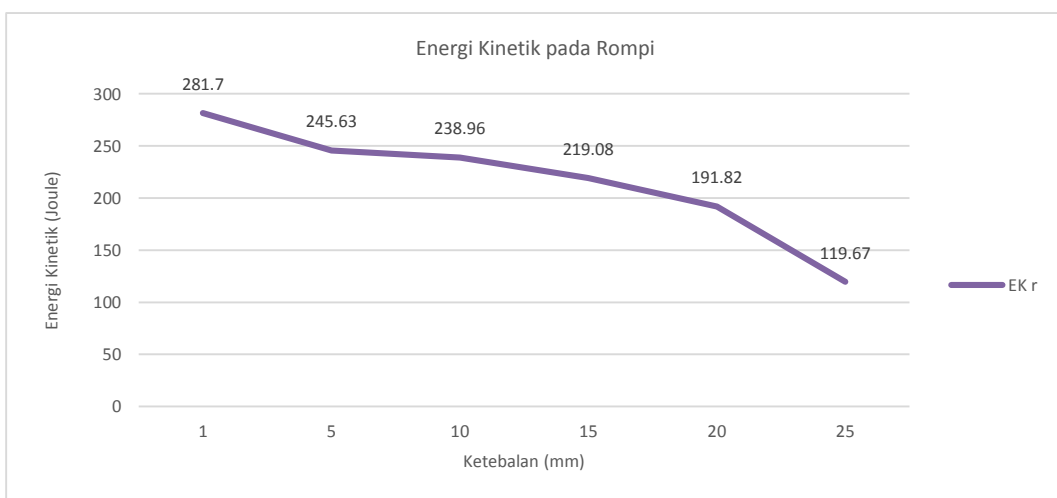
Pada proyektil 9 mm FMJ yang memiliki massa sebesar 8 g berdasarkan standar pengujian NIJ 0101.03 1987 memiliki kecepatan sebesar 426 m/s sehingga akan didapatkan energi kinetik proyektil sebesar 528.37 J sesuai dengan perhitungan sebagai berikut Energi kinetik proyektil akan dipindahkan ke rompi saat proses penetrasi.

Energi kinetik proyektil yang pada awalnya sebesar 528.37J akan berkurang saat proyektil mulai penetrasi ke dalam rompi. Gambar 2.9 menunjukkan tren penurunan energi kinetik proyektil terhadap ketebalan rompi.



Gambar 2.9 Grafik penurunan energi kinetik proyektil

Gambar 2.9 menunjukkan penurunan energi kinetik yang terjadi di tiap ketebalan rompi. Energi kinetik pada rompi ketebalan rompi 1mm menunjukkan tren penurunan yang paling lambat kemudian disusul oleh penurunan energi kinetik pada rompi dengan ketebalan 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm dan 25 mm. Pada rompi dengan ketebalan 15-25 mm penurunan energi kinetik rompi membutuhkan waktu yang hampir sama. Energi kinetik proyektil akan dipindahkan ke rompi anti peluru, energi kinetik yang dipindahkan akan berubah menjadi energi internal dan energi kinetik pada rompi.



Gambar 2.10 Grafik peningkatan energi kinetik pada rompi anti peluru

Pada gambar 2.10 menunjukkan bahwa rompi dengan ketebalan 1 mm energi kinetik maksimal yang diterima sebesar 281.7 joule, rompi dengan ketebalan 5 mm memiliki energi kinetik maksimal sebesar 245.63 joule, ketebalan 10 mm energi kinetik maksimalnya sebesar 238.96 joule, ketebalan 15 mm energi kinetik maksimalnya sebesar 219.08 joule, ketebalan 20 mm energi kinetik maksimalnya sebesar 191.82 joule dan rompi dengan ketebalan 25 mm energi kinetik maksimalnya sebesar 119.67 joule.

Grafik 2.10 menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya ketebalan rompi, energi kinetik proyektil yang diubah menjadi energi kinetik rompi mengalami penurunan. Energi kinetik yang diterima rompi ini masih dapat memberikan beban kepada pengguna rompi. Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher, a U.S. Army ordnance expert menyatakan energi sebesar 170 joule dapat menyebabkan kelumpuhan pada manusia, sehingga dapat disimpulkan bahwa rompi dengan ketebalan 25 mm saja yang dapat memenuhi standart ini.

Energi kinetik proyektil akan dipindahkan ke rompi anti peluru, dan diubah menjadi energi kinetik, energi internal, dan energi panas pada rompi anti peluru. Dalam penelitian ini rompi anti peluru dengan ketebalan 25 mm mampu menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149.5 joule.

Morais., dkk., (2003) telah meneliti mengenai pengaruh komposit terhadap energi impact rendah. Penelitian ini membahas tentang pengaruh serat yang digunakan sebagai penguat dalam material komposit resin matriks disampaikan kepada diulang dampak energi rendah dianalisis. Kevlar, serat kaca dan serat karbon komposit diserahkan untuk menjatuhkan tes berat dari 0.5 m dan dari 1m. Jumlah kejadian dampak yang diperlukan untuk menyebabkan kegagalan tercatat, dan karakteristik fraktur setiap komposit dianalisis dengan optik mikroskop dan sinar - X radiografi.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa komposit serat karbon memiliki kinerja yang lebih baik dari pada serat kaca dan kevlar komposit . Perilaku ini sebagian disebabkan oleh penyerapan energi elastis yang lebih tinggi dari serat karbon yang menunda penyebaran delaminasi, dan serat kerusakan .

Modus kegagalan komposit serat kaca didominasi dengan jumlah yang lebih tinggi dari serat kaca per luas permukaan komposit. Perilaku buruk yang ditunjukkan oleh komposit kevlar disebabkan anisotropi intrinsik dari kevlar. Tabel 2.6 merupakan data *sheet* dari komposit.

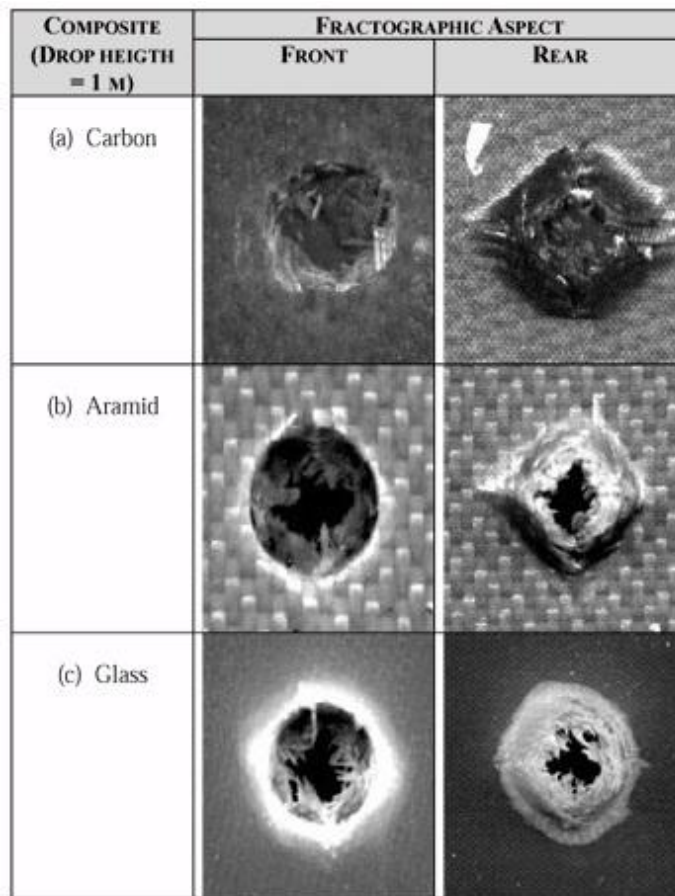
Tabel 2.6 Data *sheet* dari serat penguat dan pre-preg lamina

Fabric style	Carbon Eight hardness	Glass Eight hardness	Aramid Crowfoot
<i>Fabric weight g/m<sup>2</sup></i>	370 ± 20	303 ± 10	170 ± 10
<i>Number of filaments per cm<sup>2</sup></i>	9.5 x 9.5	22.4 x 21.2	7 x 7
<i>Young modulus, Gpa</i>	231	70	131
<i>Tensile strength, MPa</i>	3654	1750	3792
<i>Lamina thickness, mm</i>	0.35	0.21	0.23
<i>Number of lamina, used</i>	6	6	6

Sumber: Morais., dkk., 2003

Kegagalan didefinisikan dalam penelitian ini sebagai penetrasi penuh dari laminasi dengan indenter. Untuk komposit karbon sisi depan memiliki bulat kubah seperti aspek, menunjukkan deformasi homogen. Jenis kegagalan ini merupakan indikasi dari matriks menghancurkan (Morais., dkk., 2003). Fraktur sisi belakang, bagaimanapun, tidak seragam, menampilkan arah yang lebih disukai kegagalan. kegagalan memanjang, mengalir arah serat, terkait dengan serat-matrix antarmuka pecah dan delaminasi berikut

Aspek morfologi ini menunjukkan bahwa kontribusi utama delaminasi kegagalan komposit bawah dampak terjadi dari permukaan tengah ke sisi ketegangan dari komposit, yaitu, ke permukaan belakang. Perubahan mekanisme kegagalan antara depan dan sisi belakang benar terlihat menganalisis radiografi yang diambil oleh sinar-X. Satu dapat dengan jelas melihat perubahan format dari kubah (area gelap) ke salah satu memanjang (area terang). Aspek-aspek yang sama diamati untuk komposit aramid, seperti ditunjukkan pada Gambar. 2.11



Gambar 2.11 Fractografik aspek dari komposit

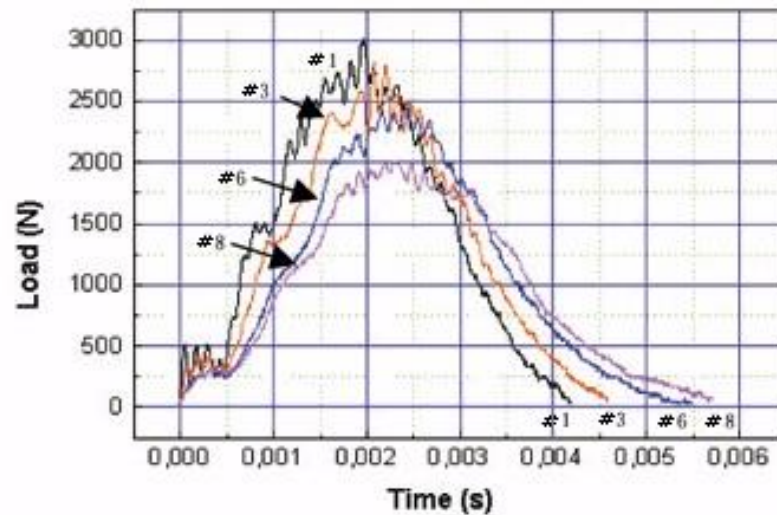
Tabel 2.7 menunjukkan jumlah maksimum dampak yang menyebabkan kegagalan pada komposit . Satu dapat melihat bahwa serat karbon diperkuat komposit memiliki performa yang luar biasa jika dibandingkan dengan kaca dan aramid komposit serat.

Tabel 2.7 Hasil eksperimental dari uji impact

Composite	Maximum number of impacts to failure from		Maximum load (N) at the first hit from	
	0,5 m	1 m	0,5 m	1 m
Aramid fiber	7	2	1125	1120
Glass fiber	58	4	2000	1375
Carbon fiber	>1.500	12	3000	1900

Gambar 2.12 juga menunjukkan informasi kualitatif lain tentang perubahan kerusakan pada komposit akibat peristiwa yang diulang . Seperti yang dapat

dilihat , durasi setiap uji coba terlihat meningkat sebagai jumlah dampak kenaikan. Jejak kurva sketsa pada Gambar 2.12 mewakili dari kiri ke kanan 1, 3, 6 dan 8 hit. Spesimen tertentu ini gagal setelah 9 impact . Bahkan karena setiap impact menghasilkan cacat baru dan berkontribusi terhadap penyebaran yang sudah ada, setiap kali struktur yang rusak dan kurang kaku sedang diuji.



Gambar 2.12 *Typical load vs time curve* untuk tiga tipe dari komposit.

Pada tahun 2010, Daniel Burger, dkk., melakukan penelitian tentang simulasi dampak balistik dari proyektil armor-piercing di hybrid keramik / serat diperkuat komposit. Penelitian ini tentang kerusakan rompi anti peluru yang terjadi akibat *armour-piercing projectile*. Rompi anti peluru ini merupakan komposit yang terbuat dari keramik dan fiber.

Sebanyak 3 model rompi anti peluru yang berbeda diimplementasikan kedalam *ABAQUS/Explicit finite element code*. Model yang digunakan berukuran 0,1 x 0,1 x 0,01 m. Daniel dkk memvariasikan ketebalan keramik yang digunakan menjadikannya 2 model percobaan. Model pertama memiliki ketebalan keramik sebesar 5 cm, sedangkan model kedua memiliki ketebalan 10 cm.

Sedangkan *armour-piercing projectile* yang digunakan terbuat dari *stell core* dan *dicoating* dengan *cooper*. Dimensi yang dimiliki sebesar 7.62x51 mm.

kecepatan awal saat dilontarkan sebesar 850 m/s karena setelah dilontarkan, ia mengalami gesekan dengan udara sehingga kecepatan proyektil mengalami penurunan menjadi 550 m/s. Jarak penembakan yang diberikan adalah sebesar 500 m.

Material keramik yang digunakan dalam penelitian ini memiliki *properties* yang berbeda-beda. Ketika keduanya telah disatukan *mechaniscal properties* yang dimiliki ditunjukkan pada tabel 2.8.

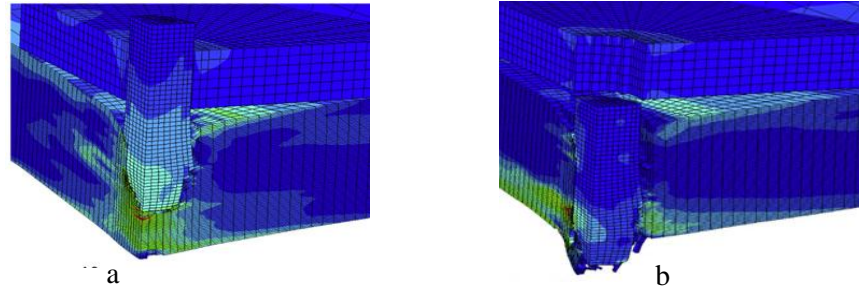
Tabel 2.8 *properties* material untuk 3 model rompi anti peluru

<b>Properties</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Density (kg/m <sup>3</sup> )	3700	3700	3700
Shear modulus (Pa)	9.016 e +10	9.016 e +10	9.016 e +10
A	0.93	0.93	0.93
B	0	0	0.31
C	0	0	0
M	0	0	0.6
N	0.6	0.6	0.6
Strain rate	1	1	1
T (Pa)	2 e +8	2 e +8	2 e +8
K1	1.3905 e +11	1.3905 e +11	1.3905 e +11

Sumber Bürger, dkk., 2010

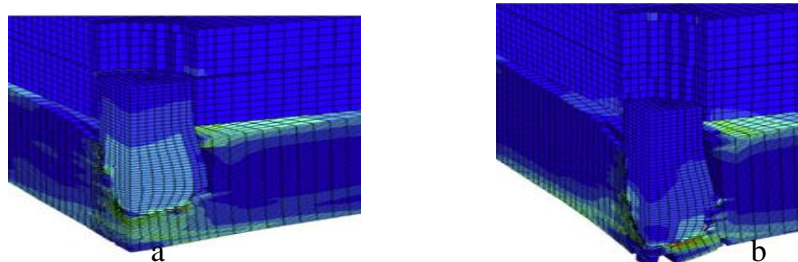
Hasil yang didapatkan oleh Daniel dkk adalah pada rompi anti peluru model pertama dengan ketebalan 5 mm. Ikatan antara keramik dan komposisinya terlepas seperti ditunjukkan pada gambar 2.15a. Pada gambar 2.15b menunjukkan bahwa rompi anti peluru tersebut dapat menembus lapisan keramik dan komposit yang dibuat.





Gambar 2.13. (a) lapisan keramik dan komposit terpisah, (b) Lapisan keramik dan komposit mampu ditembus (Bürger, dkk., 2010)

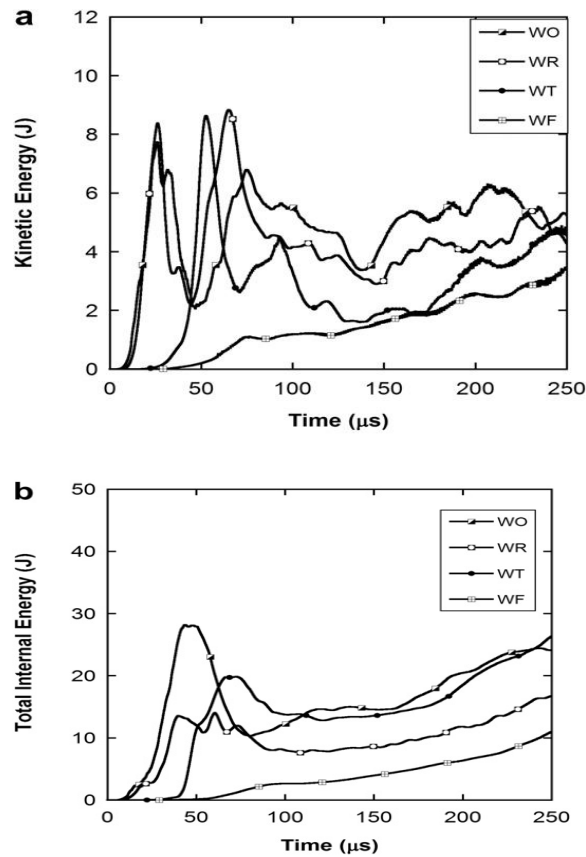
Pada model kedua dengan ketebalan 10 mm, Pada gambar 2.16a ditunjukkan bahwa lapisan keramik dan komposit juga terpisah. Namun ditunjukkan oleh gambar 2.16b lapisan komposit tersebut mampu menahan laju peluru yang ditembakkan.



Gambar 2.14 (a) lapisan keramik dan komposit terpisah, (b) Lapisan keramik dan komposit mampu menahan (Bürger, dkk., 2010)

Guden, dkk., (2011) melakukan penelitian tentang Pengaruh interlayer pada kinerja balistik dari Keramik / komposit: studi eksperimental dan numerik. Menganalisa kemampuan model rompi anti peluru kemampuan model rompi anti peluru untuk menyerap energi akibat *impact ballistic* proyektil. Model yang diuji oleh M, Guden dkk. terbuat dari komposit dan fiber. Model yang dibuat divariasikan menjadi empat model, model 1 tanpa sisipan, model 2 disisipi rubber, model 3 disisipi teflon, model 4 disisipi aluminium foam. Model yang dibuat memiliki luas 101,6 x 14 mm.

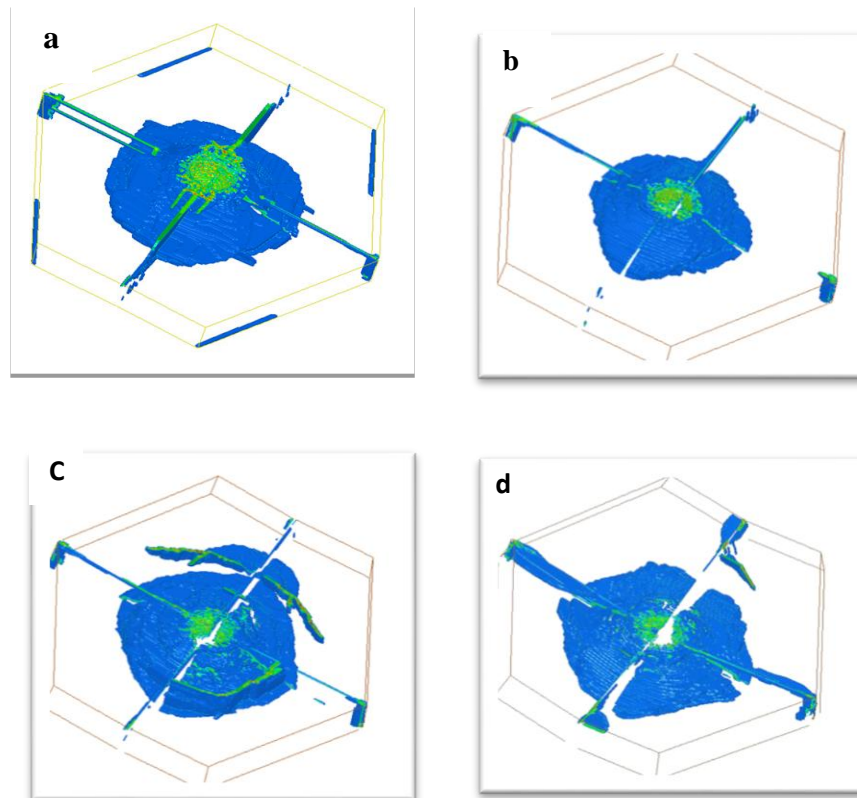
Dengan menggunakan AP Projectile type M61 berukuran 7,62 x 51 mm. Dengan jarak penembakan sejauh 15 m, kecepatan awal pelontaran sebesar 800 m/s menurun kurang lebih sebanyak 10 m/s.



Gambar 2.15 (a) grafik energi kinetic yang diterima model (b) grafik energi dalam yang timbul pada model (Guden, dkk., 2011)

Hasil yang didapat pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 2.17 dan Gambar 2.18. Pada Gambar 2.17a, dapat disimpulkan bahwa komposit tanpa sisipan dan yang disisipi oleh rubber mengalami peningkatan energi kinetik yang hampir sama. Dan dengan menyisipkan aluminium foam dan teflon, energi kinetik yang timbul tertunda serta mampu mengurangi energi kinetik secara drastis pada kedua model tersebut. Gambar 2.17b juga menunjukkan hal serupa, pada model 1 dan 2 peningkatan energi total terjadi sangat cepat dengan nilai energi maksimum pada masing-masing model kurang lebih sebesar 27 J pada 45 mikro sekon dan 12 J pada 42 mikro sekon.

Sedangkan pada model 3 energi total maksimum kurang lebih sebesar 18 J pada 62 mikro sekon. Model 4 menunjukkan peningkatan total energi secara perlahan, dan terus meningkat samapai waktu pengujian berakhir tanpa mengalami penurunan.



Gambar 2.16 Daerah kerusakan yang timbul (Tasdemirci, dkk., 2011)

Kerusakan yang timbul pada model 1 dan model 2 menunjukkan bahwa kerusakan yang terjadi terpusat di daerah peluru menumbuk model ditunjukkan oleh gambar 2.18 a dan b. Sedangkan pada model 3 dan 4, seperti pada gambar 2.18 c dan d area kerusakan meluas ke arah radial.

Pada tahun 2015 Ni'man Nafi' melakukan penelitian mengenai pengaruh kandungan partikel dan serat serta orientasi serat terhadap kekuatan impak komposit serat karbon- serbuk genteng sokka bermatriks *phenolic*. Pengujian impak dilakukan dengan mencatat sudut awal pendulum yaitu  $135^{\circ}$  kemudian pendulum dilepaskan untuk mengetahui sudut tanpa adanya spesimen  $\alpha$ , kemudian pendulum dilepaskan sehingga menabrak dan mematahkan spesimen hingga

patah. Dari hasil pengujian impak komposit SK-SGS-Phenolic dengan fraksi volume phenolic 60%, variasi fraksi volume serat karbon-serbuk genteng sokka 0%:40; 10%:30%; 20%:20%; 30%:10%; 40%:0% dapat dilihat pada tabel 2.9 dan tabel 2.10.

Tabel 2.9 Kekuatan impak komposit SK-SGS-Phenolic dengan orientasi serat 0°/90°.

SK:SGS (V <sub>f</sub> :V <sub>p</sub> ), V <sub>m</sub> = 60%	Kekuatan impak (Kj/m <sup>2</sup> )		
	Min	Max	Rata-rata
0%:40	8,932	13,324	10,765
10%:30%	42,862	70,703	46,924
20%:20%	102,962	184,871	107,450
30%:10%	137,519	250,525	148,784
40%:0%	180,249	296,356	193,984

Tabel 2.10 Kekuatan impak komposit SK-SGS-Phenolic dengan orientasi serat ± 45°.

SK:SGS (V <sub>f</sub> :V <sub>p</sub> ), V <sub>m</sub> = 60%	Kekuatan impak (Kj/m <sup>2</sup> )		
	Min	Max	Rata-rata
0%:40	8,932	13,324	10,765
10%:30%	62,462	51,693	64,952
20%:20%	169,793	110,381	179,795
30%:10%	223,415	161,920	239,943
40%:0%	290,135	209,876	292,874

Pada tabel 2.9, spesimen yang diuji adalah spesimen dengan orientasi serat 0°, 90°. Kekuatan ikpak semakin maksimal didapat pada komposit tanpa menggunakan serbuk genteng sokka, atau komposit dengan komposisi fraksi volume phenolic 60% dan fraksi volume serat karbo 40%. Kekuatan impak pada komposit tersebut adalah 193.98 Kj/m<sup>2</sup>.

Tabel 2.10 spesimen yang diuji adalah spesimen dengan orientasi serat karbon ± 45°. Kekuatan impak pada fraksi serat karbon 10% dan fraksi volume

SGS 30% adalah 64.95 KJ/m<sup>2</sup>. Pada kandungan serat karbon dan SGS 20%:20% kekuatan impak komposit naik menjadi 179.80 KJ/m<sup>2</sup>.

Dari data hasil pengujian impak, diperoleh kekuatan impak pada komposit yang mempunyai orientasi  $\pm 45^\circ$  lebih besar dari pada kekuatan impak dengan orientasi serat  $0^\circ/90^\circ$ . Besarnya perbedaan kekuatan impak akibat perbedaan orientasi serat karbon dapat dilihat pada gambar grafik 2.19 dibawah ini.



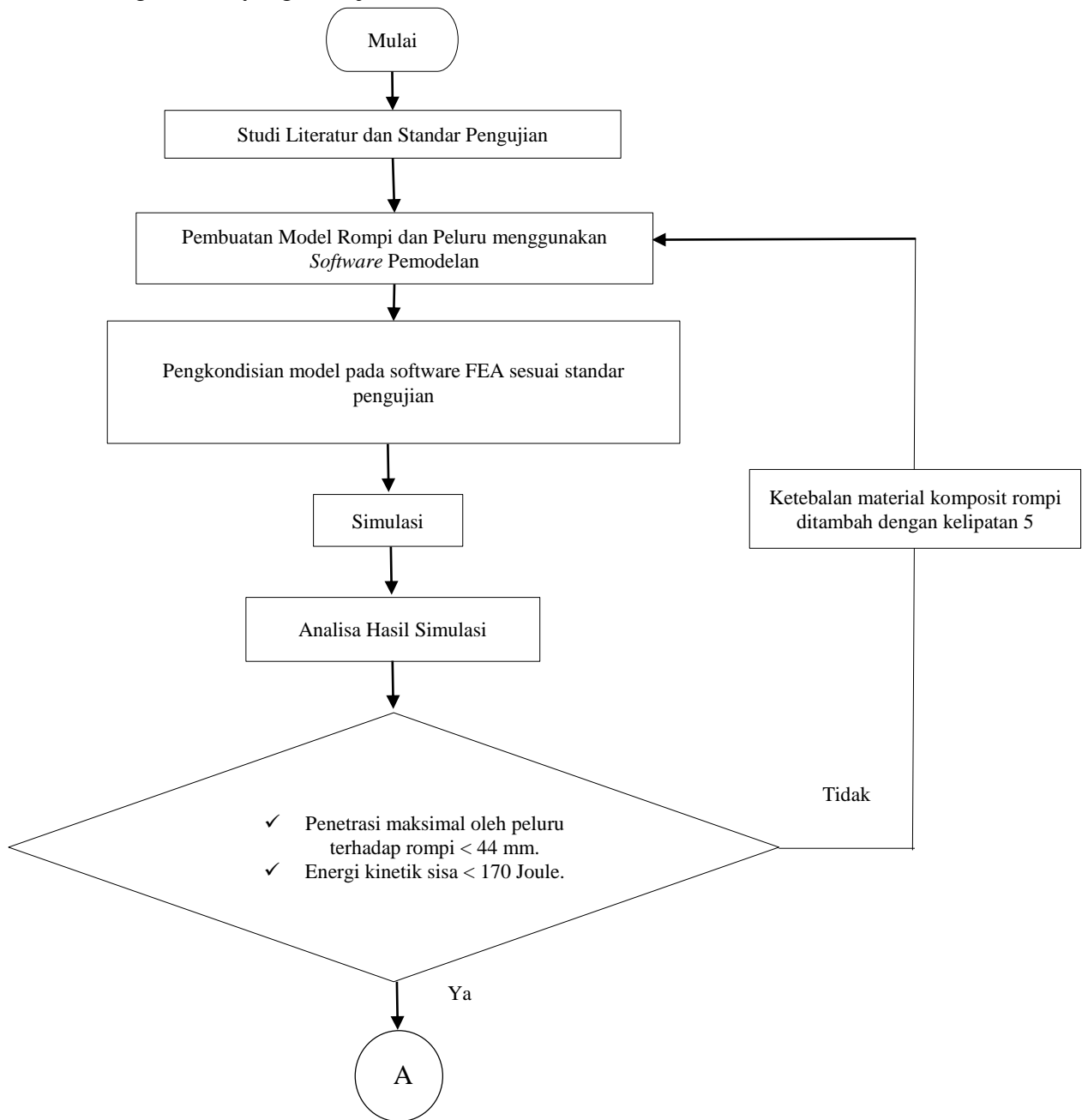
Gambar 2.17 Perbandingan grafik orientasi  $0^\circ/90^\circ$  dan orientasi  $\pm 45^\circ$  (Nafi', 2015)

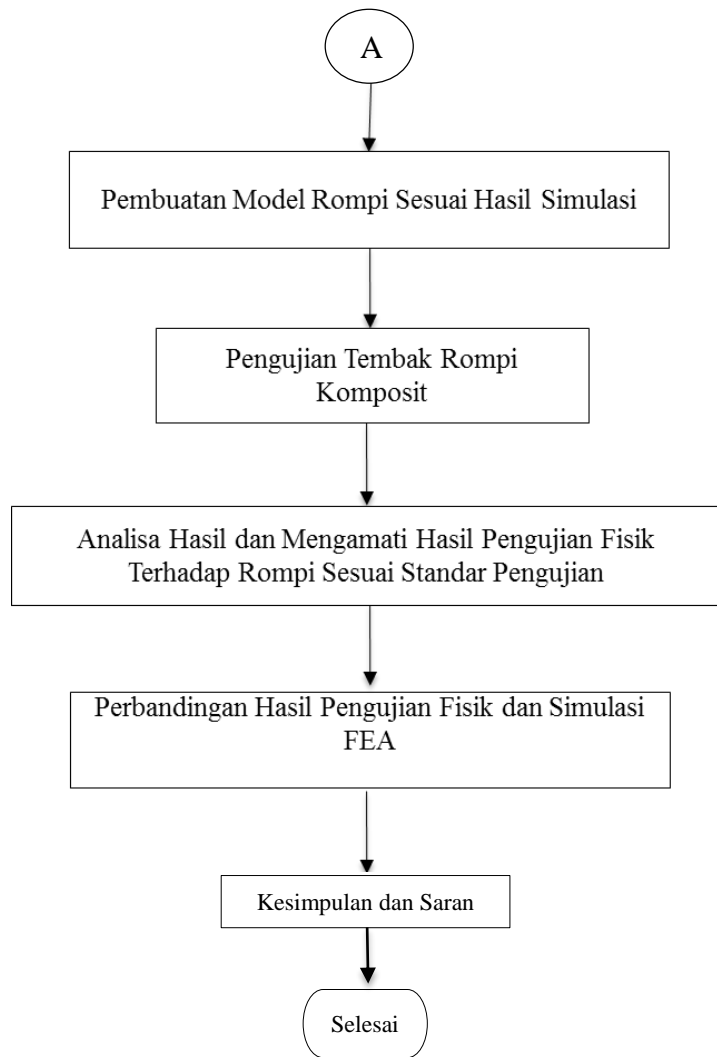
*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada pelaksanaan tesis ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian simulasi dan eksperimen

Tabel 3.1 menunjukkan propertis material peluru yang digunakan dalam melakukan simulasi bertujuan untuk memberikan kekuatan material dari peluru.

Tabel 3.1 Properties Material Peluru



Model	massa	Modulus Young	Poisson ratio
Peluru	8.1 g	200000 MPa	0.3

Sumber : NIJ 0101.06



### 3.2 Standart Pengujian

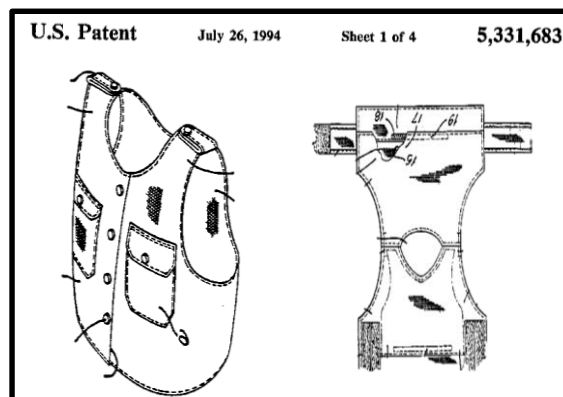
Tabel 3.2 Standart Pengujian NIJ Standard 0101.06

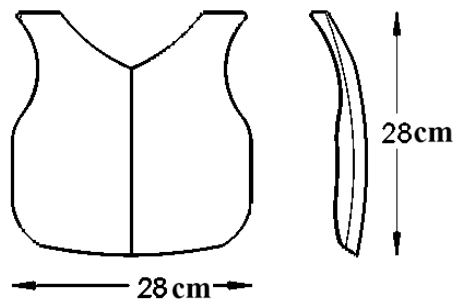
BulletProof vest Type	Weapons	Test Variables			Performance Requirements
		Test Ammunition	Nominal Bullet Mass	Minimum Required Bullet Velocity	Maximum Depth of Deformation
III-A		44 Magnum Lead SWC Gas Checked	15.5 gram	426 m/s	44 mm
		9 mm FMJ	8.1 gram	426 m/s	44 mm

Sumber: NIJ 0101.06

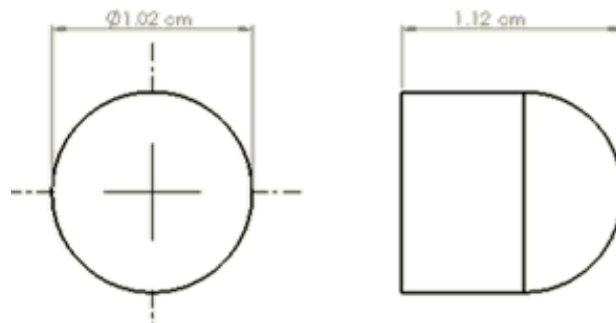
Tabel 3.2 menunjukkan standart pengujian NIJ Standard 0101.06. Penelitian ini menggunakan tipe III-A untuk *test ammunition* sebesar 9mm FMJ, nominal *bullet mass* sebesar 8,1 g, minimum *required bullet* sebesar 426 m/s dan makimum *depth of deformation* sebesar 44 mm.

### 3.3 Pembuatan Model





Gambar 3.2 Model rompi (US5331683 A)

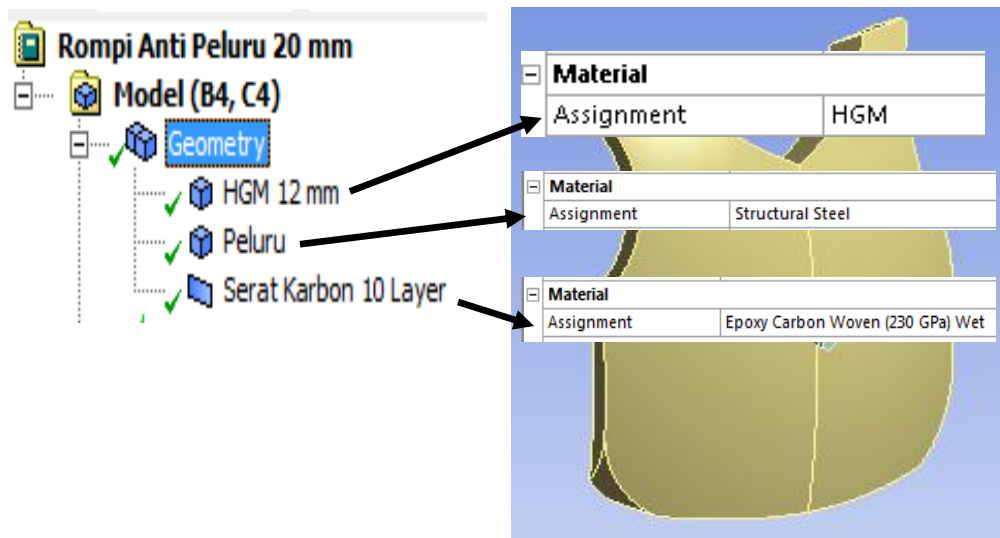


Gambar 3.3 Model peluru (US Patent 5094169).

### 3.4 Pengkondisian Model

Pada penelitian ini menggunakan software finite element untuk dilakukan pengkondisian model mengikuti beberapa tahap antara lain:

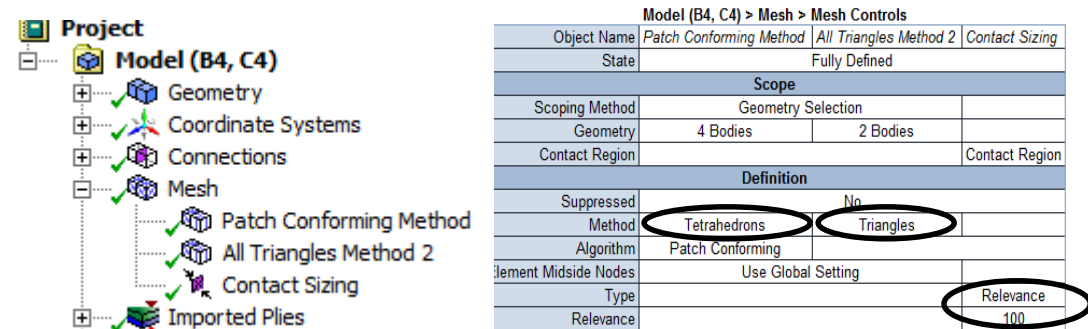
## 1. Pemilihan Material



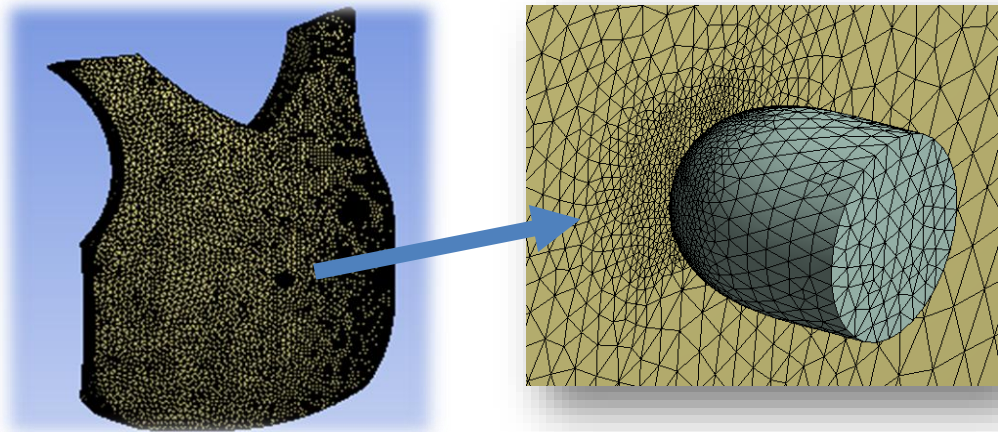
Gambar 3.4 Pemilihan Material

## 2. Meshing

*Meshing* merupakan proses pembagian model menjadi elemen-elemen kecil. Pada penelitian ini dipilih *meshing* dengan ukuran yang kecil seperti Gambar 3.6 sehingga hasil yang didapat mampu mendekati hasil sebenarnya.



Gambar 3.5 Langkah pemilihan meshing



Gambar 3.6 Hasil pemilihan meshing

### 3. Pemberian Beban dan *fixed support* pada Model

Object Name	Pre-Stress (None)	Velocity
State	Fully Defined	
<b>Definition</b>		
Pre-Stress Environment	None	
Pressure Initialization	From Deformed State	
Input Type	Velocity	
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. m/s	
Y Component	0. m/s	
Z Component	-426. m/s	
Suppressed	No	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Body	

Gambar 3.7 Langkah pemberian beban berupa kecepatan pada peluru.

Object Name	Fixed Support
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Faces
<b>Definition</b>	
Type	Fixed Support
Suppressed	No

Gambar 3.8 Pemberian *fixed support* pada dua sisi model rompi.

### **3.5 Peralatan dan Bahan**

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### **3.5.1 *Hollow Glass Microsphere***

*Hollow Glass Micropsheres* (HGM) biasanya digunakan sebagai pengisi untuk material komposit dan merupakan penguat jenis partikel. Jenis HGM yang digunakan pada penelitian ini HGM jenis IM30K dimana densitas 1035,4 Kg/m<sup>3</sup>, modulus young 567,02 MPa dan *poisson ratio* 0,12.



Gambar 3.9 *Hollow Glass Micropsheres* IM30K

#### **3.5.2 *Polivinil Alkohol***

*Polivinil Alkohol* (PVA) digunakan sebagai bahan adesif (perekat), sebagai *protective colloid* bagi proses emulsi polimerisasi serat. PVA polimer yang larut dalam air sehingga dapat digunakan dalam jumlah yang kecil sebagai emulsifier untuk kosmetik.

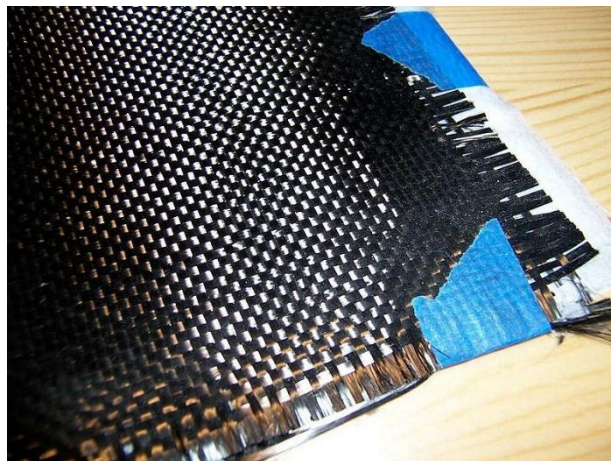


Gambar 3.10 Polivinil Alkohol

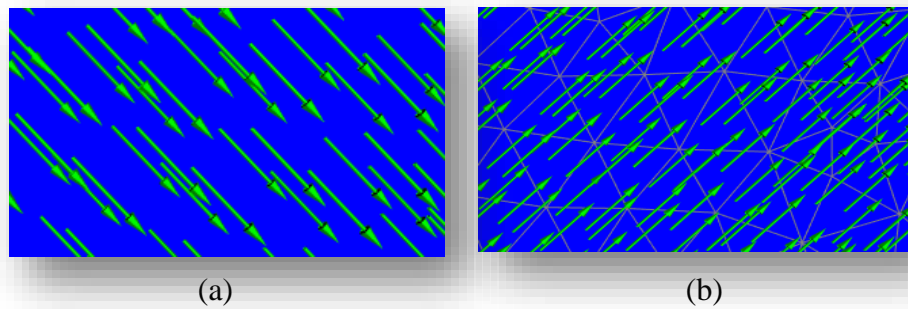
### 3.5.3 Serat Karbon

Serat karbon yang digunakan pada penelitian ini adalah serat karbon anyaman dan jenis serat karbon seri TC-35, dimana densitas serat karbon sebesar  $1451 \text{ Kg/m}^3$ , modulus young 59160 MPa dan poisson ratio 0,3.

Serat anyaman adalah serat yang berbentuk lembaran anyaman dari beberapa serat lurus yang disusun secara anyaman, orientasi sudut serat karbon yang akan digunakan yaitu  $\pm 45$  yang bertujuan untuk menghambat laju kecepatan dari peluru.



Gambar 3.11 Serat karbon TC-35



Gambar 3.12 Pemberian sudut orientasi pada serat karbon (a) Sudut  $45^\circ$ . (b) Sudut  $-45^\circ$ .

### 3.5.4 Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang bahan yang akan digunakan. Timbangan digital berfungsi untuk membantu mengukur berat serta cara kalkulasi agar hasil yang didapat lebih akurat.



Gambar 3.13 Timbangan Digital.

### 3.5.5 Pompa Vakum

Pompa vakum adalah sebuah alat untuk mengeluarkan moleku-molekul gas dari dalam sebuah ruangan tertutup untuk mencapai tekanan vakum. Pompa vakum menjadi salah satu komponen penting di beberapa industri seperti pabrik lampu, *vacuum coating* pada kaca, pabrik komponen elektronik, pemurnian oli, bahkan alat-alat kesehatan seperti *radiotherapy*, *radiopharmacy*.





Gambar 3.14 Pompa Vakum.

### 3.6 Langkah-langkah Percobaan

#### 3.6.1 Pembuatan Rompi Komposit

Berdasarkan penelitian Ritonga, W., (2014) penambahan fraksi volume HGM 16% pada *epoxy* dapat meningkatkan kekuatan tekan dan ketangguhan sebesar 121,2866 MPa dan  $21,54 \times 10^{-3}$  (J/mm<sup>3</sup>), sehingga penelitian ini mengadopsi penambahan fraksi volume HGM 16% pada *epoxy*.

Penelitian ini menggunakan matriks *Epoxy* resin dengan penguat *Hollow Glass Microsphere* jenis iM30K.

Proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Cetakan persegi panjang dibersihkan dan dilapisi dengan *Polivinil Alkohol* (PVA) secara merata. Hal ini bertujuan agar komposit mudah dilepas dari cetakan ketika material telah jadi.
2. *Epoxy* resin dan *Hollow Glass Microsphere* diukur sesuai dengan perbandingan volume variasi sebesar 84% dan 16%. Kemudian diaduk hingga merata selama kurang lebih 15 menit agar campuran *epoxy* resin – HGM merata serta mengurangi ruang kosong diantara material pada hasil komposit tersebut.
3. Campuran dituang ke dalam cetakan dan diratakan.



4. Campuran dibiarkan dalam cetakan untuk menjalani proses *curing* selama 24 jam pada temperatur kamar.
5. Setelah HGM kering selanjutnya dilapisi dengan serat karbon dengan menggunakan resin *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan pemakaian sebesar 3:1
6. Hasil dari HGM dan serat karbon di vakum bertujuan epoxy dan hardener dapat menutupi secara menyeluruh pada permukaan serat karbon.
7. Komposit dilepas dari cetakan.

### **3.6.2 Pengamatan bentuk fisik komposit**

Setelah proses *curing*, komposit diamati apakah terdapat cacat pada komposit. Apabila terdapat cacat pada komposit seperti retak atau porositas pada permukaan, maka komposit tersebut tidak dapat digunakan dan proses pembentukannya harus diulang dari awal.

## **3.7 Pelaksanaan Uji Tembak**

### **3.7.1 Spesimen uji tembak**

Spesimen uji tembak pada penelitian ini dibentuk dengan ukuran 20x17x2 cm dengan variasi HGM dan serat karbon pada tabel 4.1.

### **3.7.2 Prosedur uji tembak**

Pengujian tembak dilakukan sebagai berikut:

1. Mengatur posisi spesimen pada tumpuan antara sisi kanan dan sisi kiri dengan posisi penembak.
2. Langkah berikutnya yaitu menggunakan senjata sesuai dengan Standart Pengujian NIJ Standard 0101.06 pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.
3. Posisi penembak berdiri sejajar dengan spesimen rompi komposit dengan jarak 5 m Standart Pengujian NIJ Standard 0101.06.
4. Setelah ditembak spesimen rompi komposit diamati untuk melihat pola kerusakan dan kedalaman penetrasi yang terjadi.
5. Kemudian hasil spesimen rompi komposit divalidasi dengan hasil simulasi.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

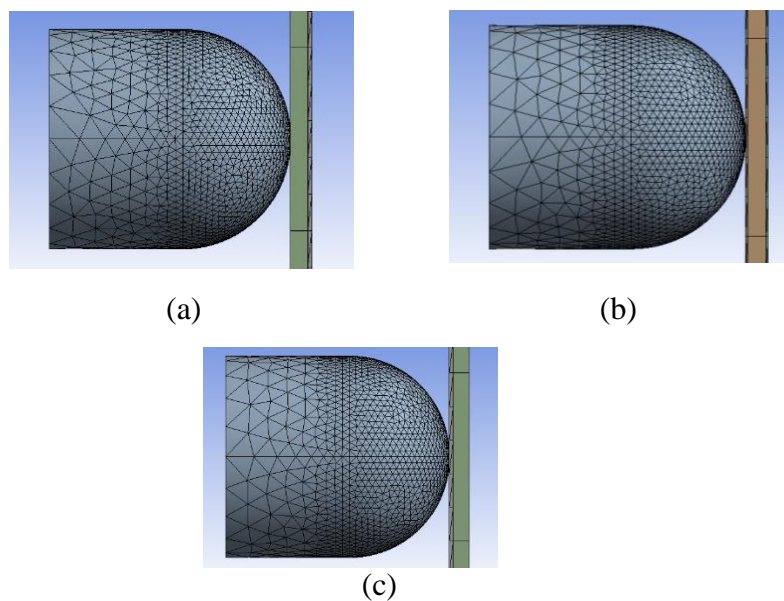
## BAB 4

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN SIMULASI

Hasil pemodelan tentang rompi anti peluru dengan menggunakan bahan material komposit terhadap energi kinetik, energi internal, energi panas dan penetrasi. Ketebalan material rompi anti peluru divariasi berkisar antara 1-20 mm dengan kelipatan 5 mm setiap pengujian.

Lutfianisa (2015) melakukan penelitian tentang Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM 16% dalam Menyerap Energi Akibat *Impact* proyektil. Dalam penelitian ini rompi anti peluru dengan ketebalan 25 mm mampu menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149,5 joule dan energi internal sebesar 353,57 Joule dengan berat rompi sebesar 1,6794 Kg. Hasil pemodelan Lutfianisa (2015) digunakan sebagai referensi untuk proses pembuatan rompi anti peluru HGM dan serat karbon bertujuan untuk mereduksi tebal, bobot dan penetrasi yang terdapat pada rompi anti peluru HGM dan serat karbon.

Hasil penelitian awal dengan ketebalan 1 mm untuk mengamati pengaruh penambahan serat karbon pada posisi depan, tengah dan belakang HGM untuk menjadi referensi sebagai susunan HGM dan serat karbon yang akan dipakai pada penelitian ini.



Gambar 4.1 Posisi serat karbon. (a) Posisi Depan, (b) Posisi Tengah, (c) Posisi Belakang.

Tabel 4. 1 Penyerapan Energi Peluru rompi tebal 1 mm.

No	Ep (J)	Ek (J)	Eint (J)	E total (J)	Shear Stress (Pa)	Strain (J)	Eq. Stress (Pa)	Penyerapan Energi (%)
Depan	528,37	328,10	159,16	487,26	$857,24 \times 10^6$	0,85977	$314,03 \times 10^7$	02,21 %
Tengah	528,37	296,90	214,39	511,29	$359,63 \times 10^6$	0,80392	$142,82 \times 10^7$	06,76 %
Belakang	528,37	270,99	251,99	522,98	$137,97 \times 10^6$	0,76509	$283,73 \times 10^6$	09,62 %

Sumber: Hasil Simulasi

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa ketebalan rompi 1 mm dengan posisi serat karbon dibelakang HGM lebih baik dalam menyerap energi peluru dengan energi internal dan energi kinetik sebesar 251,99 dan 270,99 Joule. Rompi 1 mm dengan posisi serat karbon dibelakang lebih baik dibandingkan dengan posisi serat karbon didepan maupun ditengah HGM. Hal ini disebabkan oleh propertis HGM baik dalam menyerap energi yang diakibatkan impak dari peluru. Energi impak dari peluru pada awal tumbukan disebarkan secara baik oleh HGM jika dibandingkan oleh serat karbon. Hal ini terlihat dari luasan yang terpengaruh oleh gaya impak pada HGM lebih luas dari pada serat karbon. Energi impak sisa dari peluru setelah bertumbukan dengan HGM kemudian diterima oleh serat karbon. Energi impak sisa pada serat karbon tidak tersebar merata seperti pada HGM, namun terpusat pada satu titik.

#### 4.1 Hasil Data Penelitian Pemodelan Simulasi

Hasil simulasi diperoleh dari data properties rompi anti peluru dengan 16% HGM dan serat karbon sebagai berikut. Table 4.2 menunjukkan spesifikasi rompi anti peluru.

Tabel 4.2 Spesifikasi rompi anti peluru

No	Ketebalan (mm)	Material (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (Kg)
1	1	0,2 mm HGM dan 1 layer serat karbon.	0,000074	0,049
2	5	1,8 mm HGM dan 4 layer serat karbon.	0,00018	0,472
3	10	5,2 mm HGM dan 6 layer serat karbon.	0,00036	0,713
4	15	8,6 mm HGM dan 8 layer serat karbon.	0,00051	1,048
5	20	12 mm HGM dan 10 layer serat karbon.	0,00098	1,384

Sumber: Hasil Simulasi

Ni'man Nafi' (2015) telah melakukan penelitian mengenai orientasi serat karbon terhadap kekuatan impak dan menghasilkan orientasi serat  $\pm 45$  mampu menaikkan kekuatan impak pada serat karbon. Oleh karena itu pada penelitian ini akan mengadopsi orientasi serat karbon yang dipakai untuk meningkatkan kekuatan impak pada aplikasi rompi anti peluru komposit HGM dan serat karbon. Tabel 4.3 menunjukkan energi yang dimiliki oleh rompi dan peluru.

Tabel 4.3 Energi yang dimiliki oleh rompi dan peluru.

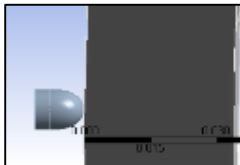
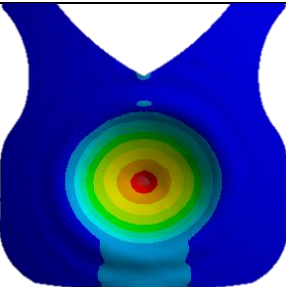
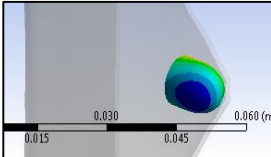
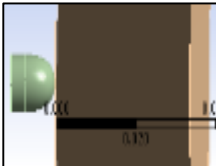
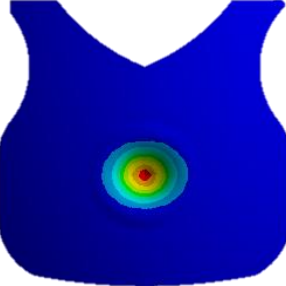
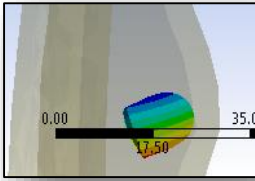
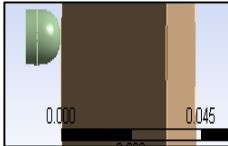
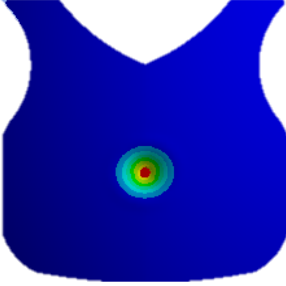
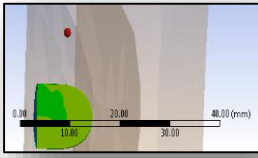
No	Ketebalan (mm)	Kedalaman penetrasi (mm)	Energi Kinetik Peluru (J)	Energi Kinetik Sisa Rompi (J)	Energi Internal Rompi (J)
1	1	44,71	528,37	270,99	251,99
2	5	21,95	528,37	258,10	255,71
3	10	12,39	528,37	228,49	269,63
4	15	9,81	528,37	198,29	291,98
5	20	5,54	528,37	138,77	348,27

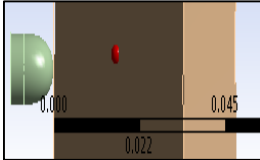
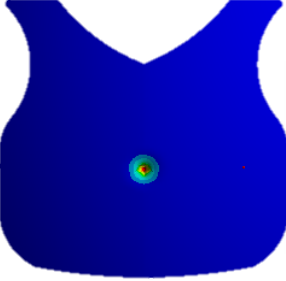
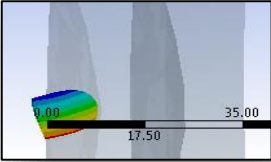
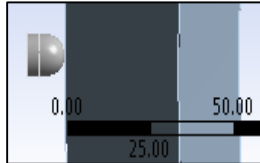
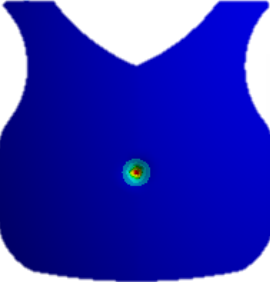
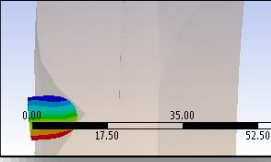
Sumber: Hasil Simulasi

Energi awal dari peluru sebesar 528,37 Joule seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3 bahwa energi peluru tersebut mengalami penurunan kecepatan akibat dari adanya penyerapan energi. Rompi yang terbuat dari komposit HGM dan serat

karbon mampu menyerap energi sehingga energi yang akan diteruskan ketubuh kecil. Energi internal rompi adalah sebesar 348,27 Joule yang ditimbulkan dari impact peluru dan energi kinetik sisa yang akan diteruskan ke tubuh sebesar 138,77 Joule pada ketebalan 20 mm. Tabel 4.4 menunjukkan Kedalaman penetrasi peluru pada rompi anti peluru.

Tabel 4.4 Kedalaman penetrasi peluru pada rompi anti peluru

Ketebalan (mm)	Posisi Peluru Awal	Deformasi	Posisi Peluru Akhir	Kedalaman penetrasi (mm)
1				44,71
5				21,95
10				12,39

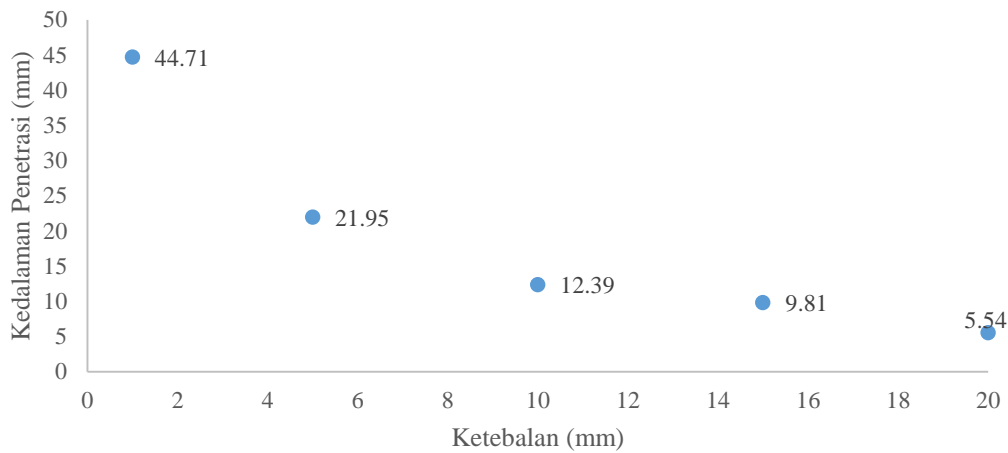
Ketebalan (mm)	Posisi Peluru Awal	Deformasi	Posisi Peluru Akhir	Kedalaman penetrasi (mm)
15				9,81
20				5,54

Sumber: Hasil Simulasi

## 4.2 Analisa Data dan Pembahasan Pemodelan Simulasi

### 4.2.1 Penetrasi Peluru Terhadap Rompi Anti Peluru Simulasi

Energi kinetik yang disebabkan oleh peluru pada rompi menyebabkan kecepatan peluru terjadi penurunan. Akibat dari penurunan kecepatan tersebut maka peluru untuk menembus rompi juga berkurang, sehingga kedalaman untuk penetrasi juga berkurang seperti ditunjukkan pada tabel 4.4. Gambar 4.2 menunjukkan penurunan penetrasi peluru terhadap variasi ketebalan rompi.



Gambar 4.2 Grafik penurunan penetrasi peluru terhadap ketebalan

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin bertambah ketebalan rompi, maka kemampuan peluru untuk berpenetrasi ke rompi juga semakin berkurang. Standart NIJ Standard 0101.06 dari U.S. Department of Justice menyatakan deformasi maksimum yang dibutuhkan agar rompi anti peluru dapat digunakan dengan baik adalah sebesar 44 mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada ketebalan 1 mm peluru mampu menembus rompi sejauh 44,71 mm, sedangkan untuk ketebalan 5, 10, 15, dan 20 mm kedalaman deformasi menjadi berkurang kurang berturut sebesar 21,95, 12,39, 9,81 dan 5,54 mm.

Hasil simulasi juga menunjukkan mulai ketebalan 5 mm kedalaman deformasi yang disebabkan oleh peluru lebih kecil dari 44 mm. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa rompi dengan ketebalan 5, 10, 15 dan 20 mm telah memenuhi standart NIJ Standard 0101.06 dari U.S. Department of Justice.

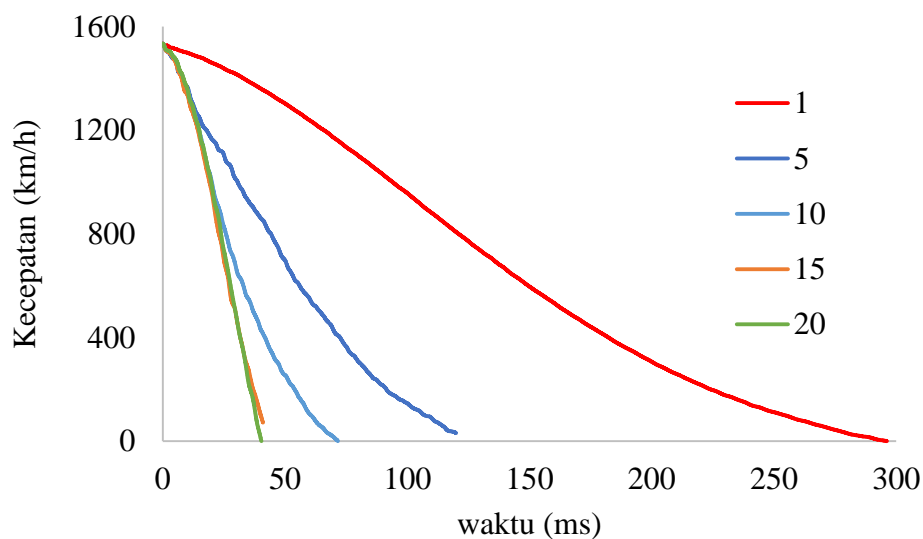
Penurunan penetrasi diakibatkan karena sifat properties material HGM dan serat karbon yang kuat, ketangguhan dan kekakuan yang baik sehingga penetrasi berkurang seiring dengan bertambahnya ketebalan dari rompi anti peluru.



#### 4.2.2 Kecepatan Peluru Simulasi.

Tembakan dari senjata api dengan tekanan tinggi memberikan dorongan berupa kecepatan terhadap peluru. Peluru yang keluar dari senjata api melepaskan diri dari selongsong akibat pembakaran mesiu yang terdapat di dalam selongsong.

Berdasarkan standar pengujian NIJ 0101.06 level III-A kecepatan peluru yang digunakan adalah sebesar 426 m/s. Peluru yang memiliki kecepatan tinggi akan mengalami penurunan ketika bentumbukan dengan rompi, sehingga energi kinetik dipindah ke rompi.



Gambar 4.3 Grafik Penurunan kecepatan peluru

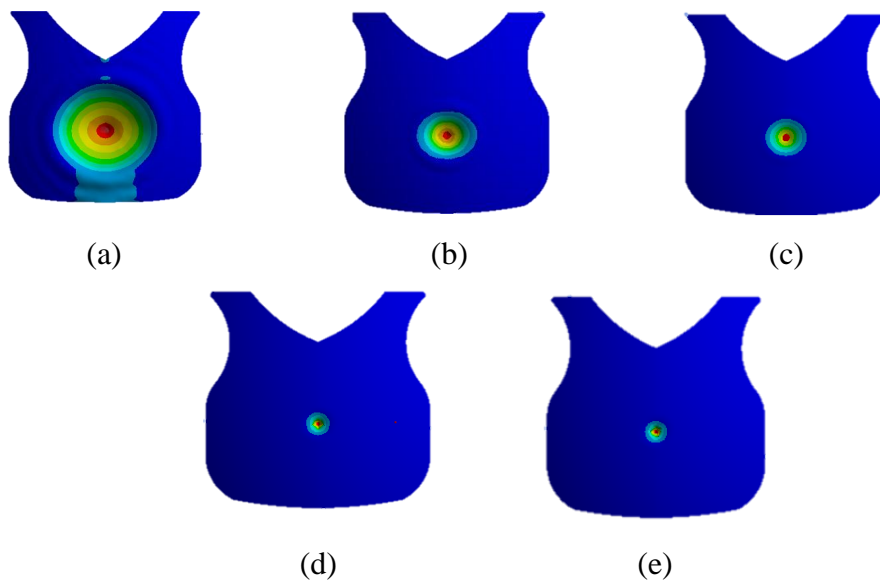
Gambar 4.3 menunjukkan penurunan kecepatan peluru dari kecepatan sebesar 426 m/s menjadi 0 m/s. Penurunan kecepatan peluru pada rompi dengan ketebalan 1mm membutuhkan waktu 300 mikro sekon untuk mencapai 0 m/s. Sedangkan pada rompi dengan ketebalan 15 dan 20 mm membutuhkan waktu kurang dari 50 mikro sekon.

Dapat diamati bahwa dengan bertambahnya ketebalan rompi penurunan kecepatan peluru semakin cepat. Hal ini disebabkan oleh kombinasi serat karbon dan HGM. Serat karbon memiliki sifat mekanis yang kuat, koefisien pemuaian kecil dan kekakuan tinggi dan juga dipengaruhi oleh arah atau alur serat. Serat karbon juga memiliki *specific modulus* dan *specific strength* yang paling tinggi diantara

semua serat penguat. Selain itu juga HGM juga memiliki ketangguhan dan kekakuan yang baik dan juga memiliki densitas yang kecil karena memiliki lubang sehingga cocok digunakan meredam kekuatan dari impak maupun bending sehingga dapat menurunkan kecepatan peluru.

#### 4.2.3 Pola Kerusakan pada Rompi Anti Peluru Simulasi.

Energi yang diterima oleh rompi akan menyebabkan kerusakan pada rompi, peluru yang ditembakkan oleh senjata api memiliki kecepatan akibat tekanan yang dihasilkan oleh pembakaran mesiu. Kecepatan peluru sebesar 426 m/s dan massa peluru sebesar 8,1g mampu menimbulkan energi kinetik sebesar 528,37 J. Energi kinetik yang dimiliki peluru akan dipindahkan ke rompi anti peluru dan diubah menjadi energi internal dan kinetik sisa beserta energi panas. Bentuk kerusakan yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 4.4.

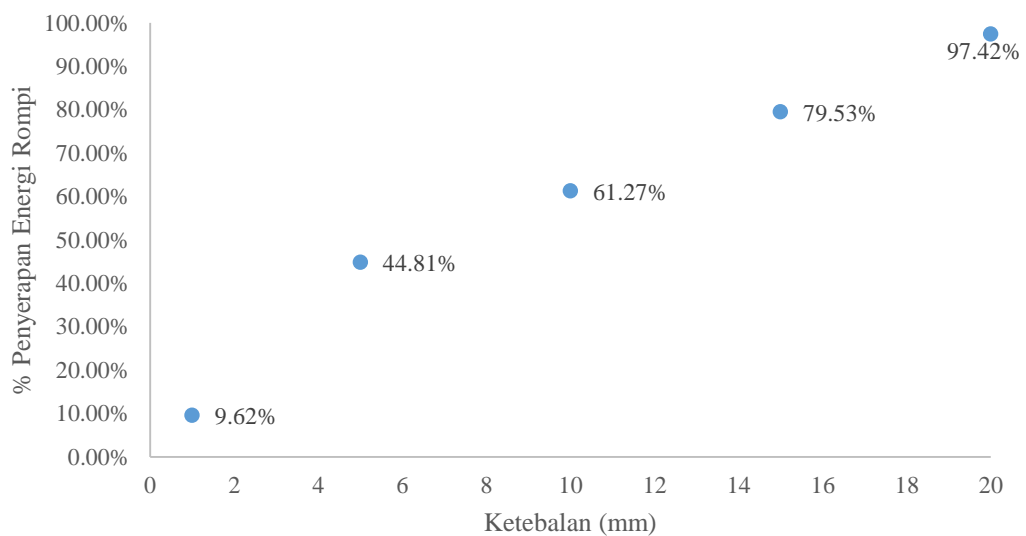


Gambar 4.4 Pola Kerusakan Rompi dengan variasi ketebalan. (a) 1 mm. (b) 5 mm. (c) 10 mm. (d) 15 mm. (e) 20 mm.

Pola kerusakan yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 semakin bertambah ketebalan rompi anti peluru kontur kerusakan yang terjadi semakin kecil. Kerusakan yang terjadi pada rompi dengan ketebalan 1 mm sampai 20 mm menunjukkan pola kerusakan ke arah radial.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya peluru bertumbukan dengan arah segaris dengan arah pandangan terhadap rompi. Gambar 4.4 a menunjukkan kerusakan yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan kerusakan yang terjadi pada Gambar 4.4 b, c, d dan e. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya ketebalan rompi.

Selain terjadinya pola kerusakan terhadap rompi yang dikarenakan impak dari peluru, penyerapan energi juga terjadi saat peluru bertumbukan dengan rompi yang ditujukan pada Gambar 4.5.



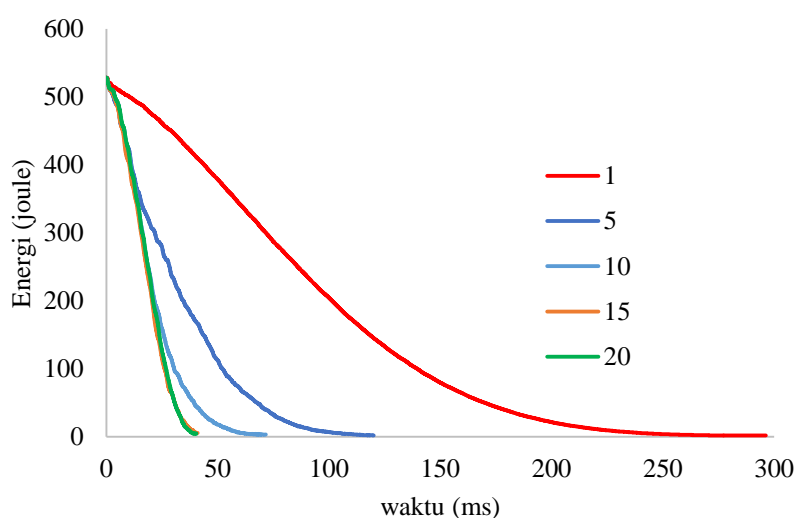
Gambar 4.5 Grafik penyerapan energi

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa terjadinya penurunan tren dari penyerapan energi, itu dikarenakan oleh bertambahnya ketebalan yang dimiliki rompi sehingga penyerapan pada rompi lebih baik dan dipengaruhi sifat material HGM dan serat karbon. Rompi dengan ketebalan 1 mm memiliki penyerapan energi yang diterima adalah sebesar 9,62% sedangkan pada ketebalan 5 mm penyerapan energi yang diterima sebesar 44,81% lebih kecil dari penyerapan energi yang terjadi pada ketebalan 1 mm.

Rompi dengan ketebalan 10 mm penyerapan energi yang diterima adalah sebesar 61,27% lebih kecil dari dari penyerapan energi yang terjadi pada ketebalan 5 mm. Pada ketebalan 15 mm dan 20 mm penyerapan energi yang diterima adalah sebesar 79,53 dan 97,42%.

#### 4.2.4 Energi Kinetik Peluru Simulasi

Peluru 9 mm FMJ yang memiliki massa sebesar 8,1g berdasarkan standar pengujian NIJ 0101.06 memiliki kecepatan sebesar 426 m/s sehingga akan didapatkan energi kinetik peluru sebesar 528,37 J. Energi kinetik peluru akan dipindahkan ke rompi saat proses penetrasi. Energi kinetik peluru yang pada awalnya sebesar 528,37 J terjadi penurunan pada saat mulai penetrasi ke dalam rompi. Gambar 4.6 menunjukkan tren penurunan energi kinetik peluru terhadap ketebalan rompi.



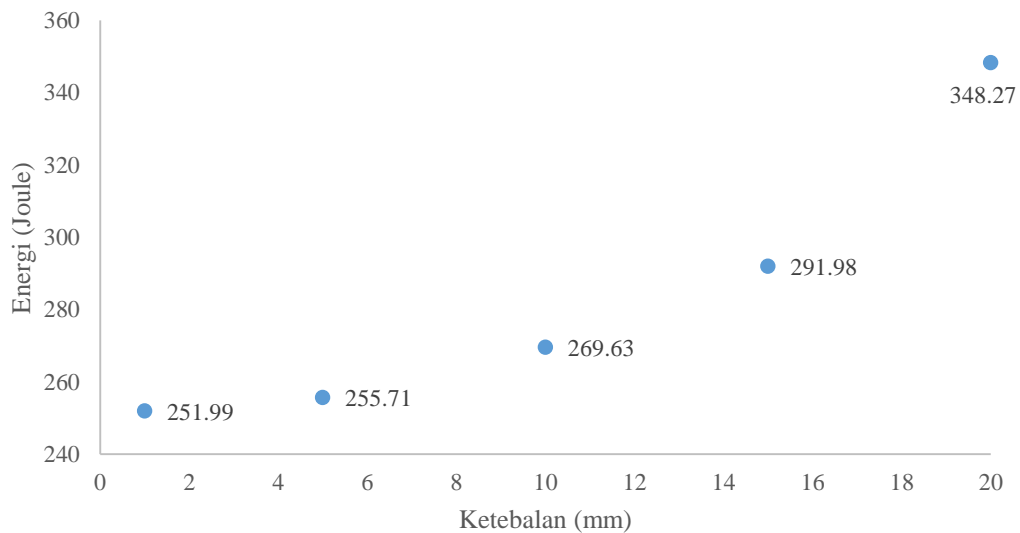
Gambar 4.6 Grafik penurunan energi kinetik peluru

Gambar 4.6 menunjukkan penurunan energi kinetik yang terjadi pada tiap ketebalan rompi. Energi kinetik pada rompi dengan ketebalan 1 mm menunjukkan tren penurunan yang paling lama kemudian disusul oleh penurunan energi kinetik pada rompi dengan ketebalan 5, 10, 15 dan 20 mm. Rompi dengan ketebalan 15-20 mm penurunan energi kinetik rompi membutuhkan waktu yang hampir sama berkisar antara 40,35-41,004 mikro sekon.

Penurunan energi kinetik peluru disebabkan karena adanya penyerapan energi oleh rompi dan diubah kedalam energi internal, energi kinetik sisa, energi panas pada rompi selain itu ada energi sisa dari peluru yang merusak bentuk dari rompi.

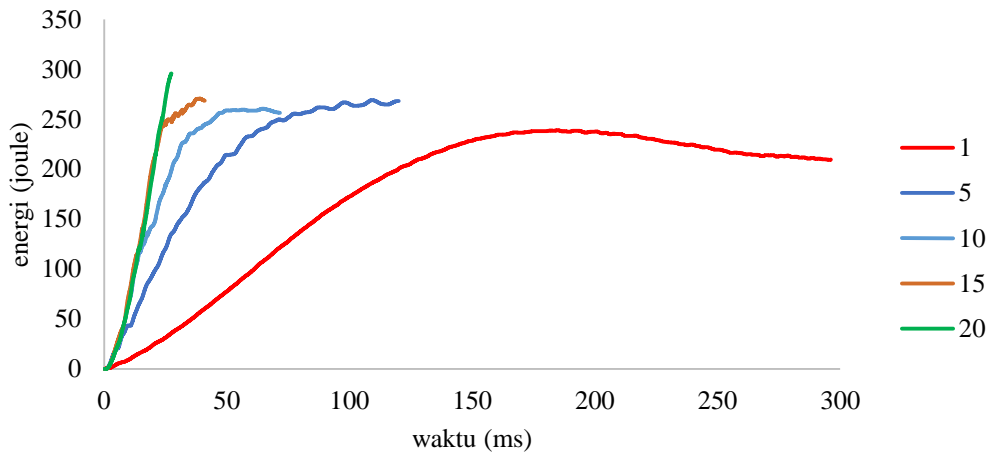
#### 4.2.5 Energi Internal Rompi dan Energi Kinetik Sisa Simulasi.

Energi kinetik peluru dipindahkan ke rompi anti peluru, energi kinetik yang dipindahkan diubah menjadi energi internal dan energi kinetik sisa pada rompi. Gambar 4.7 menunjukkan peningkatan energi internal rompi berdasar ketebalan rompi anti peluru, dan Gambar 4.9 menunjukkan penurunan energi kinetik sisa yang dialami oleh rompi seiring bertambahnya ketebalan rompi anti peluru.



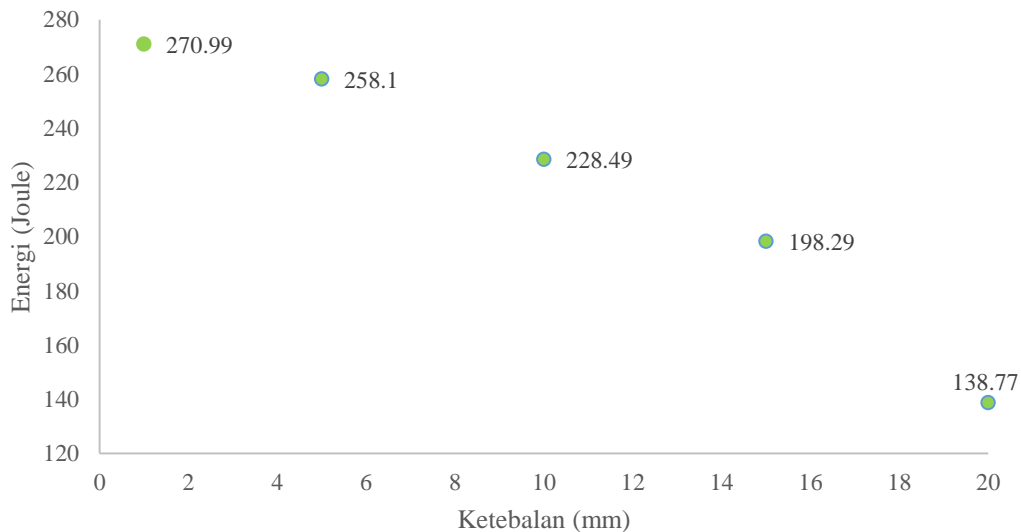
Gambar 4.7 Grafik peningkatan energi internal pada rompi anti peluru

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin bertambah ketebalan rompi maka energi kinetik peluru yang diubah menjadi energi internal rompi mengalami peningkatan. Rompi dengan ketebalan 1 mm energi internal yang diterima sebesar 251,99 J. Pada ketebalan 5 mm energi internal yang terjadi lebih besar dari energi internal yang terjadi pada ketebalan 1 mm adalah sebesar 255,71 J. Begitu juga yang terjadi pada ketebalan 10, 15 dan 20 mm dengan energi internal masing-masing adalah sebesar 269,63, 291,98 dan 348,27 J.



Gambar 4.8 Grafik peningkatan energi internal pada rompi anti peluru

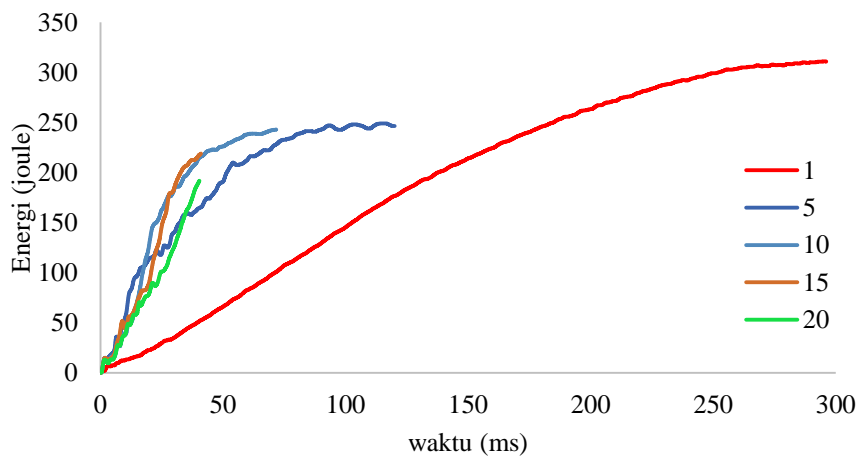
Selain itu energi internal pada rompi juga diubah menjadi energi kinetik pada rompi, energi kinetik peluru juga diubah menjadi energi internal pada rompi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8. Diketahui bahwa energi yang diterima oleh rompi menunjukkan tren berbanding terbalik dengan energi yang dimiliki oleh peluru. Selain energi internal juga terjadi energi kinetik sisa yang diteruskan ke pengguna. Gambar 4.9 menunjukkan energi kinetik sisa akibat dari tembakan peluru.



Gambar 4.9 Grafik penurunan energi kinetik sisa pada rompi anti peluru.

Rompi dengan ketebalan 1 mm memiliki energi kinetik sisa yang diterima adalah sebesar 270,99 joule sedangkan pada ketebalan 5 mm energi kinetik sisa yang diterima sebesar 258,10 joule lebih kecil dari energi kinetik sisa yang terjadi pada ketebalan 1 mm. Rompi dengan ketebalan 10 mm energi kinetik sisa yang diterima adalah sebesar 228,49 joule lebih kecil dari dari energi kinetik sisa yang terjadi pada ketebalan 5 mm. Pada ketebalan 15 mm dan 20 mm energi kinetik sisa yang diterima adalah sebesar 198,29 dan 138,77 joule. Dari data pemodelan diketahui bahwa dengan bertambahnya ketebalan rompi maka energi kinetik sisa yang diterima semakin menurun.

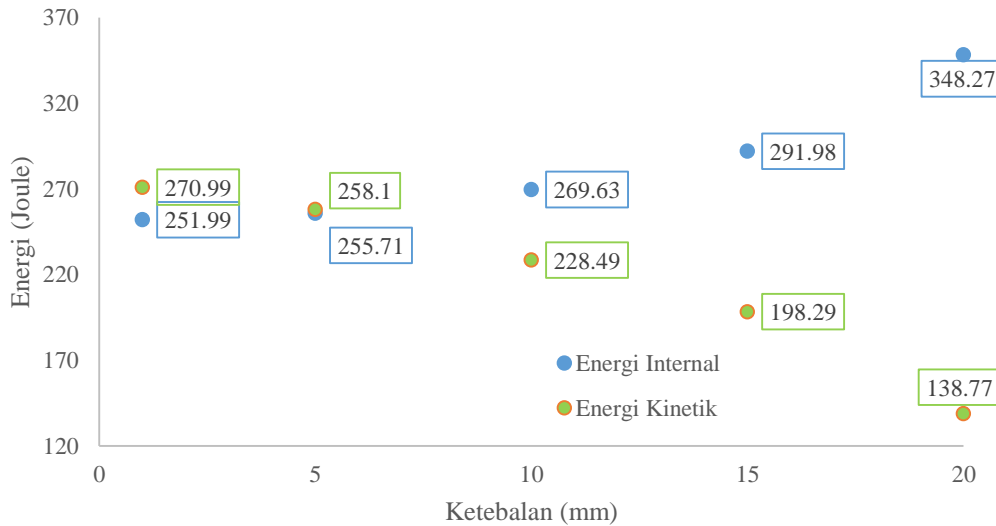
Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher, a U.S. Army ordnance expert menyatakan energi sebesar 170 J dapat menyebabkan kelumpuhan bagi pengguna, sehingga dapat disimpulkan bahwa rompi dengan ketebalan 20 mm memenuhi standart. Gambar 4.10 menunjukkan tren energi kinetik sisa terhadap waktu.



Gambar 4.10 Grafik penurunan energi kinetik sisa pada rompi anti peluru.

Gambar 4.10 menunjukkan penurunan energi kinetik sisa yang terjadi di tiap ketebalan rompi. Energi kinetik pada rompi ketebalan 1 mm menunjukkan tren penurunan yang paling lama kemudian disusul dengan penurunan energi kinetik pada rompi dengan ketebalan 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm.

Rompi dengan ketebalan 15-20 mm penurunan energi kinetik rompi membutuhkan waktu yang hampir sama. Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan energi kinetik rompi dengan energi internal rompi.



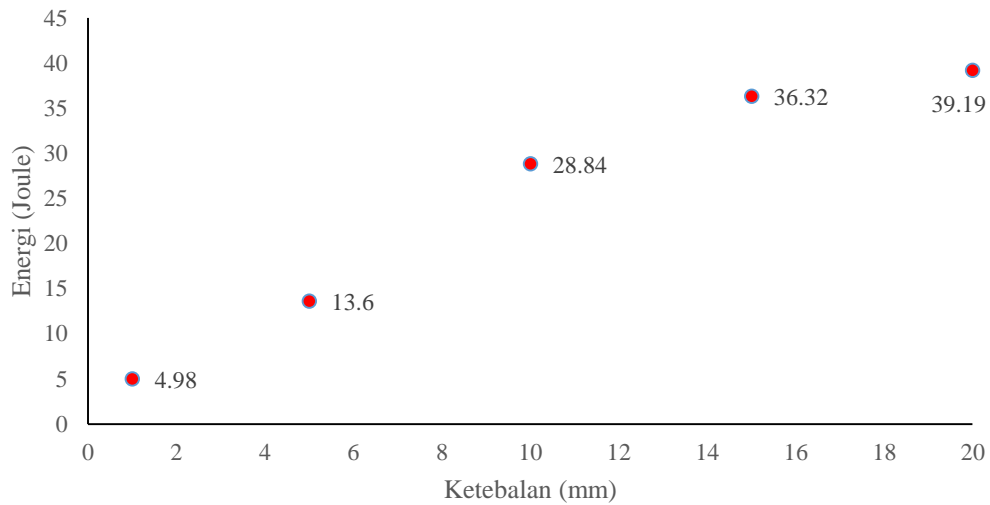
Gambar 4.11 Grafik perbandingan energi kinetik dan energi internal pada rompi.

Gambar 4.11 menunjukan grafik perbandingan energi kinetik rompi dengan energi internal rompi. Semakin besar energi internal rompi yang diserap maka semakin kecil energi kinetik yang akan diterima atau diteruskan pengguna. Oleh karena itu ketebalan 20 mm yang telah memenuhi standart NIJ Standard 0101.06 dari U.S. Department of Justice mengenai deformasi yang diizinkan lebih kecil dari 44 mm. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher, a U.S. Army ordnance expert menyatakan energi sebesar 170 J menyebabkan kelumpuhan pada pengguna.

#### 4.2.6 Energi Panas pada Rompi Simulasi.

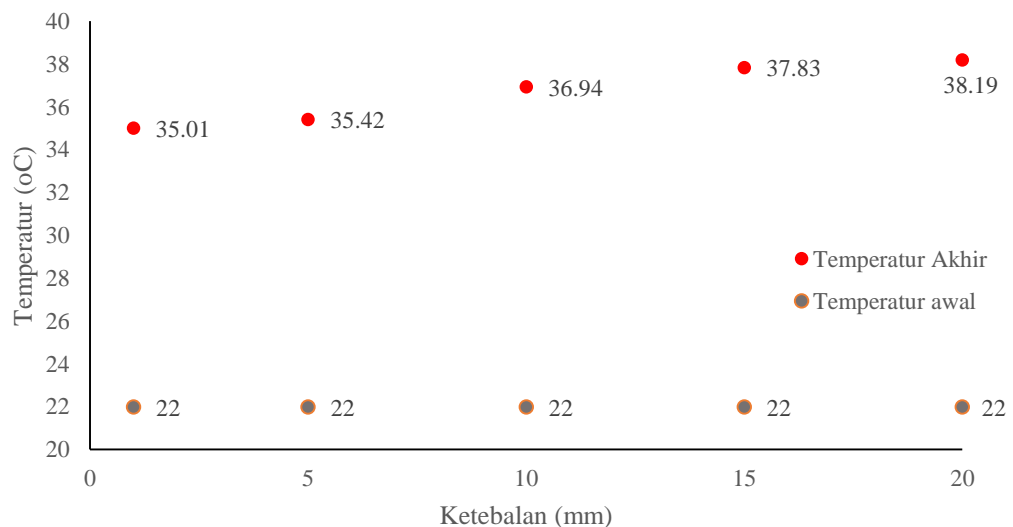
Energi kinetik peluru yang dipindahkan ke rompi anti peluru selain diubah menjadi energi internal dan energi kinetik rompi, juga juga terjadi energi panas. Energi panas timbul karena adanya tumbukan antara peluru dan rompi anti peluru. Sehingga temperatur rompi setelah terjadi tumbukan mengalami peningkatan temperatur. Hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 4.12.





Gambar 4.12 Grafik Peningkatan Energi Panas pada Rompi.

Gambar 4.12 rompi dengan ketebalan 1 mm energi panas yang timbul sebesar 4,98 joule lebih kecil dari energi panas yang terjadi pada ketebalan 5 mm sebesar 13,60 joule. Pada ketebalan 10 mm terjadi peningkatan energi panas sebesar 28,84, begitu pada ketebalan 15 dan 20 mm energi panas yang terjadi makin meningkat adalah sebesar 36,32 dan 39,19 joule. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya ketebalan rompi maka jumlah energi panas yang terjadi semakin meningkat. Gambar 4.13 menunjukkan perbandingan temperatur pada rompi.



Gambar 4.13 Grafik Peningkatan Temperatur pada Rompi.

Rompi anti peluru sebelum diberi beban memiliki temperatur sebesar 22°C untuk setiap ketebalan. Setelah dilakukan pengujian rompi mengalami kenaikan temperatur seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13. Rompi dengan tebal 1 mm temperatur setelah pengujian menjadi 35,01 °C. pada ketebalan 5 mm temperature semakin rompi terjadi peningkatan setelah pengujian menjadi 35,42 °C. Begitu juga pada ketebalan 10, 15 dan 20 mm temperatur rompi semakin meningkat dengan bertambahnya ketebalan rompi menjadi masing-masing sebesar 36,94, 37,83 dan 38,19 °C. Dengan demikian diketahui bahwa semakin meningkatnya ketebalan rompi anti peluru maka peningkatan temperatur pada rompi juga semakin meningkat sehingga diketahui bahwa juga terjadi peningkatan energi panas pada rompi anti peluru.

Material HGM mampu menyerap panas yang ditimbulkan dari energi kinetik peluru, Oleh karena itu HGM memiliki properties konduktivitas panas rendah dan ketahanan terhadap panas yang baik sehingga panas yang akan diteruskan ketubuh kecil sebesar 38,19 °C

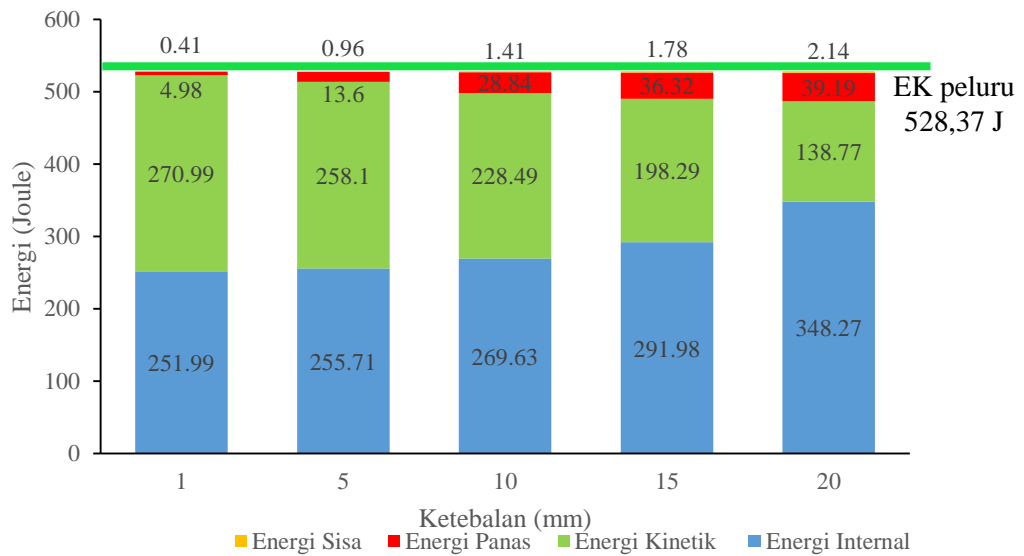
#### 4.2.7 Total Penyerapan Energi Kinetik Peluru oleh Rompi Simulasi.

Besar energi internal, energi panas, dan energi kinetik sisa yang terjadi pada rompi merupakan energi yang mampu diserap oleh rompi. Jumlah ketiga energi tersebut merupakan energi total yang dapat diterima oleh rompi anti peluru. Tabel 4.5 dan Gambar 4.14 menunjukkan kemampuan rompi anti peluru dalam menyerap energi kinetik peluru di setiap ketebalannya.

Tabel 4.5 Total penyerapan energi kinetik peluru oleh rompi

Ketebalan (mm)	Energi Internal (Joule)	Energi Kinetik (Joule)	Energi Panas (Joule)	Energi Sisa (Joule)
1	251,99	270,99	4,98	0,41
5	255,71	258,10	13,60	0,96
10	269,63	228,49	28,84	1,41
15	291,98	198,29	36,32	1,78
20	348,27	138,77	39,19	2,14

Sumber: Hasil Simulasi



Gambar 4. 14 Perbandingan energi pada rompi dan peluru

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa rompi dengan ketebalan 1 mm memiliki energi kinetik sebesar 270,99 J dan energi internal sebesar 251,99 J, dan energi panas sebesar 4,98 joule. Rompi dengan ketebalan 5 mm memiliki energi kinetik sebesar 258,10 J, energi internal sebesar 255,71 J dan energi panas sebesar 13,60 joule. Rompi dengan ketebalan 10 mm memiliki energi kinetik sebesar 228,49 J, energi internal sebesar 269,63 J dan energi panas sebesar 28,84 J. Rompi dengan ketebalan 15 mm memiliki energi kinetik sebesar 198,29 J, energi internal sebesar 291,98 J, dan energi panas sebesar 36,32 joule. Rompi dengan ketebalan 20 mm memiliki energi kinetik sebesar 138,77 J, energi internal sebesar 348,27 J, dan energi panas sebesar 39,19 joule. Dengan demikian semakin bertambah ketebalan maka energi internal dan energi panas semakin meningkat namun energi kinetik sisa yang diteruskan semakin kecil.

### 4.3 Pembahasan Eksperimen

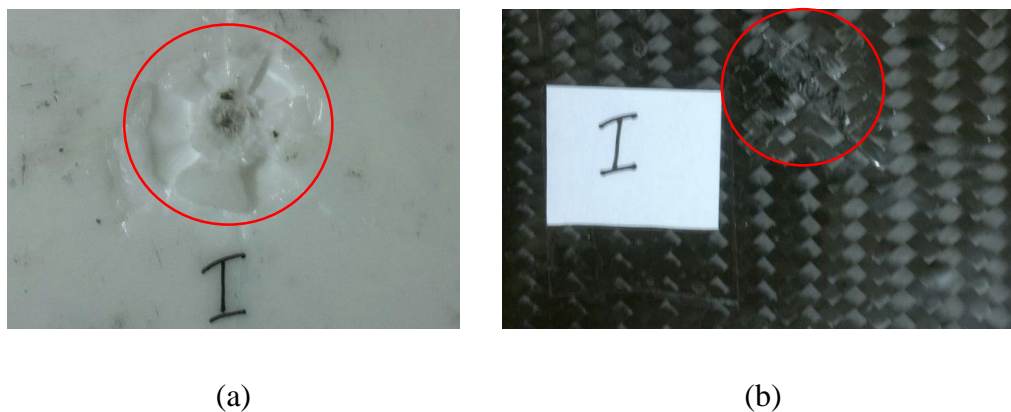
Hasil yang didapat dari pemodelan, divalidasi dengan melakukan eksperimen untuk mengetahui penetrasi yang terjadi pada rompi anti peluru. Ketebalan rompi dari hasil pemodelan didapat sebesar 20 mm, dimana ketebalan HGM sebesar 12mm dan serat karbon yang dipakai sebanyak 10 layer.

Sifat mekanik dari hasil pemodelan didapatkan energi internal sebesar 348,27 Joule, energi kinetik sisa sebesar 138,77 Joule, energi panas sebesar 13,39 Joule dan penetrasi 5,54 mm. Gambar 4.15 menunjukkan hasil pembuatan spesimen rompi anti peluru komposit HGM dan serat karbon.



Gambar 4. 15 Spesimen HGM dan serat karbon. (a) Depan, (b) Belakang

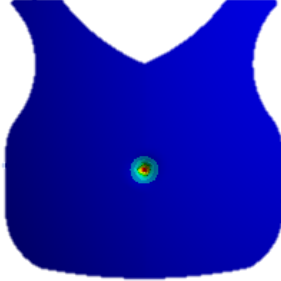

Spesimen rompi komposit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 akan diuji balistik menggunakan senjata api tipe III-A dengan jarak tembak sejauh 5 m. Lokasi pengujian dilakukan di PERBAKIN Surabaya. Hasil dari eksperimen uji balistik ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Hasil pengujian impak peluru spesimen HGM dan serat karbon. (a) Depan, (b) Belakang.

Gambar 4.16 menunjukkan hasil kerusakan uji impak peluru pada tembakan penetrasi peluru pada spesimen rompi komposit sebesar 3,28 mm. Tabel 4.6 menunjukkan hasil penetrasi antara simulasi dan eksperimen.

Tabel 4.6 Perbandingan hasil penetrasi simulasi dan eksperimen.

Rancangan Penelitian	Ketebalan (mm)	Gambar	Kedalaman Penetrasi (mm)
Simulasi	20		5,54
Eksperimen	20		3,28

Tabel 4.6 menunjukkan perbedaan hasil penetrasi antara simulasi dan eksperimen, perbedaan hasil disebabkan oleh beberapa faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal yang mempengaruhi adalah homogenitas dari pembuatan HGM, dimana meliputi proses pencampuran, proses *curing*, ikatan antar HGM dengan serat karbon dan proses vakum. Prosedur pembuatan sangat berpengaruh untuk mendapatkan hasil yang homogen sehingga mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan. Faktor eksternal yang mempengaruhi dari hasil penetrasi simulasi dan eksperimen diantaranya adalah arah sudut penembakan, sifat mekanis peluru dan temperatur.

Penggunaan kombinasi *Hollow Glass Microsphere* (HGM) dan serat karbon dapat menurunkan ketebalan dan bobot rompi anti peluru jika dibandingkan dengan *Hollow Glass Microsphere* (HGM) dan Kevlar. Tabel 4.7 menunjukkan perbedaan ketebalan dan bobot yang digunakan pada rompi anti peluru.

Tabel 4.7 Perbedaan Ketebalan dan Bobot rompi anti peluru.

Material	Ketebalan (mm)	Bobot (Kg)
Kevlar	32	5
<i>Hollow Glass Microsphere</i> (HGM)	25	1,679
HGM dan Serat Karbon	20	1,384

Besar ketebalan dan bobot rompi anti peluru pada HGM dan serat karbon sebesar 20 mm dan 1,384 Kg. Nilai ini adalah nilai yang paling kecil dibanding dengan jenis rompi anti peluru Kevlar dan HGM, sehingga mobilitas dan fleksibilitas pengguna rompi anti peluru paling baik diantara jenis rompi anti peluru Kevlar dan HGM. Selain meningkatkan mobilitas dan fleksibilitas, penambahan HGM dan serat karbon dapat meningkatkan kekuatan untuk menyerap energi impact dan mengurangi penetrasi. Hal ini disebabkan oleh HGM mampu menyebarkan energi impact secara merata pada daerah titik impact, sedangkan serat karbon mampu menahan energi impact sisa dengan baik karena disusun dengan 10 layer.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil simulasi beserta pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

1. Rompi anti peluru dengan ketebalan 20 mm dengan energi kinetik yang diteruskan ketubuh sebesar 138, 77 Joule aman untuk digunakan.
2. Penggunaan serat karbon dan 16% HGM-*epoxy* menghasilkan ketebalan rompi anti peluru sebesar 20 mm sehingga berat yang didapat sebesar 1,384 Kg dapat meningkatkan mobilitas dan fleksibilitas kepada yang menggunakan rompi anti peluru.
3. Rompi anti peluru yang aman untuk digunakan adalah rompi dengan ketebalan 20 mm sesuai standart NIJ Standard 0101.06.
4. Energi kinetik peluru akan dipindahkan ke rompi anti peluru dan diubah menjadi energi internal, energi kinetik sisa dan energi panas. Penelitian ini pada rompi anti peluru dengan ketebalan 20 mm mampu menyerap energi peluru sebesar 348,27 Joule.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian serupa dengan perhitungan mengenai energi internal, energi kinetik sisa dan energi panas yang terdapat pada rompi anti peluru.
2. Melakukan penelitian serupa dengan pengujian uji tarik, uji impak untuk melengkapi data pada aplikasi selain rompi anti peluru.
3. Melakukan penelitian menggunakan serat alam dan HGM dengan pengujian impak.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- A. Tasdemirci, G. Tunusoglu, M. Güden., Des 2011 “The effect of the interlayer on the ballistic performance of ceramic/composite armors: Experimental and numerical study”, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 44, Hal. 1-9.
- Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores, *Alchemie Technology* 50 (2007) 44-4648-50.
- Arista, F., Y., (2013). “Pengaruh Penambahan HGM terhadap sifat fisik dari komposit dengan matrix epoxy”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bulet<http://en.wikipedia.org/wiki/Bullet> (14 Mei 2014).
- Composite Materials Particle reinforcement composites <http://science.jrank.org/pages/1665/Composite-Materials-Particle-reinforced-composites.html> 15052014-12.15
- Daniel Bürger a, Alfredo Rocha de Faria b, Sérgio F.M. de Almeida b, Francisco C.L. de Melo a, Maurício V. Donadon, Des 2010 “Ballistic impact simulation of an armour-piercing projectile on hybrid ceramic/fiber reinforced composite armours”, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 43, Hal. 63-77
- De Moraes, W., A., d’Almeida, J., R., M., Godefroid, L., B., (2003), “Effect of the fiber reinforcement on the low energy impact behavior of fabric reinforced resin matrix composite materials”, *ISSN*, Vol.25 no.4 .
- [En.wikipedia.org/polymer.htm](http://En.wikipedia.org/polymer.htm) (10 mei 2014)

- Henry A. Maples, Steven Wakefield, Paul Robinson, Alexander Bismarck (2014), "High performance carbon fibre reinforced epoxy composites with controllable stiffness", *Composite Science and Tegnology* Vol. 105, Hal. 134-143.
- Hindun (2015), "Analisa Komposit Matriks Epoxy dengan Penguat HGM Untuk Pembuatan Bumper Depan Kendaraan". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Lorenzo Peronia, Martina Scapina, Massimiliano, Avallea, JörgWeiseb, Dirk Lehnhusc, Agust 2012 "Dynamic mechanical behavior of syntactic iron foams with glass microspheres"
- Lutfianisa, Z., Q., (2015), "Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM 16% dalam Menyerap Energi Akibat *Impact* Proyektil". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Mazumdar, Sanjay K. "*Composites Manufacturing*" CRC Press: United Kingdom. National Institute of Justice, development and Evaluation agency of the United States Department of Justice, NIJ 0101.06
- Nafi', Ni'man., (2015), "Pengaruh Kandungan Partikel Serat serta Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Serat Karbon- Serbuk Genteng Sokka Bermatrik Phenolic.
- Protective body armor garment shell US5331683 A
- Ritonga, W., (2014), "Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy - HGM IM30K". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- S. Prabhakaran, K. Chinnarasu, M. Senthil Kumar. (2012), "*Design And Fabrication of Composite Bumper for Light Passenger Vehicles*", India

SP System.CompositeEngineering Material.

US Patent 5094169.

William D. Callister, Jr.2007. Materials Science andEngineering. United  
States of America. Quebecor Versailles.

[www.armourtesting.com/](http://www.armourtesting.com/) (15 Mei 2014)

[www.epoxyworktops.com/index.html](http://www.epoxyworktops.com/index.html) (23 April 2014)


[www.kabarmasasilam.blogspot.com/2011/12/perjalanan-sejarah-rompi-anti-peluru.html](http://www.kabarmasasilam.blogspot.com/2011/12/perjalanan-sejarah-rompi-anti-peluru.html) (10 Mei 2014)

[www.multimedia.3m.com](http://www.multimedia.3m.com) (07 April 2014).

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

LAMPIRAN 1

National Institute of Justice

JULY 80	U.S. Department of Justice Office of Justice Programs National Institute of Justice		
		<b>NIJ</b>	
		<b>STANDARDS</b>	
	<b>Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06</b>		
<hr/>			
			<a href="http://www.ojp.usdoj.gov/nij">www.ojp.usdoj.gov/nij</a>
		<b>U.S. Department of Justice Office of Justice Programs</b> 810 Seventh Street N.W. Washington, DC 20531	
		<b>Michael B. Mukasey</b> <i>Attorney General</i> <b>Jeffrey L. Sedgwick</b> <i>Acting Assistant Attorney General</i> <b>David W. Hagy</b> <i>Director, National Institute of Justice</i>	
		This and other publications and products of the National Institute of Justice can be found at: <b>National Institute of Justice</b> <a href="http://www.ojp.usdoj.gov/nij">www.ojp.usdoj.gov/nij</a>  <b>Office of Justice Programs</b> Innovation • Partnerships • Safer Neighborhoods <a href="http://www.ojp.usdoj.gov">www.ojp.usdoj.gov</a>	

**NIJ STANDARD–0101.06**  
**FOR**  
**BALLISTIC RESISTANCE OF BODYARMOR**

**1. PURPOSE AND SCOPE**

The purpose of this standard is to establish minimum performance requirements and test methods for the ballistic resistance of personal body armor intended to protect against gunfire.

This standard is a revision of NIJ Standard–0101.04, dated September 2000. It supersedes the NIJ 2005 Interim Requirements, dated September 2005, NIJ Standard–0101.04, and all other revisions and addenda to NIJ Standard–0101.04.

The scope of the standard is limited to ballistic resistance only; this standard does not address threats from knives and sharply pointed instruments, which are different types of threats and are addressed in the current version of NIJ Standard–0115 *Stab Resistance of Personal Body Armor*.

Body armor manufacturers and purchasers may use this standard to help to determine whether specific armor models meet the minimum performance standards and test methods identified in this document. However, NIJ strongly encourages body armor manufacturers to participate in the NIJ Voluntary Compliance Testing Program (CTP) and encourages purchasers to insist that the armor model(s) they purchase be tested by the NIJ CTP and be listed on the NIJ Compliant Products List. This will help to assure that the armor models will meet the minimum performance standards for use by the criminal justice community.

The ballistic tests described in this standard have inherent hazards. Adequate safeguards for personnel and property must be employed when conducting these tests.

**2. NIJ BODY ARMOR CLASSIFICATION**

Personal body armor covered by this standard is classified into five types (IIA, II, IIIA, III, IV) by level of ballistic performance. In addition, a special test class is defined to allow armor to be validated against threats that may not be covered by the five standard classes.

The classification of an armor panel that provides two or more levels of NIJ ballistic protection at different locations on the ballistic panel shall be that of the minimum ballistic protection provided at any location on the panel.

### **2.1 Type IIA (9 mm; .40 S&W)**

Type IIA armor that is new and unworn shall be tested with 9 mm Full Metal Jacketed Round Nose (FMJ RN) bullets with a specified mass of 8.0 g (124 gr) and a velocity of 373 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1225 ft/s  $\pm$  30 ft/s) and with .40 S&W Full Metal Jacketed (FMJ) bullets with a specified mass of 11.7 g (180 gr) and a velocity of 352 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1155 ft/s  $\pm$  30 ft/s).

Type IIA armor that has been conditioned shall be tested with 9 mm FMJ RN bullets with a specified mass of 8.0 g (124 gr) and a velocity of 355 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1165 ft/s  $\pm$  30 ft/s) and with .40 S&W FMJ bullets with a specified mass of 11.7 g (180 gr) and a velocity of 325 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1065 ft/s  $\pm$  30 ft/s).

### **2.2 Type II (9 mm; .357 Magnum)**

Type II armor that is new and unworn shall be tested with 9 mm FMJ RN bullets with a specified mass of 8.0 g (124 gr) and a velocity of 398 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1305 ft/s  $\pm$  30 ft/s) and with .357 Magnum Jacketed Soft Point (JSP) bullets with a specified mass of 10.2 g (158 gr) and a velocity of 436 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1430 ft/s  $\pm$  30 ft/s).

Type II armor that has been conditioned shall be tested with 9 mm FMJ RN bullets with a specified mass of 8.0 g (124 gr) and a velocity of 379 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1245 ft/s  $\pm$  30 ft/s) and with .357 Magnum JSP bullets with a specified mass of 10.2 g (158 gr) and a velocity of 408 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1340 ft/s  $\pm$  30 ft/s).

### **2.3 Type IIIA (.357 SIG; .44 Magnum)**

Type IIIA armor that is new and unworn shall be tested with .357 SIG FMJ Flat Nose (FN) bullets with a specified mass of 8.1 g (125 gr) and a velocity of 448 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1470 ft/s  $\pm$  30 ft/s) and with .44 Magnum Semi Jacketed Hollow Point (SJHP) bullets with a specified mass of 15.6 g (240 gr) and a velocity of 436 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1430 ft/s  $\pm$  30 ft/s).

Type IIIA armor that has been conditioned shall be tested with .357 SIG FMJ FN bullets with a specified mass of 8.1 g (125 gr) and a velocity of 426 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1410 ft/s  $\pm$  30 ft/s) and with .44 Magnum SJHP bullets with a specified mass of 15.6 g (240 gr) and a velocity of 408 m/s  $\pm$  9.1 m/s (1340 ft/s  $\pm$  30 ft/s).

### **2.4 Type III (Rifles)**

Type III hard armor or plate inserts shall be tested in a conditioned state with 7.62 mm FMJ, steel jacketed bullets (U.S. Military designation M80) with a specified mass of 9.6 g (147 gr) and a velocity of 847 m/s  $\pm$  9.1 m/s (2780 ft/s  $\pm$  30 ft/s).

Type III flexible armor shall be tested in both the “as new” state and the conditioned state with 7.62 mm FMJ, steel jacketed bullets (U.S. Military designation M80) with a specified mass of 9.6 g (147 gr) and a velocity of 847 m/s  $\pm$  9.1 m/s (2780 ft/s  $\pm$  30 ft/s).

For a Type III hard armor or plate insert that will be tested as an *in conjunction* design, the flexible armor shall be tested in accordance with this standard and found compliant as a stand-alone armor at its specified threat level.

The combination of the flexible armor and hard armor/plate shall then be tested as a system and found to provide protection at the system's specified threat level. NIJ-approved hard armors and plate inserts must be clearly labeled as providing ballistic protection only when worn in conjunction with the NIJ-approved flexible armor system with which they were tested.

#### **2.5 Type IV (Armor Piercing Rifle)**

Type IV hard armor or plate inserts shall be tested in a conditioned state with .30 caliber armor piercing (AP) bullets (U.S. Military designation M2 AP) with a specified mass of 10.8 g (166 gr) and a velocity of  $878 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$  ( $2880 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$ ).

Type IV flexible armor shall be tested in both the "as new" state and the conditioned state with .30 caliber AP bullets (U.S. Military designation M2 AP) with a specified mass of 10.8 g (166 gr) and a velocity of  $878 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$  ( $2880 \text{ ft/s} \pm 30 \text{ ft/s}$ ).

For a Type IV hard armor or plate insert that will be tested as an *in conjunction* design, the flexible armor shall be tested in accordance with this standard and found compliant as a stand-alone armor at its specified threat level. The combination of the flexible armor and hard armor/plate shall then be tested as a system and found to provide protection at the system's specified threat level. NIJ-approved hard armors and plate inserts must be clearly labeled as providing ballistic protection only when worn in conjunction with the NIJ-approved flexible armor system with which they were tested.



LAMPIRAN 2

United States Patent Peluru



US005187324A

United States Patent [19]  
Ricco, Sr.

[11] Patent Number: 5,187,324  
[45] Date of Patent: Feb. 16, 1993

- [54] 9MM CARTRIDGE CASING
- [76] Inventor: John A. Ricco, Sr., 1042 Pineville Rd., Pineville, Pa. 18946
- [21] Appl. No.: 858,672
- [22] Filed: Mar. 27, 1992
- [51] Int. Cl.<sup>1</sup> ..... F42B 5/28
- [52] U.S. Cl. .... 102/464; 102/469
- [58] Field of Search ..... 102/430, 464, 468, 469, 102/470

- [56] References Cited
- U.S. PATENT DOCUMENTS
- 4,483,251 11/1984 Spalding ..... 102/464
- 5,094,169 3/1992 Evtis ..... 102/464

OTHER PUBLICATIONS

*Cartridges of the World* by Barnes, Follett Publishing Company, 1965, pp. 177 and 178.

*Lyman Reloading Handbook for Rifle, Pistol and Muzzle Loading*, 1970, pp. 164 and 165.

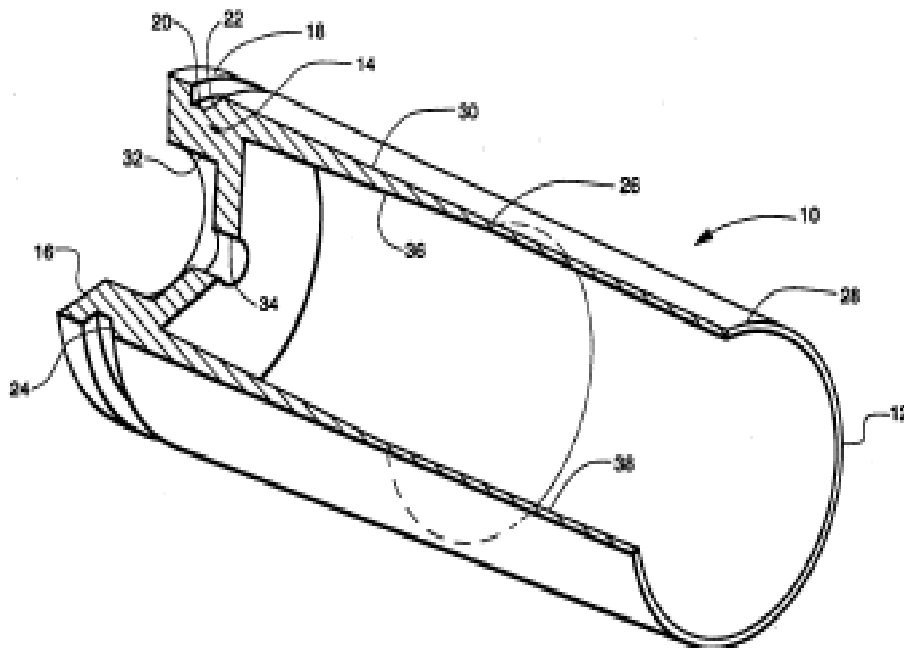
Primary Examiner—Harold I. Tudor  
Attorney, Agent, or Firm—Robert Charles Beam

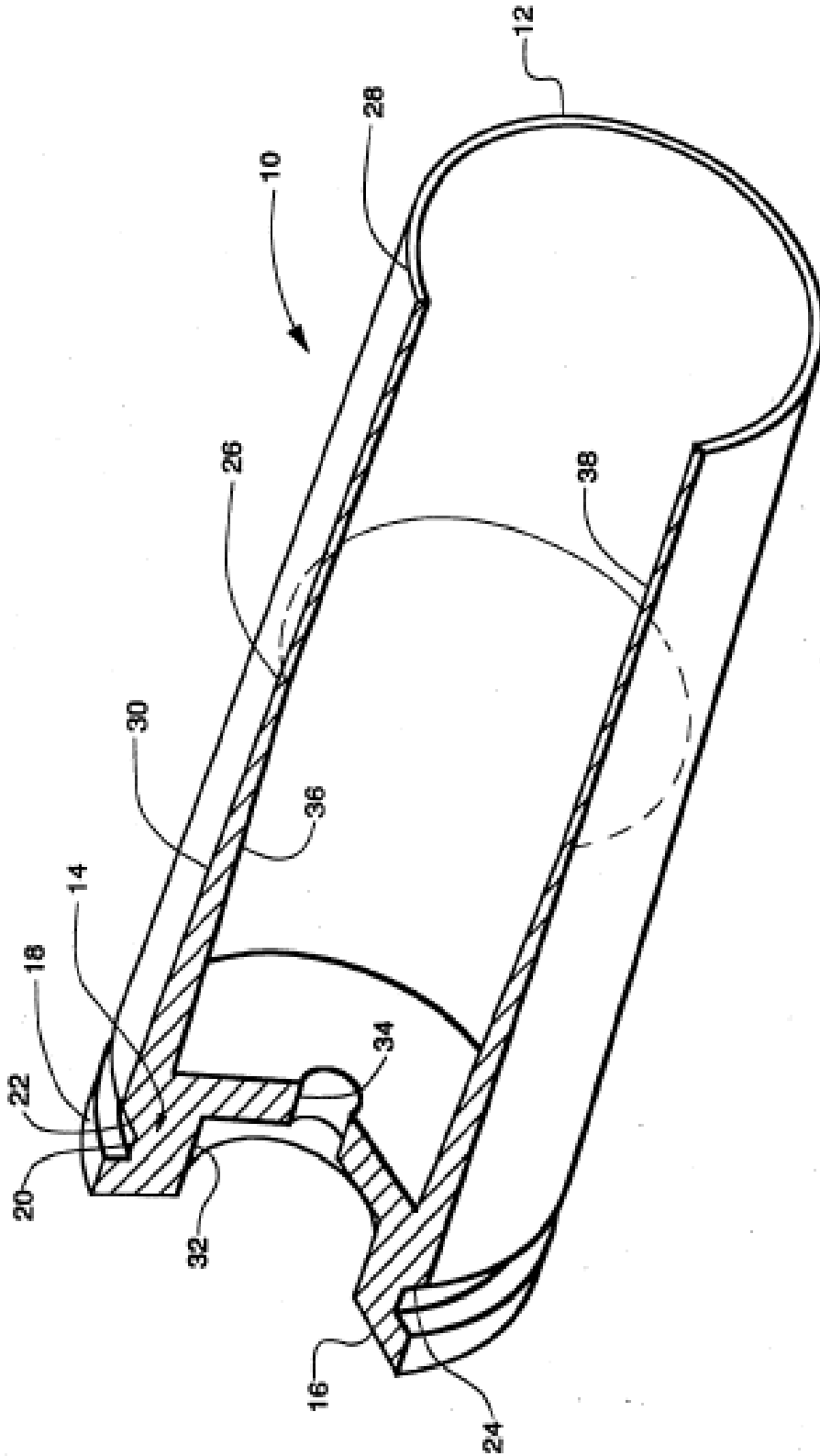
[57] ABSTRACT

The present invention shows an improved 9mm cartridge casing having greater strength and reliability. This cartridge casing is a substantially hollow cylinder of a suitable metallic material with a length of about nine hundred thousandths of an inch (0.900 in.). The casing is unique in that its external dimensions include a first end portion having an outer diameter of about three hundred ninety-eight thousandths of an inch (0.398 in.).

The casing also has an opposite end portion extending for the remaining length of said casing, with an outer wall which uniformly decreases in diameter from about a diameter of from about three hundred ninety-eight thousandths of an inch (0.398 in.) to a diameter of about three hundred eighty thousandths of an inch (0.380 in.).

3 Claims, 1 Drawing Sheet





9MM CARTRIDGE CASING

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention
The present invention relates to an improved 9 mm cartridge casing...

2. Description of Related Art
The nine-millimeter (9 mm) cartridge, introduced by Georg Luger in 1902 and called the 9 mm Parabellum, is believed to be the most widely used military pistol cartridge in the world...

SUMMARY OF THE INVENTION

It is an object of the present invention to provide a stronger and safer nine millimeter (9 mm) cartridge casing which will permit greater cartridge pressures...

According to the preferred embodiment of the present invention, there is provided an improved 9 mm cartridge casing having greater strength and reliability...

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWING
The Drawing shows, partly broken away and in cross-section, the cartridge casing of the preferred embodiment...

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

The nine-millimeter (9 mm) cartridge, introduced by Georg Luger in 1902 and called the 9 mm Parabellum, is believed to be the most widely used military pistol cartridge in the world...

provided with a first end portion 18, which extends from about forty thousandths of an inch (0.040 in.) to about fifty thousandths of an inch (0.050 in.)...

five thousandths of an inch (0.395 in.) to about four hundred and one thousandths of an inch (0.401 in.) to a diameter of from about three hundred seventy-two thousandths of an inch (0.372 in.) to about three hundred eighty thousandths of an inch (0.380 in.)...

base of the powder charge, has greater dimension than in traditional cartridge of an inch (0.380 in.); and as its interior dimensions...

second interior portion extending from about one hundred fifteen thousandths of an inch (0.115 in.) to about one hundred twenty-one thousandths of an inch (0.121 in.)...

# LAMPIRAN 3

## United States Patent Rompi

United States Patent [19]  
Stone et al.

US005331683A  
[11] Patent Number: 5,331,683  
[45] Date of Patent: Jul. 26, 1994

U.S. Patent July 26, 1994 Sheet 1 of 4 5,331,683

[54] PROTECTIVE BODY ARMOR GARMENT SHELL  
[75] Inventors: Richard Stone, Holbrook; David R. Hand, Kings Park, both of N.Y.  
[73] Assignee: Point Blank Body Armor, Inc., Amityville, N.Y.  
[21] Appl. No.: 795,187  
[22] Filed: Nov. 13, 1991

Related U.S. Application Data  
[63] Continuation-in-part of Ser. No. 801,267, Oct. 22, 1990, Pat. No. 5,071,865.

[51] Int. Cl. F41H 1/02  
[52] U.S. Cl. 2/25; 2/92

[58] Field of Search 2/2, 2.5, 48, 102, 104, 2/111, DIG. 7, 94, 92, 113, 103, DIG. 6; 89/36.05

[56] References Cited  
U.S. PATENT DOCUMENTS

846,342	8/1907	Demczak	2/95
883,487	7/1910	Scott	2/113
1,112,805	10/1914	Randner	2/113
1,161,094	12/1915	Karek	2/2.5
1,400,911	12/1921	King	2/92
1,739,112	12/1929	Wiskerd	2/2.5
1,763,892	6/1930	Kraussmuhl	2/92
2,343,446	5/1936	Parisco et al.	2/2.5
2,584,836	6/1960	Allen	2/94
2,954,563	10/1960	DeGruia	2/2.5

3,011,132	12/1961	Tames	2/DIG. 7
3,257,244	1/1971	Barnes et al.	2/2.5
3,803,640	4/1974	Erezen	2/DIG. 7
4,266,287	5/1981	Adkins	2/2.5
4,466,115	8/1984	Coppage, Jr.	2/2.5
4,483,481	12/1984	Rosenstein	2/2.5
4,531,474	1/1985	Zaffe	2/2.5
4,579,821	4/1986	Zaffe	2/2.5
4,601,067	7/1986	Brennstedt	2/94
4,662,385	7/1986	Warren	2/2
4,769,855	9/1988	Tait	2/DIG. 4
5,060,314	10/1991	Lewis	2/2.5
5,157,792	10/1992	Allen et al.	2/92

Primary Examiner—Clifford D. Crowder  
Assistant Examiner—Amy B. Vanatta  
Attorney, Agent or Firm—McAulay Fisher Nissen Goldberg & Kissel

[57] ABSTRACT  
A protective body armor garment shell is disclosed which has a front panel and a back panel made of a lightweight material and having features simulating a uniform shirt such that the garment shell can be worn over or in place of a standard uniform shirt and maintain a professional appearance while concealing the fact that body armor is being worn. The back panel is attached to the body utilizing a belt which firmly retains the garment to the body even when the front panel is loosely draped across the chest. The drapable feature allows a person wearing the garment to loosen the front panel to provide ventilation while maintaining the garment on the body, to maximize comfort.

18 Claims, 4 Drawing Sheets

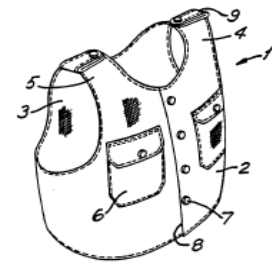
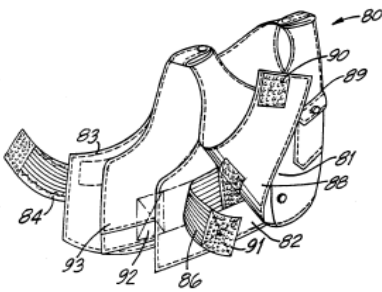


FIG. 1

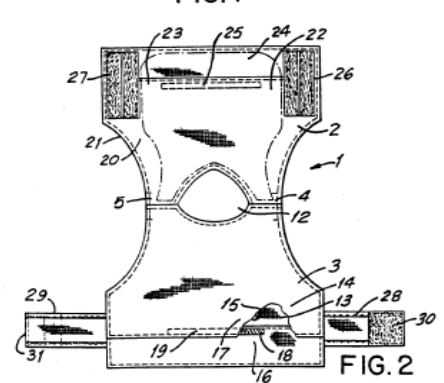


FIG. 2

U.S. Patent July 26, 1994 Sheet 2 of 4 5,331,683

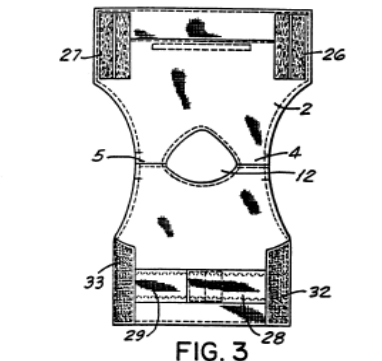


FIG. 3

U.S. Patent July 26, 1994 Sheet 3 of 4 5,331,683

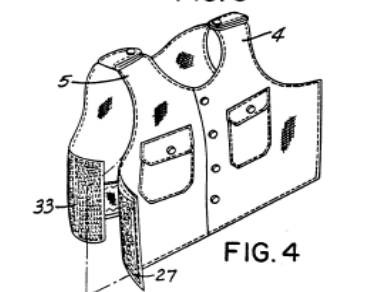


FIG. 4

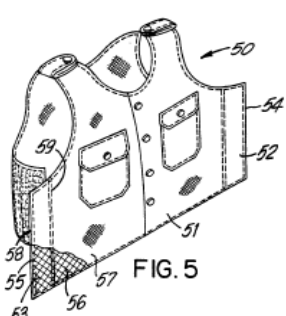


FIG. 5

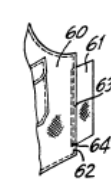


FIG. 6

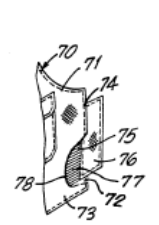


FIG. 7a

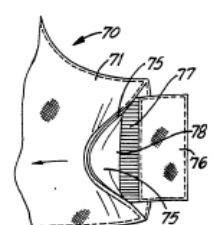


FIG. 7b

## LAMPIRAN 4

### Testing of Body Armor Material

This PDF is available from The National Academies Press at [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=13390](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13390)

**Testing of Body Armor Materials: Phase III**

ISBN 978-0-309-25599-4  
340 pages  
8 1/2 x 11  
PAPERBACK (2012)

Committee on Testing of Body Armor Materials for Use by the U.S. Army—Phase III; Board on Army Science and Technology, Division on Engineering and Physical Sciences, National Research Council

Add book to cart Find similar titles Share this PDF

Visit the National Academies Press online and register for...

- Instant access to free PDF downloads of titles from the
  - NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
  - NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING
  - INSTITUTE OF MEDICINE
  - NATIONAL RESEARCH COUNCIL
- 10% off print titles
- Custom notification of new releases in your field of interest
- Special offers and discounts

Distribution, posting, or copying of this PDF is strictly prohibited without written permission of the National Academies Press. Unless otherwise indicated, all materials in this PDF are copyrighted by the National Academy of Sciences. Request reprint permission for this book.

Copyright © National Academy of Sciences. All rights reserved.

THE NATIONAL ACADEMIES  
Advancing the Nation in Science, Engineering, and Medicine

Testing of Body Armor Materials: Phase III

PREPUBLICATION DRAFT—SUBJECT TO EDITORIAL CORRECTION

2

#### Overview of Body Armor

The purpose of this overview is to provide a broad introduction to the nature of ceramic body armor plates and helmets as used by many U.S. servicemen and women; the medical basis for determining the relationships among body armor, blunt force trauma in humans and the testing of body armor; and techniques used by the U.S. Army to test the effectiveness of body armor.

#### BACKGROUND

The evolution of body armor in the United States dates from a series of inventions in 1861 when thin steel plates were enclosed in military jacket materials to protect against saber attacks and bullets (Peterson, 1950). Whether or not to use protective armor was a personal choice and depended on cost (\$5-\$7), weight (2 kg), and appearance (too unmanly). The use of vests ceased after the American Civil War and did not reappear in earnest until 100 years later, when the U.S. government began to supply law enforcement and public officials with protection from small-arms bullets. During the Vietnam War, U.S. military forces widely began wearing soft Kevlar-based protective vests. During the wars in the Middle East, U.S. personnel—both military and civilian—in the combat zone were required to wear protective vests containing hard body armor plates.

Currently, there are two major types of personal body armor, soft and hard. Soft armor vests are designed to protect against shrapnel resulting from explosions and against low-velocity, low-energy bullets (e.g., 9 mm, or .38 caliber). Hard armor and bullet-proof vests incorporate hard-plate inserts made of polyethylene or ceramic composite material in soft armor vests to defeat high-velocity threats such as 7.62 mm (.30 caliber) and 12.7 mm (.50 caliber) rifle bullets. The original work in standardizing body armor testing (discussed in Chapter 3) focused on soft armor, but the threats to both warfighters and law enforcement personnel are currently from shrapnel and projectiles of higher energy and higher velocity than anticipated 35 years ago. Therefore, much of the current research is on improving hard body armor.

Modern hard body armor can defeat incoming pistol and rifle rounds, trading energy and momentum deposition into the armor for deformation of the armor. This deformation includes direct deformation of the body armor in the case of soft body armors and deformation with fracture in hard body armors. A technical explanation of how ceramic body armor is able to defeat a threat

Testing of Body Armor Materials: Phase III

TESTING OF BODY ARMOR MATERIALS - PHASE III

## Testing of Body Armor Materials Phase III

Committee on Testing of Body Armor Materials for Use by the U.S. Army—Phase III

Board on Army Science and Technology  
Division on Engineering and Physical Sciences

and

Committee on National Statistics  
Division of Behavioral and Social Sciences and Education

NATIONAL RESEARCH COUNCIL  
OF THE NATIONAL ACADEMIES

THE NATIONAL ACADEMIES PRESS  
Washington, D.C.  
[www.nap.edu](http://www.nap.edu)

Testing of Body Armor Materials: Phase III

PREPUBLICATION DRAFT—SUBJECT TO EDITORIAL CORRECTION



FIGURE 2-3 The body armor test range at ATC. SOURCE: John Wallace, Technical Director, Aberdeen Test Center, "Body Armor Test Capabilities," presentation to the Body Armor Testing Phase II committee, Aberdeen, Maryland, March 10, 2010.

#### GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE REPORT

A primary motivation for the study was the Government Accountability Office (GAO) report GAO-10-119, "Report to Congressional Requesters, Warfighter Support, Independent Expert Assessment of Army Body Armor Test Results and Procedures Needed Before Fielding" (GAO, 2009). In the report, the GAO recommended that "the Army should provide for an independent ballistics evaluation of the First Article Testing results," that "the Army should assess the need to change its procedures based on the outcome of the independent experts' review and document these and all other key decisions made to clarify or change the testing protocols," and that "the Army provide for an independent external peer review of ATC's body armor testing protocol, facilities and instrumentation" (GAO, 2009, p. ii). The committee has addressed questions raised by the GAO throughout this report, and a summary of the committee's responses to specific issues raised in the GAO report is contained in Appendix F.

While addressing the GAO concerns was of importance, the committee and sponsor have endeavored to focus the study on findings and recommendations that improve current testing processes. In turn, such improvements offer a way to field a lighter, more survivable body armor for our nation's military forces.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Muhammad Anhar Pulungan, dilahirkan di Tapaktuan Kabupaten Aceh Selatan pada tanggal 24 September 1986, penulis adalah putra pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Abdul Kholid Pulungan dan Ibu Iswita. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 3 Tapaktuan Kab. Aceh Selatan, lulus pada tahun 1998. Pendidikan menengah pertama ditempuh pada SMP Negeri 3 Medan Sumatera Utara, lulus pada tahun 2001.

Pendidikan menengah atas ditempuh pada SMU Negeri 7 Medan Sumatera Utara, lulus pada tahun 2004. Pada tahun 2004 melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi tepatnya di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara (USU) Medan Sumatera Utara. Gelar Sarjana Teknik (ST) diperoleh setelah menamatkan pendidikannya pada tahun 2009. Pada tahun 2013 penulis diterima sebagai tenaga pengajar pada Politeknik Aceh Selatan (POLTAS). Untuk menambah keilmuan yang dimiliki pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tepatnya di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin Program Studi Sistem Rekayasa dan Manufaktur. Saat ini penulis mempunyai keinginan untuk mengembangkan hasil dari tesisnya menjadi penelitian-penelitian lanjut dibidang proses manufaktur.