

TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISA KOMPOSIT *MULTI REINFORCEMENT*
SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF ROMPI ANTI
PELURU DALAM MENAHAN ENERGI *IMPACT*
PROYEKTIL

RIDHO AZHARI
NRP 2112 100 035

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Sutikno, ST., M.T.

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



TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISA KOMPOSIT *MULTI REINFORCEMENT*
SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF ROMPI ANTI
PELURU DALAM MENAHAN ENERGI *IMPACT*
PROYEKTIL

RIDHO AZHARI
NRP 2112 100 035

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Sutikno, ST., M.T.

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



FINAL PROJECT - TM 141585

MULTI REINFORCEMENT COMPOSITES ANALYSIS AS ALTERNATIVE MATERIAL OF ARMOR VEST IN ABSORBING PROJECTILE IMPACT ENERGY

RIDHO AZHARI
NRP 2112 100 035

Advisor
Dr.Eng. Sutikno, ST., M.T.

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

**ANALISA KOMPOSIT *MULTI REINFORCEMENT*
SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF ROMPI ANTI
PELURU DALAM MENAHAN ENERGI *IMPACT*
PROYEKTIL**

TUGAS AKHIR

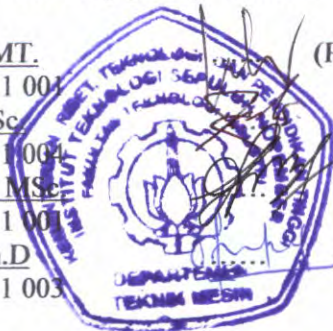
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIDHO AZHARI
NRP. 2112 100 035

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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



SURABAYA

JULI, 2017

**ANALISA KOMPOSIT *MULTI REINFORCEMENT*
SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF ROMPI ANTI
PELURU DALAM MENAHAN ENERGI *IMPACT*
PROYEKTIL**

Nama Mahasiswa : Ridho Azhari
NRP : 2112100035
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Sutikno, ST., MT.

Abstrak

Rompi anti peluru mempunyai fungsi untuk meredam resiko cedera akibat penetrasi proyektil. Proyektil diredam bahkan dihentikan dengan cara menyebarkan energi kinetik sepanjang luasan plat pelindung sehingga energi akibat beban balistik peluru yang diteruskan kepada pengguna semakin kecil. Pada kenyataannya, energi yang diterima oleh pengguna rompi anti peluru masih dapat menyebabkan trauma fisik seperti memar, bengkak atau luka dalam yang cukup serius. Disamping itu, rompi anti peluru konvensional masih terasa berat sehingga mengurangi mobilitas pengguna sehingga perlu dilakukan penelitian tentang material alternatif pengganti rompi anti peluru konvensional yang mempunyai kinerja yang relatif sama dalam menahan energi impact proyektil.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, mulai dari studi literatur, simulasi, pembuatan spesimen uji, serta pengujian balistik. Geometri model peluru menggunakan tipe 9 mm Full Metal Jacket (FMJ) yang mengacu pada standar National Institute of Justice (NIJ) 0101.06. level IIIA. Geometri model rompi menggunakan tipe hard body armor sesuai yang beredar di pasaran. Pengujian balistik yang meliputi kriteria Back Face Signature dan energi kinetik mengikuti kriteria yang ditetapkan oleh NIJ 0101.06 baik dalam metode simulasi maupun eksperimental. Simulasi

bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi ketebalan Hollow Glass Microspheres-Serat sisal dan jumlah lapisan carbon fiber yang memenuhi kriteria standar NIJ 0101.06. Spesimen uji dibuat dengan konfigurasi terbaik hasil simulasi. Selanjutnya, dilakukan pengujian balistik mengacu pada standar NIJ 0101.06. Hasil pengujian spesimen uji dianalisa dan dibandingkan dengan hasil simulasi.

Pada penelitian ini didapatkan hasil simulasi model rompi anti peluru dengan konfigurasi ketebalan 6 mm dengan 10 lapisan carbon fiber. Konfigurasi ini menjadi acuan pembuatan spesimen uji dan diuji dengan pengujian balistik sesuai dengan standar NIJ 0101.06. Hasil pengujian balistik spesimen uji I berupa penetrasi proyektil berturut turut sebesar 5,40 mm, 5.26 mm, Back Face Signature berturut turut sebesar ± 10 mm, ± 7 mm dengan menggunakan unit Glock 17 USA peluru kaliber 9 mm FMJ. Hasil pengujian balistik spesimen uji berupa penetrasi proyektil berturut turut sebesar 7.88 mm dan 2.71 mm, Back Face Signature berturut turut sebesar, ± 20 mm dan ± 8 mm menggunakan unit Revolver R1V1 peluru kaliber .38.

Kata kunci : Rompi anti peluru, Hollow Glass Microspheres-serat sisal-carbon fiber, NIJ 0101.06. level IIIA

MULTI REINFORCEMENT COMPOSITES ANALYSIS AS ALTERNATIVE MATERIAL OF ARMOR VEST IN ABSORBING PROJECTILE IMPACT ENERGY

Student Name : Ridho Azhari
NRP : 2112100035
Major : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Dr.Eng. Sutikno, ST., M.T.

Abstract

Armor vest has the function to reduce the risk of injury due to projectile penetration. The projectile is muffled and even terminated by distributing kinetic energy along the extent of the protective plate so that the energy from ballistic load that is passed on to the user is getting smaller. In fact, the energy received by armor vest users can cause physical trauma such as bruises, swelling or serious internal injuries. Conventional armor vest still feels heavy because it can reduce user mobility, so research needs to be done on alternative material of conventional armor vests that have relatively similar performance in absorbing projectile impact energy.

This research consists of several stages, ranging from literature study, simulation, specimen manufacture, and ballistic test. Geometry bullet model using the type 9 mm Full Metal Jacket (FMJ) which refers to the National Institute of Justice (NIJ) 0101.06 standard Level IIIA. Geometry vest model use the original type of armor vest on the market. Ballistic test criteria such as Back Face Signature and kinetic energy refers to the criteria following the standard that established by NIJ 0101.06 in both simulation and experimental methods. The simulation aims to obtain the configuration of Hollow Glass Microspheres-Sisal fiber thickness and number of carbon fiber layers that meet the NIJ 0101.06 standard criteria. The specimens were made with the best configuration of the simulation results. Ballistic test is based on

the NIJ 0101.06 standard. The specimen test results were analyzed and compared with the simulation results.

The best result of simulation of armor vest model in this research is 6 mm thickness configuration with 10 layers of carbon fiber. This configuration becomes the reference for the manufacture of specimens and tested by ballistic test according to NIJ 0101.06 standard. Ballistic test results of specimen I in the form of projectile penetration are 5.40 mm, 5.26 mm respectively, Back Face Signature respectively ± 10 mm, ± 7 mm using Glock unit 17 USA 9 mm caliber FMJ bullet. The result of ballistic test of specimen II in the form of projectile penetration of 7.88 mm and 2.71 mm respectively, Back Face Signature respectively, ± 20 mm and ± 8 mm using Revolver R1V1 bullet .38.

Keywords: Armor vest, Hollow Glass Microspheres-sisal fiber-carbon fiber, NIJ 0101.06. level IIIA

KATA PENGANTAR

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

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. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Azhari dan Ibu Ratna Sari Dewi, kedua orangtua penulis dan keluarga besar yang selalu memberikan do'a, semangat dan bantuan finansial yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Eng. Sutikno, ST., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan nasehat kepada penulis baik dalam kehidupan sosial maupun akademis.
3. Bapak Indra Sidharta ST., M.Sc., Wahyu Wijanarko ST., M.Sc., Suwarno, ST., MSc., PhD. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Bobby Oedy selaku dosen wali.
5. Perkumpulan Takbir Labkom, Mas Yuli, Pak Kar, dan yang lain besar tak disebut gelarnya, yang kecil tak disebut namanya yang telah membantu mengisi waktu luang Penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh Laskar Yonglek, Safa'at, Wira, Arya, Shofi, Arya, Naura, Audrey dan yang lain yang tak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah memberikan semangat moril demi selesainya tugas akhir ini.
7. Seluruh rekan-rekan Kontrakan Kampar, Mumun, Anggi, Dendi, Fikri, Yadi dan para anggota musiman yang telah

menemani suka maupun duka Penulis selama berkuliah di Surabaya.

8. Seluruh rekan rekan Admiral Surabaya maupun Admiral secara keseluruhan yang telah menempa Penulis hingga bisa beradaptasi di luar pulau.
9. Seluruh rekan-rekan M55 Teknik Mesin ITS 2012 yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
10. Seluruh Keluarga Mahasiswa Mesin ITS khususnya mantan pengurus HMM 2014/2015 yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan dukungan kepada Penulis.
11. Terima kasih kepada FC Barcelona, klub yang lebih dari sekedar klub yang telah membantu Penulis menghindari malu ketika liga bergulir.

Semoga segala bentuk bantuan yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat imbalan dari ALLAH SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan 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 *Visca El Barca* dan TERIMA KASIH.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| BAB I | 1 |
| PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.6 Sistematika Laporan..... | 4 |
| BAB II..... | 5 |
| TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Literatur Sebelumnya..... | 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 <i>Hollow Glass Microspheres</i> (HGM)..... | 10 |
| 2.2.5 <i>Epoxy</i> | 11 |
| 2.2.5 <i>Carbon Fiber</i> | 12 |
| 2.2.5 Serat Sisal..... | 13 |
| BAB III..... | 17 |
| METODOLOGI PENELITIAN..... | 17 |
| 3.1 Diagram Alir..... | 17 |
| 3.2 Studi Literatur..... | 18 |
| 3.3 Model Uji Rompi Anti Peluru..... | 19 |
| 3.4 Simulasi..... | 20 |
| 3.5 NIJ 0101.06..... | 23 |
| 3.6 Pembuatan Spesimen Uji..... | 23 |
| 3.7 Pengujian Balistik..... | 25 |

| | |
|---|----|
| BAB IV..... | 29 |
| ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA | 29 |
| 4.1 Analisa Data Simulasi Rompi Anti peluru | 29 |
| 4.1.1 Hasil Simulasi Variasi Ketebalan dan Jumlah Lapisan <i>Carbon Fiber</i> pada Rompi anti Peluru HGM-Serat sisal dengan <i>Matrix</i> <i>Epoxy</i> | 29 |
| 4.1.2 Hasil Simulasi Penetrasi Proyektil | 30 |
| 4.1.3 Hasil Simulasi <i>Back Face Signature</i> Rompi Anti Peluru | 31 |
| 4.1.4 Hasil Simulasi Penyerapan Energi Kinetik Rompi Anti Peluru..... | 33 |
| 4.1.5 Hasil Simulasi Bobot Rompi Anti Peluru | 34 |
| 4.2 Pembahasan Hasil Simulasi | 35 |
| 4.2.1 Simulasi Penetrasi Proyektil..... | 35 |
| 4.2.2 Simulasi <i>Back Face Signature</i> | 36 |
| 4.2.3 Simulasi Penyerapan Energi Kinetik..... | 38 |
| 4.3 Hasil Pengujian Balistik | 40 |
| 4.3.1 Penetrasi Hasil Eksperimen..... | 41 |
| 4.3.2 <i>Back Face Signature</i> Hasil Eksperimen | 43 |
| 4.3.3 Analisa Kegagalan..... | 45 |
| BAB V..... | 47 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | 47 |
| 5.1 Kesimpulan | 47 |
| 5.2 Saran | 47 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 49 |
| LAMPIRAN | 51 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Rompi anti peluru (www.ebay.com) | 7 |
| Gambar 2.2 | Peluru model FMJ (www.satujam.com) | 8 |
| Gambar 2.3 | <i>Matrix</i> dan penguat (<i>Filler</i>) (http://pengertian-menurut.blogspot.co.id)..... | 9 |
| Gambar 2.4 | Klasifikasi komposit (https://logamcor.wordpress.com) | 9 |
| Gambar 2.5 | HGM perbesaran 50 mikron (http://indiacenosphere.blogspot.co.id) | 11 |
| Gambar 2.6 | <i>Mechanical properties</i> resin epoxy (https://link.springer.com)..... | 12 |
| Gambar 2.7 | Serat karbon TC35R-12K (http://www.easycomposites.co.uk)” | 13 |
| Gambar 2.8 | <i>Agave sisalana</i> (http://keys.lucidcentral.org) | 14 |
| Gambar 2.9 | Serat sisal (www.alibaba.com)..... | 15 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian tugas akhir | 17 |
| Gambar 3.2 | Diagram alir simulasi | 18 |
| Gambar 3.3 | Model proyektil peluru .44 magnum (NIJ 0101.06 level IIIA). | 20 |
| Gambar 3.4 | Model rompi anti peluru | 20 |
| Gambar 3.5 | <i>Import</i> geometri model | 21 |
| Gambar 3.6 | <i>Meshing</i> | 21 |
| Gambar 3.7 | <i>Initial Condition</i> ([A] tumpuan model rompi anti peluru [B] <i>Displacement</i> model proyektil) | 22 |
| Gambar 3.8 | <i>Solving</i> simulasi | 22 |
| Gambar 3.9 | Hasil simulasi..... | 23 |
| Gambar 3.10 | Pelapisan <i>carbon fiber</i> | 24 |
| Gambar 3.11 | Pelapisan <i>seal tape</i> | 25 |
| Gambar 3.12 | Preparasi alat dan bahan | 25 |
| Gambar 3.13 | Peletakan spesimen uji pada papan target | 26 |
| Gambar 3.14 | Pengujian spesimen uji | 26 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 3.15 | Hasil pengujian balistik | 26 |
| Gambar 4.1 | Rompi anti peluru J-Force BAP-51A (www.j-forces.co.id) | 34 |
| Gambar 4.2 | Persentase penetrasi pada rompi anti peluru (garis bersymbol mewakili ketebalan HGM-Serat sisal dan garis merah mewakili limit persentase penetrasi)..... | 35 |
| Gambar 4.3 | <i>Back Face Signature</i> pada rompi anti peluru (garis bersymbol mewakili ketebalan HGM-Serat sisal)..... | 37 |
| Gambar 4.4 | Energi yang diteruskan oleh rompi anti peluru (garis bersymbol mewakili ketebalan HGM-Serat sisal dan garis merah mewakili limit energi kinetik) | 38 |
| Gambar 4.5 | (a) unit Glock 17 USA (b) peluru kaliber 9 mm | 41 |
| Gambar 4.6 | (a) unit Revolver R1-V1 (b) peluru kaliber .38 | 41 |
| Gambar 4.7 | Hasil pengukuran kedalaman penetrasi proyektil spesimen I (a) tembakan pertama (b) tembakan kedua | 42 |
| Gambar 4.8 | Hasil pengukuran kedalaman penetrasi proyektil spesimen II (a) tembakan pertama (b) tembakan kedua | 43 |
| Gambar 4.9 | <i>Back Face Signature</i> spesimen I (a) tembakan pertama (b) tembakan kedua | 44 |
| Gambar 4.10 | <i>Back Face Signature</i> spesimen I (a) tembakan pertama (b) tembakan kedua | 44 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabel 2.1 | <i>Mechanical Properties</i> HGM (3M)..... | 11 |
| Tabel 2.2 | <i>Mechanical Properties</i> serat sisal (Kusumastuti, 2009) | 14 |
| Tabel 3.1 | Kriteria Standar Pengujian NIJ 0101.06. | 23 |
| Tabel 4.1 | Hasil simulasi variasi <i>carbon fiber</i> dan HGM-serat sisal..... | 30 |
| Tabel 3.1 | Hasil simulasi penetrasi proyektil..... | 31 |
| Tabel 3.1 | Hasil simulasi <i>Back Face Signature</i> | 32 |
| Tabel 3.1 | Hasil simulasi penyerapan energi kinetik | 33 |
| Tabel 3.1 | Hasil simulasi berat rompi anti peluru | 35 |
| Tabel 3.1 | Hasil penetrasi uji balistik..... | 42 |
| Tabel 3.1 | Perbandingan hasil penetrasi simulasi dan eksperimen..... | 43 |
| Tabel 3.1 | Perbandingan hasil <i>Back Face Signature</i> simulasi dan eksperimen | 45 |
| Tabel 3.1 | Aspek fraktografi..... | 45 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia militer, kelengkapan pertahanan dan perlindungan diri pada angkatan bersenjata adalah salah satu hal yang penting di samping perkembangan alat utama sistem persenjataan (alutsista). Salah satu alat pertahanan dan perlindungan diri prajurit angkatan bersenjata yang sering digunakan adalah rompi anti peluru. Rompi anti peluru memiliki fungsi utama untuk menahan penetrasi dan mereduksi energi *impact* yang ditimbulkan oleh proyektil. Saat terjadi tumbukan, energi kinetik peluru diserap dan didistribusikan pada luasan plat pelindung pada rompi dan energi yang tersisa diteruskan ke tubuh prajurit angkatan bersenjata.

Awal penggunaan rompi anti peluru, material plat pelindung yang digunakan terbuat dari logam. Seiring dengan perubahan zaman dan perkembangan teknologi, rompi anti peluru yang digunakan angkatan bersenjata kebanyakan menggunakan material kevlar. Akan tetapi, bobot dari rompi anti peluru yang masih dirasa kurang ringan sedikit banyaknya mempengaruhi mobilitas prajurit dalam melaksanakan taktik dan strategi. Dari segi nilai ekonomi, material kevlar baik dalam bentuk rompi ataupun tekstil, memiliki harga yang cukup mahal dan harus diimpor dari luar negeri. Dengan itu, perlu dikembangkan material alternatif dari kevlar yang lebih baik dari segi berat dan ekonomi dengan memiliki kemampuan meredam energi *impact* yang relatif sama.

Serat sisal (*Agave Sisalana*) merupakan salah satu dari sekian banyak serat yang bisa didapatkan dari alam dan dapat digunakan sebagai penguat material komposit. Kumaresan, dkk. (2015) mengevaluasi sifat mekanik material komposit serat sisal dan resin *epoxy* dengan memvariasikan orientasi seratnya. Serat sisal mampu menerima beban *impact* hingga 3,53 Joule dengan

orientasi serat 90°. Serat sisal memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup tinggi, daya tahan, hambatan, dan kemampuan untuk meregang dalam air asin. Nilai kekuatan tarik, dan kelenturan yang dimiliki oleh komposit serat sisal lebih baik dibandingkan dengan komposit lain yang sejenis. (Pickering, dkk. (2015).

Araujo, dkk. (2014) melakukan pengujian balistik terhadap rompi anti peluru untuk mengetahui kedalaman penetrasi proyektil pada *backing material* (*Back Face Signature*), BFS, setelah ditembakkan. Hasil pengujian didapatkan bahwa serat sisal memiliki kemampuan balistik 18 % kurang efektif dibandingkan dengan kevlar akan tetapi 5 % lebih ringan dan 31 % lebih murah dalam biaya pembuatan.

Penelitian tentang temperatur *curing* dan *post-curing* terhadap karakteristik tekan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* IM30K juga telah dilakukan oleh Ritonga (2014). 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%.

Penelitian tentang pengaruh komposit HGM pada *bumper* kendaraan dalam mereduksi energi *impact* dilakukan oleh Hindun (2015). Hasil penelitian didapatkan bahwa rata-rata penyerapan energi untuk material *epoxy* HGM sebesar 86.39%. Penelitian lanjutan dilakukan oleh Zahra (2015) tentang penyerapan energi *impact* dan kerusakan rompi anti peluru terhadap beban balistik proyektil. Pada penelitian tersebut rompi anti peluru menggunakan material komposit *epoxy* HGM. Hasil penelitian menunjukkan rompi anti peluru dengan ketebalan 25 mm mampu menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149.5 Joule.

Penelitian terbaru dilakukan oleh Pulungan (2017), tentang penyerapan energi *impact* dan BFS rompi anti peluru yang terbuat dari HGM-*carbon fiber* dengan *matrix epoxy*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rompi anti peluru mampu menyerap energi kinetik sebesar 138,77 Joule dan mempunyai bobot sebesar 1,384 kilogram. 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.

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

1.2 Rumusan Masalah

Rompi anti peluru dari bahan kevlar yang beredar di pasaran umumnya telah memenuhi standar NIJ 0101.06 tetapi dalam beberapa aspek masih memiliki kekurangan. Kekurangan terdapat pada bobot rompi anti peluru yang masih berat dirasa kurang efektif terhadap mobilitas prajurit angkatan bersenjata dalam melaksanakan tugasnya. Material kevlar dari sisi nilai ekonomi masih terlalu mahal dan hanya bisa didapatkan dari luar negeri.

Penelitian sebelumnya telah menghasilkan kesimpulan bahwa material seperti HGM, serat sisal dan *carbon fiber* mampu dengan baik menahan energi *impact* dari pengujian balistik. Pada penelitian ini akan dibuat material alternatif pengganti kevlar yang terbuat dari HGM- serat sisal-*carbon fiber* dengan konfigurasi tertentu yang secara kinerja mampu menahan energi *impact* pengujian balistik sesuai standar NIJ 0101.06.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi tertentu yakni variabel ketebalan HGM-serat sisal dan jumlah lapisan *carbon fiber* pada rompi anti peluru yang diharapkan

mampu menahan energi *impact* pengujian balistik sesuai standar NIJ 0101.06.

1.4 Batasan Masalah

Batasan yang diberikan pada penelitian ini agar didapatkan hasil yang diharapkan yakni, geometri dan metode pengujian mengikuti standar pengujian balistik NIJ 0101.06., diameter serat sisal yang digunakan sebagai penguat diasumsikan sama dan pencampuran antara HGM dan resin *epoxy* dianggap homogen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar literatur penelitian serupa bagi pihak-pihak terkait dan dapat dijadikan salah satu alternatif pengambilan kebijakan instansi militer dalam hal pengadaan peralatan keamanan dan sistem persenjataan.

1.6 Sitematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- BAB I, berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan, dan sistematika laporan.
- BAB II, berisi tentang dasar teori yang merupakan referensi studi dari penelitian.
- BAB III, berisi tentang metodologi penelitian.
- BAB IV, berisi tentang analisa data dan pembahasan, termasuk data hasil simulasi dan pengujian.
- BAB V, berisi kesimpulan dan saran.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Literatur Sebelumnya

Komposit HGM-*carbon fiber*-serat sisal merupakan jenis komposit *multi reinforcement* dengan *matrix epoxy* yang memiliki penguat yang terdiri dari serat alam dan bola kaca berongga berukuran mikro. HGM mempunyai kelebihan berupa kemampuan isi yang tinggi, penyerapan energi *impact* yang tinggi dan massa jenis yang relatif rendah (Amos, 2015). Penelitian tentang temperatur *curing* dan *post-curing* terhadap karakteristik tekan komposit *epoxy*-HGM IM30K juga telah dilakukan oleh Ritonga (2014). Pada penelitian ini dilakukan variasi fraksi volume, penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 16% pada *epoxy* menaikkan nilai ketangguhan. Faktor ini akan berhubungan dengan kemampuan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dalam menyerap energi *impact*. 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%.

Menurut Pickering, serat sisal yang disusun (*aligned*) sebagai penguat pada komposit *matrix epoxy* memiliki nilai *tensile strength* 410 MPa dan *flexural strength* sebesar 320 MPa, lebih besar dibandingkan serat linen dan serat rami dengan densitas yang relatif sama (Pickering, 2015). Araujo, dkk melakukan penelitian tentang rompi anti peluru dengan penguat berlapis banyak. Material yang digunakan berupa komposit menggunakan penguat 30% serat sisal berlapis banyak dengan standar pengujian balistik NIJ 0101.04 dengan amunisi militer NATO (7,62 mm). Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa rompi anti peluru dengan penguat serat sisal memiliki BFS sebesar 16.42 mm dengan energi terdisipasi sebesar 117 J (Araujo, 2014).

Penelitian tentang pengaruh penyerapan energi *impact* pada *bumper* kendaraan dengan menggunakan material komposit HGM dengan *matrix epoxy*. Pengujian menggunakan 5 buah spesimen dengan variasi ketebalan 4 mm hingga 8 mm. Penelitian

tersebut menyimpulkan bahwa material ini mampu menyerap hingga 86,39% energi *impact* yang diberikan (Hindun, 2015). Di tahun yang sama, dilakukan penelitian tentang penyerapan energi *impact* dan kerusakan rompi anti peluru terhadap beban balistik proyektil. Pada penelitian tersebut rompi anti peluru menggunakan material komposit *epoxy* HGM. Hasil penelitian menunjukkan rompi anti peluru dengan ketebalan 25 mm mampu menyerap energi kinetik proyektil sebesar 149.5 Joule (Zahra, 2015).

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

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru adalah baju pelindung yang melindungi organ vital pada bagian dada, perut dan punggung dari serangan luar, semisal tusukan, proyektil peluru hingga ledakan granat. Pada mulanya, baju pelindung terbuat dari kulit binatang. Ketika peradaban manusia semakin maju, maka digunakan material lain sebagai perisai diri, semisal batu, kayu hingga logam. Namun, penemuan senjata api sekitar tahun 1500 membuat perisai menjadi tidak efektif, sehingga muncul inovasi pembuatan baju pelindung yang lebih efektif untuk meredam peluru senjata api.

Pada abad pertengahan, Jepang tercatat sebagai salah satu negara pengguna pelindung tubuh berbahan dasar sutra.

Selanjutnya, proyek riset mengenai baju pelindung tubuh dilakukan oleh AS semenjak pembunuhan Presiden William McKinley tahun 1901. Tahun 1919, *US Patent and Trademark Office* mencatat desain berbagai tipe rompi anti peluru dan pakaian pelindung tubuh. Rompi anti peluru generasi pertama digunakan pada Perang Dunia II yang kebanyakan berbahan nilon balistik.

Rompi anti peluru mengalami perkembangan sangat pesat pada tahun 1970. Peneliti di *Army's Edgewood Arsenal* mengembangkan desain rompi anti peluru berbahan dasar tujuh lapis kevlar. Akan tetapi, ketika peluru dihentikan oleh kain fleksibel, dampak trauma akibat peluru masih dirasakan pengguna.



Gambar 2.1 Rompi anti peluru (www.ebay.com)

2.2.2 Peluru

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, peluru adalah barang tajam (dari timah, besi, dan sebagainya) pengisi patrun (tabung tembaga yang berisikan mesiu) atau yang dilepaskan dengan senjata api. Sejarah perkembangan peluru dimula pada masa abad ke 14, dimana peluru berbentuk bulat yang dilepaskan dari meriam berguna untuk menghancurkan sistem pertahanan musuh. Pada tahun 1848, bentuk peluru berubah yang semula bulat menjadi kerucut berlubang dengan tujuan meningkatkan akurasi ketika ditembakkan.

Perkembangan selanjutnya, bentuk peluru berubah menjadi model *cartridge* dimana proyektil peluru dan bubuk mesiu disatukan dalam sebuah selongsong. Model peluru ini menjadi cikal bakal peluru yang ada sekarang. Perkembangan terkini model peluru menggunakan model FMJ (*Full Metal Jacket*) dimana proyektil mempunyai inti yang lebih lunak lalu dibungkus dengan logam yang keras sehingga peluru dapat melakukan penetrasi lebih dalam ketika mengenai target dan menimbulkan kerusakan yang lebih besar.



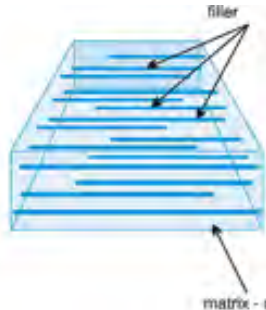
Gambar 2.2 Peluru model FMJ (www.satujam.com)

2.2.3 Komposit

Komposit adalah suatu bahan hasil rekayasa dimana terdiri dari dua atau lebih bahan yang digabungkan dan masing-masing bahan memiliki sifat yang berbeda satu sama lain baik dari sifat kimia maupun fisika dan akan tetap terpisah hingga akhir proses pembuatan. Tujuan dari pembuatan komposit ialah untuk mendapatkan material baru yang sifat mekaniknya dapat ditingkatkan lebih baik dari sebelumnya.

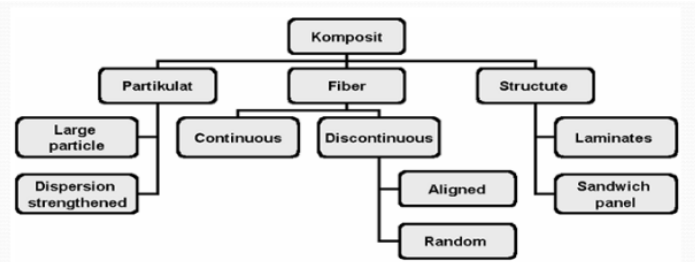
Komposit pada umumnya tersusun dari dua buah bagian, yaitu *matrix* dan penguat. *Matrix* adalah unsur penyusun yang lebih dominan dari penguat. *Matrix* berfungsi sebagai penghubung penguat, menahan, dan unsur penyalur tegangan yang diberikan kepada material komposit.

Sedangkan penguat berfungsi sebagai unsur utama penerima tegangan yang tersebar diantara *matrix*.



Gambar 2.3 *Matrix* dan penguat (*Filler*) (<http://pengertian-menurut.blogspot.co.id>)

Klasifikasi komposit dilihat dari unsur penguat dapat dibagi menjadi :



Gambar 2.4 Klasifikasi komposit (<https://logamcor.wordpress.com>)

Klasifikasi komposit dilihat dari *matrix* dibagi menjadi :

1. *Polymer Matrix Composite (PMC)*

Jenis polimer yang banyak digunakan ialah *Thermoset* dan *Thermoplastik*, polyester dan lain sebagainya. Keunggulan menggunakan PMC ialah kemampuan mengikuti bentuk, lebih ringan, dan memiliki ketangguhan baik.

2. *Metal Matrix Composite* (MMC)

MMC menggunakan logam sebagai matriksnya dan memiliki keunggulan tahan terhadap temperatur tinggi, memiliki ketahanan aus dan termal yang baik, dan memiliki kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi.

3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)

Matriks yang biasa digunakan berupa keramik gelas, gelas inorganik, dan keramik. Keunggulan menggunakan CMC ialah ketahanan yang baik terhadap temperatur yang berubah dan tidak melalui proses yang sulit.

2.2.3.1 Komposit Partikel

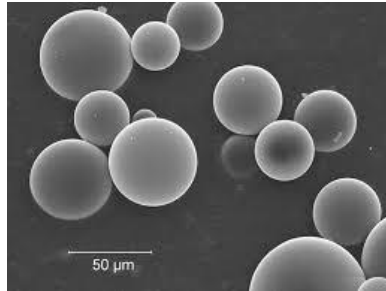
Komposit partikel ialah salah satu jenis komposit yang menggunakan partikel sebagai penguatnya. Partikel memiliki bentuk dan ukuran beragam semisal bola, *polyhedral*, *ellipsoidal* dan *irregular*. Pertambahan partikel dalam *matrix* dapat menghalangi pertumbuhan dislokasi yang akan menambah nilai dari *yield strength* dan *tensile strength* material komposit dikarenakan tertahannya deformasi plastis. Penguat dalam komposit yang berbentuk partikel dapat dibagi menjadi dua yaitu :

1. *Large-particle composite*.
2. *Dispersion-strengthened composite*, matriks menjadi unsur utama penahan beban, dan partikel menjadi penahan terjadinya dislokasi.

2.2.4 *Hollow Glass Microsphere* (HGM)

HGM terbuat dari gelembung / bubuk kaca berukuran mikro dengan diameter 18 – 25 mikron dengan bentuk bola berongga. HGM biasanya digunakan sebagai pengisi alternatif. HGM memiliki densitas yang kecil dan bobot ringan sehingga dapat mengurangi kerapatan dan menurunkan berat sambil meningkatkan stabilitas dimensi dan kekuatan material komposit. Keunggulan lain dari HGM ialah

meningkatkan kekerasan, ketahanan abrasi dan tahan gosok, serta memiliki sifat adhesi yang baik sehingga sangat bagus untuk pembuatan material komposit.



Gambar 2.5 HGM perbesaran 50 mikron
(<http://indiacenosphere.blogspot.co.id>)

Tabel 2.1 *Mechanical Properties* HGM (3M)

| Properties | IM 30 K |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Shape | Hollow sphere with thin wall |
| 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 |

2.2.5 Epoxy

Resin *epoxy* adalah polimer yang mengandung paling sedikit dua gugus epoksida. Epoksida biasanya disebut juga sebagai gugus oksiran. Berbagai macam resin *epoxy* sebagian berasal dari olahan minyak bumi, walaupun terdapat beberapa resin *epoxy* yang diolah dari tumbuhan semisal gliserol yang berasal dari tumbuhan yang digunakan untuk membuat epiklorohidrin.

Resin *epoxy* merupakan polimer dengan kekakuan dan ketangguhan yang baik. Resin *epoxy* juga memiliki sifat adhesif yang baik, ketahanan terhadap panas yang baik, dan sebagai pengikat yang baik pada material komposit. *Mechanical properties* resin *epoxy* dapat dilihat pada gambar 2.6.

| Material Properties | |
|---|-------------------------------------|
| Mechanical Properties | |
| Glass transition temperature (Tg) | 120 - 130 °C |
| Tensile strength | 85 N/mm ² |
| Tensile Modulus | 10,500 N/mm ² |
| Elongation at break | 0.8% |
| Flexural strength | 112 N/mm ² |
| Flexural Modulus | 10,000 N/mm ² |
| Compressive Strength | 190 N/mm ² |
| Coefficient of linear thermal expansion | 34 10 ⁻⁶ |
| Water absorption - 24 hours at 23°C | 5-10 mg (0.06-0.068%) ISO 62 (1980) |

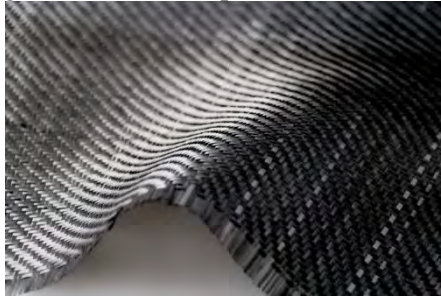
Gambar 2.6 *Mechanical properties* resin *epoxy*
(<https://link.springer.com>)

2.2.6 Carbon Fiber

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

Serat karbon dapat digunakan sebagai penguat pada material komposit dikarenakan memiliki *weight-to-strength* yang baik dikarenakan kepadatan yang rendah jika dibandingkan dengan baja. Sifat serat karbon seperti kekuatan tarik tinggi, berat jenis rendah, dan ekspansi dikarenakan

panas yang rendah sangat cocok bila diaplikasikan pada material luar angkasa, militer maupun otomotif.



Gambar 2.7 Serat karbon TC35R-12K
(<http://www.easycomposites.co.uk>)

Faktor utama yang mempengaruhi sifat dan karakteristik serat karbon pada suatu material komposit antara lain:

1. Tipe dan arah serat karbon yang digunakan.
Serat karbon bersifat anisotropik, yaitu sifat dan karakteristik serat karbon sangat bergantung pada bentuk dan arah dari serat karbon.
2. Susunan serat karbon.
3. Rasio fraksi serat karbon dan matriks penguat.
4. Kualitas produksi serat.

2.2.7 Serat Sisal

Serat sisal adalah serat yang diolah dari daun tanaman Agave. Agave adalah tanaman monokotil asli dari kawasan Amerika Tengah dan Meksiko dan kini dibudidayakan di kawasan tropis lainnya seperti Malaysia, Kenya, Indonesia dan lain sebagainya. Tanaman ini tumbuh baik di daerah beriklim panas dan lembab, dengan suhu 15-30°C. Tanaman ini juga tahan terhadap kekeringan. Saat ini, serat sisal juga dikembangkan sebagai bahan tali kapal dan penguat pada material komposit dikarenakan sifat elastis dan kekuatannya yang baik.

Tabel 2.2 *Mechanical Properties* serat sisal (Kusumastuti, 2009)

| Densitas (kg/ m ³) | Moisture Content (%) | Kekuatan Tarik (MPa) | Modulus (GPa) | Maximum Strain (%) | Diameter (µm) |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|---------------|--------------------|---------------|
| 1450 | 11 | 604 | 9.4-15.8 | - | 50-200 |
| 1450 | - | 530-640 | 9.4-22 | 3.7 | 50-300 |
| 1450 | - | 400-700 | 7-13 | 4-9 | - |
| 1030 | - | 500-600 | 16-21 | 3.6-5.1 | - |
| 1410 | - | 400-700 | 9-20 | 5-14 | 100-300 |
| 1400 | - | 450-700 | 7-13 | 4-9 | - |



Gambar 2.8 *Agave sisalana* (<http://keys.lucidcentral.org>)

Pengolahan daun tanaman *Agave* hingga menjadi sisal melalui tahapan sebagai berikut :

1. Proses penyortiran.

Proses ini bertujuan untuk mendapatkan serat sisal yang berkualitas. Serat yang mempunyai kualitas yang baik dihasilkan dari daun yang sudah matang/ tua dan panjang minimal sepanjang 1 m. Daun yang matang ditandai dengan buah yang masak pada tanaman *Agave*,

yaitu ketika tanaman berumur minimal 12 bulan. Daun yang bisa diolah menjadi serat sisal biasanya diambil sekitar 7-10 dari satu rumpun.

2. Proses Ekstraksi

Daun Agave yang telah disortir akan dilakukan penggilingan dengan mesin dekortikator yang bertujuan untuk memisahkan daging daun dan serat.

3. Proses pengerokan

Setelah diekstraksi dengan mesin dekortikator, maka dilakukan pengerokan untuk membuang daging daun yang masih menempel untuk mendapatkan serat murni yang bersih dan juga bertujuan meluruskan serat yang selesai diekstraksi.

4. Proses pengeringan

Serat murni tanpa daging daun lalu dijemur di bawah sinar matahari selama kurang lebih satu hari. Setelah kering lalu direndam dengan larutan kimia untuk menghilangkan air dan untuk menguatkan serat. Lalu kemudian seerat dijemur kembali hingga kering.

5. Pasca produksi

Serat sisal yang telah jadi dapat langsung dijual atau diolah kembali menjadi produk lainnya seperti karpet, tali kapal dan lain sebagainya.

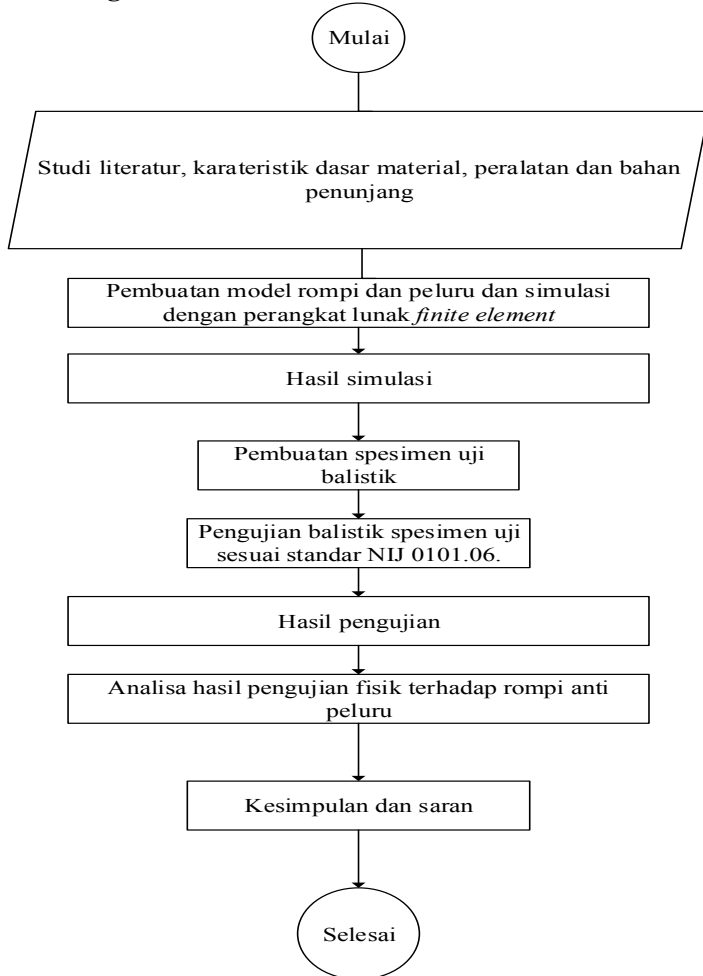


Gambar 2.9 Serat sisal (www.alibaba.com)

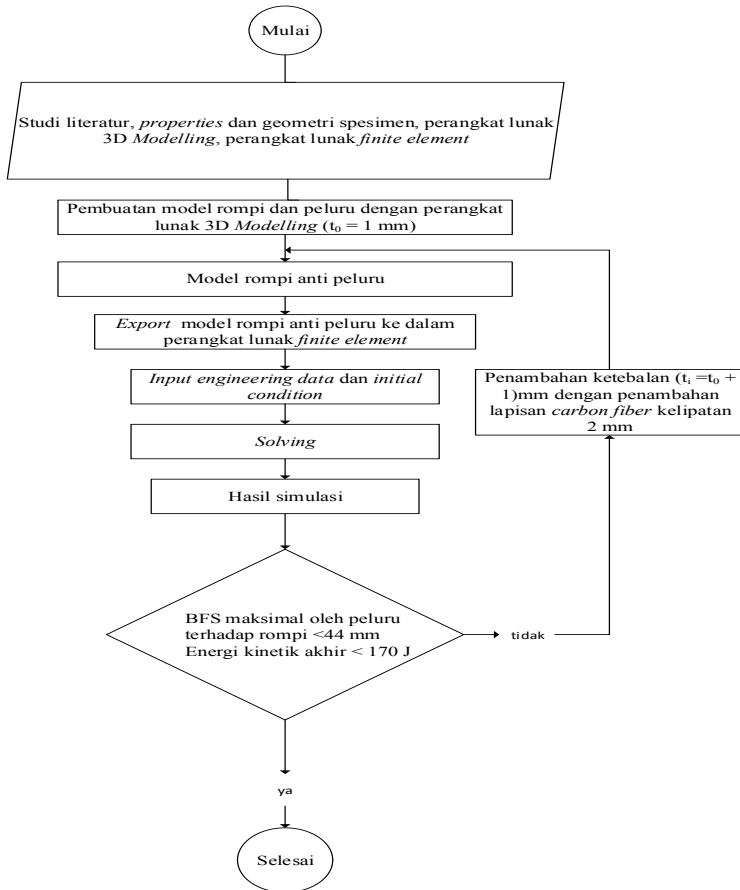
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian tugas akhir



Gambar 3.2 Diagram alir simulasi

Merujuk pada Gambar 3.2, tahapan simulasi meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

3.2 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memperoleh informasi dan dasar referensi dari penelitian yang dilakukan. Adapun informasi yang digunakan sebagai *input* dalam melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

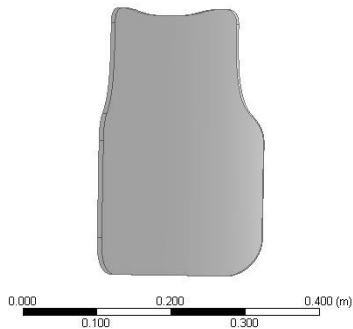
1. Hasil penelitian sebelumnya
 Penelitian sebelumnya mengenai aplikasi komposit HGM-*carbon fiber*-serat sisal dengan *matrix epoxy* khususnya pada pengaplikasian rompi anti peluru dilakukan oleh Araujo dkk.,(2014).
2. HGM.
 HGM terbuat dari gelembung / bubuk kaca berukuran mikro dengan diameter 18 – 25 mikron dengan bentuk bola berongga. HGM biasanya digunakan sebagai pengisi alternatif. Adapun informasi lain berupa *datasheet* yang dikeluarkan oleh produsen.
3. *Carbon Fiber*.
 Literatur berupa *datasheet carbon fiber TC35R-12K* diterbitkan oleh produsen yang berisikan *properties* dan informasi lain yang mendukung.
4. Serat Sisal.
 Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Kusumastuti tahun 2009. Dari penelitian ini diperoleh informasi pendukung mengenai serat sisal.
5. NIJ 0101.06.
 NIJ 0101.06 diterbitkan oleh *Department of Justice USA* pada tahun 2008. Adapun NIJ 0101.06 berisikan standar pengujian balistik pada rompi anti peluru.

3.3 Model Uji Rompi Anti Peluru

Geometri model rompi anti peluru mengacu pada standar NIJ 0101.06. Segala sifat dan karakteristik yang digunakan sebagai *input* disesuaikan dengan material pengujian eksperimental. Model rompi anti peluru berdimensi 250 mm x 300 mm dengan ketebalan dan jumlah lapisan *carbon fiber* tertentu yang menjadi variasi dari simulasi. Model rompi terdiri dari dua bagian yaitu plat pelindung dengan *input engineering* data material HGM-Serat sisal dan bagian belakang plat pelindung dengan *input engineering* data *carbon fiber*. Model peluru disesuaikan dengan *input engineering* data dari peluru kaliber .45 magnum.



Gambar 3.3 Model proyektil peluru .44 magnum (NIJ 0101.06 level IIIA)



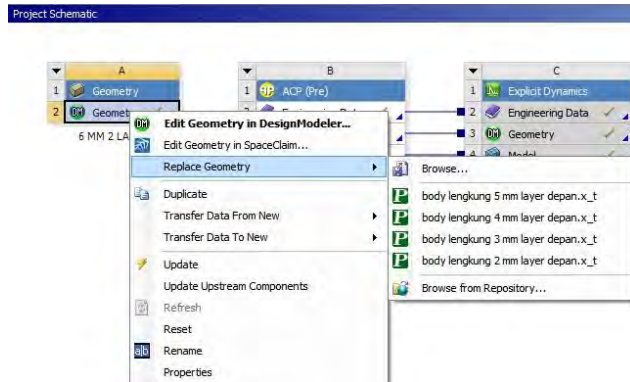
Gambar 3.4 Model rompi anti peluru

3.4 Simulasi

Simulasi pengujian balistik rompi anti peluru perangkat lunak *finite element* dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pembuatan Model

Geometri model rompi anti peluru dan proyektil disesuaikan dengan standar NIJ 0101.06. level IIIA sesuai dengan Gambar 3.3 dan Gambar 3.4. Pembuatan model menggunakan perangkat lunak CAD dengan model 3D. Setelah itu, model proyektil dan rompi anti peluru di-*export* ke perangkat lunak *finite element*. Setelah itu, Nilai *properties* dan jenis material dimasukkan ke dalam *engineering data*.



Gambar 3.5 *Import geometri model*

2. *Meshing*

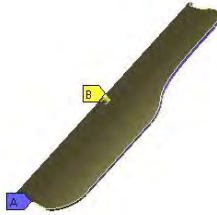
Meshing ialah penentuan pengamatan dengan membagi luasan yang ingin diamati ke dalam luasan kecil. Pemilihan *Meshing* bertujuan untuk mengatur tingkat akurasi hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Meshing*

4. *Boundary and Initial Condition.*

Pada langkah ini dilakukan kondisi awal pengujian seperti pemberian tumpuan pada model uji anti peluru dan *input* nilai kecepatan model proyektil seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Initial Condition* ([A] tumpuan model rompi anti peluru [B] *Displacement* model proyektil)

5. *Solving*

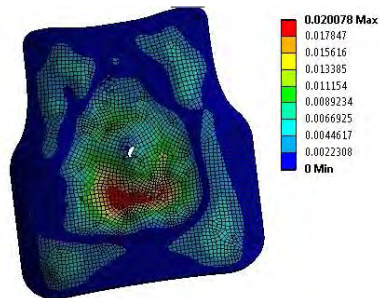
Proses *solving* dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Solving* simulasi

6. Analisa Hasil Simulasi

Proses ini bertujuan untuk memperoleh konfigurasi ketebalan HGM-serat sisal- *carbon fiber* dengan *matrix epoxy* yang memenuhi standar uji balistik NIJ 0101.06. Konfigurasi yang digunakan untuk pembuatan spesimen uji dipilih yang memenuhi kriteria Tabel 3.1 dan memiliki bobot yang ringan.



Gambar 3.9 Hasil simulasi

3.5 NIJ 0101.06.

NIJ 0101.06. merupakan standar pengujian balistik yang diterbitkan oleh oleh *Department of Justice* USA. Kriteria dan syarat kerja dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kriteria Standar Pengujian NIJ 0101.06.

| Syarat Pengujian | Tolak Ukur Kriteria |
|---|--|
| Jarak tembak 5 meter dari spesimen uji balistik | <i>Back Face Signature</i> tidak melebihi 44 mm |
| Peluru kaliber .45 ditembakkan dengan senjata api jenis Magnum dengan kecepatan ± 436 m/s | Energi kinetik yang diteruskan ke pengguna rompi anti peluru < 170 J |
| | Rompi anti peluru tidak ditembus oleh peluru |

3.6 Pembuatan Spesimen Uji

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

3.6.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan antara lain :

1. Peralatan keselamatan : sarung tangan, masker, kacamata.

2. Resin *epoxy* dan *hardener*, HGM, *carbon fiber* TC35R-12K, serat sisal.
3. Alat bantu : Cetakan, timbangan digital, gelas plastik, penggaris, sumpit bambu.
4. Peralatan dan bahan pendukung yang lain (box).

3.6.2 Langkah-langkah

Adapun metode yang dilakukan pada pembuatan spesimen uji antara lain:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Permukaan cetakan dipastikan bersih dan diberikan *wax* dengan digosok secara merata dan dibiarkan kering.
3. HGM dan serat sisal ditimbang dengan ketentuan pada penelitian (HGM 16% dan serat sisal 30%).
4. HGM, resin *epoxy* dan *hardener* dicampur dan diaduk secara merata.
5. Serat sisal disusun searah panjang cetakan dan larutan HGM dituang hingga serat sisal tertutup lalu diberikan penekanan. Pastikan permukaan larutan HGM rata.
6. Tunggu hingga campuran HGM-serat sisal keras, lalu spesimen dilepaskan dari cetakan.
7. *Carbon fiber* dilapisi pada bagian belakang spesimen, lalu dioleskan resin pada *carbon fiber*.



Gambar 3.10 Pelapisan *carbon fiber*

8. Tutup dengan plastik dan *seal tape* direkatkan pada bagian tepi spesimen.



Gambar 3.11 Pelapisan *seal tape*

9. Selang dan pompa penghisap resin dipasang. Pastikan tidak ada kebocoran sebelum spesimen di-*vacuum*.
10. Spesimen di-*vacuum* selama 12 jam.

3.7 Pengujian Balistik

Pengujian balistik dilakukan pada spesimen uji mengacu pada standar NIJ 0101.06. yang diterbitkan oleh *Department of Justice* USA. Pengujian dilakukan di lapangan tembak Batalyon A SATBRIMOB Polda Jatim yang berlokasi di Medaeng, Kab. Sidoarjo. Langkah-langkah pengujian balistik adalah sebagai berikut :

1. Tahap preparasi yaitu persiapan alat dan bahan meliputi unit senjata, peluru dan spesimen uji.



Gambar 3.12 Preparasi alat dan bahan

2. Persiapan spesimen. Spesimen diletakkan pada papan tembakan



Gambar 3.13 Peletakan spesimen uji pada papan target

3. Pengujian spesimen uji dengan standar NIJ 0101.06.



Gambar 3.14 Pengujian spesimen uji

4. Spesimen hasil uji balistik diamati penetrasi proyektil dan *Back Face Signature*



Gambar 3.15 Hasil pengujian balistik

Setelah dilakukan pengujian, maka akan diamati bentuk retakan atau deformasi yang terjadi akibat uji balistik (*fractography ballistic*).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA

4.1. Analisa Data Simulasi Rompi Anti Peluru

Ketebalan dan jumlah lapisan *carbon fiber* dari rompi anti peluru yang terbuat dari material HGM-serat sisal-*carbon fiber* dengan *matrix epoxy* sangat berpengaruh terhadap beberapa aspek layak tidaknya suatu rompi anti peluru yaitu :

1. Penyerapan energi kinetik. Menurut Hatcher's Notebook (Hatcher, 1962) menyatakan bahwa energi kinetik sebesar 170.2 Joule dapat menyebabkan kehilangan kesadaran sesaat (*blackout*) kepada pengguna.
2. *Back Face Signature* (BFS), deformasi pada bagian belakang dari rompi anti peluru.
3. Keberhasilan rompi anti peluru dalam melindungi pengguna (yang dibuktikan dengan tertembus tidaknya rompi anti peluru dengan proyektil).

4.1.1. Hasil Simulasi Variasi Ketebalan dan Jumlah Lapisan *Carbon Fiber* pada Rompi Anti Peluru HGM-Serat sisal *Matrix Epoxy*

Hasil simulasi yang ditabulasikan pada tabel 4.1 menunjukkan pengaruh ketebalan dari plat pelindung yang terbuat dari HGM-serat sisal dengan *matrix epoxy* terhadap aspek penyerapan energi kinetik, *Back Face Signature*, dan penetrasi peluru dengan variasi jumlah lapisan *carbon fiber*.

Tabel 4.1 Hasil simulasi variasi *carbon fiber* dan HGM-serat sisal

| Tebal (mm) | Jumlah lapisan carbon fiber | Energi kinetik (Joule) | BFS (mm) | Penetrasi (mm) |
|------------|-----------------------------|------------------------|----------|----------------|
| 6 | 2 | 151.9 | 30.41 | 18.83 |
| | 4 | 151.88 | 21.8 | 13.34 |
| | 6 | 151.43 | 10.79 | 11.5 |
| | 8 | 112.73 | 5.35 | 10.47 |
| | 10 | 98.14 | 4.8 | 8.46 |
| 7 | 2 | 270.17 | 26.79 | 23.17 |
| | 4 | 253.16 | 16.49 | 16.79 |
| | 6 | 242.6 | 12.79 | 15.56 |
| | 8 | 145.93 | 9.91 | 11.78 |
| | 10 | 96.71 | 3 | 9.91 |
| 8 | 2 | 299.12 | 18.1 | 24.6 |
| | 4 | 202.12 | 16.25 | 22.17 |
| | 6 | 138.58 | 8.76 | 15.05 |
| | 8 | 317.35 | 8.36 | 12.4 |
| | 10 | 123.07 | 3.03 | 12.4 |
| 9 | 2 | 304.7 | 26.34 | 21.33 |
| | 4 | 151.18 | 20.36 | 17.2 |
| | 6 | 145.09 | 9.48 | 13.97 |
| | 8 | 105.17 | 6.79 | 13.3 |
| | 10 | 164.25 | 18.35 | 19.7 |
| 10 | 2 | 292.94 | 20.46 | 19.3 |
| | 4 | 140.34 | 17.79 | 13.54 |
| | 6 | 113.72 | 9.41 | 19.1 |
| | 8 | 114.98 | 5.11 | 14.6 |
| | 10 | 113.3 | 3.6 | 12.8 |

4.1.2. Hasil Simulasi Penetrasi Proyektil

Data pada tabel 4.2 menunjukkan pengaruh ketebalan dari HGM-serat sisal *matrix epoxy* dengan variasi jumlah *carbon fiber* terhadap penetrasi proyektil.

Tabel 4.2 Hasil simulasi penetrasi proyektil

| Tebal (mm) | Jumlah lapisan carbon fiber | Tebal total rompi (mm) | Penetrasi (mm) |
|------------|-----------------------------|------------------------|----------------|
| 6 | 2 | 7.6 | 18.83 |
| | 4 | 9.2 | 13.34 |
| | 6 | 10.8 | 11.5 |
| | 8 | 12.4 | 10.47 |
| | 10 | 14 | 8.46 |
| 7 | 2 | 8.6 | 23.17 |
| | 4 | 10.2 | 16.79 |
| | 6 | 11.8 | 15.56 |
| | 8 | 13.4 | 11.78 |
| | 10 | 15 | 9.91 |
| 8 | 2 | 9.6 | 24.6 |
| | 4 | 11.2 | 22.17 |
| | 6 | 12.8 | 15.05 |
| | 8 | 14.4 | 12.4 |
| | 10 | 16 | 12.4 |
| 9 | 2 | 10.6 | 21.33 |
| | 4 | 12.2 | 17.2 |
| | 6 | 13.8 | 13.97 |
| | 8 | 15.4 | 13.3 |
| | 10 | 17 | 19.7 |
| 10 | 2 | 11.6 | 19.3 |
| | 4 | 13.2 | 13.54 |
| | 6 | 14.8 | 19.1 |
| | 8 | 16.4 | 14.6 |
| | 10 | 18 | 12.8 |
| | Lolos | | |

4.1.3. Hasil Simulasi *Back Face Signature* Rompi Anti Peluru

Data pada tabel 4.3 menunjukkan pengaruh ketebalan dari HGM-serat sisal *matrix epoxy* dengan variasi jumlah *carbon fiber* terhadap deformasi yang terjadi pada

bagian belakang dari rompi anti peluru (*Back Face Signature*).

Tabel 4.3 Hasil simulasi *Back Face Signature*

| Tebal (mm) | Jumlah lapisan <i>carbon fiber</i> | Tebal total rompi (mm) | BFS (mm) |
|------------|------------------------------------|------------------------|----------|
| 6 | 2 | 7.6 | 30.41 |
| | 4 | 9.2 | 21.8 |
| | 6 | 10.8 | 10.79 |
| | 8 | 12.4 | 5.35 |
| | 10 | 14 | 4.8 |
| 7 | 2 | 8.6 | 26.79 |
| | 4 | 10.2 | 16.49 |
| | 6 | 11.8 | 12.79 |
| | 8 | 13.4 | 9.91 |
| | 10 | 15 | 3 |
| 8 | 2 | 9.6 | 18.1 |
| | 4 | 11.2 | 16.25 |
| | 6 | 12.8 | 8.76 |
| | 8 | 14.4 | 8.36 |
| | 10 | 16 | 3.03 |
| 9 | 2 | 10.6 | 26.34 |
| | 4 | 12.2 | 20.36 |
| | 6 | 13.8 | 9.48 |
| | 8 | 15.4 | 6.79 |
| | 10 | 17 | 18.35 |
| 10 | 2 | 11.6 | 20.46 |
| | 4 | 13.2 | 17.79 |
| | 6 | 14.8 | 9.41 |
| | 8 | 16.4 | 5.11 |
| | 10 | 18 | 3.6 |

4.1.4. Hasil Simulasi Penyerapan Energi Kinetik Rompi Anti Peluru

Data pada tabel 4.4 menunjukkan pengaruh ketebalan dari HGM-serat sisal *matrix epoxy* dengan variasi jumlah *carbon fiber* terhadap penyerapan energi kinetik peluru.

Tabel 4.4 Hasil simulasi penyerapan energi kinetik

| Tebal (mm) | Jumlah lapisan carbon fiber | Energi kinetik peluru (mm) | Energi kinetik yang diteruskan (mm) |
|------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 6 | 2 | 1377.3 | 151.9 |
| | 4 | | 151.88 |
| | 6 | | 151.43 |
| | 8 | | 112.73 |
| | 10 | | 98.14 |
| 7 | 2 | | 270.17 |
| | 4 | | 253.16 |
| | 6 | | 242.6 |
| | 8 | | 145.93 |
| | 10 | | 96.71 |
| 8 | 2 | | 299.12 |
| | 4 | | 202.12 |
| | 6 | | 138.58 |
| | 8 | | 317.35 |
| | 10 | | 123.07 |
| 9 | 2 | | 304.7 |
| | 4 | | 151.18 |
| | 6 | | 145.09 |
| | 8 | | 105.17 |
| | 10 | | 164.25 |
| 10 | 2 | 292.94 | |
| | 4 | 140.34 | |
| | 6 | 113.72 | |
| | 8 | 114.98 | |
| | 10 | 113.3 | |

4.1.5. Hasil Simulasi Bobot Rompi Anti Peluru

Bobot atau berat dari rompi anti peluru menjadi salah satu acuan apakah rompi anti peluru pada penelitian ini layak dijadikan material alternatif dari rompi anti peluru konvensional yang beredar. Sebagai perbandingan, Satuan Brigade Mobil Polda Jawa Timur (SATBRIMOB) menggunakan rompi anti peluru dengan spesifikasi sebagai berikut:

| | |
|----------|---------------------|
| Material | : SiC + PE ceramic |
| Dimensi | : 250 x 300 x 22 mm |
| Berat | : ~ 1.77 Kg |



Gambar 4.1 Rompi anti peluru J-Force BAP-51A (www.j-forces.co.id)

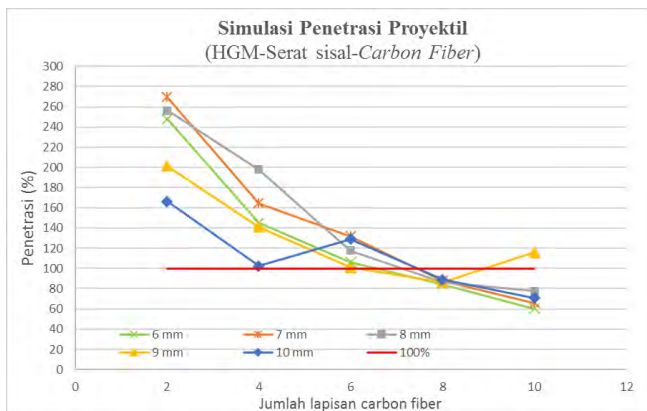
Hasil simulasi mengenai bobot atau berat dari rompi anti peluru dari konfigurasi yang memenuhi kriteria ditabulasikan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil simulasi berat rompi anti peluru

| Tebal (mm) | Jumlah lapisan carbon fiber | Tebal total (mm) | Berat (kg) |
|------------|-----------------------------|------------------|------------|
| 6 | 8 | 12.4 | 1.15 |
| | 10 | 14 | 1.23 |
| 7 | 8 | 13.4 | 1.28 |
| | 10 | 15 | 1.36 |
| 8 | 10 | 16 | 1.5 |
| 9 | 8 | 15.4 | 1.55 |
| 10 | 8 | 16.4 | 1.68 |
| | 10 | 18 | 1.76 |

4.2 Pembahasan Hasil Simulasi

4.2.1 Simulasi Penetrasi Proyektil



Gambar 4.2 Persentase penetrasi pada rompi anti peluru (garis bersymbol mewakili ketebalan HGM-Serat sisal dan garis merah mewakili limit persentase penetrasi)

Merujuk pada Gambar 4.2., terdapat hubungan antara nilai penetrasi seiring dengan penambahan ketebalan rompi anti peluru. Garis pada grafik ini bertujuan untuk melihat tren penurunan persentase persentasi. Grafik pada

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan rompi anti peluru, maka persentase penetrasi yang terjadi semakin kecil. Persentase penetrasi adalah perbandingan nilai penetrasi yang terjadi dengan ketebalan rompi anti peluru.

Mengacu pada standar NIJ 0101.06, terdapat 10 konfigurasi ketebalan dari rompi anti peluru yang memenuhi kriteria dari aspek penetrasi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Konfigurasi yang memiliki nilai penetrasi terkecil adalah konfigurasi dengan ketebalan 6 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* 10 lapis dengan nilai penetrasi sebesar 8.46 mm. Konfigurasi ini juga mempunyai persentase penetrasi terkecil dengan nilai 60.42 %.

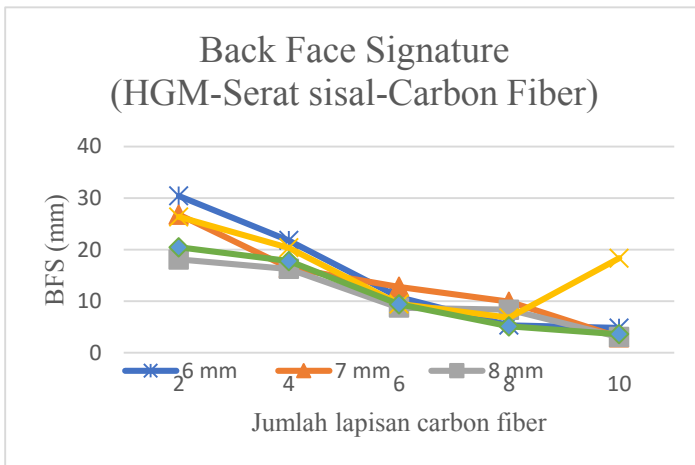
Penambahan lapisan *carbon fiber* sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai penetrasi. Hal ini dapat dilihat pada konfigurasi 6 mm dengan variasi jumlah lapisan *carbon fiber*. Penambahan kelipatan dua lapis jumlah lapisan *carbon fiber* pada ketebalan 6 mm HGM-Serat sisal menurunkan persentase dari nilai penetrasi berturut turut sebesar 247.7 %, 145 %, 106.48%, 84.43% dan 60.42%. Dengan kata lain, peran dari material *carbon fiber* dalam menahan laju proyektil agar tidak menembus tebal dari rompi anti peluru sangat signifikan. Hal ini diakibatkan kekuatan tarik dari material *carbon fiber* yang sangat tinggi.

4.2.2 Simulasi *Back Face Signature*

Merujuk pada Gambar 4.3., terdapat hubungan antara *Back Face Signature* seiring dengan penambahan ketebalan rompi anti peluru. Garis pada grafik ini bertujuan untuk melihat tren penurunan *Back Face Signature*. Grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan rompi anti peluru, maka nilai *Back Face Signature* yang terjadi semakin kecil. *Back Face Signature* adalah besar deformasi yang terjadi pada bagian belakang rompi anti peluru.

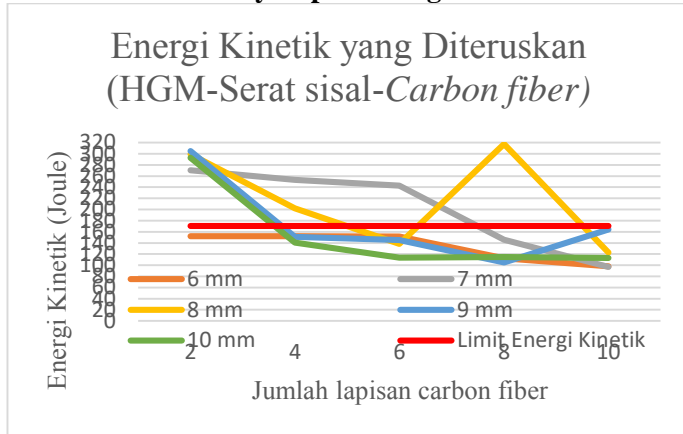
Mengacu pada standar NIJ 0101.06 dengan limitasi nilai *Back Face Signature* sebesar 44 mm, semua konfigurasi ketebalan dari rompi anti peluru memenuhi kriteria seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Konfigurasi yang memiliki nilai *Back Face Signature* terkecil adalah konfigurasi dengan ketebalan 7 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* 10 lapis dengan nilai *Back Face Signature* sebesar 3 mm.

Penambahan lapisan *carbon fiber* sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai *Back Face Signature*. Hal ini dapat dilihat pada konfigurasi 7 mm dengan variasi jumlah lapisan *carbon fiber*. Penambahan kelipatan dua lapis jumlah lapisan *carbon fiber* pada ketebalan 7 mm HGM-Serat sisal menurunkan nilai *Back Face Signature* berturut turut sebesar 26.79 mm, 16.49, 12.79, dan 3 mm. Dengan kata lain, peran dari material *carbon fiber* dalam mengurangi deformasi yang diakibatkan laju proyektil agar tidak menembus tebal dari rompi anti peluru sangat signifikan. Hal ini diakibatkan kekuatan tarik dari material *carbon fiber* yang sangat tinggi.



Gambar 4.3 *Back Face Signature* pada rompi anti peluru (garis bersimbol mewakili ketebalan HGM-Serat sisal)

4.2.3 Simulasi Penyerapan Energi Kinetik



Gambar 4.4 Energi yang diteruskan oleh rompi anti peluru (garis bersymbol mewakili ketebalan HGM-Serat sisal dan garis merah mewakili limit energi kinetik)

Merujuk pada Gambar 4.4., terdapat hubungan antara energi kinetik yang diteruskan ke pengguna seiring dengan penambahan ketebalan rompi anti peluru. Garis pada grafik ini bertujuan untuk melihat tren penurunan energi yang diteruskan oleh tubuh. Grafik pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan rompi anti peluru, maka nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna semakin kecil. Kesalahan dalam hasil simulasi terdapat pada konfigurasi 8 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 8 lapis. Hal ini dikarenakan kapasitas dari perangkat lunak simulasi yang mengurangi keakuratan hasil simulasi.

Menurut Hatcher's Notebook, (Hatcher, 1962) dengan limitasi nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 170.2 Joule, terdapat 17 konfigurasi ketebalan dari rompi anti peluru memenuhi kriteria seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.4. Konfigurasi yang memiliki nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna terkecil adalah konfigurasi dengan ketebalan 7 mm dengan

jumlah lapisan *carbon fiber* 10 lapis dengan nilai sebesar 96.71 mm.

Penambahan ketebalan HGM-Serat sisal sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna. Hal ini bisa dilihat melalui pengolahan data secara statistik (terlampir).

Hasil simulasi menunjukkan variasi ketebalan dari HGM-serat sisal dengan *matrix epoxy* dengan variasi jumlah layer *carbon fiber*. Dari data tersebut, didapatkan konfigurasi yang memenuhi aspek penyerapan energi kinetik, *Back Face Signature*, dan penetrasi peluru yaitu:

1. HGM-serat sisal ketebalan 6 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 8 lapis. Konfigurasi ini mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 112.73 Joule, *Back Face Signature* sebesar 5.35 mm dan penetrasi proyektil sebesar 10.47 mm.
2. HGM-serat sisal ketebalan 6 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 10 lapis. Konfigurasi ini mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 98.14 Joule, *Back Face Signature* sebesar 4.8 mm dan penetrasi proyektil sebesar 8.46 mm.
3. HGM-serat sisal ketebalan 7 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 8 lapis. Konfigurasi ini mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 145.93 Joule, *Back Face Signature* sebesar 9.91 mm dan penetrasi proyektil sebesar 11.78 mm.
4. HGM-serat sisal ketebalan 7 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 10 lapis. Konfigurasi ini mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 96.71 Joule, *Back Face Signature* sebesar 3 mm dan penetrasi proyektil sebesar 9.91 mm.
5. HGM-serat sisal ketebalan 8 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 10 lapis. Konfigurasi

- ini mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 123.07 Joule, *Back Face Signature* sebesar 3.03 mm dan penetrasi proyektil sebesar 12.04 mm.
6. HGM-serat sisal ketebalan 9 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 8 lapis. Konfigurasi ini mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 105.17 Joule, *Back Face Signature* sebesar 6.79 mm dan penetrasi proyektil sebesar 13.3 mm.
 7. HGM-serat sisal ketebalan 10 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 8 lapis. Konfigurasi ini mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 114.98 Joule, *Back Face Signature* sebesar 5.11 mm dan penetrasi proyektil sebesar 14.6 mm.
 8. HGM-serat sisal ketebalan 10 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 10 lapis. Konfigurasi ini mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 113.3 Joule, *Back Face Signature* sebesar 3.6 mm dan penetrasi proyektil sebesar 12.8 mm.

Konfigurasi variasi ketebalan 6 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 10 lapis merupakan konfigurasi terbaik dari segi penyerapan energi kinetik yang diteruskan ke pengguna, *Back Face Signature*, dan penetrasi proyektil. Selanjutnya, dilakukan pengujian balistik terhadap spesimen uji dengan konfigurasi ini sebagai hasil justifikasi simulasi.

4.3 Hasil Pengujian Balistik

Pengujian balistik dilaksanakan mengikuti standar NIJ 0101.06 LEVEL IIIA dan dilakukan di lapangan Tembak Batalyon A SATBRIMOB Polda Jatim. Pengujian menggunakan senjata api unit Glock 17 USA dengan peluru kaliber 9 mm dan Revolver R1-VI dengan peluru kaliber .38. Pengujian balistik menggunakan

jarak tembak sejauh 5 meter dan hasil pengujian akan didapatkan data berupa penetrasi peluru dan BFS.



(a) (b)
Gambar 4.5 (a) unit Glock 17 USA (b) peluru kaliber 9 mm



(a) (b)
Gambar 4.6 (a) unit Revolver R1-V1 (b) peluru kaliber .38

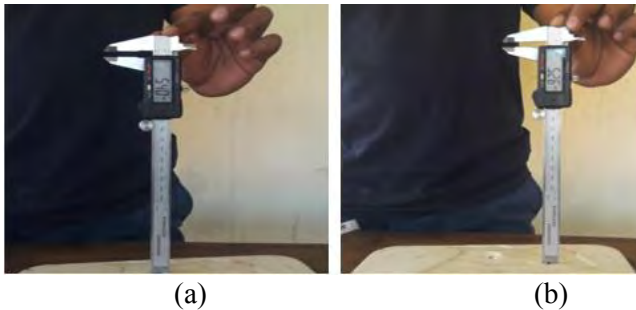
4.3.1 Penetrasi Hasil Eksperimen

Kriteria kegagalan rompi anti peluru menurut standar NIJ 0101.06 dari aspek penetrasi ialah penetrasi proyektil tidak boleh melebihi dari tebal rompi atau dapat dikatakan tidak boleh tembus. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali tembakan pada masing-masing spesimen. Hasil pengujian kemudian dapat diamati kedalaman penetrasi oleh proyektil.

Tabel 4.6 Hasil penetrasi uji balistik

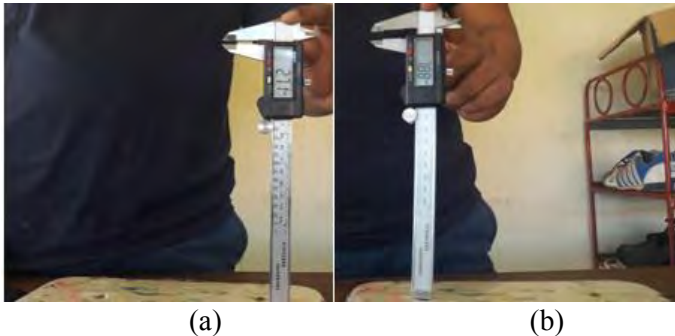
| No | Spesimen | Tembakan | Penetrasi (mm) |
|----|----------|----------|----------------|
| 1 | I | 1 | 5.40 |
| 2 | | 2 | 5.26 |
| 3 | II | 1 | 7.88 |
| 4 | | 2 | 2.71 |

Tembakan pertama pada spesimen I menggunakan peluru kaliber 9 mm didapatkan penetrasi 5.40 mm. Spesimen II menggunakan peluru 9 mm didapatkan penetrasi 5.26 mm. Hasil pada spesimen I dari segi penetrasi disimpulkan berhasil.



Gambar 4.7 Hasil pengukuran kedalaman penetrasi proyektil spesimen I (a) tembakan pertama (b) tembakan kedua

Tembakan pertama pada spesimen II menggunakan peluru kaliber .38 didapatkan penetrasi 7.88 mm. Spesimen II menggunakan peluru .38 didapatkan penetrasi 2.71 mm. Hasil pada spesimen II pada tembakan pertama disimpulkan mengalami kegagalan dikarenakan proyektil menembus rompi anti peluru sedangkan pada tembakan kedua disimpulkan berhasil.



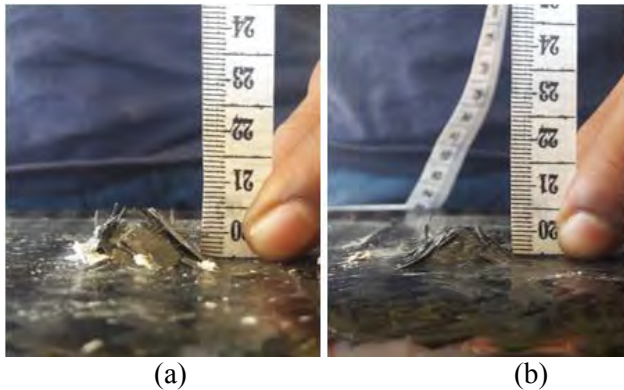
Gambar 4.8 Hasil pengukuran kedalaman penetrasi proyektil spesimen II(a) tembakan pertama (b) tembakan kedua

Tabel 4.7 Perbandingan hasil penetrasi simulasi dan eksperimen (terlampir)

Tabel 4.7 menunjukkan perbedaan hasil simulasi dan eksperimen. Perbedaan ini diakibatkan oleh proses pembuatan rompi anti peluru baik dari sisi metodologi yaitu pencampuran HGM dan resin *epoxy*, proses penekanan serat sisal, proses pelapisan *carbon fiber* dan proses *vacuum* yang menyebabkan adanya perbedaan hasil simulasi dan eksperimen. Kondisi unit senjata, temperatur pengujian balistik dan sudut arah tembak juga dapat berpengaruh terhadap perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimen.

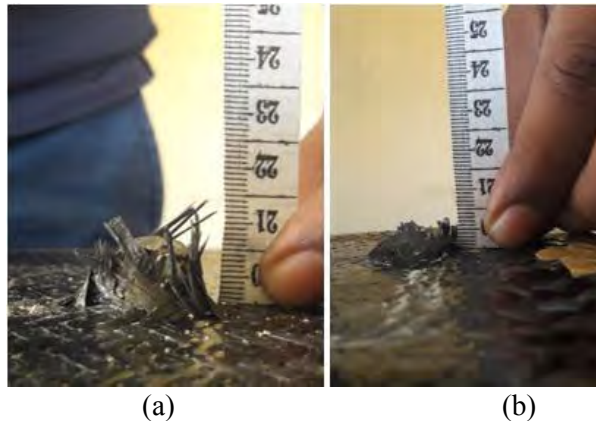
4.3.2 Back Face Signature Hasil Eksperimen

Back Face Signature yang terjadi saat pengujian balistik tidak boleh melebihi 44 mm sesuai standar NIJ 0101.06. Berikut *Back Face Signature* yang terjadi pada saat pengujian balistik dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 *Back Face Signature* spesimen I (a) tembakan pertama (b) tembakan kedua

Hasil uji balistik menunjukkan pada tembakan pertama *Back Face Signature* yang terjadi sebesar ± 10 mm lalu pada tembakan kedua sebesar ± 7 mm. Kedua hasil *Back Face Signature* tersebut memenuhi standar NIJ 0101.06.



Gambar 4.10 *Back Face Signature* spesimen I (a) tembakan pertama (b) tembakan kedua

Hasil uji balistik menunjukkan pada tembakan pertama *Back Face Signature* yang terjadi sebesar ± 20 mm lalu pada tembakan kedua sebesar ± 8 mm. Kedua hasil *Back Face Signature* tersebut memenuhi standar NIJ 0101.06.

Tabel 4.8 Perbandingan hasil *Back Face Signature* simulasi dan eksperimen (terlampir)

Tabel 4.8 menunjukkan perbedaan *Back Face Signature* hasil simulasi dan eksperimen. Perbedaan ini diakibatkan oleh proses pembuatan rompi anti peluru baik dari sisi metodologi yaitu pencampuran HGM dan resin *epoxy*, proses penekanan serat sisal, proses pelapisan *carbon fiber* dan proses *vacuum* yang menyebabkan adanya perbedaan hasil simulasi dan eksperimen. Kondisi unit senjata, temperatur pengujian balistik dan sudut arah tembak juga dapat berpengaruh terhadap perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimen.

Tabel 4.9 Aspek fraktografi (terlampir)

Tabel 4.9 menunjukkan bentuk retakan atau kegagalan yang terjadi pada spesimen uji yang telah melalui pengujian balistik sesuai dengan standar NIJ 0101.06. Kegagalan yang ditandai dengan retak terbuka terdapat pada spesimen II pada tembakan kedua.

4.3.3 Analisa Kegagalan

Tabel 4.10 Hasil simulasi tegangan dan regangan rompi anti peluru

| Tebal HGM-serat sisal (mm) | Tebal <i>Carbon Fiber</i> (mm) | Tegangan HGM-serat sisal (MPa) | Tegangan <i>Carbon Fiber</i> | Regangan <i>Carbon Fiber</i> |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 6 | 10 | 19.36 | 1322 | 0.008 |

Ditinjau dari nilai *tensile strength* HGM-sisal sebesar 68.55 MPa, HGM yang memiliki ketebalan sebesar 6 mm tidak mengalami kegagalan. Hal ini disebabkan tegangan yang terjadi pada HGM-serat sisal berada di bawah nilai *tensile strength* HGM-serat sisal. Hal yang sama terjadi pada tegangan *carbon fiber* hasil simulasi. Nilai tegangan *carbon fiber* sebesar 1322 MPa masih berada di bawah *tensile strength carbon fiber*.

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

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Konfigurasi terbaik dari hasil simulasi yaitu HGM-serat sisal ketebalan 6 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 10 lapis. Konfigurasi ini memiliki energi kinetik sisa terkecil yang diteruskan kepada pengguna.
2. Rompi anti peluru hasil simulasi yang terbuat dari HGM-serat sisal-*carbon fiber* mempunyai bobot 1.23 Kg.
3. Konfigurasi HGM-serat sisal ketebalan 6 mm dengan jumlah lapisan *carbon fiber* sebanyak 10 lapis mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna sebesar 98.14 Joule dan memenuhi batas energi yang dapat diterima oleh tubuh manusia.
4. Hasil pengujian balistik spesimen uji I berupa penetrasi proyektil berturut turut sebesar 5,40 mm, 5.26 mm, *Back Face Signature* berturut turut sebesar ± 10 mm, ± 7 mm dengan menggunakan unit Glock 17 USA peluru kaliber 9 mm FMJ. Hasil pengujian balistik spesimen uji berupa penetrasi protektif berturut turut sebesar 7.88 mm dan 2.71 mm, *Back Face Signature* berturut turut sebesar, ± 20 mm dan ± 8 mm menggunakan unit Revolver R1V1 peluru kaliber .38.

5.2 Saran

Saran dalam penelitian ini adalah :

1. Pencampuran HGM dan resin *epoxy* diusahakan dalam media *vacuum* untuk meminimalisir udara terperangkap di dalam matriks.

2. Serat sisal disusun secara *sandwich* untuk mencegah perpindahan posisi ketika serat dicampur dengan matriks ketika berada di dalam cetakan.
3. Manufaktur cetakan yang lebih disempurnakan.
4. Proses pemberian tekanan yang *uniform* untuk mencegah *excess* resin akibat penekanan.

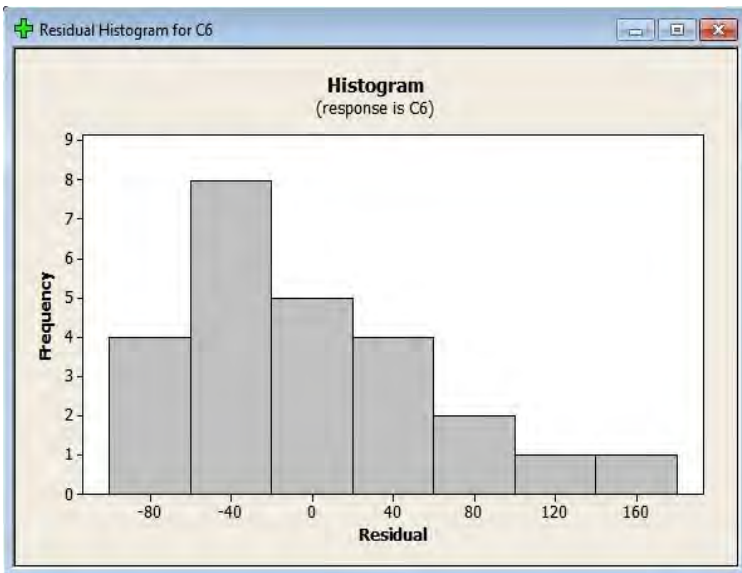
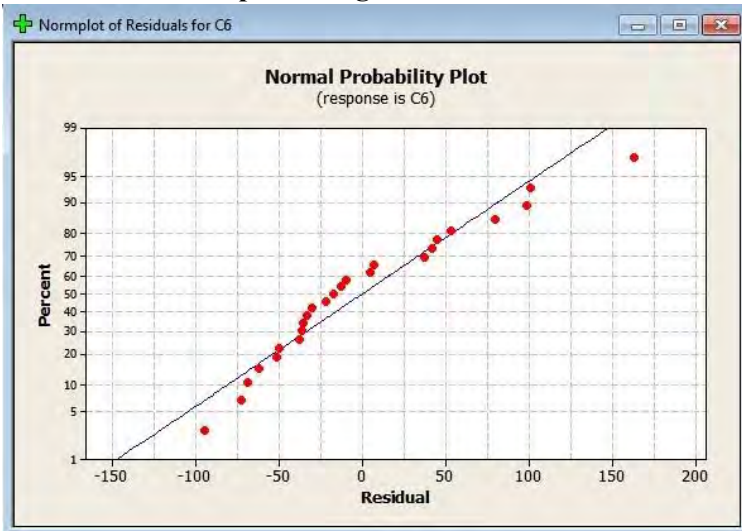
DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Hindun. (2015). *“Pengaruh Komposit Epoxy HGM pada Bumper Depan Kendaraan untuk Mereduksi Energi Impact”*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.
- De Araujo, B. M., dkk. (2014). *“Ballistic Performance of Sisal Fiber Reinforced Epoxy Composite in Multilayered Armor”*. 21th CBECIMAT. Cuiaba.
- De Morais W.A., dkk. (2003). *“Effect of The Fiber Reinforcement on The Low Energy Impact Behavior of Fabric Reinforced Resin Matrix Composite Materials”*. Journal of the Brazil Society of Mechanical Science and Engineering, Vol. 25, No. 4.
- Kumaresan, M., dkk. (2015). *“Effect of Fiber Orientation on Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Epoxy Composites”*. Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 18, No. 3.
- Nafi, Niman. (2014). *“Pengaruh Kandungan Partikel dan Serat Serta Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Serat Karbon – Serbuk Genteng Sokka – Phenolic”*. Fakultas Teknik UNS. Surakarta.
- Pickering, K.L., dkk. (2015). *“A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance”*. Diambil dari : www.elsevier.com/locate/compositesa (14 Mei 2017)

- Pulungan, Muhammad Anhar. (2017). “*Analisis Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit Hgm-Epoxy dan Serat Karbon dalam Menyerap Energi Akibat Impact Peluru*”. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.
- Ritonga, Widiyansah, (2014). “*Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur curing dan Post-Curing Terhadap karakteristik Tekan Komposit Epoxy – Hollow Glass Microspheres IMK30K*”. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.
- Zahrah, Lutfianisa. (2015). “*Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM dalam Menyerap Energi Akibat Impact Proyektil*”. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

LAMPIRAN

Data Statistik Serapan Energi Kinetik



Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|----------------|----|--------|-------|------|-------|
| Regression | 1 | 32321 | 32321 | 7.76 | 0.010 |
| Residual Error | 23 | 95752 | 4163 | | |
| Total | 24 | 128073 | | | |

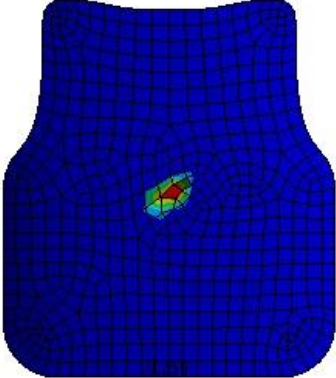


| Obs | C5 | C6 | Fit | SE Fit | Residual | St |
|-------|------|-------|-------|--------|----------|-------|
| Resid | | | | | | |
| 1 | 7.6 | 151.9 | 246.1 | 28.3 | -94.2 | - |
| 1.62 | | | | | | |
| 2 | 9.2 | 151.9 | 224.5 | 21.7 | -72.7 | - |
| 1.20 | | | | | | |
| 3 | 10.8 | 151.4 | 203.0 | 16.1 | -51.5 | - |
| 0.83 | | | | | | |
| 4 | 12.4 | 112.7 | 181.4 | 13.0 | -68.7 | - |
| 1.09 | | | | | | |
| 5 | 14.0 | 98.1 | 159.9 | 14.1 | -61.7 | - |
| 0.98 | | | | | | |
| 6 | 8.6 | 270.2 | 232.6 | 24.1 | 37.6 | 0.63 |
| 7 | 10.2 | 253.2 | 211.1 | 18.0 | 42.1 | 0.68 |
| 8 | 11.8 | 242.6 | 189.5 | 13.8 | 53.1 | 0.84 |
| 9 | 13.4 | 145.9 | 167.9 | 13.2 | -22.0 | - |
| 0.35 | | | | | | |
| 10 | 15.0 | 96.7 | 146.4 | 16.7 | -49.7 | - |
| 0.80 | | | | | | |
| 11 | 9.6 | 299.1 | 219.1 | 20.1 | 80.0 | 1.30 |
| 12 | 11.2 | 202.1 | 197.6 | 15.0 | 4.5 | 0.07 |
| 13 | 12.8 | 138.6 | 176.0 | 12.9 | -37.4 | - |
| 0.59 | | | | | | |
| 14 | 14.4 | 317.4 | 154.5 | 15.0 | 162.9 | 2.60R |
| 15 | 16.0 | 123.1 | 132.9 | 20.1 | -9.8 | - |
| 0.16 | | | | | | |
| 16 | 10.6 | 304.7 | 205.7 | 16.7 | 99.0 | 1.59 |
| 17 | 12.2 | 151.2 | 184.1 | 13.2 | -32.9 | - |
| 0.52 | | | | | | |
| 18 | 13.8 | 145.1 | 162.5 | 13.8 | -17.5 | - |
| 0.28 | | | | | | |
| 19 | 15.4 | 105.2 | 141.0 | 18.0 | -35.8 | - |
| 0.58 | | | | | | |
| 20 | 17.0 | 164.3 | 119.4 | 24.1 | 44.8 | 0.75 |

| | | | | | | |
|------|------|-------|-------|------|-------|------|
| 21 | 11.6 | 292.9 | 192.2 | 14.1 | 100.7 | 1.60 |
| 22 | 13.2 | 140.3 | 170.6 | 13.0 | -30.3 | - |
| 0.48 | | | | | | |
| 23 | 14.8 | 113.7 | 149.1 | 16.1 | -35.4 | - |
| 0.57 | | | | | | |
| 24 | 16.4 | 115.0 | 127.5 | 21.7 | -12.5 | - |
| 0.21 | | | | | | |
| 25 | 18.0 | 113.3 | 106.0 | 28.3 | 7.3 | 0.13 |

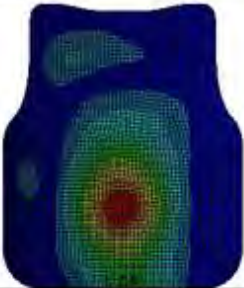


R denotes an observation with a large standardized residual.

Durbin-Watson statistic = 1.76983









Tabel 4.7 Perbandingan hasil penetrasi simulasi dan eksperimen

| Metode Penelitian | Tebal Rompi (mm) | Gambar | Penetrasi (mm) |
|-------------------|------------------|---|----------------|
| Simulasi | 14 |  | 8.46 |
| Eksperimen | 13.23 |  | 5.40 5.26 |
| | ± 11.5 |  | 7.88 2.71 |

Tabel 4.8 Perbandingan *Back Face Signature* hasil simulasi dan eksperimen

| Metode Penelitian | Tebal Rompi (mm) | Gambar | BFS (mm) |
|-------------------|------------------|--|---------------------|
| Simulasi | 14 |  | 4.8 |
| Eksperimen | 13.23 |  | ± 10 ± 7 |
| | ± 11.5 |  | ± 20 ± 8 |

Tabel 4.9 Aspek fraktografi

| Pengujian | Jarak tembak | Aspek Fraktografi | |
|---|--------------|--|--|
| | | Tampak depan | Tampak Belakang |
| Spesimen I (unit Glock Peluru 9 mm FMJ) | 5 m |  Tembakan 1 |  Tembakan 1 |
| | |  Tembakan 2 |  Tembakan 2 |
| Spesimen II (unit Revolver R1V1 Peluru kaliber .38) | 5 m |  Tembakan 1 |  Tembakan 2 |
| | |  Tembakan 2 |  Tembakan 2 |

BIODATA PENULIS



Ridho Azhari dilahirkan di Dumai, 11 Januari 1995, anak pertama dari dua bersaudara pasangan sah suami istri Azhari dan Ratna Sari Dewi. Masa kecil ditempuh dengan sangat bahagia. Disekolahkan ayah dan bunda di SDN 005 Karanganyer, lalu pada tahun ke tiga, berpindah sekolah ke SDN Binaan Khusus Kota Dumai. Penulis melanjutkan wajib belajar 9 tahunnya di SMPN Binaan Khusus Kota Dumai pada tahun 2006 hingga 2009. 3 tahun berikutnya, Penulis menghabiskan waktu menempuh pendidikan SMA di SMAN Plus Propinsi Riau. Selanjutnya, Penulis menempuh jenjang pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Departemen Teknik Mesin.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi Staff Departemen Umum di Himpunan Teknik Mesin ITS pada periode 2013-2014. Selanjutnya menjadi Kabiro Event Internal Departemen Umum di Himpunan Teknik Mesin ITS pada periode 2014-2015. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan *Indonesian Energy Marathon Challenge 2013* dan 2014 sebagai anggota perlengkapan. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kedaerahan yaitu menjadi Kabid Olahraga dan Seni Ikatan Pelajar Mahasiswa Riau dan Ketua Ikatan Alumni Plus Surabaya periode 2014-2016.

Penulis mengagumi pepatah lama Jerman, **Faulheit ist die Angewohnheit, sich auszuruhen, bevor man müde ist** yang artinya “Kemalasan adalah kebiasaan, beristirahat sebelum merasa lelah” . Pepatah ini menjadikan penulis selalu introspeksi, mawas diri dan berusaha memberikan yang terbaik pada setiap hal. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui ridhoazharits.ra@gmail.com