



TUGAS AKHIR - TM 141585

**APLIKASI KEMAMPUAN ROMPI ANTI PELURU TERBUAT DARI
EPOXY - HGM - CARBON FIBER DALAM MENAHAN *BACK
FACE SIGNATURE* DAN ENERGI *IMPACT* AKIBAT PROYEKTIL**

**WIRA ASHARI
NRP 2111 100 162**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - TM 141585

**APLIKASI KEMAMPUAN ROMPI ANTI PELURU
TERBUAT DARI *EPOXY - HGM - CARBON FIBER*
DALAM MENAHAN *BACK FACE SIGNATURE* DAN
ENERGI *IMPACT* AKIBAT PROYEKTIL**

**WIRA ASHARI
NRP 2111 100 162**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM 141585

**APPLICATION OF EPOXY - HGM - CARBON FIBER
ON ARMOR VEST TO RESIST BACK FACE
SIGNATURE AND IMPACT ENERGY FROM
PROJECTILE**

**WIRA ASHARI
NRP 2111 100 162**

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

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**APLIKASI KEMAMPUAN ROMPI ANTI PELURU
TERBUAT DARI EPOXY – HGM – CARBON FIBER
DALAM MENAHAN BACK FACE SIGNATURE DAN
ENERGI IMPACT AKIBAT PROYEKTIL**

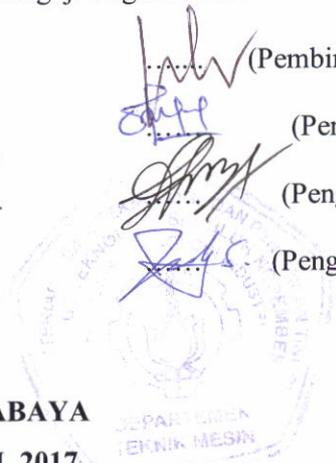
TUGAS AKHIR

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

Oleh :

WIRA ASHARI
NRP. 2111 100 162

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.
NIP. 19740703 200003 1 001
 2. Suwarno, ST., MSc., Ph.D
NIP. 19800520 200501 1 003
 3. Wahyu Wijanarko, ST., MSc.
NIP. 19820209 201212 1 001
 4. Indra Sidharta ST., MSc.
NIP. 19800619 200604 1 004
- 
- (Pembimbing)
..... (Penguji I)
..... (Penguji II)
..... (Penguji III)

SURABAYA

JULI, 2017

APLIKASI KEMAMPUAN ROMPI ANTI PELURU TERBUAT DARI *EPOXY – HGM – CARBON FIBER* DALAM MENAHAN *BACK FACE SIGNATURE* DAN ENERGI IMPACT AKIBAT PROYEKTIL

Nama Mahasiswa : Wira Ashari
NRP : 2111100162
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRAK

Rompi Anti Peluru merupakan alat perlindungan diri untuk meminimalkan cedera karena terkena peluru. Biasanya dipakai oleh personil militer dan polisi dalam tugas-tugas tertentu. Rompi ini melindungi pemakainya dengan cara menahan laju peluru. Peluru dihentikan sebelum berpenetrasi ke dalam tubuh. Ketika rompi menahan penetrasi peluru, dorongan dari peluru direduksi dengan menyebarkan momentumnya ke seluruh tubuh. Pemakai tetap akan merasakan energi kinetik dari peluru, hal ini dapat menyebabkan luka memar, bengkak atau kelumpuhan bagi penggunanya.

Penelitian terdiri dari beberapa tahap, mulai dari studi pustaka, simulasi, pembuatan prototype, serta pengujian BFS (Back Face Signature) dan pengujian energi kinetik. Geometri model rompi dan peluru mengacu pada standard NIJ 0101.06 level II. Pengujian Back Face Signature penetrasi dan energi kinetik, baik simulasi maupun uji balistik mengacu pada NIJ 0101.06 level II. Proses simulasi ditujukan untuk memperoleh ketebalan HGM dan jumlah layer carbon fiber yang memenuhi ketentuan NIJ 0101.06 level II. Dari hasil simulasi, dipilih konfigurasi dengan massa paling kecil untuk dibuat prototype-nya. Selanjutnya, dilakukan pengujian NIJ 0101.06 level II terhadap prototype rompi anti peluru yang telah dibuat. Hasil pengujian terhadap prototype dianalisa dan dibandingkan dengan hasil simulasi.

Mengacu pada NIJ 0101.06 level II dimana BFS kurang dari 44 mm dan peluru tidak tembus. Pada pengujian rompi anti peluru yang terbuat dari epoxy – HGM – Fiber Carbon dengan variasi ketebalan HGM 10 mm dan 8 layer Fiber Carbon nilai penetrasi sebesar 4.14 mm dan 2.53 mm. lalu nilai BFS yang terjadi sebesar 10 mm dan 9 mm. Sesuai standart Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher, dimana energi kinetik 170 J dapat menyebabkan lumpuh bagi penggunaanya. Pada rompi anti peluru dengan ketebalan 16.40 mm memiliki nilai energi kinetik yang diteruskan ketubuh sebesar 160.35 Joule.

Kata kunci: Rompi anti peluru, epoxy – HGM – carbon fiber, NIJ 0101.06 level II

APPLICATION OF EPOXY – HGM – CARBON FIBER ON ARMOR VEST TO RESIST BACK FACE SIGNATURE AND IMPACT ENERGY FROM PROJECTILE

Student Name : Wira Ashari
NRP : 2111100162
Major : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRACT

Armor vest is one of the protective gear to reduce the injury caused by firearms, and used widely by military and police to carry out their duty. Armor vest protect their user by resisting the ammo speed projectile before penetrate to the body. The impact caused by projectile is distributed to all body when holding the projectile penetration. The users will still feel the kinetic energy from the projectile, and this can cause bruises, swollen, even disability.

The research consist from literature study, simulation, prototype production, back face signature testing, and kinetic energy testing. Kevlar vest and projectile geometry model is based on NIJ 0101.06 level II standard. Back face signature and kinetic energy testing from the simulation and ballistic testing also based on NIJ 0101.06 level II standard. Simulation process is done to obtain the value of HGM thickness and number of layer from carbon fiber that was needed to fulfill the condition from NIJ 0101.06 level II standard. From the simulation result, the configuration with fewest mass is used to produce a prototype. And then the prototype will undergo the NIJ 0101.06 level II test. The result from the testing will be compared and analyzed from the simulation result..

NIJ 0101.06 level II standard consist of BFS value less than 44 mm and the projectile didn't go through. The prototype that was made from epoxy-HGM-Fiber Carbon with HGM thickness variation of 10 mm and 8 layers of Fiber Carbon produce the penetration value of 4.14 mm and 2.53 mm, also BFS

value of 10 mm and 9 mm. Kinetic energy with the value of 170 J can caused a disability from the users based on Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher, meanwhile the Kevlar vest prototype with 16.40 mm thickness produce 160.35 Joule of kinetic energy.

Keyword: Armor vest, epoxy – HGM – carbon fiber, NIJ 0101.06 level II

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil'alamin. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT atas limpahan rahmat, hidayah, rizki dan izin-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademis untuk kelulusan mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri, melainkan dengan adanya dukungan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, baik secara langsung, maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhammad Riady dan Ibu Nining Lesmanawati, orangtua penulis yang selalu memberikan semangat dan do'a yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Adrian Ashari dan Ihsan Ashari, kakak dan adik penulis yang selalu memberi motivasi dan semangat kepada penulis.
3. Bapak Dr.Eng. Sutikno, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Suwarno, ST., MSc., PhD., Bapak Wahyu Wijanarko, ST., Msc. dan Bapak Indra Sidharta, ST., MSc. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Prof. DR. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng. selaku dosen wali.
6. Seluruh Dosen beserta staff karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan serta sarana dan prasarana kepada penulis selama menjalani perkuliahan.

7. dr. Edhita Hayuning Putri, SKed sebagai penambah motivasi dan pemberi semangat, bantuan, doa, perhatian, dan kesabaran kepada penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir.
8. Seluruh rekan-rekan Angkatan Seru SMA Cendana 2011 yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
9. Seluruh rekan-rekan Partner TA Arya, ridho, safaat, shofi, anggi, naura, audrey, botik dan oxi yang telah memberikan bantuan dukungan, dan menemani dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
10. Seluruh rekan-rekan Laskar yonglek Laboratorium Metalurgi yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
11. Seluruh rekan-rekan Teknik Mesin ITS 2011 M54 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Intitut Teknologi Sepuluh Nopember yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
12. Seluruh Keluarga Mahasiswa Mesin ITS khususnya mantan pengurus HMM 2013/2014 yang tak henti-hentinya memberikan semangat kepada penulis.
13. Seluruh Keluarga Mesin ITS Autopsort yang telah memberikan wadah bakat otomotif saya dalam berkuliah di ITS
14. Seluruh Keluarga Labkom”*kayangan TAKBIR!!*” kepada pak nur, mas yuli, kacong, iqbal, dan windu. Yang telah mendukung, memberi tempat, dan semangat selama menjalani pengerjaan tugas akhir.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penyempurnaan laporan tugas akhir ini. Dan penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik. Akhir kata, penulis mengucapkan TERIMA KASIH.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Laporan	3
BAB II Tinjauan Pustaka	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Rompi Anti Peluru	6
2.2.2 Peluru	7
2.2.3 Komposit	8
2.2.4 Carbon Fiber	15
BAB III Metodologi	19
3.1 Diagram alir	19
3.2 Studi Literatur	22
3.3 Model Uji Rompi Anti Peluru	22
3.4 NIJ 0101.06	23
3.5 Simulasi	24
3.6 Pembuatan prototype	28
3.7 Pengujian NIJ 0101.06	30
BAB IV Analisa dan Pembahasan	31
4.1 Hasil Data Simulasi Rompi Anti peluru	31
4.1.1 Hasil simulasi variasi ketebalan rompi anti peluru Epoxy – HGM	31
4.1.2 Hasil data Simulasi Posisi Layer Carbon	32

4.1.3 Hasil Simulasi variasi Fiber Carbon dan HGM	33
4.2 Analisa data dan pembahsaan	37
4.2.1 Ketebalan Rompi Anti Peluru <i>Epoxy – HGM</i> .	37
4.2.2 Posisi Layer <i>Fiber Carbon</i>	38
4.2.3 Simulasi Variasi Ketebalan Fiber Carbon dan Ketebalan HGM	39
4.3 Pemilihan Rompi Anti peluru	40
4.4 Eksperimen	42
4.4.1 Proses Pembuatan Rompi anti Peluru	42
4.4.2 Pengujian Ekperimen	44
4.4.3 Pembahasan eksperimen	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 KESIMPULAN	51
5.2 SARAN	52
DAFTAR PUSTAKA	xv
BIODATA PENULIS	xvii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rompi Anti Peluru	5
Gambar 2.2 Gambar Peluru	6
Gambar 2.3 Gambar Matrix dan komposit	7
Gambar 2.4 Klasifikasi komposit	7
Gambar 2.5 Hollow glass microspheres (200x magnification)	9
Gambar 2.6 Ikatan atom pada polimer	11
Gambar 2.7 <i>Carbon Fiber</i>	12
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	15
Gambar 3.2 Diagram alir simulasi pengujian terhadap <i>body armor</i> dengan material komposit <i>epoxy – HGM</i>	16
Gambar 3.3 Diagram alir simulasi pengujian terhadap <i>body armor</i> dengan material komposit <i>epoxy – HGM – carbon fiber</i>	17
Gambar 3.4 Model uji <i>body armor</i>	18
Gambar 3.5 model peluru 9 mm FMJ	19
Gambar 3.6 Import model ke dalam <i>finite element</i>	20
Gambar 3.7 <i>Meshing</i>	20
Gambar 3.8 <i>Boundary condition</i>	21
Gambar 3.9 <i>Running</i>	21
Gambar 3.10 Hasil simulasi	22
Gambar 3.11 Box cetakan spesimen <i>body armor</i>	23
Gambar 3.12 Susunan pengerjaan <i>body armor</i>	23
Gambar 4.1 Posisi layer fiber carbon	24
Gambar 4.2 cetakan rompi anti peluru	32
Gambar 4.3. resin <i>epoxy</i> dan <i>HGM</i> ditimbang	32
Gambar 4.4 proses pengadukan (a) dan proses pencetakan (b)	33
Gambar 4.5 pelapisan <i>fiber carbon</i>	33
Gambar 4.6 pengujian balistik. (a) Glock 17 USA, (b) kaliber 9 mm FMJ	34
Gambar 4.7. hasil penetrasi. (a) tembakan I, (b) tembakan II.	35
Gambar 4.8 hasil Back Face Signature. (a) tembakan I, (b) tembakan II.	37

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Mechanical Properties HGM	10
Tabel 2.2 Properties epoxy	11
Tabel 3.1 Kriteria Standar Pengujian NIJ 0101.06	19
Tabel 4.1 variasi ketebalan pada rompi anti peluru <i>Epoxy – HGM</i>	24
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Posisi <i>Layer Fiber Carbon</i>	25
Tabel 4.3 Spesifikasi Rompi Anti Peluru	25
Tabel 4.4 Hasil Simulasi variasi ketebalan <i>Fiber Carbon</i> dan <i>HGM</i>	26
Tabel 4.5 hasil simulasi penetrasi peluru	27
Tabel 4.6 Hasil Simulasi <i>Back Face Signature</i> pada rompi anti peluru	28
Tabel 4.7 Hasil simulasi lolos standart uji NIJ 01.01.06	31
Tabel 4.8 hasil tegangan dan regangan rompi anti peluru	32

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia militer, di samping perkembangan senjata yang cukup pesat, perlu diimbangi dengan perkembangan alat perlindungan diri personil. Salah satu alat perlindungan diri personil yang paling sering digunakan adalah rompi anti peluru. Rompi anti peluru memiliki peran untuk meminimalkan dampak balistik pada tubuh personil. Awalnya, rompi anti peluru terbuat dari material logam. Seiring dengan perubahan zaman dan perkembangan strategi perang infanteri, menyebabkan rompi anti peluru dengan material logam tidak lagi efektif.

Rompi anti peluru berfungsi untuk menahan penetrasi dan mereduksi energi *impact* yang ditimbulkan oleh proyektil. Saat terjadi tumbukan, energi kinetik peluru diserap dan terdistribusi di sekitar area tumbukan oleh rompi sebelum akhirnya diteruskan ke tubuh personil. Dengan kata lain, rompi berfungsi untuk memperluas bidang kontak antara peluru dengan tubuh. Namun demikian, rompi anti peluru, dengan material kevlar, yang digunakan oleh personil TNI dan POLRI relatif terasa berat. Hal ini membuat tidak bebasnya pasukan dalam melakukan manuver saat menjalankan tugas. Dari segi ekonomi, material kevlar, dalam bentuk rompi atau tekstil, memiliki harga yang cukup mahal dan harus diimpor dari luar negeri.

Tahun 2010, Daniel Burger dkk. melakukan penelitian tentang kerusakan rompi anti peluru yang terjadi akibat *armor-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. Burger memvariasikan ketebalan keramik yang digunakan menjadikannya 2 model percobaan.

Model pertama dengan ketebalan keramik sebesar 5 cm, sedangkan model kedua dengan ketebalan 10 cm [Burger, 2010]. Penelitian tentang penyerapan *energy impact* dan kerusakan yang terjadi pada rompi anti peluru oleh beban balistik *impact* proyektil terbuat dari material komposit partikel yakni 16% fraksi volume HGM dan bermatriks *epoxy*. Energi kinetik proyektil diteruskan dan diubah menjadi energi internal, energi kinetik, dan energi termal pada rompi anti peluru. Mengacu pada NIJ 1013.1987, penetrasi proyektil terhadap rompi anti peluru tidak diperbolehkan melebihi 44 mm. Rompi anti peluru dengan ketebalan 25 mm mampu menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149.5 joule [Zahra, 2015].

Pada penelitian ini akan dilakukan uji tembak terhadap rompi anti peluru sesuai dengan NIJ 0101.06, baik simulasi maupun eksperimental. Rompi yang akan diuji terbuat dari kombinasi material komposit HGM dan *carbon fiber* dengan harapan dapat mengurangi ketebalan rompi pada penelitian sebelumnya (Zahra, 2015). Diharapkan, penyerapan energi *impact* dan ketahanan terhadap penetrasi yang dimiliki rompi lebih baik dibandingkan hasil yang didapat pada penelitian sebelumnya.

1.2 Perumusan Masalah

Alat perlindungan diri personil TNI dan POLRI, khususnya rompi anti peluru yang terbuat dari bahan kevlar, umumnya telah memenuhi NIJ 0101.06. Namun demikian, rompi anti peluru tersebut memiliki ketebalan dan massa yang cukup tinggi sehingga menghambat pergerakan pasukan. Selain itu, energi kinetik yang terjadi pada rompi anti peluru masih sangat besar. Berdasarkan laporan Major General Julian S. Hatcher, a U.S. Army ordnance expert diketahui bahwa energi sebesar 170.2 joule mampu melumpuhkan tubuh.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian berdasar NIJ 0101.04 dan didapatkan ketebalan rompi sebesar 25 mm dan berat 1.67 Kg. Pada penelitian ini akan dilakukan

pembuatan spesimen yang terbuat dari bahan komposit *epoxy – HGM – carbon fiber* dan pengujian sesuai dengan NIJ 0101.06 baik secara simulasi maupun eksperimen.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan ketebalan dan konfigurasi komposit *epoxy – HGM – carbon fiber* yang dapat diaplikasikan dalam pembuatan rompi anti peluru. Spesimen diharapkan memenuhi standard NIJ 0101.06 level II.

1.4 Manfaat

Adapun hasil penelitian ini, nantinya dapat dimanfaatkan oleh pihak – pihak terkait sebagai referensi dan pertimbangan dalam pembuatan rompi anti peluru. Selain itu, dapat dijadikan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan pengadaan rompi anti peluru untuk menunjang operasi personil TNI dan POLRI.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat mencapai hasil yang diharapkan, perlu ada batasan yang diberikan. Adapun batasan tersebut yakni, geometri spesimen dan pengujian yang dilakukan mengacu pada NIJ 0101.06. Material yang digunakan terbuat dari komposit *epoxy – HGM – carbon fiber*.

1.6 Sistematika Laporan

Adapun sistematika laporan penelitian yang digunakan yaitu: BAB I, merupakan bab yang berisi tentang pendahuluan. Pada bab ini dibagi menjadi 4 bagian yaitu latar belakang percobaan, rumusan masalah, tujuan percobaan, dan sistematika laporan. BAB II, berisikan tentang dasar teori yang mendasari penelitian. BAB III, membahas tentang metodologi percobaan. BAB IV, ini membahas tentang analisa data dan pembahasan. Di dalamnya terdapat 4 subbab di dalamnya antara lain data percobaan dan hasil perhitungan.

BAB V, merupakan bab yang memuat tentang kesimpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Komposit *epoxy-HGM* (*epoxy – Hollow Glass Microsphere*) merupakan komposit dengan matriks *epoxy* dan penguat berupa bola kaca berrongga dengan ukuran mikro. Beberapa keunggulan *HGM* diantaranya densitas yang rendah, kemampuan isi yang tinggi, dan penyerapan energi *impact* yang tinggi [3M, 2013]. Menurut Ritonga, komposit Epoxy – HGM dapat menaahan beban tekan hingga 121,3 MPa dan ketangguhan maksimum sebesar $21,54 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$ pada fraksi volume HGM 16 % [Ritonga, 2013]. Menurut Hindun, komposit epoxy-HGM dapat menyerap hingga 86,39 % energi *impact* yang diberikan [Hindun, 2014]

Dari penelitian yang dilakukan oleh [Zahra, 2010] dilakukan penelitian tentang penyerapan *energy impact* dan kerusakan yang terjadi pada rompi anti peluru oleh beban balistik *impact* proyektil. Material yang akan digunakan adalah komposit partikel yang terbuat dari HGM dengan *matrix epoxy*. Dimana, fraksi volume HGM dalam komposit yang akan digunakan pada penelitian ini sebesar 16 %. Menurut zahra, Energi kinetik proyektil akan dipindahkan ke rompi anti peluru, dan diubah menjadi energi kinetic, energi internal, dan energy panas pada rompi anti peluru. Dalam penelitian ini rompi anti peluru dengan ketebalan 25mm mampu menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149.5 joule. Lalu, berdasarkan standar NIJ 1013.1987, penetrasi proyektil terhadap rompi anti peluru tidak boleh melebihi 44 mm. Sehingga rompi anti peluru yang aman untuk digunakan adalah rompi dengan ketebalan 5,10,15,20 dan 25mm.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru merupakan baju pelindung yang banyak digunakan di dalam dunia militer. Rompi anti peluru melindungi

badan bagian dada, perut, dan punggung. Punggung dan dada merupakan bagian tubuh yang melindungi organ-organ vital manusia antara lain, jantung, hati, dan paru-paru. Serta perut, dimana terdapat organ-organ pencernaan dan ginjal. Dimana organ-organ tersebut apabila terjadi kerusakan dapat membahayakan seorang manusia, bahkan dapat membunuh seseorang seketika organ-organ tersebut mengalami kerusakan.

Pada zaman pra sejarah, baju pelindung terbuat dari kulit binatang. Untuk melindungi diri dari serangan, manusia menggunakan kayu sebagai perisai. Dan pada masa selanjutnya, logam menjadi bahan dasar perisai dan baju zirah. Kemudian pada abad pertengahan, Jepang menggunakan rompi anti peluru berbahan sutera. Pada tahun 1960an *National Institute of Justice* mengembangkan rompi anti peluru dengan bahan serat kevlar. Pada 1973, *Army's Edgewood Arsenal* mengembangkan rompi anti peluru dengan tujuh lapis serat kevlar. Kemampuan rompi anti peluru yang terbuat dari kevlar mengalami penurunan ketika basah, dicuci berulang ataupun terpapar sinar matahari [Guden, 2003]. Guden dkk. ditunjukkan bahwa energi yang mampu diserap oleh rompi anti peluru yang paling tinggi sebesar 27 J pada model yang tidak disisipi apapun.



Gambar 2.1 Rompi Anti Peluru [<http://pabrik-baju.net>, 2013]

2.2.2 Peluru

Peluru merupakan objek proyektil yang ditembakkan dengan senjata api. Semula peluru ditemukan secara tidak sengaja terbuat dari tanah liat yang digunakan sebagai amunisi ketapel untuk berburu kemudian pada tahun 1500-1800 peluru berubah sedikit dimana bentuknya menjadi lebih bundar. Pada tahun 1847 *Claude-Etienne Minie* menemukan peluru dengan bentuk kerucut berlubang. Dimana lubang tersebut dapat 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*. Peluru terbuat dari paduan timah dan tin. Untuk kecepatan tinggi, peluru dicoating dengan *copper*, *cupronickel*, dan, *steel*.



Gambar 2.2 Gambar Peluru [<http://en.wikipedia.org/14> Mei 2014]

2.2.3 Komposit

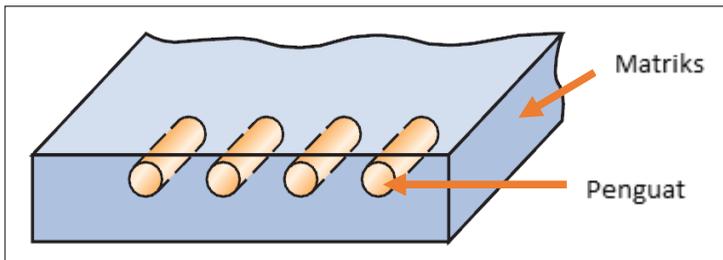
Komposit merupakan material gabungan yang tersusun dari dua atau lebih material dengan sifat mekanik yang berbeda. Penggabungan material ini bertujuan untuk mendapatkan material ketiga dengan sifat mekanik yang lebih baik secara makroskopik. Sifat mekanik yang dapat ditingkatkan dalam pembuatan komposit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

- Kekuatan
- Kekakuan
- Ketahanan aus

- Ketahanan korosi
- Fatigue life
- Ketahanan thermal
- Ringan

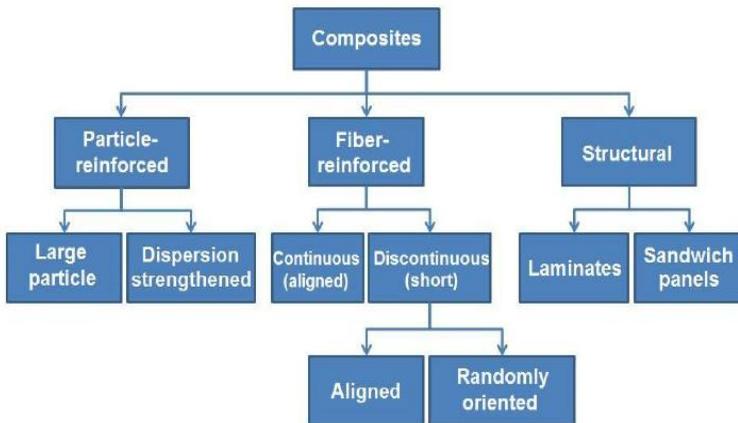
Pada umumnya, sifat mekanik tidak dapat ditingkatkan bersamaan dalam satu waktu, atau membutuhkan perlakuan khusus untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan. Hal ini dikarenakan ada beberapa sifat mekanik yang berlawanan secara alami (contoh, konduktivitas thermal berlawanan dengan *thermal insulation*)

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



Gambar 2.3 Gambar Matrix dan komposit
[<https://hafidhmind.wordpress.com,2015>]

Properties material komposit merupakan fungsi dari properties matriks, jumlah relative, persebaran penguat, ukuran penguat, dan arah penguatnya.



Gambar 2.4 Klasifikasi komposit [https://www.researchgate.net, 2014]

Komposit diklasifikasikan berdasarkan matriksnya menjadi :

a. Polimer matriks komposit

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

Contoh : Aerospace Industry

b. Metal matriks komposit

Metal Matrix Composite (MMC) adalah komposit dengan fasa kontinunya merupakan metal. MMC memiliki beberapa keuntungan diantaranya mampu bekerja di temperature tinggi, penguatnya dapat ditingkatkan secara spesifik, serta lebih tahan terhadap korosi. Namun MMC lebih mahal dibandingkan dengan PMC

Contoh : Automobile Manufacture

c. Keramik matriks komposit

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

Contoh : turbin gas pesawat terbang

d. Karbon matriks komposit

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

Contoh : Motor roket, komponen mesin *press*.

Komposit diklasifikasikan berdasarkan penguatnya menjadi :

a. Fiber komposit material

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

Contoh : Fiber Reinforcement plastic

b. Partikel komposit material

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

Contoh : beton

c. Struktural

Struktural komposit normalnya tersusun dari dua buah komposit yang homogeny. Sifat mekanik yang diinginkan tidak hanya tergantung pada properties pokok material yang tersusun namun juga bergantung pada geometri desain, dan berbagai macam element struktur. Umumnya berbentuk laminar, dan sandwich.

Contoh : tembok bangunan, ekor pesawat terbang.

2.2.3.1 Komposit Partikel

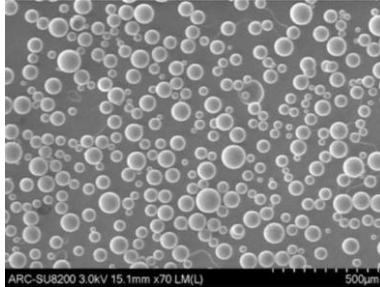
Komposit Partikel adalah komposit dengan penguat atau pengisinya adalah material berupa partikel. Partikel memiliki bentuk dan ukuran dimana pada umumnya berbentuk bola, ellipsoidal, polyhedral, dan bentuk irregular. Penguat partikel dapat ditambahkan ke dalam matriks yang cair yang kemudian akan membeku. Meskipun matriks menjadi bagian utama yang terkena dampak pemberian beban, sedikit persebaran partikel dapat menghalangi pergerakan dislokasi. Maka, deformasi plastis akan tertahan, yield strength, tensile strength, dan hardness meningkat. Agar efektif, partikel sebaiknya berukuran kecil dan terdistribusi merata di seluruh *matrix*. Peningkatan *mechanical properties* dapat dilakukan dengan meningkatkan jumlah partikel. Penguat partikel dibagi menjadi 2 yaitu :

1. *Large-particle composite*, dapat mengendalikan perpindahan matriksnya bila terikat dengan baik.
2. *Dispersion-strengthened composite*, terdiri dari partikel dengan ukuran 10-100 nm. Matriks menjadi bagian utama yang menahan beban, dan partikel menjadi penahan pergerakan dislokasi, membatasi deformasi plastis.

2.2.3.2 Komposit Partikel (Epoxy dan HGM)

- **Hollow Glass Microsphere**

Perkembangan yang sangat cepat terjadi pada eksplorasi laut dalam pertengahan abad 20 adalah salah satu alasan mengapa perlu mengembangkan Hollow Glass Microsphere. Teknologi yang berkembang tentang kendaraan yang mampu tenggelam dalam laut membutuhkan struktur material yang baru dengan rapat jenis yang lebih kecil dibanding air, namun memiliki ketahanan kompresi yang tinggi, serta tahan korosi.



Gambar 2.5 Hollow glass microspheres [<http://ceramics.org>,2017]

Hollow Glass Mikrosphere (HGM) terbuat dari bubuk kaca berwarna putih, merupakan material berbentuk bola mikro berongga dengan diameter rata-rata 18 mikron, dengan dinding tipis setebal 0.804 mikron. Memiliki properties yang rendah dalam penyerapan air, konduktifitas panas rendah, dan tahan terhadap reaksi kimiawi. Memiliki sifat adhesi yang baik sehingga ideal untuk pembuatan komposit dengan properties yang unik.

HGM dapat digunakan sebagai penguat selain sifat di atas, juga memiliki kemampuan untuk mengurangi kelonggaran, meningkatkan kekerasan, meningkatkan ketahanan abrasi dan tahan gosok terhadap berbagai macam model pelapisan.

Tabel 2. 1 *Mechanical Properties HGM*

Property	IM 30 K
shape	Hollow sphere with thin walls
composition	Soda lime – borosilicate glass
colour	White, powder
Isotatic crush	28000 psi
True density	600 Kg/m ³
Bulk density to true particle density	63%
Oil absorption	33,5

Sumber: Alexander T., dkk., 2007

- **Polimer Matiks Komposit**

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

1. Thermosetting

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

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

2. Termoplastik

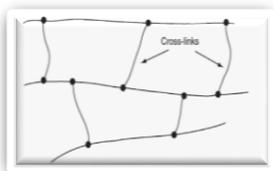
Polimer jenis thermoplastic ketika dipanaskan di atas temperature kritisnya ia akan menjadi lunak. Polimer jenis ini dapat diberi perlakuan panas dan dapat didaur ulang.

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

3. Elastomer

Polimer elastomer adalah jenis polimer yang dapat kembali ke bentuk semula setelah beban yang diberikan dihilangkan,

Contoh : karet



Thermosetting



Thermoplastik

Gambar 2.6 Ikatan atom pada polimer

- **Epoxy**

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

Pada umumnya *epoxy* juga merupakan tipe *adhesive* yang kuat untuk melekatkan dan melindungi permukaan. *Epoxy-resin* merupakan polimer dengan ketangguhan dan kekakuan yang baik. Selain itu memiliki keras, getas, ketahanan terhadap zat kimia dan panas yang baik, penyusutan yang rendah, penyerapan air yang rendah, dan dapat melekat baik dengan penguat dalam komposit. Properties dari *epoxy* ditunjukkan pada tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2. 2 *Properties epoxy*

PROPERTIES	
Tensile Strength	85 N/mm ²
Tensile Modulus	10500 N/mm ²
Compressive Strength	190 N/mm ²
Water absorption	5-10 mg at 24h, 23 celsius

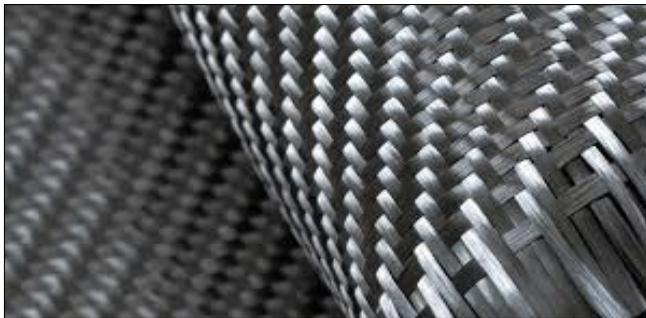
Sumber : Henry A., dkk., 2010

2.2.4 *Carbon Fiber*

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 fiber karbon sebagai salah satu penyusunnya.

Material komposit tersusun atas dua komponen utama yakni matriks dan material penguat (*reinforcement*). Fiber karbon bertugas sebagai material penguat pada komposit serat karbon. Sedangkan untuk matriksnya biasanya dipergunakan resin polimer semacam epoxy. Matriks resin ini berfungsi untuk mengikat material-material penguat. Dikarenakan serat karbon hanya tersusun oleh dua material tersebut maka sifat-sifat serat karbon juga hanya ditentukan oleh kedua material ini



Gambar 2.7 *Carbon Fiber* [<http://www.johnandtable.com>]

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

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

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

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

1. *Spinning*

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

2. *Stabilizing*

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

3. *Carbonizing*

Setelah molekul serat stabil, serat dipanaskan pada temperatur 1.000-3.000°C di dalam ruangan berisi campuran gas yang tidak mengandung oksigen sama sekali. Tidak adanya kandungan oksigen di dalam ruang pemanas berfungsi untuk mencegah terbakarnya serat karbon. Tekanan gas di dalam pemanas dijaga lebih tinggi daripada tekanan udara atmosfer untuk mencegah udara luar masuk ke dalam pemanas. Selain itu sisi keluar dan masuk serat karbon di-*sealing* untuk mencegah kebocoran gas. Tahapan proses ini berfungsi untuk menghilangkan atom-atom non-karbon yang terkandung di dalam serat seperti uap air, gas amonia, karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen, nitrogen, dan lain sebagainya. Keluarnya molekul-molekul non-karbon tersebut akan membuat molekul-molekul karbon saling membentuk ikatan kristal yang lebih kuat. Proses karbonisasi ini biasanya melibatkan dua atau lebih ruang pemanas yang masing-masing berbeda temperatur untuk lebih memudahkan dalam mengontrol kenaikan temperatur.

4. *Oxidation*

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

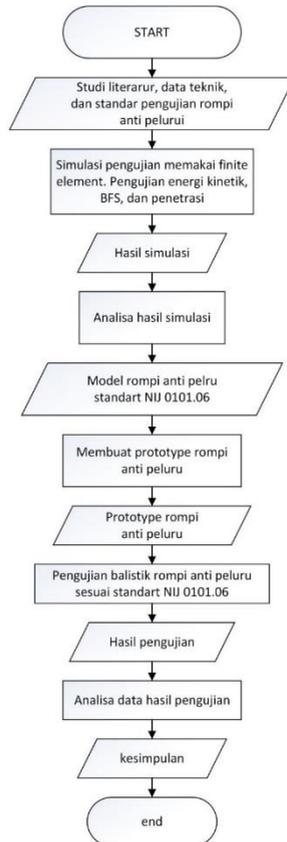
5. *Sizing*

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

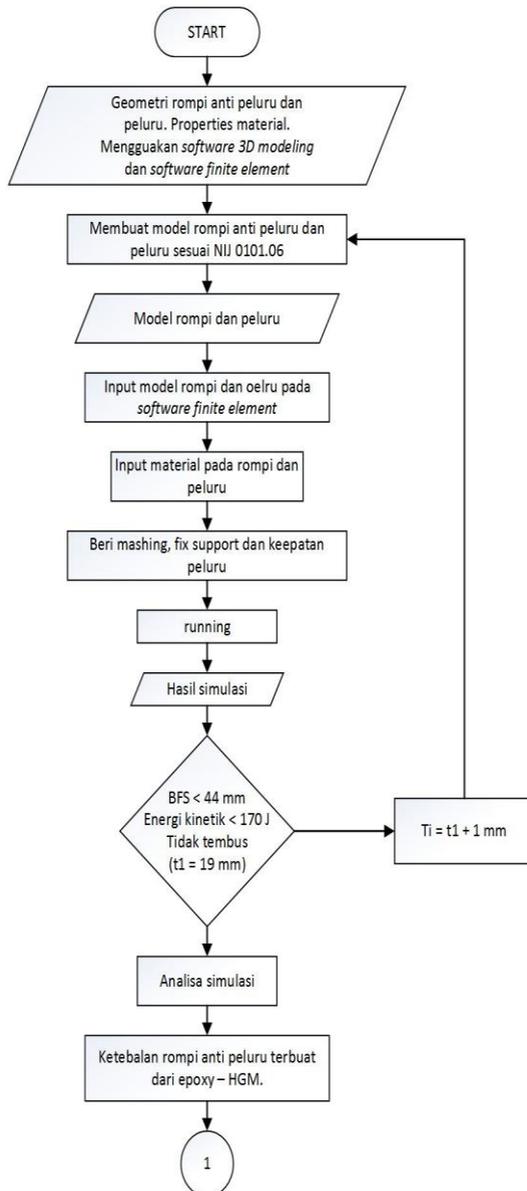
BAB III METODOLOGI

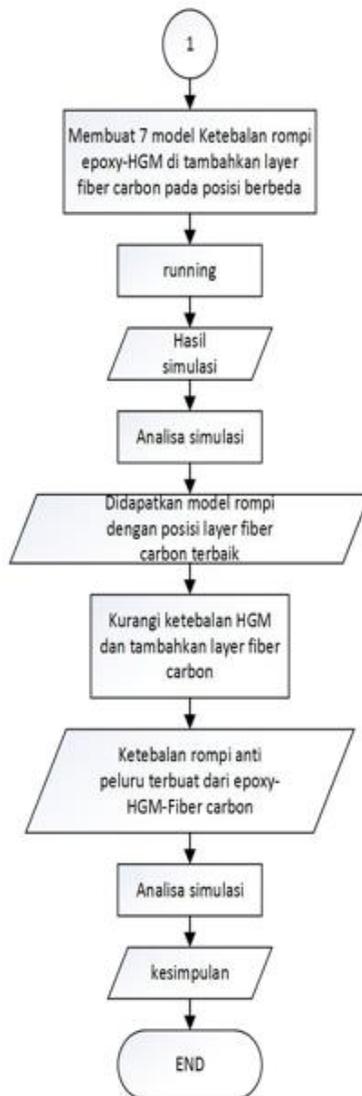
3.1 Diagram Alir

Agar penelitian berjalan dengan baik dan sistematis, diperlukan adanya diagram alir yang menggambarkan alur penelitian. Pada gambar 3.1 diaman diagram alir mencakup rangkaian penelitian secara umum maupun subbagian yang terdapat di dalamnya.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian





Gambar 3.2 Diagram alir simulasi pengujian terhadap *body armor* dengan material komposit *epoxy – HGM – Carbon Fiber*.

Berikut ini merupakan langkah – langkah dari penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 :

3.2 Studi Literatur

Adapun studi literatur ditujukan untuk mendapat informasi yang diperlukan guna menunjang penelitian. Adapun beberapa informasi tersebut antara lain:

1. Hasil penelitian sebelumnya
Penelitian sebelumnya terkait dengan penerapan material komposit *epoxy – HGM* dalam berbagai bidang, khususnya body amor oleh Zahra (2015). Lebih lanjut, penelitian terkait body amor dengan bahan keramik dan fiber telah dilakukan oleh Burger (2010).

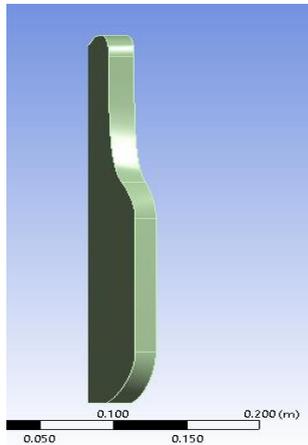
2. *Hollow Glass Micro-sphere (HGM)*
HGM merupakan material komposit partikel dengan wujud bola berongga berukuran sangat kecil (mikro). HGM terbuat dari kaca dengan beberapa keunggulan. Adapun *properties* dan informasi lain tercantum pada literatur berupa *data sheet* yang diterbitkan oleh produsen.

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

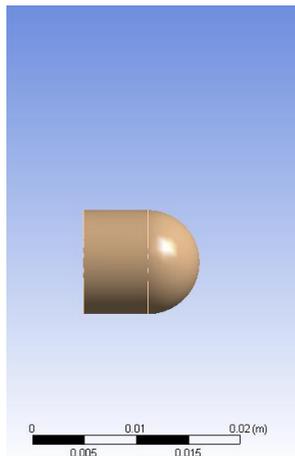
4. NIJ 0101.06
NIJ 0101.06 diterbitkan oleh US Department of Justice pada tahun 2006. Adapun NIJ 0101.06 berisi standar pengujian yang dilakukan terhadap *body amor*.

3.3 Model Uji Rompi Anti Peluru

Geometri model uji yang digunakan mengacu pada NIJ 0101.06. *Properties* material yang diterapkan pada model disesuaikan dengan material yang akan digunakan pada pengujian eksperimental. Adapun geometri model uji tercantum pada gambar 3.4. Pada gambar 3.5 merupakan model geometri peluru 9 mm FMJ yang digunakan pada pengujian simulasi penelitian ini.



Gambar 3.4 Model uji *body armor*



Gambar 3.5 model peluru 9 mm FMJ

3.4 NIJ 0101.06

NIJ 0101.06 merupakan standar yang diterbitkan oleh US Department of Justice. Dalam NIJ 0101.06 diatur kriteria dan tata cara pengujian yang dilakukan terhadap *body armor* atau rompi anti peluru. Adapun kriteria dan syarat kerja pengujian tercantum pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kriteria Standar Pengujian NIJ 0101.06

1 Syarat kerja	2 Kriteria
<ul style="list-style-type: none"> • Jarak tembak 4 meter dari model uji <i>body armor</i> • Tipe peluru 9 mm FMJ ditembakkan dengan senapan Magnum ($v \approx 398$ m/s) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Backface signature</i> yang terjadi pada <i>body armor</i> ≤ 44 mm • Energi kinetik yang diteruskan oleh <i>body armor</i> ≤ 170 Joule • Body armor tidak tembus oleh peluru

3.5 Simulasi

Simulasi pengujian NIJ 0101.06 terhadap *body armor* menggunakan perangkat lunak *finite element*. Adapun gambaran langkah-langkah simulasi adalah sebagai berikut seperti pada gambar 3.2:

1. Pembuatan model

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

2. Simulasi variasi ketebalan rompi anti peluru Epoxy – HGM.

Pada penelitian simulasi ini akan diamati pengaruh ketebalan rompi anti peluru yang terbuat dari *Epoxy – HGM* terhadap energi kinetik, *Back Face Signature* dan penetrasi dengan variasi ketebalan sebesar 19 mm, 20 mm, 21 mm dan 22mm.

3. Simulasi Posisi Layer Carbon

Berdasarkan model dari rompi anti peluru yang berbahan material komposit *Epoxy – HGM – Fiber Carbon*. Pada penelitian awal akan diamati pengaruh posisi pada penambahan Fiber Carbon

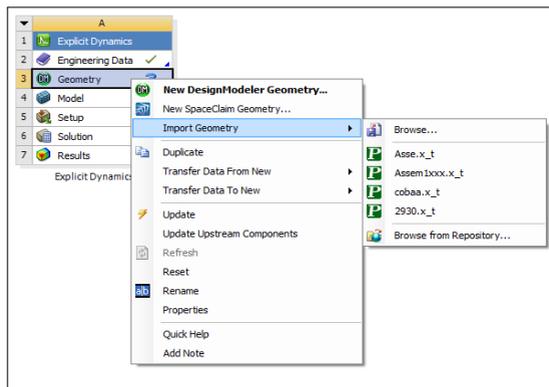
terhadap energi kinetik, BFS, dan penetrasi peluru. Pada penelitian ini akan di variasi posisi layer fiber carbon pada posisi depan, belakang, tengah, depan-belakang, depan-tengah, tengah-belakang, dan depan-tengah-belakang.

4. Simulasi variasi Fiber Carbon dan HGM

Pada penelitian simulasi ini akan dilakukan pengaruh ketebalan variasi *Fiber Carbon* dan Variasi *HGM* terhadap Energi Kinetik, penetrasi, dan *BFS*. Variasi ketebalan layer *Fiber Carbon* sebesar 2 layer, 4 layer, 6 layer, 8 layer dan 10 layer. Dengan ketebalan 1 layer *Fiber Carbon* sebesar 0,8 mm. Lalu disetiap ketebalan layer *Fiber Carbon* di variasikan ketebalan *HGM* dengan variasi ketebalan sebesar 6 mm, 10 mm, 14 mm, 18 mm dan 22 mm.. Pada table 4.3 menunjukkan spesifikasi rompi anti peluru.

5. *Material and properties*

Pada gambar 3.6 menjelaskan nilai properties dari suatu material dimasukkan ke dalam sub menu engineering data pada perangkat lunak *finite element*. Adapun properties material yang dimasukkan merupakan properties material *epoxy – HGM* dengan fraksi berat *84% epoxy - 16 % HGM* serta *epoxy – carbon fiber TC35R 12k*.

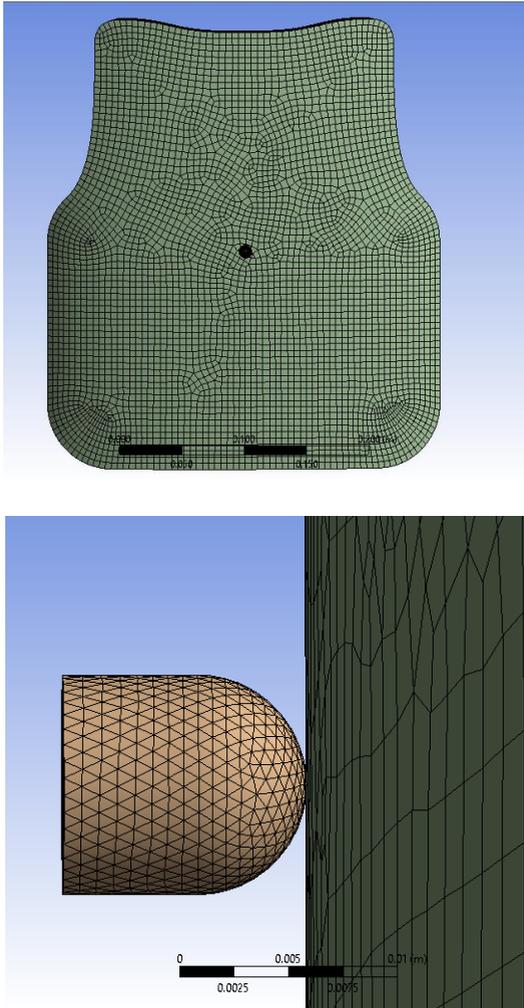


Gambar 3.6 Import model ke dalam *finite element*

6. *Meshing*

Meshing atau penentuan simpul – simpul pengamatan suatu komponen yang terhubung satu sama lain (*nodes*). Pemilihan

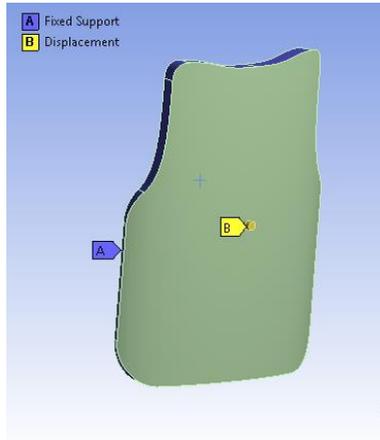
meshing ditujukan untuk mengatur tingkat keakuratan hasil simulasi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Meshing

7. *Boundary conditions*

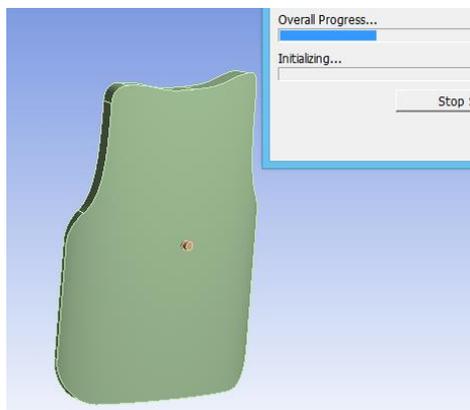
Pada *boundary condition*, dilakukan pengkondisian area-area *fixed support* dan pemberian initial condition seperti kecepatan yang bekerja pada model uji seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Boundary condition*

8. *Running*

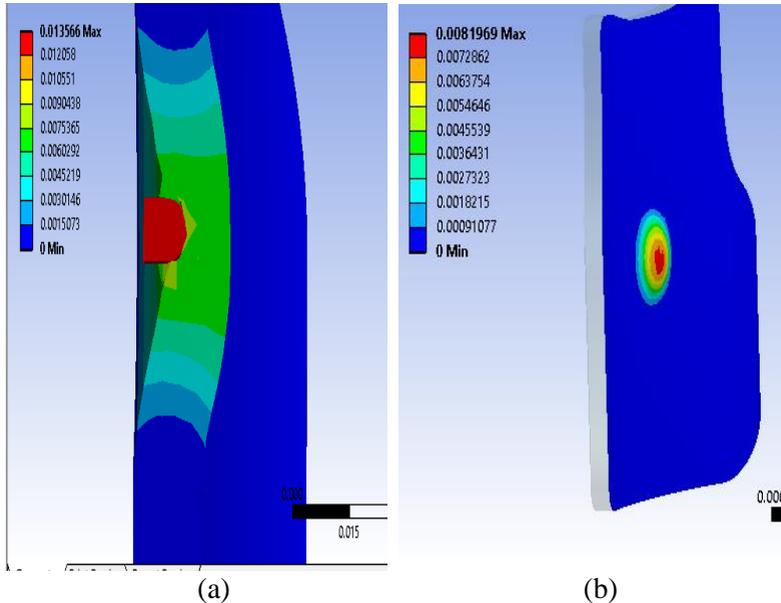
Proses running dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan gambar 3.9



Gambar 3.9 *Running*

9. Analisa hasil simulasi

Merujuk pada gambar 3.10 analisa hasil simulasi ditujukan untuk memperoleh konfigurasi *epoxy – HGM – carbon fiber* yang memenuhi ketentuan NIJ 0101.06. Dari konfigurasi yang didapatkan, dipilih konfigurasi dengan massa paling kecil untuk selanjutnya dilakukan pembuatan *prototype*.



Gambar 3.10 Hasil simulasi

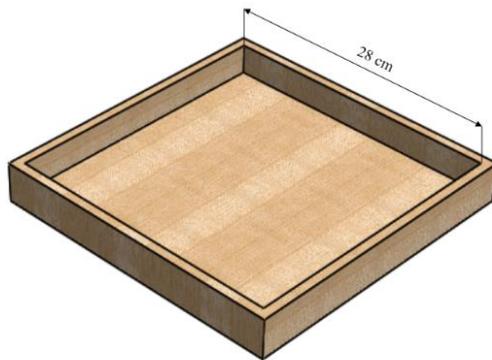
3.6 Pembuatan Prototype

Prototype (spesimen) dibuat berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari proses simulasi. Hasil simulasi berupa geometri Rompi Anti Peluru beserta konfigurasi *carbon fiber* dan HGM di dalamnya. Dari beberapa hasil yang memenuhi kriteria, diambil geometri (konfigurasi) dengan massa terendah. Hal tersebut dipertimbangkan atas dasar keleluasaan manuver personel TNI dan POLRI saat mengenakan Rompi Anti Peluru.

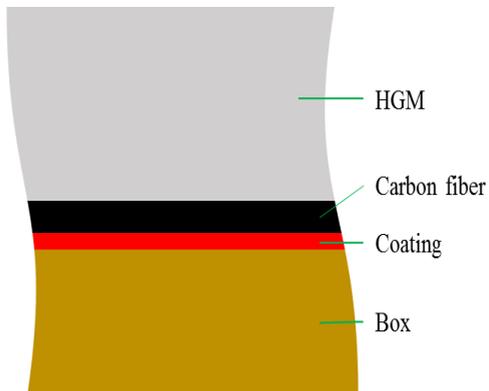
3.6.1 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

1. Peralatan keselamatan : masker, sarung tangan, kaca mata, celemek
2. Alat bantu : gunting, serbet, cutter, kertas gosok, penggaris, dan kuas.
3. Epoxy resin, HGM, carbon fiber, plastik.
4. Peralatan dan bahan penunjang lain yang mendukung (box).



Gambar 3.11 Box cetakan spesimen *body armor*



Gambar 3.12 Susunan pengerjaan *body armor*

3.6.2 Langkah – langkah

Adapun beberapa hal yang perlu dilakukan saat pembuatan model uji antara lain:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Permukaan *box* yang akan digunakan sebagai cetakan dipastikan bersih dan halus.
3. Wax dioleskan pada permukaan *box* dan digosok hingga merata. Pengolesan dan penggosokan dilakukan beberapa kali hingga halus dan merata.
4. HGM dicampur dengan resin dan diaduk hingga merata (16 % HGM).
5. HGM dituangkan ke dalam *box*, hingga ketinggian tertentu. Pastikan permukaan HGM rata.
6. Tunggu hingga benar – benar kering, lalu HGM dilepas dari *box* atau cetakan.
7. Carbon fiber dilapiskan diatas permukaan HGM, lalu dioleskan resin pada Carbon fiber.
8. Tutup dengan plastik dan rekatkan bagian tepi dengan *seal tape*. Pasang selang dan pompa penghisap resin. Pastikan tidak ada kebocoran sebelum pompa vakum dinyalakan.

3.7 Pengujian NIJ 0101.06

Pengujian eksperimental yang dilakukan mengacu pada NIJ 0101.06 yang diterbitkan oleh *US Department of Justice*. Pengujian dilakukan setelah prototype dibuat dan dilakukan pengecekan terhadap kondisi fisik *body armor*. Selanjutnya,, Pengujian dilakukan oleh perwakilan Satuan BRIMOB Jawa Timur.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil data Simulasi Rompi Anti Peluru

4.1.1 Hasil simulasi variasi ketebalan rompi anti peluru Epoxy – HGM.

Pada penelitian simulasi ini akan diamati pengaruh ketebalan rompi anti peluru yang terbuat dari *Epoxy – HGM* terhadap energi kinetik, *Back Face Signature* dan penetrasi dengan variasi ketebalan sebesar 19 mm, 20 mm, 21 mm dan 22mm.

Tabel 4.1 variasi ketebalan pada rompi anti peluru *Epoxy – HGM*.

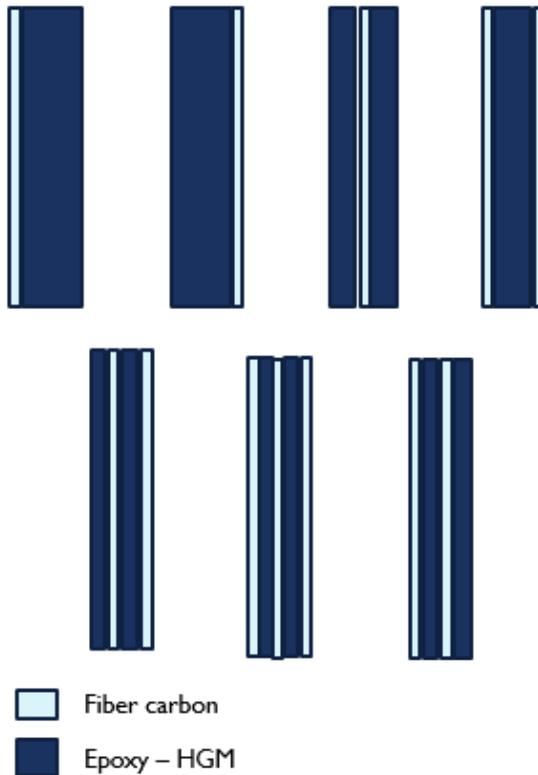
<u>Tebal (mm)</u>	<u>Energi kinetik (joule)</u>	<u>Penetrasi (mm)</u>	<u>BFS (mm)</u>
19	197.07	10.35	8.47
20	185.69	9.98	7.17
21	172.63	9.67	6.01
22	152.92	8.35	5.87

Sumber : Hasil simulasi

Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher menyatakan bahwa energi sebesar 170 Joule dapat menyebabkan kelumpuhan pagi pengguna. Dari Table 4.1 dapat diamati rompi anti peluru seiring bertambahnya ketebalan maka nilai energi kinetik rompi anti peluru yang di teruskan ke badan semakin kecil. Rompi anti peluru dengan ketebalan 22 mm memiliki nilai paling kecil sebesar 152.92 Joule dan memenuhi standart.

4.1.2 Hasil data Simulasi Posisi Layer Carbon

Berdasarkan model dari rompi anti peluru yang berbahan material komposit *Epoxy – HGM – Fiber Carbon*. Pada penelitian awal akan diamati pengaruh posisi pada penambahan Fiber Carbon terhadap energi kinetik, BFS, dan penetrasi peluru. Pada penelitian ini akan di variasi posisi layer fiber carbon pada posisi depan, belakang, tengah, depan-belakang, depan-tengah, tengah-belakang, dan depan-tengah-belakang.



Gambar 4.1 Posisi layer fiber carbon

Dari table 4.2 menunjukkan bahwa energi kinetik yang di teruskan ketubuh posisi layer belakang mempunyai nilai yang paling baik karena energi kinetiknya paling kecil dari posisi lainnya. Hal ini disebabkan karena penyerapan energi yang dilakukan oleh HGM sangat baik. Sehingga energi kinetik yang diteruskan ketubuh nilainya kecil. Pada penelitian ini akan dijadikan acuan untuk susunan *HGM* dan *Fiber Carbon* pada penelitian ini.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Posisi *Layer Fiber Carbon*

<u>Posisi</u>	<u>Energi Kinetik</u>	<u>Penetrasi</u>	<u>BFS</u>
<u>Tengah</u>	143.54	9.80	4.96
<u>Depan</u>	213.03	6.26	5.41
<u>Belakang</u>	125.12	8.00	4.79
<u>Depan-Tengah- Belakang</u>	226.15	5.77	4.12
<u>Depan-Tengah</u>	229.33	5.77	4.73
<u>Tengah-Belakang</u>	137.50	9.07	7.76
<u>Depan-Belakang</u>	203.87	6.26	4.90

Sumber : Hasil Simulasi

4.1.3 Hasil Simulasi variasi *Fiber Carbon* dan *HGM*

Pada penelitian simulasi ini akan dilakukan pengaruh ketebalan variasi *Fiber Carbon* dan Variasi *HGM* terhadap Energi Kinetik, penetrasi, dan *BFS*. Variasi ketebalan layer *Fiber Carbon* sebesar 2 layer, 4 layer, 6 layer, 8 layer dan 10 layer. Dengan ketebalan 1 layer *Fiber Carbon* sebesar 0,8 mm. Lalu disetiap ketebalan layer *Fiber Carbon* di variasikan ketebalan *HGM* dengan variasi ketebalan sebesar 6 mm, 10 mm, 14 mm, 18 mm dan 22 mm.. Pada table 4.3 menunjukkan spesifikasi rompi anti peluru.

Table 4.3 Spesifikasi Rompi Anti Peluru

<u>Tebal fiber carbon</u>	<u>Tebal HGM (mm)</u>	<u>Tebal rompi (mm)</u>	<u>Berat (Kg)</u>
2	6	7.60	0.56
	10	11.60	0.98
	14	15.60	1.39
	18	19.60	1.89
	22	23.60	2.19
4	6	9.20	0.83
	10	13.20	1.25
	14	17.20	1.66
	18	21.20	1.52
	22	25.20	2.47
6	6	6.00	1.11
	10	14.80	1.53
	14	18.80	1.94
	18	22.80	2.34
	22	26.80	2.74
8	6	12.40	1.38
	10	16.40	1.80
	14	20.40	2.21
	18	24.40	2.62
	22	28.40	3.02
10	6	14.00	1.66
	10	18.00	2.07
	14	22.00	2.49
	18	26.00	2.89
	22	30.00	3.29

Sumber : Hasil Simulasi

4.1.3.1 Hasil Simulasi Energi Kinetik Rompi Anti Peluru

Pada penelitian simulasi ini akan dilakukan pengaruh ketebalan variasi *Fiber Carbon* dan Variasi *HGM* terhadap Energi Kinetik Rompi Anti Peluru.

Dari Table 4.4 menunjukkan energi kinetik peluru sebesar 549,03 joule. Dari data diatas menunjukkan bahwa energi kinetik dari rompi anti peluru mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tebal dari rompi anti peluru. Energi kinetik rompi anti peluru terjadi pada ketebalan lapisan 10 layer *Fiber Carbon* dan 22 mm *HGM* sebesar 84,29 Joule.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi variasi ketebalan *Fiber Carbon* dan *HGM*

<u>Tebal fiber carbon (layer)</u>	<u>Tebal HGM (mm)</u>	<u>energi kinetik peluru (J)</u>	<u>energi kinetik rompi (J)</u>
2	6	549.03	262.64
	10		205.75
	14		180.01
	18		101.64
	22		87.01
4	6		248.74
	10		186.42
	14		176.65
	18		99.61
	22		79.70
6	6		229.76
	10		171.34
	14		159.16
	18		91.46
	22		91.28
8	6		211.87
	10		160.35
	14		151.61
	18		101.16
	22		88.73
10	6	200.38	
	10	151.79	
	14	148.78	
	18	99.81	
	22	84.29	

Sumber : Hasil Simulasi

4.1.3.2 Hasil Simulasi Penetrasi Peluru

Pada penelitian simulasi ini akan dilakukan pengaruh ketebalan variasi *Fiber Carbon* dan Variasi *HGM* terhadap penetrasi pada Peluru.

Dari Table 4.5 menunjukkan penetrasi peluru terhadap rompi anti peluru. Dari data diatas menunjukkan bahwa penetrasi peluru mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tebal dari rompi anti peluru. Penetrasi peluru terkecil terjadi pada ketebalan lapisan 10 layer *Fiber Carbon* dan 10 mm *HGM* sebesar 7,34 mm.

Tabel 4.5 hasil simulasi penetrasi peluru

Tebal fiber carbon	Tebal HGM (mm)	Penetrasi peluru (mm)	Tebal rompi (mm)
2	6	26.42	7.60
	10	23.32	11.60
	14	18.36	15.60
	18	15.27	19.60
	22	12.51	23.60
4	6	23.02	9.20
	10	19.46	13.20
	14	15.14	17.20
	18	12.14	21.20
	22	12.13	25.20
6	6	20.81	6.00
	10	17.19	14.80
	14	12.98	18.80
	18	11.83	22.80
	22	10.03	26.80
8	6	19.90	12.40
	10	11.83	16.40
	14	11.74	20.40
	18	11.68	24.40
	22	8.35	28.40
10	6	19.26	14.00
	10	14.92	18.00
	14	12.86	22.00
	18	11.30	26.00
	22	7.34	30.00

Sumber : Hasil Simulasi

4.1.3.3 Hasil Simulasi *Back Face Signature*

Pada penelitian simulasi ini akan dilakukan pengaruh ketebalan variasi Fiber Carbon dan Variasi HGM terhadap Back Face Signature pada Peluru.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi *Back Face Signature* pada rompi anti peluru

		Ketebalan fiber carbon (layer)				
		2	4	6	8	10
ketebalan hgm (mm)	6	29.86	19.96	14.39	17.86	1.64
	10	19.81	8.05	10.89	2.19	2.23
	14	11.61	7.10	3.98	2.05	1.68
	18	8.58	5.04	2.82	2.00	1.48
	22	5.53	3.82	2.72	1.91	1.29

Sumber : Hasil Simulasi

Dari Table 4.6 menunjukkan *Back Face Signature* yang terjadi pada rompi anti peluru. Dari data diatas menunjukkan bahwa *Back Face Signature* yang terjadi pada rompi anti peluru mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tebal dari rompi anti peluru. *Back Face Signature* terkecil terjadi pada ketebalan lapisan 10 layer *Fiber Carbon* dan 8 mm *HGM* sebesar 1,29 mm.

4.2 Analisa data dan pembahasan

4.2.1 Ketebalan Rompi Anti Peluru *Epoxy – HGM*.

Dari hasil simulasi menggunakan *software finite element* dilihat pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa semakin tebal rompi anti peluru maka energi kinetik yang di teruskan ke tubuh akan semakin kecil. Hal yang serupa juga terjadi pada pada hasil penetrasi peluru pada rompi anti peluru dan *Backface Signature* yang terjadi pada rompi anti peluru, dengan bertambah tebal rompi anti peluru nilainya semakin kecil.

Pada energi kinetik yang terjadi pada rompi anti peluru hal ini di sebabkan karena penyerapan energi yang dilakukan oleh *HGM* mencapai 86,39%, sehingga semakin tebalnya rompi anti peluru, maka energi kinetik peluru yang di serap oleh rompi akan semakin besar, sehingga energi kinetik yang di teruskan semakin

ke tubuh semakin kecil. Sesuai Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher menyatakan bahwa energi sebesar 170 Joule dapat menyebabkan kelumpuhan pagi pengguna. Maka ketebalan 22 mm sudah memenuhi standart dengan nilai energi kinetik sebesar 152,92 Joule. Hasil simulasi pada penetrasi peluru dari semua ketebalan tidak ada yang melebihi dari ketebalan rompi anti peluru dan hasil simulasi *Back face Signature* di semua ketebalan memiliki nilai di bawah 44 mm.

Dari hasil simulasi rompi anti peluru yang terbuat dari *Epoxy – HGM*, hanya ketebalan 22 mm yang memenuhi standart. Oleh karena itu, ketebalan 22 mm akan dipilih untuk ditambahkan lapisan *carbon fiber* sehingga dapat mengurangi ketebalan dan berat dari rompi anti peluru.

4.2.2 Posisi Layer *Fiber Carbon*

Setelah mendapatkan ketebalan rompi anti peluru terbuat dari epoxy – HGM, maka akan di tambahkan *fiber carbon*. Hasil simulasi menggunakan *software finite element* dilihat pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa energi kinetik yang di teruskan ketubuh posisi layer belakang mempunyai nilai yang terkecil karena energi kinetiknya paling kecil dari posisi lainnya. Untuk hasil penetrasi peluru posisi layer depan – tengah – belakang dan depan – tengah memiliki nilai terkecil sebesar 5,77 mm dan untuk hasil *Backface Signature* pada posisi depan – tengah – belakang memiliki nilai yang paling terkecil sebesar 4,12 mm.

Mengacu pada NIJ 0101.06, posisi layer belakang, tengah, dan belakang – tengah yang memenuhi standart uji karena memiliki energi kinetik rompi anti peluru yang di teruskan ke tubuh dibawah 170 J. dan untuk nilai penetrasi dan *Back face Signature* pada semua posisi layer *Fiber Carbon* memenuhi ststandar uji.

Dengan melihat hasil simulasi posisi layer *Fiber Carbon* maka akan dipilih posisi layer *Fiber Carbon* di belakang untuk di lanjutkan variasi ketebalan *HGM* dan Variasi *Fiber Carbon* untuk mengurangi ketebalan dan berat dari rompi anti peluru.

4.2.3 Simulasi Variasi Ketebalan Fiber Carbon dan Ketebalan HGM

4.2.3.1 Energi kinetik

Dari hasil simulasi menggunakan *software finite element* dilihat pada tabel 4.4 menunjukkan energi kinetik peluru sebesar 549,03 joule. Dari data diatas menunjukkan bahwa energi kinetik dari rompi anti peluru mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tebal *HGM* dan *Fiber Carbon* dari rompi anti peluru.

Pada energi kinetik yang terjadi pada rompi anti peluru hal ini di sebabkan karena penyerapan energi yang dilakukan oleh *HGM* mencapai 86,39%, sehingga semakin tebalnya rompi anti peluru, maka energi kinetik peluru yang di serap oleh rompi akan semakin besar, sehingga energi kinetik yang di teruskan semakin ke tubuh semakin kecil. Sesuai Hatcher's Notebook (1962), menyatakan bahwa energi sebesar 170 Joule dapat menyebabkan kelumpuhan pagi pengguna.

Dari hasil simulasi dapat dilihat ketebalan fiber carbon 2 layer dengan variasi ketebalan *HGM* 6 mm, 10 mm dan 14 mengalami kegagalan. Untuk ketebalan fiber carbon 4 layer dengan variasi ketebalan *HGM* 6 mm, 10 mm dan 14 mm mengalami kegagalan. Untuk ketebalan fiber carbon 6 layer dengan variasi ketebalan *HGM* 6 mm dan 10 mm mengalami kegagalan. Untuk ketebalan fiber carbon 8 layer hanya variasi ketebalan *HGM* 6 mm yang mengalami kegagalan. Untuk ketebalan fiber carbon 10 layer hanya variasi ketebalan *HGM* 6 mm yang mengalami kegagalan.

4.2.3.2 Penetrasi Peluru

Dari hasil simulasi menggunakan *software finite element* dilihat pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa penetrasi peluru mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tebal dari rompi anti peluru. Penurunan ini sebabkan karena sifat kekuatan, kekakuan dan ketangguhan dari material *Fiber Carbon* dan *HGM* sangat baik.

Sesuai dengan standart NIJ 01.01.06 penetrasi peluru yang terjadi pada rompi anti peluru tidak boleh melebihi dari ketebalan rompi anti peluru. Karena akan menyebabkan peluru tembus dan akan mengena pengguna rompi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat ketebalan fiber carbon 2 layer dengan variasi ketebalan HGM 6 mm, 10 mm dan 14 mengalami kegagalan. Untuk ketebalan fiber carbon 4 layer dengan variasi ketebalan HGM 6 mm dan 10 mm mengalami kegagalan. Untuk ketebalan fiber carbon 6 layer dengan variasi ketebalan HGM 6 mm dan 10 mm mengalami kegagalan. Untuk ketebalan fiber carbon 8 layer hanya variasi ketebalan HGM 6 mm yang mengalami kegagalan. Untuk ketebalan fiber carbon 10 layer hanya variasi ketebalan HGM 6 mm yang mengalami kegagalan.

4.2.3.3 Back Face Signature Rompi Anti Peluru

Dari hasil simulasi menggunakan *software finite element* dilihat pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa *Back Face Signature* yang terjadi pada rompi anti peluru mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya tebal dari rompi anti peluru. Penurunan ini sebabkan karena sifat kekuatan, kekakuan dan ketangguhan dari material *Fiber Carbon* dan *HGM* sangat baik.

Sesuai dengan standart NIJ 01.01.06 *Back Face Signature* yang terjadi pada rompi anti peluru tidak boleh melebihi dari 44 mm. dilihat dari hasil simulasi, semua variasi ketebalan *HGM* dan ketebalan *Fiber Carbon* tidak ada yang melebihi 44 mm. sehingga dari semua variasi ketebalan tidak mengalami kegagalan.

4.3 Pemilihan Rompi Anti peluru

Berdasarkan hasil dari simulasi yang dilakukan, maka di dapatkan hasil dari variasi ketebalan *Epoxy – HGM* dan *fiber carbon* yang memenuhi standard uji NIJ 01.01.06 level 2 yang ditunjukkan tabel 4.7.

Ditinjau dari ketebalan dan berat dari rompi anti peluru, maka akan di pilih rompi yang paling tipis dan ringan demi memudahkan mobilitas penggunaanya. Sehingga dengan ketebalan 8 layer *fiber carbon* dan 10 mm *HGM* dipilih untuk dilanjutkan ketahap eksperimen.

Tabel 4.7 Hasil simulasi lolos standart uji NIJ 01.01.06

<u>Tebal fiber carbon</u>	<u>Tebal HGM (mm)</u>	<u>Tebal rompi (mm)</u>	<u>Berat (Kg)</u>
2	18	19.60	1.89
	22	23.60	2.19
4	18	21.20	1.52
	22	25.20	2.47
6	14	22.80	1.94
	18	26.80	2.34
	22	12.40	2.74
8	10	16.40	1.80
	14	20.40	2.21
	18	24.40	2.62
	22	28.40	3.02
10	10	18.00	2.07
	14	22.00	2.49
	18	26.00	2.89
	22	30.00	3.29

Tabel 4.8 hasil tegangan dan regangan rompi anti peluru

<u>Tebal Fiber Carbon</u>	<u>Tebal HGM (mm)</u>	<u>Tegangan HGM (MPa)</u>	<u>Tegangan fiber carbon (MPa)</u>	<u>Regangan HGM</u>	<u>Regangan fiber carbon</u>
8	10	178.38	1322	0.63	0.01

Setelah variasi ketebalan *Epoxy – HGM* dan fiber carbon dipilih sesuai standart NIJ 01.01.06 level II. Selanjutnya akan disimulasikan tegangan dan regangan yang terjadi pada model rompi anti peluru untuk mengetahui kegagalan yang ditampilkan pada tabel 4.8.

Ditinjau dari nilai *compressive strength HGM* sebesar 191 MPa, *HGM* dengan ketebalan 10 mm tidak mengalami kegagalan. Hal ini disebabkan karena tegangan yang terjadi pada *HGM* dibawah nilai *compressive strength HGM*. Lalu ditinjau dari nilai *tensile strength* dari carbon fiber sebesar 1820 MPa, maka ketebalan fiber carbon sebesar 8 layer tidak mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi pada rompi anti peluru berada dibawah nilai *tensile strength* fiber carbon.

Regangan yang terjadi pada fiber carbon model rompi anti peluru sebesar 0.01 mm/mm. Mengacu pada *maximal elongation fiber carbon* sebesar (0.016), maka *fiber carbon* pada model rompi anti peluru tidak mengalami kegagalan karena regangan yang terjadi dibawah nilai *maximal elongation fiber carbon*.

4.4 Eksperimen

4.4.1 Proses Pembuatan Rompi anti Peluru

Model rompi anti peluru dipilih sesuai dengan model yang dilakukan pada simulasi. Proses pertama cetakan rompi yang terbuat dari stainless steel di persiapkan sesuai gambar 4.2.



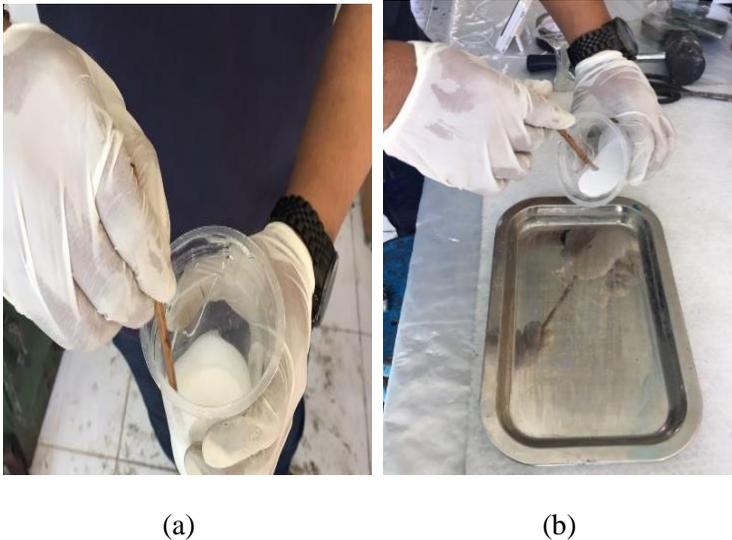
Gambar 4.2 cetakan rompi anti peluru

Setelah cetakan dipersiapkan, dilanjutkan proses pencampuran *Epoxy – HGM*. Pada gambar 4.3 resin epoxy dan HGM ditimbang sesuai dengan ketebalan dari cetakan.



Gambar 4.3. resin epoxy dan HGM ditimbang

Setelah di timbang resin epoxy dan HGM dicampur dan diberi hardener. Campuran epoxy, HGM dan resin di aduk sampai merata, setelah itu dimasukkan kedalam cetakan sesuai gambar 4.4.



Gambar 4.4 proses pengadukan (a) dan proses pencetakan (b)

Cetakan ditunggu selama 12 jam sampai campuran mengeras. Setelah mengeras, campuran epoxy – HGM dilepas dari cetakan. Proses selanjutnya, Carbon fiber sebanyak 8 layer dipersiapkan untuk dilapisi dibelakang campuran epoxy – HGM yang sudah mengeras tadi.

Setelah dipersiapkan, setiap layer ditempelkan pada bagian epoxy – HGM dengan melapiskannya dengan cairan resin epoxy seperti yang terlihat pada gambar 4.5.

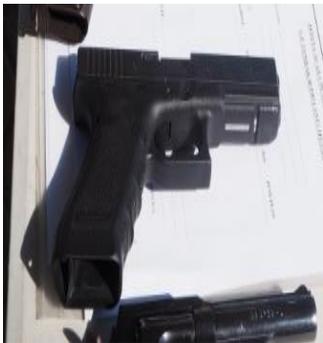
Setelah selesai melapiskan fiber carbon, akan dilakukan vacum menggunakan pompa vacun untuk menghilangkan resin selama 12 jam. Selanjutnya, setelah 12 jam maka cetakan rompi anti peluru di lepas dari alat vacum dan model rompi anti peluru selesai dibuat.



Gambar 4.5 pelapisan *fiber carbon*

4.4.2 Pengujian Ekperimen

Setelah model rompi anti peluru selesai dibuat, langkah selanjutnya akan dilaksanakan pengujian balistik terhadap rompi anti peluru sesuai standart NIJ 01.01.06 level II. Pengujian balistik dilakukan di lapangan Markas Komando Batalyon A Jawa Timur. Pada uji balistik ini menggunakan senjata api Glock 17 USA menggunakan peluru kaliber 9 mm FMJ dengan jarak tembak sejauh 5 m seperti pada gambar 4.6.



(a)



(b)

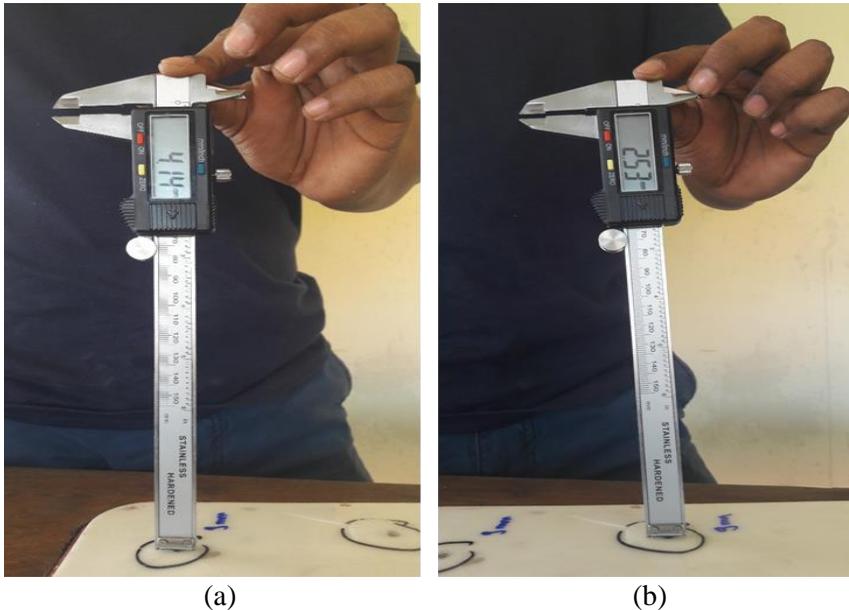
Gambar 4.6 pengujian balistik. (a) Glock 17 USA, (b) kaliber 9 mm FMJ.

4.4.3 Pembahasan eksperimen

4.4.3.1 Penetrasi

Sesuai standart NIJ 01.01.06, penetrasi yang terjadi pada rompi anti peluru saat uji balistik tidak boleh melebihi dari tebal rompi anti peluru atau tembus. Pada pengujian ini dilakukan tembakan sebanyak dua kali, lalu penetrasi yang terjadi pada rompi anti peluru diamati kedalamannya.

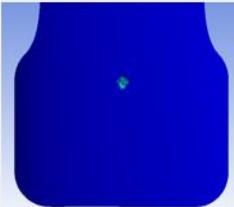
Pada tembakan pertama kedalaman penetrasi sebesar 4.14 mm dan di sekitarnya lokasi pentrasi terdapat beberapa retakan. Lalu pada percobaan tembakan kedua, penetrasi yang terjadi sebesar 2.53 mm dan disekitar lokasi penetrasi terjadi banyak retakan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7. hasil penetrasi. (a) tembakan I, (b) tembakan II.

Gambar 4.7 menunjukkan penetrasi yang terjadi saat uji balistik, dimana dari hasil tembakan pertama dan kedua penetrasi yang terjadi masih memenuhi standart pengujian. Pada tabel 4.8 menunjukkan hasil penetrasi antara simulasi dan eksperimen

Tabel 4.8 perbandingan hasil penetrasi simulasi dan eksperimen

<u>Metode penelitian</u>	<u>ketebalan</u>	<u>gambar</u>	<u>penetrasi</u>
<u>simulasi</u>	16.4 mm		15.30 mm
<u>eksperimen</u>	16.4 mm		4.14 mm
			2.53 mm

Pada tabel 4.8 menunjukkan perbedaan hasil penetrasi simulasi dan eksperimen, perbedaan yang terjadi diakibatkan oleh beberapa faktor. Pertama terjadi karena faktor internal, dimana proses pembuatan rompi anti peluru sangat mempengaruhi dari hasil rompi anti peluru yang diinginkan. Faktor internal meliputi dari proses pencampuran epoxy – HGM, proses melapisi fiber carbon dan proses vacum. Lalu terjadi karena faktor eksternal, dimana meliputi temperatur saat uji tembak, sudut arah penembakan, kondisi senjata yang digunakan dan kondisi peluru.

4.4.3.2 Back Face Signature

Back face Signature yang terjadi saat uji balistik tidak boleh melebihi dari 44 mm karena akan menyebabkan luka serius bagi pengguna sesuai standart NIJ 01.01.06. Pada gambar 4.8 menunjukkan Back Face Signature yang terjadi pada rompi anti peluru.



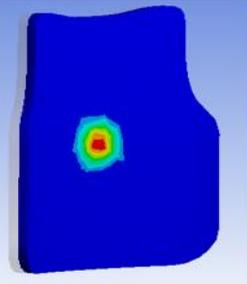
(a)

(b)

Gambar 4.8 hasil Back Face Signature. (a) tembakan I, (b) tembakan II.

Dari hasil uji balistik, tembakan pertama Back Face Signature yang terjadi sebesar 10 mm. lalu pada tembakan kedua sebesar 9 mm. Pada kedua hasil tembakan tersebut, masih memenuhi dari standart uji rompi anti peluru karena Back Face Signature yang terjadi kurang dari 44 mm.

Tabel 4.9 Perbandingan hasil BFS simulasi dan eksperimen

METODE PENELITIAN	KETEBALAN	GAMBAR	BFS
SIMULASI	16.4 mm		2.23 mm
EKSPERIMEN	16.4 mm		10 mm
	16.4 mm		9 mm

Dapat dilihat pada tabel 4.9 menunjukkan adanya perbedaan hasil Back Face Signature pada simulasi dan eksperimen. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan perbedaan ini . Pertama terjadi karena faktor internal, dimana proses pembuatan rompi anti peluru sangat mempengaruhi dari hasil rompi anti peluru yang diinginkan. Faktor internal meliputi daro proses pencampuran epoxy – HGM, proses melapisi fiber carbon dan proses vacum. Lalu terjadi karena faktor eksternal, dimana

meliputi temperatur saat uji tembak, sudut arah penembakan, kondisi senjata yang digunakan dan lainnya.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Rompi anti peluru yang terbuat dari *epoxy-HGM* dengan ketebalan 22 mm, energi kinetik yang di teruskan ketubuh sebesar 152,92 Joule pada simulasi uji balistik. Sehingga aman untuk digunakan sesuai dengan Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher menyatakan bahwa energi sebesar 170 Joule dapat menyebabkan kelumpuhan pagi pengguna.
2. Rompi anti peluru yang terbuat dari *epoxy – HGM* dengan ketebalan 22 mm lalu diberikan lapisan fiber carbon dibagian belakang, pada simulasi pengujian balistik memiliki nilai energi kinetik yang di teruskan ketubuh paling kecil sebesar 125.12 joule dibandingkan dengan posisi depan, tengah, depan – tengah, depan – belakang, tengah – belakang, dan depan – tengah – belakang.
3. Rompi anti peluru dengan ketebalan 16.40 mm yang terbuat dari epoxy – HGM – Fiber Carbon dengan variasi ketebalan HGM 10 mm dan 8 layer Fiber Carbon. Memiliki nilai energi kinetik yang di teruskan ketubuh sebesar 160.35 Joule. Dan aman untuk digunakan sesuai standart Hatcher's Notebook (1962) by Major General Julian S. Hatcher.
4. Sesuai dengan standart NIJ 01.01.06 rompi anti peluru Back Face Signature yang terjadi pada uji balistik tidak boleh melebihi dari 44 mm. Pada rompi dengan ketebalan 16.40 mm yang terbuat dari epoxy – HGM – Fiber carbon, BFS yang terjadi pada simulasi uji balistik sebesar 2.19 mm. sehingga aman untuk digunakan.
5. Rompi dengan ketebalan 16.40 mm yang terbuat dari epoxy – HGM – Fiber carbon, penetrasi 15.83 mm yang teradi pada simulasi uji balistik sebesar 2.19 mm. sehingga aman untuk digunakan sesuai dengan standart NIJ 01.01.06.
6. Pada pengujian eksperimen balistik rompi anti peluru dengan ketebalan 16.40 mm yang terbuat dari epoxy – HGM – fiber carbon, memiliki nilai penetrasi sebesar 4.14 mm dan 2.53

mm. lalu nilai BFS yang terjadi sebesar 10 mm dan 9 mm. Sehingga pada pengujian eksperimen uji balistik sesuai dengan standart NIJ 01.01.06

7. Pada pengujian eksperimen balistik rompi anti peluru dengan ketebalan 16.40 mm yang terbuat dari epoxy – HGM – fiber carbon memiliki bobot sebesar 0.64 Kg

5.2 Saran

1. Proses pembuatan campuran Epoxy – HGM di lakukan di tempat yang lebih memadai dan peralatan yang lengkap.
2. Adanya penelitian selanjutnya yang dapat menyempurnakan penelitian sebelumnya karena sangat berguna bagi instansi yang terkait.
3. Adanya kerja sama oleh pihak TNI atau POLRI sehingga memudahkan penelitian.
4. Melakukan penelitian serupa untuk mengetahui dampak bagi pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Daniel Bürger a., Alfredo Rocha de Faria b, Sérgio F.M. de Almeida b, Francisco C.L. de Melo a, Maurício V. Donadon, 2010. “*Ballistic impact simulation of an armour-piercing projectile on hybrid ceramic/fiber reinforced composite armours*”.
- Zahrah, Lutfianisa. 2015. “Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM dalam Menyerap Energi Akibat Impact Proyektil”. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya
- National Institute of justice (NIJ). 2001. *NIJ 0101.04*. Washington, D.C. United States
- Ritonga, Widiyansah, 2014. “Pengaruh Varriasi Fraksi Volume, Temperatur curing dan Post-Curing Terhadap karakteristik Tekan Komposit Epoxy – Hollow Glass Microspheres IMK30K”. Surabaya
- National Research Council. 2012. “*Testing of Body armor Materials Phase III*”. Washington, D.C
- W. A. De Morais, J. R. M. d’Almeida. 2003. “Effect of the Fiber Reinforcement on the Low Energy Impact Behavior of Fabric Reinforcement Resin Matrix Composite Materials”. Rio de Janerio, Brazil.
- Anhar, Pulungan. 2017. “Analisis Kemampuan Rompi Anti Peluru Yang Terbuat Dari Komposit HGM – Epoxy dan Serat Karbon Dalam Menyerap energi Akibat Impact Peluru”. Surabaya
- Hindun. 2015. “Analisa Komposit Matrix Epoxy dengan Penguat HGM Untuk Pembuatan Bumper Depan Kendaraan”. Surabaya

<http://pabrik-baju.net/2013>

<http://en.wikipedia.org/>14 Mei 2014

[https://hafidhmind.wordpress.com,](https://hafidhmind.wordpress.com/)2015

[http://ceramics.org,](http://ceramics.org/)2017

<http://www.johnandtable.com>

BIODATA PENULIS



Wira Ashari dilahirkan di Duri, 21 Juli 1993 merupakan anak yang terlahir dari orangtua bernama Muhammad Riady dan Nining Lesmanawati. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDS Cendana , Kota Duri pada kelas I-VI (1999-2005). Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPS Cendana Duri pada tahun 2005-2008, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAS Cendana Duri pada tahun 2008-2011. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan

Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi Staff Departemen Umum di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin ITS dan staff divisi RC Mesin ITS Autosport pada periode 2012-2013. Selanjutnya menjadi Wakil ketua di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin ITS pada periode 2013-2014. Dan Menjadi Koordinator Dewan Presidium Mahasiswa Teknik Mesin. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan *Indonesian Energy Marathon Challenge 2014* sebagai Koordinator Fuel Marshal Racing Committe dalam kegiatan lomba tersebut. Selain aktif berorganisasi, penulis juga aktif magang ke beberapa perusahaan seperti PT Pertamina Indonesia.

Selama hidup penulis berpegang teguh pada prinsip “*Don’t limit your challenge, but challenge your limit*” yang selalu menjadikan penulis selalu memotivasi untuk berjuang keras dalam semua hal yang dilakukan. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email ashari.wira@gmail.com