



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISIS KOMPOSIT EPOXY-HGM-SERAT SISAL
WOVEN SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF ROMPI
ANTI PELURU**

**ANDERSON WELLINTON J.
NRP 02111340000194**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM 141585

ANALYSIS OF EPOXY-HGM-SISAL FIBER WOVEN COMPOSITE AS ALTERNATIVE MATERIAL OF BULLETPROOF VEST

ANDERSON WELLINTON J.
NRP 02111340000194

Supervisor
Dr. Eng Sutikno, ST., MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

ANALISIS KOMPOSIT *EPOXY-HGM-SERAT SISAL WOVEN* SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF ROMPI ANTI PELURU

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-I Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANDERSON WELLINTON J. GULTOM

NRP. 02111340000194

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.** (Pembimbing)
NIP. 197407032000031001
2. **Fahmi Mubarak, ST., MSc., PhD.** (Penguji I)
NIP. 1978011520031001001
3. **Suwarno, ST., MSc., PhD.** (Penguji II)
NIP. 198005202005010003
4. **Indra Sidharta, ST., MSc.** (Penguji III)
NIP. 198006192006041004



**SURABAYA
JANUARI, 2019**

ANALISIS KOMPOSIT EPOXY-HGM-SERAT SISAL WOVEN SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF ROMPI ANTI PELURU

Nama Mahasiswa : Anderson Wellinton
NRP : 02111340000194
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRAK

Rompi anti peluru mempunyai fungsi untuk menahan penetrasi dan mereduksi energi impact yang ditimbulkan akibat penetrasi proyektil. Energi proyektil direduksi 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 cedera fisik seperti memar, bengkak atau luka dalam yang cukup serius. Di samping itu, rompi anti peluru yang sudah ada masih terasa berat sehingga mengurangi mobilitas pengguna sehingga perlu dilakukan penelitian tentang material alternatif rompi anti peluru yang mempunyai kinerja relatif sama dalam menahan energi impact proyektil.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, mulai dari studi literatur, simulasi, pembuatan spesimen uji, pengujian balistik, dan analisis hasil simulasi dibandingkan dengan hasil uji balistik. Geometri spesimen uji balistik dan peluru menggunakan tipe .30 caliber M2 AP yang mengacu pada standar National Institute of Justice 0101.06 level IV. Pengujian balistik yang meliputi kriteria penetrasi, Back Face Signature, dan energi sisa yang boleh diterima pengguna mengikuti kriteria yang ditetapkan oleh NIJ 0101.06 baik dalam metode simulasi maupun eksperimental. Simulasi bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi ketebalan epoxy-hollow glass microsphere-serat sisal woven yang mampu

menahan uji balistik sesuai standar NIJ 0101.06 level IV. Spesimen uji dibuat berdasarkan konfigurasi terbaik hasil simulasi. Selanjutnya, dilakukan pengujian spesimen uji balistik mengacu pada standar NIJ 0101.06. Hasil pengujian spesimen uji dianalisis dan dibandingkan dengan hasil simulasi.

Pada penelitian ini didapatkan hasil simulasi model spesimen rompi anti peluru yang mampu menahan peluru level IV NIJ 0101.06 dengan konfigurasi ketebalan 30 mm. Konfigurasi ini menjadi acuan untuk pembuatan spesimen uji rompi anti peluru lalu diuji sesuai dengan standar NIJ 0101.06 dengan peluru level IV. Hasil pengujian spesimen uji rompi anti peluru menunjukkan bahwa peluru level IV dapat menembus spesimen uji rompi anti peluru dengan material komposit epoxy-HGM-serat sisal woven. Hal tersebut disebabkan oleh adanya void sebesar 26,9% yang ada pada spesimen rompi anti peluru dan juga perlakuan pengerasan khusus ujung proyektil peluru yang tidak bisa ditahan hanya dengan komposit berpenguat serat alam.

Kata kunci: Rompi anti peluru, Epoxy-HGM-Serat Sisal Woven, NIJ 0101.06 level IV.

ANALYSIS OF EPOXY-HGM-SISAL FIBER WOVEN COMPOSITE AS ALTERNATIVE MATERIAL OF BULLETPROOF VEST

Student Name : Anderson Wellington
NRP : 0211134000194
Departement : Mechanical Engineering
Advisor : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRACT

Bulletproof vest has a function to hold penetration and reduce impact energy caused by projectile penetration. Projectile energy is reduced and even stopped by spreading kinetic energy along the width of the protective plate, so that the energy due to the ballistic load of the bullet which is passed on to the user is getting smaller. In fact, the energy received by bulletproof vest users can still cause physical injuries such as bruising, swelling or wound that are quite serious. In addition, the existing bulletproof vest still feels heavy, thereby reducing the mobility of users. From those problems, it is necessary to do research on alternative material of bulletproof vests that have the same relative performance in resisting the impact energy of projectiles.

This study consists of several stages, starting from literature studies, simulations, making test specimens, ballistic testing, and analysis of simulation results compared to the results of ballistic tests. The geometry of ballistic test specimens and bullets using type.30 caliber M2 AP which refers to the National Institute of Justice 0101.06 level IV standard. Ballistic testing which includes penetration criteria, Back Face Signature, and residual energy that may be accepted by users follow the criteria set by NIJ 0101.06 in both simulation and experimental methods. The simulation aims to obtain epoxy-hollow glass microsphere-sisal woven fiber configuration that is able to withstand ballistic tests according to NIJ 0101.06 level IV standards. Test specimens were made based

on the best configuration of the simulation results. Furthermore, ballistic test specimens were carried out according to the standard NIJ 0101.06. The test results of the test specimens were analyzed and compared to the simulation results.

In this study, the simulation model of bulletproof vest specimens was able to hold level IV bullets NIJ 0101.06 with a configuration of 30 mm thickness. This configuration is a reference for making bulletproof specimens and being tested according to the standard NIJ 0101.06 with level IV bullets. The test results of bulletproof vest specimens indicate that level IV bullets can penetrate bulletproof vest specimens with epoxy-HGM-sisal woven fiber composite material. This is caused by the presence of void of 26.9% in the bulletproof vest specimen and also the special hardening treatment of the tip of the bullet projectile which cannot be restrained only with composite reinforced natural fibers.

Keywords: Bulletproof vest, Epoxy-HGM-Sisal Woven Fiber, NIJ 0101.06 level IV.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan berkat melimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Komposit Epoxy-HGM-Serat Sisal Woven Sebagai Bahan Alternatif Rompi Anti Peluru**”. Banyak pihak yang telah membantu sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak **Samser Aratua Gultom**, Mamak **Riama br Pangaribuan**, Bang **Alainnicho Afriliandes**, Bang **Octo Octavianus**, Mayer **Naibod Donald** selaku keluarga serta seluruh keluarga besar atas doa, dukungan, dan bantuan dalam segala bidang sebelum, saat, dan setelah penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. **Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.** selaku dosen pembimbing yang selalu bersedia memberikan masukan, kritik, motivasi, dan bimbingan selama masa kuliah, masa “Pembenaran Attitude” dari Jurusan dan juga dalam masa penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. **Indra Sidharta, ST., M.Sc., Fahmi Mubarok, ST., M.Sc., PhD., Suwarno, ST., M.Sc., PhD., dan Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.** selaku dosen penguji seminar proposal dan Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan dan koreksi sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan lebih baik.
4. Bapak **Ir. Witantyo, M.Eng., Sc** selaku dosen wali yang telah membantu penulis dalam penyusunan program kuliah setiap semesternya dan telah meluangkan waktu untuk mendengarkan keluh kesah penulis selama masa perkuliahan.
5. Seluruh **Dosen** beserta **Tenaga Pendidik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS** yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan serta sarana dan prasarana kepada penulis selama menjalani masa perkuliahan.

6. **Amanda Putri Dwima, ST.** yang telah memberikan doa, dukungan finansial dan logistik (terbalik sepertinya) selama perkuliahan sampai menyelesaikan Tugas Akhir ini,
7. Keluarga **OC Acara POROS 2014, Afif, Firman, Ubed, Meidina, dan Ajoe** yang selalu menyemangati, mengajarkan pengorbanan, kerja keras, kerja ikhlas, dan memberikan pengalaman berharga.
8. Keluarga **HMM 2015/2016** yang telah menjerumuskan penulis ke dalam organisasi yang sangat “mendidik”.
9. **Rakyat Republik Metalurgi Raya Teknik Mesin ITS, Firman, Afif, Rizqu, Ananta, Fahmi, Jokul, Fikri, Izda, Zuli, Fitri, Engra, Tya, Mona** dan semuanya yang tidak dapat tertuliskan yang selalu mendukung, menemani, menjadi teman diskusi, dan penyedia makanan jahat di Lab.
10. Tim **SC POROS 2014** dan **SC POROS 2017** atas seluruh pelajaran dan pengalaman yang diberikan.
11. Keluarga besar **M56, Mas/Mbak M51, M52, M53, M54, M55**, dan adik-adik **M57, M58, M59**, dan **M60** yang telah membantu dan menemani penulis selama berkuliah dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Seluruh rekan-rekan **Mcangkir** dan **warkop IJO**.
13. **Arche Dorea Samino**, semoga kita kelak dapat bertemu lagi di rumah saya.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir.

Semoga segala kebaikan yang diberikan mendapat balasan dari Tuhan Yesus. Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna sehingga penulis terbuka terhadap saran dan kritik membangun. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	4
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
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. <i>Hollow Glass Microsphere</i>	12
2.2.5. <i>Epoxy</i>	13
2.2.6. Serat Sisal	14
BAB III METODOLOGI	17
3.1. Diagram Alir Percobaan	17
3.2. Studi Literatur	19
3.3. NIJ 0101.06	19

3.4.	Model Spesimen Uji	20
3.5.	Simulasi	21
3.6.	Pembuatan Spesimen Uji	23
3.6.1.	Alat dan Bahan	23
3.6.2.	Langkah–Langkah	23
3.7.	Pengujian NIJ 0101.06	25
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN DATA		27
4.1.	Analisis Data Simulasi Spesimen Rompi Anti Peluru	27
4.1.1.	Hasil Simulasi Variasi Ketebalan <i>Epoxy</i>-HGM-Serat Sisal <i>Woven</i> pada Spesimen Rompi Anti Peluru ..	28
4.1.2.	Hasil Simulasi Penetrasi Proyektil	29
4.1.3.	Hasil Simulasi <i>Back Face Signature</i> Spesimen Rompi Anti Peluru	29
4.1.4.	Hasil Simulasi Energi Kinetik Peluru	30
4.1.5.	Hasil Simulasi Energi Kinetik Spesimen Rompi Anti Peluru	30
4.1.6.	Hasil Simulasi Energi Internal Spesimen Rompi Anti Peluru	31
4.1.7.	Hasil Simulasi Bobot Spesimen Rompi Anti Peluru	31
4.2.	Pembahasan Hasil Simulasi	32
4.2.1.	Hasil Simulasi Penetrasi Proyektil	32
4.2.2.	Hasil Simulasi <i>Back Face Signature</i>	33
4.2.3.	Hasil Simulasi Energi Kinetik Peluru	35

4.2.4.	Hasil Simulasi Energi Kinetik Sisa pada Spesimen Rompi Anti Peluru	37
4.2.5.	Hasil Simulasi Energi <i>Internal</i> Spesimen Rompi Anti Peluru.....	38
4.2.6.	Hasil Simulasi Bobot Spesimen Rompi Anti Peluru <i>Epoxy-HGM-Serat Sisal Woven</i>	40
4.3.	Hasil Pengujian Balistik	41
4.4.	Analisis Kegagalan	42
4.4.1	Analisis Densitas	44
4.4.2	Analisis Pola Patahan	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		49
BIODATA PENULIS		53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rompi Anti Peluru	7
Gambar 2. 2 Peluru Model .30 <i>Caliber</i> M2 AP	7
Gambar 2. 3 Klasifikasi Komposit	9
Gambar 2. 4 Komposit Berpenguat Partikel	10
Gambar 2. 5 Komposit Berpenguat Serat	10
Gambar 2. 6 Komposit Berpenguat Struktur	10
Gambar 2. 7 <i>Hybrid Composite</i> (a) <i>Sandwich</i> (b) <i>Interply</i> (c) <i>Intraply</i> (d) <i>Intimately Mixed</i>	11
Gambar 2. 8 <i>Hollow Glass Microsphere</i>	12
Gambar 2. 9 <i>Agave Sisalana</i>	16
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	17
Gambar 3. 2 Diagram Alir Simulasi	18
Gambar 3. 3 Model Spesimen Uji Balistik	20
Gambar 3. 4 Model Proyektil Peluru .30 <i>Caliber</i> M2 AP	20
Gambar 3. 5 <i>Meshing</i>	21
Gambar 3. 6 <i>Initial Condition</i> : Tumpuan Model Spesimen Uji Balistik	22
Gambar 3. 7 Konfigurasi Satu Lapis Komposit <i>Epoxy</i> -HGM-Serat <i>Sisal Woven</i>	24
Gambar 3. 8 Serat <i>Sisal Woven</i>	25
Gambar 3. 9 Peluru Balistik Level IV 7,62x39 mm, 7,62x45 mm, dan 7,62x51 mm.....	25
Gambar 3. 10 Senjata <i>Steyr SSG 08</i> buatan Austria	26
Gambar 4. 1 Dimensi Simulasi Spesimen Rompi Anti Peluru....	28
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Simulasi Penetrasi (mm) Proyektil terhadap Penambahan Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru.	32
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Simulasi Penetrasi (mm) terhadap Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru	35

Gambar 4. 4 Grafik Energi Kinetik Peluru Akhir Terhadap Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru	35
Gambar 4. 5 Grafik Energi Kinetik Sisa Panel Terhadap Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru	38
Gambar 4. 6 Grafik Energi Internal pada Spesimen Rompi Anti Peluru	39
Gambar 4. 7 Bobot Rompi Anti Peluru Terhadap Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru	40
Gambar 4. 8 Spesimen Rompi Anti Peluru Epoxy-HGM-Serat Sisal <i>Woven</i> (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	41
Gambar 4. 9 Bobot Spesimen Uji Rompi Anti Peluru	44
Gambar 4. 10 (a) Pola Patahan Tampak Samping (b) Pola Patahan Tampak Depan (c) Pola Patahan Perbesaran Makro	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Properties</i> HGM 3M iM30K	13
Tabel 2. 2 <i>Properties of Epoxy</i>	13
Tabel 2. 3 Sifat Serat Sisal	15
Tabel 3. 1 Kriteria Standar Pengujian NIJ 0101.06	20
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Variasi Ketebalan <i>Epoxy</i> -HGM-Serat Sisal <i>Woven</i>	28
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Penetrasi Proyektil.....	29
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi <i>Back Face Signature</i>	29
Tabel 4. 4 Hasil Simulasi Energi Kinetik Peluru	30
Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Energi Kinetik Spesimen Rompi Anti Peluru	31
Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Energi Internal Spesimen Rompi Anti Peluru	31
Tabel 4. 7 Hasil Simulasi Berat Spesimen Rompi Anti Peluru ...	32

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam dunia militer, senjata berkembang sangat pesat. Salah satu hal yang juga mengimbangi perkembangan senjata adalah alat-alat pertahanan dan perlindungan diri. Perlindungan diri terhadap senjata api adalah masalah yang menjadi perhatian pribadi, terutama bagi petugas penegak hukum dan anggota militer, karena ada konflik bersenjata lokal di seluruh dunia [TIISS, 2015]. Alat perlindungan diri yang cukup krusial harus digunakan oleh anggota militer salah satunya adalah rompi anti peluru. Rompi anti peluru mempunyai fungsi yang sama dengan peralatan anti peluru lainnya, yaitu untuk menahan penetrasi dan mereduksi energi *impact* yang ditimbulkan oleh proyektil peluru. Ketika peluru menumbuk rompi anti peluru, energi kinetik peluru diserap dan didistribusikan pada luasan plat pelindung pada rompi anti peluru, lalu energi yang tersisa akan diteruskan ke tubuh pengguna.

Pada awalnya, rompi yang dahulu disebut baju zirah yang digunakan dalam berperang terbuat dari kulit binatang untuk menghalau serangan musuh yang pada saat itu masih menggunakan benda tajam. Berkembangnya zaman, bahan dasar baju zirah berubah menjadi logam dengan bentuk anyaman ring logam pada abad 14, lalu berkembang sampai pada abad 15 menjadi baju zirah sisik logam. Kemudian pada abad 16 berkembang menjadi baju zirah logam dengan bentuk lempengan-lempengan yang mengikuti bentuk dari tubuh manusia, hal ini dipengaruhi oleh jenis serangan yang jadi beragam, berupa benda tajam dan senjata api. Seiring berkembangnya teknologi, baju zirah beralih bahan dasarnya menggunakan kevlar. Penggunaan kevlar sebagai bahan dasar pembuatan rompi anti peluru yang sudah baik dalam hal kemampuan menyerap energi peluru dan bobot pun saat ini dirasa kurang. Bobot dari rompi anti peluru berbahan dasar kevlar dirasa masih cukup berat, sehingga mengganggu pergerakan dari angkatan bersenjata. Dari sisi ekonomi pun, kevlar memiliki

harga yang cukup mahal. Dengan begitu, perlu dikembangkan material alternatif dari kevlar yang memiliki kemampuan meredam energi impact yang relatif sama.

Indonesia memiliki daratan yang sesuai untuk pertanian dan perkebunan sekitar 94,07 juta hektar dari total luas daratan 188,20 juta hektar [BBSDLP, 2008]. Hal tersebut yang membuat penelitian menggunakan serat alam harus sangat dikembangkan di Indonesia. Serat alam mudah didapatkan dengan harga yang murah, mudah diproses, densitasnya rendah, ramah lingkungan, dan dapat diuraikan secara biologi [Kusumastuti, 2009]. Kekuatannya lebih baik dibanding serat lainnya, serta tahan terhadap kadar garam tinggi [Santoso, 2009]. Serat sisal (*Agave Sisalana*) adalah salah satu serat alam yang cukup pesat dikembangkan di Indonesia sebagai penguat pada matriks polimer komposit. Indonesia menghasilkan serat sisal sebesar 500 ton/tahun [Balittas, 2015]. Tanaman sisal tumbuh subur pada kondisi tanah yang kering dan berbatu seperti di Sumenep, Madura. Selain itu, tanaman ini juga dikembangkan di kawasan transmigrasi di Kabupaten Sumbawa Barat [Mulyana, 2012]. Dari hasil wawancara dengan beberapa pedagang pengumpul serat sisal di Kabupaten Sumenep menunjukkan bahwa kebutuhan sisal sangat banyak. Seorang pedagang pengumpul menyatakan bahwa setiap dua bulan pedagang tersebut mengumpulkan serat sisal yang dibeli dari petani atau pedagang kecil sebanyak empat sampai dengan lima truk dan dijual ke Jakarta. Satu truk berisi sekitar 6-8 ton serat sisal [Balittas, 2014]. Serat sisal banyak digunakan untuk tali temali, membuat jari jala, sapu, keset serta produk kerajinan komersial yang lain karena sifatnya yang kuat, tidak mulur, dan tahan terhadap air laut [Supriyadi dkk, 1996].

Penelitian tentang pengaruh variasi fraksi volume, 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 *epoxy*-HGM pada *bumper* depan kendaraan dalam mereduksi energi *impact* telah dilakukan oleh Hindun (2015). Hasil penelitian didapatkan bahwa rata-rata penyerapan energi untuk material *epoxy*-HGM sebesar 86,39%. Penelitian tentang pengaruh komposisi jumlah serat sisal sebagai penguat komposit bermatriks *epoxy* terhadap sifat mekanikal komposit telah dilakukan oleh Gupta dkk, (2015). Hasil penelitian didapatkan bahwa komposisi 30% serat sisal dengan matriks *epoxy* mendapatkan sifat mekanikal maksimal dengan *tensile strength* sebesar 83,96 Mpa dan *impact energy* sebesar 1,09 J. Penelitian tentang pengaruh orientasi serat sisal pada komposit *epoxy*-HGM-serat sisal yang diaplikasikan pada sungkup helm telah dilakukan oleh Joko (2018). Hasil penelitian yang didapat menunjukkan bahwa orientasi serat *woven* 90° lebih baik dibandingkan orientasi serat *choped*, dengan *modulus young* sebesar 2304 Mpa dan tegangan tarik maksimum sebesar 332 Mpa.

Dari latar belakang yang sudah dipaparkan, perlu dilakukan penelitian material alternatif rompi anti peluru berupa komposit *epoxy*, HGM, dan serat sisal *woven* 90° yang dapat menyerap energi *impact* peluru level IV pada rompi anti peluru yang dapat memenuhi standar NIJ 0101.06.

1.2. Perumusan Masalah

Rompi anti peluru level IV yang sudah ada di pasaran pada umumnya sudah memenuhi standar NIJ 0101.06, akan tetapi ada beberapa kekurangan dalam aspek tertentu. Kekurangannya terdapat pada bobot rompi anti peluru yang dirasa masih kurang ringan sehingga dapat mengurangi mobilitas dari angkatan bersenjata dalam melakukan pergerakan. Material dasar rompi anti peluru yang beredar di pasaran, kevlar, dari sisi ekonomi masih dirasa cukup mahal dan hanya bisa didapatkan dari luar negeri. Dengan begitu, perlu dikembangkan material alternatif dari kevlar yang memiliki kemampuan meredam energi *impact* relatif sama.

Pada penelitian sebelumnya telah didapatkan hasil bahwa komposit *epoxy*, HGM, dengan serat sisal *woven* 90° mampu

meningkatkan *properties* dibandingkan dengan arah penempatan serat *choped*. Pada penelitian ini akan dibuat material alternatif pengganti kevlar yang terbuat dari *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* 90° dengan konfigurasi ketebalan tertentu yang mampu menahan energi *impact* pengujian balistik level IV sesuai standar NIJ 0101.06.

1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi ketebalan komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* sebagai bahan dasar alternatif rompi anti peluru yang diharapkan mampu menahan energi *impact* pengujian balistik level IV sesuai standar NIJ 0101.06.

1.4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi literatur penelitian bagi pihak-pihak terkait dan dapat dijadikan alternatif pembuatan alat keamanan dan pertahanan diri.

1.5. Batasan Masalah

Batasan yang diberikan dalam melakukan penelitian ini agar hasil yang didapatkan sesuai dengan yang diharapkan yakni, geometri dan metode pengujian mengikuti standar pengujian balistik NIJ 0101.06, serat sisal yang digunakan berasal dari BALITTAS, model spesimen uji dibuat dari *epoxy*-HGM-serat sisal *woven*, serat sisal sebelumnya sudah di *treatment* dengan direndam NaOH 5% selama 4 jam, serta pengeringan pada suhu ruangan, dan anyaman serat seragam dengan nilai TEX = 0,3 gr/30 cm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* merupakan jenis komposit berpenguat lebih dari satu dengan matriks *epoxy* dan penguat yang terdiri dari serat sisal *woven* dan bola kaca berongga dengan ukuran mikro (HGM). Beberapa keunggulan HGM diantaranya densitas yang rendah, kemampuan isi yang tinggi, dan penyerapan energi *impact* yang tinggi [3M, 2013]. Penelitian tentang pengaruh variasi fraksi volume, temperatur *curing* dan *post-curing* terhadap karakteristik tekan komposit *epoxy*-HGM IM30K telah dilakukan oleh Ritonga (2014). Pada penelitian tersebut, dilakukan variasi fraksi volume HGM dari 15% sampai 20% dan juga variasi *curing* dari *curing* 27°C 24 jam, *curing* 27°C 24 jam lalu *post-curing* 90°C 5 jam, dan *curing* 90°C 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekuatan tekan maksimum sebesar 121,2866 Mpa dan ketangguhan maksimum sebesar $21,54 \times 10^{-3}$ J/mm³ pada fraksi volume HGM sebesar 16% lalu di *curing* pada temperatur 90°C selama 24 jam.

Penelitian tentang pengaruh komposit *epoxy*-HGM untuk mereduksi energi *impact* pada *bumper* depan kendaraan telah dilakukan oleh Hindun (2015). Pada penelitian tersebut, dilakukan variasi ketebalan komposit dari 4 mm sampai 8 mm. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata penyerapan energi untuk material komposit *epoxy*-HGM sebesar 86,39% dan dengan perbandingan massa komposit dengan tebal 8 mm sebesar 42% massa *bumper* aluminium dengan ketebalan 7 mm.

Penelitian tentang pengaruh variasi fraksi volume serat sisal pada komposit *epoxy*-serat sisal terhadap sifat mekanik komposit telah dilakukan oleh Gupta, dkk (2015). Pada penelitian tersebut, dilakukan variasi fraksi volume serat sisal dari 0 sampai 30%. Hasil penelitian menunjukkan sifat mekanik maksimum didapatkan pada komposisi komposit dengan fraksi volume serat sisal sebesar 30%.

Sifat mekanik yang didapat berupa *tensile strength* sebesar 83,96 Mpa dan *impact energy* sebesar 1,09 J.

Penelitian tentang komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *choped* dan serat karbon sebagai bahan alternatif rompi anti peluru level IIIA telah dilakukan oleh Ridho (2017). Pada penelitian tersebut, dilakukan variasi ketebalan komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *choped* dan juga jumlah lapisan serat karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ketebalan komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *choped* 6 mm ditambah 10 lapis serat karbon, spesimen rompi anti peluru dapat menahan peluru level IIIA dengan penetrasi proyektil sebesar 5,40 mm dan *back face signature* sebesar 5,26 mm.

Penelitian tentang pengaruh arah penempatan serat terhadap sifat mekanik komposit yang diaplikasikan pada sungkup helm SNI telah dilakukan oleh Nugroho (2018). Pada penelitian tersebut, variasi arah penempatan serat dilakukan dalam dua jenis orientasi arah yaitu *choped* dan *woven*. Hasil penelitian menunjukkan sifat mekanik maksimal didapat pada arah penempatan *woven* dengan kekuatan tarik sebesar 332 Mpa, *Modulus young* sebesar 2304 Mpa, dan massa jenis 1,0643 g/cm³, dengan sifat material tersebut konfigurasi sungkup helm 4 mm lolos uji penetrasi dan penyerapan beban kejut sesuai SNI 1811-2007.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Rompi Anti Peluru

Rompi anti peluru adalah alat pertahanan diri vital yang melindungi tubuh bagian dada, perut, dan punggung dari serangan berupa tusukan dan proyektil peluru. Awal mulanya, alat pelindung tubuh ini terbuat dari kulit binatang yang direndam didalam lem sampai keras karena serangan hanya berasal dari benda tajam. Ketika perkembangan zaman semakin maju, material atau bahan dasar pembuat alat pelindung tubuh ini ikut berkembang menjadi logam berupa anyaman ring, lalu berkembang menjadi sisik, dan terakhir menjadi lempengan-lempengan logam yang menjadi cikal bakal rompi anti peluru.

Rompi anti peluru mengalami perkembangan yang sangat pesat di abad 19. Tahun 1964, secara tidak sengaja Stephanie Kwolek dari Amerika Serikat menemukan serat sintetis yang mempunyai kekuatan berkali-kali lipat dibandingkan dengan serat nilon, yang diberi nama serat aramid (kevlar). Peneliti di *Army's Edgewood Arsenal* mengembangkan desain rompi anti peluru berbahan dasar tujuh lapis kevlar.



Gambar 2. 1 Rompi Anti Peluru [www.alibaba.com]

2.2.2. Peluru



Gambar 2. 2 Peluru Model .30 Caliber M2 AP [www.ima-usa.com]

Peluru (anak peluru/proyektil) merupakan bagian ujung amunisi yang dilepaskan oleh senjata api. Awalnya, pada abad 14 peluru berbentuk bulat hasil transformasi dari amunisi ketapel. Pada tahun 1847, bentuk peluru berubah menjadi kerucut berlubang (mempunyai isi *smokeless powder ammunition*) untuk meningkatkan akurasi ketika ditembakkan. Selanjutnya, bentuk

peluru berubah menjadi model *cartridge* dimana proyektil peluru dan bubuk mesiu disatukan dalam sebuah selongsong.

2.2.3. Komposit

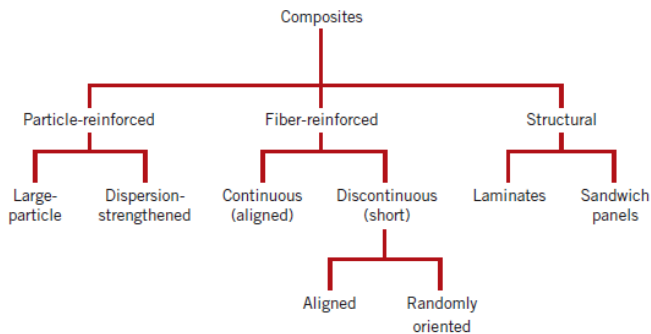
Komposit merupakan suatu material rekayasa yang berasal dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang berbeda sifat, dengan tujuan membuat sifat material baru sesuai yang diharapkan. Komposit memiliki beberapa sifat unggulan diantaranya kekuatan dan kekakuan tinggi, sangat ringan, tahan terhadap korosi efek dari cairan kimia dan cuaca, dan mudah dibentuk. Dengan keunggulan tersebut, komposit sudah banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, konstruksi bangunan.

Komposit tersusun atas dua tipe bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai penguat (*reinforcement*), dan bahan pendukung (matriks) sebagai pemberi bentuk dan pengikat bahan utama. Penguat merupakan fase utama dalam pembentukan komposit yang menentukan karakteristik seperti kekuatan, kekakuan, dan sifat mekanik lainnya. Matriks merupakan fase yang bertugas memberi bentuk, mengikat, dan melindungi penguat. Matriks juga yang bertugas menerima beban pertama dan meneruskannya ke penguat. Jenis komposit berdasarkan jenis matriks terdiri dari:

- a. *Polimer Matrix Composite* (PMC) merupakan komposit dengan jenis matriks polimer. Keunggulan PMC adalah ringan, kemampuan mengikuti bentuk dan ketangguhan yang baik. Pada umumnya digunakan pada alat-alat rumah tangga hingga peralatan elektronik. Contoh: *Thermoplastic*, *Thermosetting*.
- b. *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan komposit berbahan matriks logam. Keunggulan MMC adalah tahan pada temperatur tinggi, ketahanan aus, dan muai termal yang baik. Pada umumnya digunakan pada bidang dirgantara dan komponen otomotif. Contoh: Aluminium beserta paduannya,

Magnesium beserta paduannya, dan Titanium beserta paduannya.

- c. *Ceramics Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik. Kelebihan CMC adalah ketahanan pada perubahan temperatur yang tinggi, tangguh, tahan aus, dan tahan korosi. Pada umumnya digunakan untuk keperluan perlindungan panas pada pesawat luar angkasa dan komponen pada roket. Contoh: *SiC/litium aluminosilikat*, dan alas cermin laser.

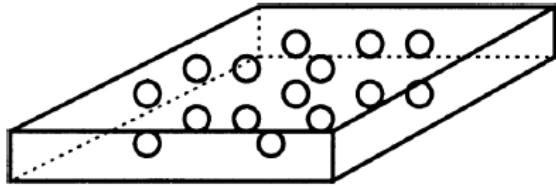


Gambar 2. 3 Klasifikasi Komposit [Calister dan Rethwisch, 1974]

Bahan polimer pada matriks dibagi menjadi dua jenis, yaitu *thermoset* dan *thermoplastic*. Polimer *thermoset* adalah bahan polimer berbentuk cairan pada temperatur ruang dan akan mengeras pada temperatur tinggi atau di atas temperatur kritisnya. Polimer *thermoset* tidak dapat didaur ulang. Contoh matriks *thermoset* adalah *epoxy* dan *polyester*. Polimer *thermoplastic* adalah polimer berbentuk padat pada temperatur ruang dan akan mencair bila dipanaskan di atas temperatur kritisnya. Contoh matriks *thermoplastic* adalah *polystyrene* dan *polypropylene*. Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi empat jenis, yaitu:

- a. Komposit Berpenguat Partikel

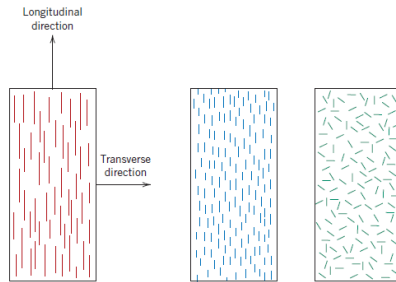
Komposit yang fase dari penguatnya berupa partikel. Contohnya adalah metalurgi serbuk dan *in-situ process*.



Gambar 2. 4 Komposit Berpenguat Partikel [Autar, 2006]

b. Komposit Berpenguat Serat

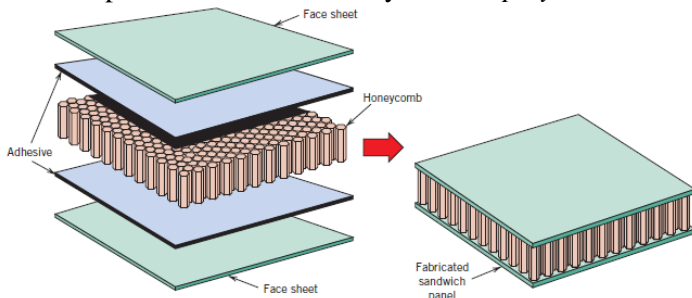
Komposit yang fase penguatnya berupa serat. Contohnya adalah serat alam dalam matriks polimer.



Gambar 2. 5 Komposit Berpenguat Serat [Calister dan Rethwisch, 1974]

c. Komposit Berpenguat Struktur

Komposit yang fase penguatnya berupa lapisan maupun struktural. Contohnya adalah *polywood*.



Gambar 2. 6 Komposit Berpenguat Struktur [Calister dan Rethwisch, 1974]

d. *Hybrid Composite*

Komposit yang penguatnya lebih dari satu jenis penguat dalam satu matriks. Tingkat pencampuran dapat dalam skala besar dan kecil. Tujuannya untuk membuat suatu material baru yang mengandung keunggulan dari penyusunnya. Contohnya adalah *Glass Reinforced Fiber Metal Laminate (GLARE)*. *Hybrid composite* dibedakan menjadi empat jenis, yaitu:

- *Sandwich*

Merupakan suatu material yang dihimpit oleh material lainnya.

- *Interply* atau *Laminated*

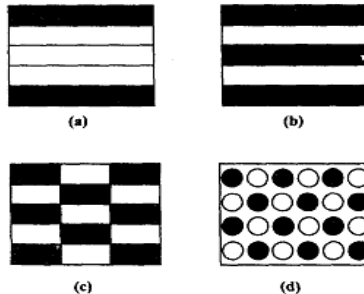
Merupakan suatu material yang terdiri atas lapisan penyusun yang berbeda.

- *Intraply*

Merupakan gabungan dua atau lebih jenis serat yang tersusun dalam satu lamina.

- *Intimately Mixed*

Merupakan penyusun dari masing-masing serat penguat dicampurkan sedemikian rupa sehingga tidak ada konsentrasi dari masing-masing yang tampak pada material komposit.



Gambar 2. 7 *Hybrid Composite* (a) *Sandwich* (b) *Interply* (c) *Intraply* (d) *Intimately Mixed*

Material penguat adalah salah satu penyusun utama pada material komposit. Material ini secara umum berbentuk serat baik serat panjang dan serat pendek. Mayoritas fraksi volume dari

material komposit terdiri dari material penguat ini agar beban yang dikenakan dapat terdistribusi dengan baik ke material penguat. Pemilihan jenis serat, fraksi volume serat, panjang serat, dan arah serat akan mempengaruhi karakteristik material komposit sebagai berikut: berat jenis, kekuatan tarik dan modulus elastisitas, kekuatan tekan dan modulus, kekuatan *fatigue* serta mekanisme kegagalannya.

2.2.4. *Hollow Glass Microsphere*



Gambar 2. 8 *Hollow Glass Microsphere*
[www.sciencedirect.com]

Hollow Glass Microsphere (HGM) merupakan material berbentuk bulat berongga dan berukuran mikro. HGM terbuat dari kaca yang mengandung *Sodium Borosilicate*. HGM memiliki densitas yang kecil dan bobot yang ringan sehingga meningkatkan stabilitas dimensi dan kekuatan material komposit, akan tetapi tidak terlalu kuat untuk menahan gaya geser dan tekanan tinggi. Keunggulan lain dari HGM, yaitu memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, kestabilan kimia dan kekuatan tekan yang baik, dan konduktivitas termal yang rendah.

HGM sering digunakan sebagai *filler* dalam material komposit ringan dengan *properties* densitas yang rendah, konduktivitas termal yang rendah dan ketahanan terhadap tegangan tekan yang tinggi. HGM juga sering digunakan pada peralatan pekerjaan di laut.

Tabel 2. 1 *Properties* HGM 3M iM30K [multimedia.3m.com]

Property	iM30K	
Shape	Hollow spheres with thin walls	
Composition	Soda-lime-borosilicate glass	
Color, Unaided Eye	White, powder	
Physical Properties		
Property	iM30K	Test Method
Isostatic Crush Strength (psi)	28,000	3M QCM 14.1.8
True Density (g/cc)	0.60	3M QCM 14.24.1
Packing Factor (bulk density to true particle density)	63%	
Oil Absorption (g oil/100 cc)	33.5	ASTM D282-84 of polymer additive
Softening Point (°C)	600	
Flotation (density < 1.0 g/cc)	90% (in volume)	3M QCM 37.2
Volatile Content (by weight)	0.5% max.	3M QCM 1.5.7
Alkalinity (milliequivalents)	0.5	3M QCM 55.19/gram max
pH (5% loading in water)	9.5	ASTM D3100-1982
Diameter (average)	18 microns	3M QCM 193.0
Particle Size and Distribution		
Property	iM30K	
10th Percentile	9 microns	
25th Percentile	12 microns	
50th Percentile	16 microns	
75th Percentile	21 microns	
90th Percentile	28 microns	
95th Percentile	33 microns	

2.2.5. *Epoxy*Tabel 2. 2 *Properties of Epoxy* [epoxyworktops.com]

<i>Properties</i>	
<i>Tensile Strength</i>	<i>85 MPa</i>
<i>Tensile Modulus</i>	<i>10500 Mpa</i>
<i>Compressive Strength</i>	<i>190 MPa</i>
<i>Water Absorption</i>	<i>5-10 mg at 24h, 23°C</i>

Epoxy adalah polimer yang mengandung minimal dua gugus epoksida. Epoksida biasa disebut gugus oksiran. *Epoxy*

cenderung mengeras secara bertahap. Berbeda dengan bahan *poliester* yang cenderung mengeras dengan cepat, terutama jika katalis yang digunakan dalam reaksi merupakan katalis eksotermik. Semakin besar jumlah katalis yang digunakan, laju reaksi akan meningkat dan panas yang dihasilkan akan semakin besar.

Epoxy merupakan polimer dengan ketangguhan dan kekakuan yang cukup baik, memiliki sifat adhesif yang baik, dan sebagai pengikat yang baik pada material komposit. *Mechanical properties epoxy* dapat dilihat pada tabel 2.2.

2.2.6. Serat Sisal

Tanaman serat alam salah satunya dihasilkan oleh tanaman *agave*, yaitu *Agave cantala* dan *Agave sisalana*. Sisal cocok dibudidayakan di tanah kering dan beriklim kering karena tanaman ini tidak tahan genangan air. Sisal merupakan salah satu serat alam yang paling banyak digunakan dan paling mudah dibudidayakan. Produksi sisal di seluruh dunia mencapai hampir 4,5 juta ton tiap harinya. Tanzania dan Brazil merupakan negara penghasil sisal terbesar [Chand, 1988]. Serat sisal merupakan serat keras yang dihasilkan dari proses ekstraksi daun tanaman sisal (*Agave Sisalana*). Meskipun tanaman ini berasal dari Amerika Utara dan Selatan, sisal dapat tumbuh dengan baik hingga di Afrika, Hindia Barat, dan Timur jauh. Sisal di Indonesia dikembangkan di Pulau Madura, Malang Selatan, Jember dan Blitar Selatan, serta di Kabupaten Sumbawa [Laksamana, 2014].

Tanaman sisal dapat menghasilkan 200-250 daun, dimana masing-masing daun terdiri dari 1000-1200 bundel serat yang mengandung 4% serat, 0.75% kutikula, 8% material kering, dan 87.25% air [Murherjee, 1984]. Kandungan selulosa tanaman sisal sebesar 70% lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman serat lainnya [Manuputty dan Berhita, 2010]. Panjang serat sisal dapat bervariasi antara 1-1.5 meter dengan diameter 100-300 mm [Bisanda, 1991]. Harga serat sisal sangat murah dibandingkan dengan serat sintetis, yaitu 0.36 US\$/Kg. Harga tersebut hanya sepersembilan harga serat gelas yang mencapai 3.25 US\$/Kg, serta

seperlimaratus harga serat karbon yang mencapai 500 US\$/Kg [Li, 2000]. Pada tabel 2.3 menunjukkan sifat serat sisal hasil kajian beberapa peneliti. Perlu diketahui bahwa selain struktur dan sifat serat itu sendiri, kondisi percobaan seperti panjang sampel serat dan kecepatan pengujian mempengaruhi sifat serat alam.

Serat sisal potensial untuk digunakan sebagai komposit bagi bahan bangunan, kendaraan, rel kereta api, geotekstil, hingga kemasan. Sebagai bahan bangunan, sisal sering digunakan sebagai komposit substitusi kayu, kusen, pintu, atap hingga pada bangunan tahan gempa karena tahan lama dan murah. Sebagai atap bangunan, serat sisal dianggap ramah lingkungan dibanding asbes yang bersifat karsinogen. Di bidang otomotif, serat sisal digunakan sebagai panel mobil, sandaran kursi, dan bantalan rem [OSEC, 2004]. Bahan kemasan seperti tas, krat, kontainer yang awalnya menggunakan komposit sisal yang jauh lebih murah. Serat komposit polimer pada perahu telah digantikan oleh sisal sebagai penguatnya [Gujarat, 2004].

Tabel 2. 3 Sifat Serat Sisal [Kusumastuti, 2009]

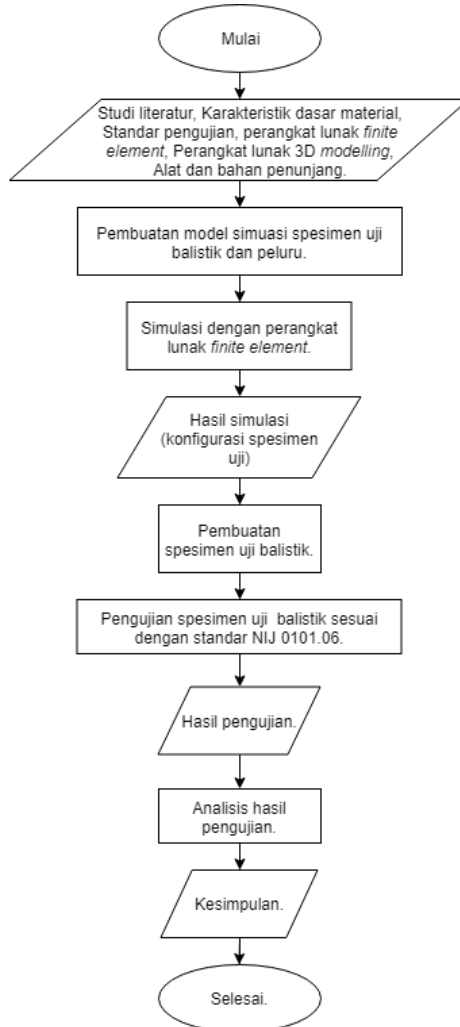
Densitas (kg/m ³)	<i>Moisture Content</i> (%)	Kekuatan Tarik (Mpa)	<i>Modulus</i> (Gpa)	<i>Maximum Strain</i> (%)	Diameter (µm)
1450	11	604	9.4-15.8	-	50-200
1450	-	503-640	9.4-22	3-7	50-300
-	-	347	14	5	-
1030	-	500-600	16-21	3.6-5.1	-
1410	-	400-700	9-20	5-14	100-300
1400	-	450-700	7-13	4-9	-
-	-	530-630	17-22	3.64-5.12	100-300
1450	-	450-700	7-13	4-9	-



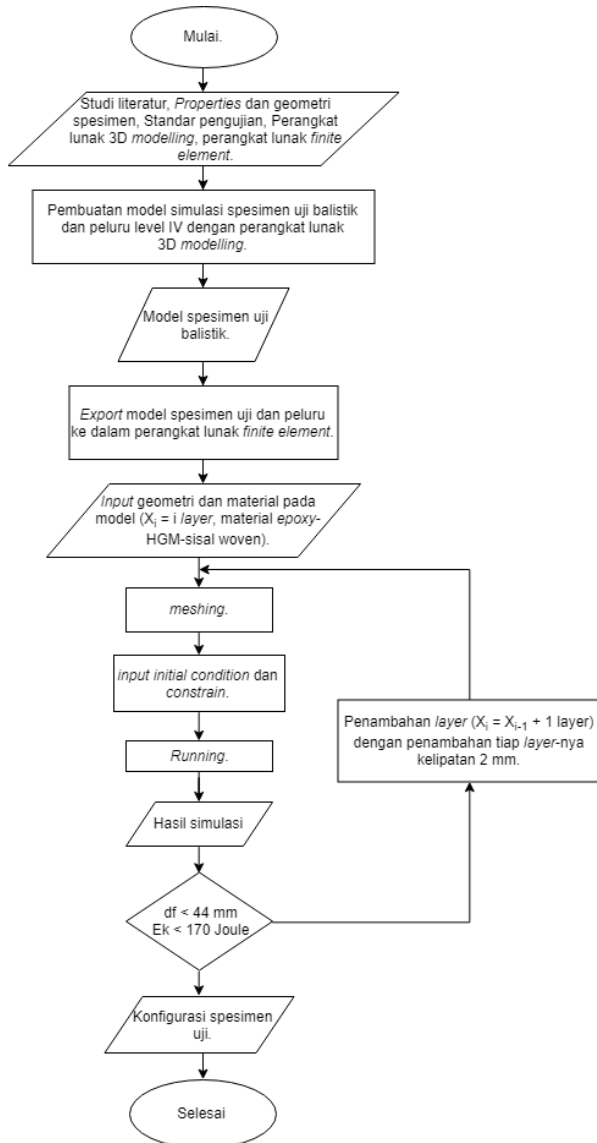
Gambar 2. 9 Agave Sisalana [bianginovasi.com]

BAB III METODOLOGI

3.1. Diagram Alir Percobaan



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir



Gambar 3. 2 Diagram Alir Simulasi

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi dan dasar pengerjaan dari penelitian yang akan dilakukan. Adapun informasi yang digunakan dalam melakukan penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai jumlah *epoxy*-HGM optimal dilakukan oleh Gupta (2015), lalu aplikasi komposit *epoxy*-HGM-serat sisal dilakukan oleh Joko (2018) pada sungkup helm dengan arah serat *woven* (dianyam).

2. HGM

HGM terbuat dari gelembung/bubuk kaca berukuran mikro dengan bentuk bola berongga. HGM biasanya digunakan sebagai pengisi alternatif. Literatur yang digunakan berupa data *sheet* (berisi *properties* dan informasi pendukung lainnya) material HGM tipe tertentu yang diterbitkan oleh pabrikan.

3. Serat sisal

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Kusumastuti (2009). Dari penelitian ini diperoleh informasi pendukung mengenai sifat material serat sisal.

4. NIJ 0101.06

NIJ 0101.06 diterbitkan oleh *Departement of Justice* USA pada tahun 2008. Adapun NIJ 0101.06 berisikan standar pengujian balistik anti peluru dengan level peluru yang beragam.

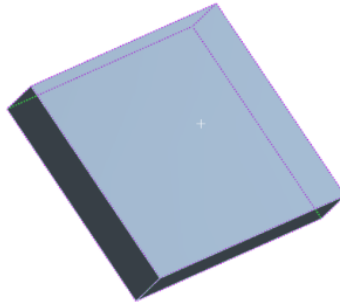
3.3. NIJ 0101.06

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

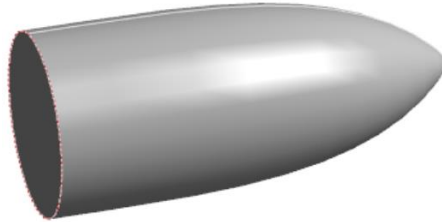
Tabel 3. 1 Kriteria Standar Pengujian NIJ 0101.06

Syarat Pengujian	Tolak Ukur Kriteria
Jarak tembak 15 meter dari spesimen uji balistik.	<i>Back Face Signature</i> tidak melebihi 44 mm.
Peluru kaliber .30 ditembakkan dengan senjata api jenis M2 AP dengan kecepatan ± 878 m/s.	Energi kinetik yang diteruskan ke pengguna helm anti peluru < 170 J.
	Rompi anti peluru tidak ditembus oleh peluru.

3.4. Model Spesimen Uji



Gambar 3. 3 Model Spesimen Uji Balistik

Gambar 3. 4 Model proyektil peluru .30 *Caliber* M2 AP [NIJ 0101.06 level IV]

Bentuk dan ukuran model spesimen uji balistik pada penelitian kali ini mengacu kepada standar NIJ 0101.06. Sifat dan karakteristik yang digunakan disesuaikan dengan sifat dan karakteristik material pengujian eksperimental yang sudah dilakukan pada penelitian yang terdahulu. Ukuran spesimen uji menurut standar pengujian balistik NIJ 0101.06 berdimensi 254

mm x 305 mm (10 in x 12 in) sedangkan ketebalannya akan dicari melalui simulasi yang divariasikan. Model peluru dan *input engineering* data dari peluru kaliber .30 M2 AP yang digunakan pada saat pengujian juga disesuaikan dengan standarnya.

3.5. Simulasi

Simulasi pengujian sesuai standart NIJ 0101.06 menggunakan perangkat lunak *finite element* dengan langkah-langkah seperti berikut:

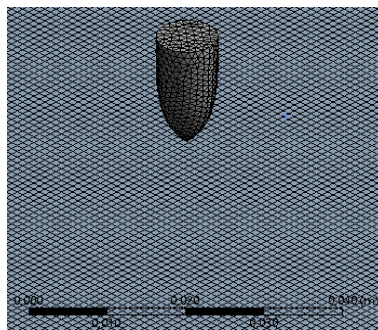
1. Pembuatan model

Geometri model spesimen uji balistik dan proyektil disesuaikan dengan standar NIJ 0101.06 *level IV* seperti gambar 3.4 dan 3.3. Pembuatan model spesimen uji dan proyektil menggunakan perangkat lunak CAD dengan model 3D. Lalu, model di-*export* ke perangkat lunak *finite element*.

2. *Input* data material

Proses dimana nilai *properties* dari suatu material dimasukkan ke dalam *submenu engineering* data pada perangkat lunak *finite element* merupakan *input* data material. Adapun *properties* material yang dimasukkan merupakan *properties* material epoxy-HGM-serat sisal *woven* dengan komposisi 70% epoxy-HGM – 30% serat sisal *woven*, dengan epoxy-HGM memiliki komposisi sebesar 84% epoxy – 16% HGM.

3. *Meshing*

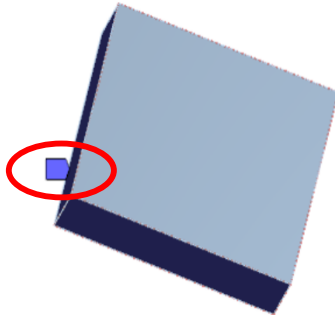


Gambar 3.5 *Meshing*

Meshing adalah penentuan pengamatan dengan membagi luasan yang ingin diamati ke dalam luasan yang lebih kecil (*nodes*) yang terhubung satu sama lain. Pemilihan *meshing* untuk mengatur tingkat akurasi hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5.

4. *Boundary and Initial Condition*

Pada langkah ini, yang dilakukan adalah memasukkan kondisi awal pengujian seperti pemberian tumpuan pada model spesimen uji dan *input* nilai kecepatan model proyektil seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 *Initial Condition*: Tumpuan Model Spesimen Uji Balistik

5. *Running*

Proses *running* dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi setelah melakukan langkah-langkah sebelumnya. Lamanya *running* bergantung pada kerapatan *meshing*, jumlah *cycle* yang dimasukkan, dan spesifikasi atau kemampuan komputer yang digunakan.

6. Analisis hasil simulasi

Analisis hasil simulasi dilakukan untuk memperoleh konfigurasi ketebalan terbaik dari *epoxy*-HGM-serat sisal 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 paling ringan.

3.6. Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji yang akan dibuat berdasarkan hasil konfigurasi terbaik dari simulasi berupa geometri yang meliputi ketebalan dan jumlah lapisan serat sisal *woven*. Dari konfigurasi yang didapatkan harus memenuhi kriteria uji balistik NIJ 0101.06 dan dipilih yang bobotnya paling ringan.

3.6.1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan antara lain:

- Peralatan keselamatan: sarung tangan, masker, dan kacamata.
- Alat bantu: cetakan, plastisin (malam), timbangan digital, gelas plastik, penggaris, *wax*, gunting, dan stik kayu.
- Resin *epoxy*, *hardener*, HGM, serat sisal *woven*, PVA, dan larutan NaOH 5%.
- Peralatan dan bahan pendukung yang lainnya.

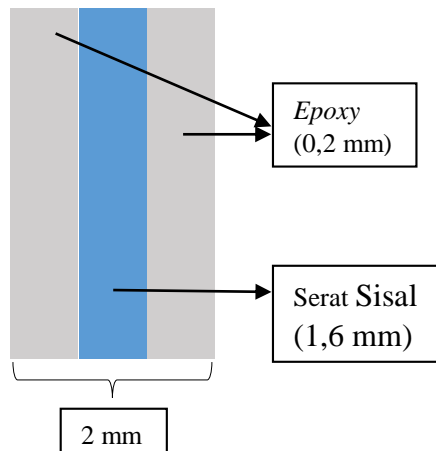
3.6.2. Langkah–Langkah

Langkah–langkah yang dilakukan dalam membuat spesimen uji dibagi menjadi dua yaitu penganyaman serat dan pembuatan spesimen. Adapun langkah-langkah penganyaman serat antara lain:

- Rendam serat sisal dengan larutan NaOH 5% selama 4 jam.
- Tiriskan serat, lalu bilas dengan air mengalir sampai serat tidak terasa licin di tangan.
- Keringkan serat di dalam ruangan sampai serat benar-benar kering.
- Siapkan alat penganyam serat.
- Pintal serat dan timbang serat dengan berat 0.3 gram/30 cm. Hal ini untuk menyeragamkan serat sisal yang dianyam.
- Anyam serat yang sudah ditimbang dengan alat penganyam serat.

Setelah itu dilakukan pembuatan spesimen uji. Adapun langkah-langkah pembuatan spesimen uji antara lain:

- Persiapan alat dan bahan
- Permukaan cetakan dipastikan bersih dan rata, lalu diberikan *wax* dengan digosok sampai merata kemudian didiamkan sampai kering.
- *Epoxy*, HGM dan serat sisal *woven* ditimbang dengan ketentuan pada penelitian tedahulu, dengan ketentuan, *epoxy*-HGM 70% - serat sisal *woven* 30%, dengan perbandingan *epoxy* 84% - HGM 16%.
- HGM, resin *epoxy*, dan *hardener* dicampur lalu diaduk secara merata.
- Serat sisal disusun satu per satu di dalam cetakan lalu larutan *epoxy*-HGM dituang hingga rata dan merendam seluruh permukaan serat sisal *woven*, kemudian diberi beban (penekanan).
- Tunggu hingga campuran HGM-*epoxy*-serat sisal *woven* kering, lalu spesimen dilepaskan dari cetakan.



Gambar 3. 7 Konfigurasi satu lapis komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *woven*.



Gambar 3. 8 Serat Sisal *Woven*

3.7. Pengujian NIJ 0101.06

Pengujian balistik dilakukan pada spesimen rompi anti peluru yang mengacu pada standar NIJ 0101.06 yang diterbitkan oleh Departement of Justice USA. Pengujian dilakukan di Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat) Brimob Watukosek, Pasuruan. Berikut langkah-langkah pengujian balistik:

1. Tahap preparasi, yaitu persiapan alat dan bahan meliputi unit senjata, peluru, spesimen uji, dan peralatan pendukung pengujian.
2. Persiapan spesimen pada papan tembakan.
3. Pengujian spesimen uji dengan standar NIJ 0101.06.
4. Hasil pengujian spesimen uji dianalisis penetrasi proyektil dan *Back Face Signature*.

Setelah dilakukan pengujian, spesimen diamati dan dianalisis deformasi yang terjadi akibat dari uji balistik.



Gambar 3. 9 Peluru Balistik Level IV 7,62x39 mm, 7,62x45 mm, dan 7,62x51 mm



Gambar 3. 10 Senjata *Steyr SSG 08* buatan Austria
[modernfirearms.net]

BAB IV

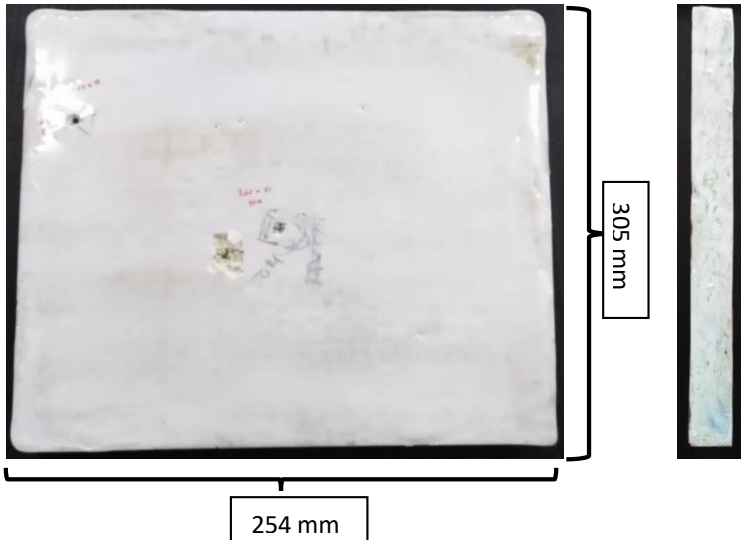
ANALISIS DAN PEMBAHASAN DATA

4.1. Analisis Data Simulasi Spesimen Rompi Anti Peluru

Pembuatan model simulasi spesimen rompi anti peluru level IV *Armor Piercing* (AP) NIJ 0101.06 berbahan dasar *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* menggunakan metode *finite element*. Bentuk dan geometri dari model simulasi dibuat berdasarkan standar spesimen uji balistik dari NIJ 0101.06 dengan ukuran 254 mm x 305 mm dan divariasikan ketebalannya. Variasi ketebalan model dibuat 2 mm tiap lapisannya.

Kelayakan dari material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* yang mempunyai ketebalan tertentu untuk digunakan sebagai material pembuat rompi anti peluru dapat dilihat dari beberapa aspek, seperti:

1. *Back Face Signature* (BFS), deformasi pada bagian belakang dari spesimen rompi anti peluru. 44 mm adalah ukuran deformasi maksimal yang diperbolehkan menurut NIJ 0101.06.
2. Keberhasilan spesimen rompi anti peluru dalam melindungi pengguna, dengan tidak ditembusnya spesimen rompi anti peluru oleh proyektil.
3. Energi kinetik yang diteruskan ke tubuh pengguna. Menurut *Hatcher's Notebook* [Hatcher, 1962] menyatakan bahwa energi kinetik sebesar 170,2 Joule dapat menyebabkan kehilangan kesadaran sesaat (*blackout*) kepada pengguna.



Gambar 4. 1 Dimensi Simulasi Spesimen Rompi Anti Peluru

4.1.1. Hasil Simulasi Variasi Ketebalan *Epoxy*-HGM-Serat Sisal *Woven* pada Spesimen Rompi Anti Peluru

Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Variasi Ketebalan *Epoxy*-HGM-Serat Sisal *Woven*

Ketebalan (mm)	Bobot (Kg)	Penetrasi (mm)	BFS (mm)	EK Peluru (Joule)	EK Panel (Joule)	EI Panel (Joule)
22	1,81	30,64	6,50	0,206	175,18	674,19
24	1,98	30,27	6,09	0,00023	146,86	685,14
26	2,14	28,98	4,85	0,00017	159,17	657,78
28	2,31	28,27	4,82	0	102,18	700,32
30	2,47	26,07	2,14	0	99,258	712,68

Keterangan:

: Memenuhi standar NIJ 0101.06

Tabel 4.1 menunjukkan data hasil variasi ketebalan spesimen rompi anti peluru dalam simulasi yang menunjukkan pengaruh ketebalan dari spesimen rompi anti peluru level IV AP


NIJ 0101.06 dengan material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* terhadap penyerapan energi kinetik, energi kinetik akhir peluru, energi internal panel, penetrasi, *back face signature* dan bobot.

4.1.2. Hasil Simulasi Penetrasi Proyektil

Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Penetrasi Proyektil

Ketebalan (mm)	Penetrasi (mm)
22	30,64
24	30,27
26	28.98
28	28.27
30	26,07

Keterangan:

 : Memenuhi standar NIJ 0101.06


Tabel 4.2 menunjukkan data hasil variasi ketebalan spesimen rompi anti peluru dalam simulasi yang menunjukkan pengaruh ketebalan dari spesimen rompi anti peluru level IV AP NIJ 0101.06 dengan material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* terhadap penetrasi dari proyektil peluru.

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

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi *Back Face Signature*

Ketebalan (mm)	BFS (mm)
22	6,50
24	6,09
26	4,85
28	4,82
30	2,14

Keterangan:

 : Memenuhi standar NIJ 0101.06

Tabel 4.3 menunjukkan data hasil variasi ketebalan spesimen rompi anti peluru dalam simulasi yang menunjukkan pengaruh ketebalan dari spesimen rompi anti peluru level IV AP NIJ 0101.06 dengan material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* terhadap deformasi yang terjadi pada bagian belakang dari rompi anti peluru (*back face signature*).


4.1.4. Hasil Simulasi Energi Kinetik Peluru

Tabel 4.4 menunjukkan data hasil variasi ketebalan spesimen rompi anti peluru dalam simulasi yang menunjukkan pengaruh ketebalan dari spesimen rompi anti peluru level IV AP NIJ 0101.06 dengan material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* terhadap energi kinetik peluru.

Tabel 4. 4 Hasil Simulasi Energi Kinetik Peluru

Ketebalan (mm)	EK Peluru (Joule)
22	0,206
24	0,00023236
26	0,00016647
28	0
30	0

Keterangan:

 : Proyektil peluru dapat dihentikan


4.1.5. Hasil Simulasi Energi Kinetik Spesimen Rompi Anti Peluru

Tabel 4.5 menunjukkan data hasil variasi ketebalan spesimen rompi anti peluru dalam simulasi yang menunjukkan pengaruh ketebalan dari spesimen rompi anti peluru level IV AP NIJ 0101.06 dengan material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* terhadap sisa energi kinetik spesimen rompi anti peluru yang diteruskan ke pengguna.

Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Energi Kinetik Spesimen Rompi Anti Peluru

Ketebalan (mm)	EK Peluru (Joule)	EK yang diteruskan (Joule)
22	1975,39	175,18
24		146,86
26		159,17
28		102,18
30		99,258

Keterangan:

 : Memenuhi batas aman rompi anti peluru menurut *Hatcher's Notebook*

4.1.6. Hasil Simulasi Energi Internal Spesimen Rompi Anti Peluru

Tabel 4.6 menunjukkan data hasil variasi ketebalan spesimen rompi anti peluru dalam simulasi yang menunjukkan pengaruh ketebalan dari spesimen rompi anti peluru level IV AP NIJ 0101.06 dengan material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* terhadap energi internal pada spesimen rompi anti peluru.

Tabel 4. 6 Hasil Simulasi Energi Internal Spesimen Rompi Anti Peluru

Ketebalan (mm)	EI Panel (Joule)
22	674,19
24	685,14
26	657,78
28	700,32
30	712,68

4.1.7. Hasil Simulasi Bobot Spesimen Rompi Anti Peluru

Tabel 4.7 menunjukkan data hasil variasi ketebalan spesimen rompi anti peluru dalam simulasi yang menunjukkan pengaruh ketebalan dari spesimen rompi anti peluru level IV AP

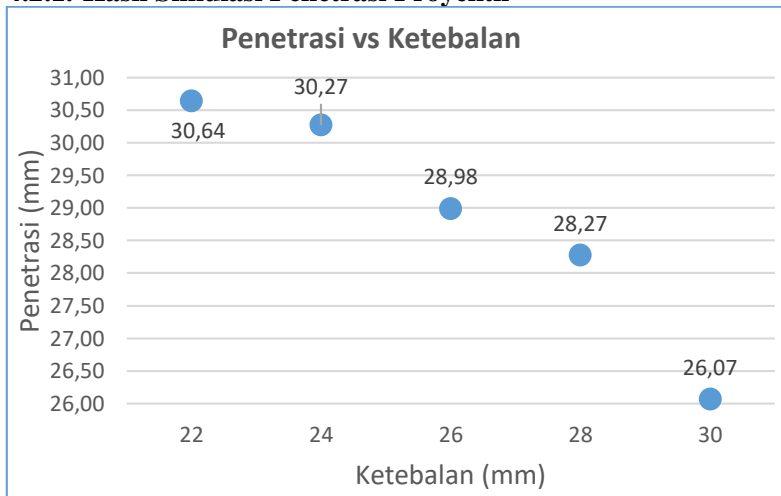
NIJ 0101.06 dengan material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* terhadap bobot atau berat dari spesimen rompi anti peluru.

Tabel 4. 7 Hasil Simulasi Berat Spesimen Rompi Anti Peluru

Ketebalan (mm)	Densitas (gr/cm ³)	Volume (cm ³)	Bobot (Kg)
22	1,064	1704,34	1,81
24		1859,28	1,98
26		2014,22	2,14
28		2169,16	2,31
30		2324,1	2,47

4.2. Pembahasan Hasil Simulasi

4.2.1. Hasil Simulasi Penetrasi Proyektil



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Simulasi Penetrasi (mm) Proyektil terhadap Penambahan Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru

Penetrasi proyektil peluru dapat diartikan sebagai perpindahan maksimum dari proyektil peluru yang memiliki kecepatan setelah menumbuk spesimen rompi anti peluru sampai

proyektil berhenti. Kelayakan dari bahan dasar rompi anti peluru dapat dilihat dari seberapa besar kemampuan dari bahan tersebut untuk menahan laju dari proyektil peluru dengan penetrasi seminimal mungkin.

Pada gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara nilai penetrasi seiring dengan penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru level IV AP NIJ 0101.06. Dalam grafik tersebut terdapat garis yang menunjukkan tren penurunan penetrasi proyektil peluru efek dari penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru. Grafik pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru, maka penetrasi proyektil peluru yang terjadi akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori dimana ketika spesimen rompi anti peluru semakin tebal maka kemampuan dari rompi anti peluru untuk menahan laju proyektil peluru akan semakin besar, yang berefek pada penetrasi proyektil yang akan semakin kecil.

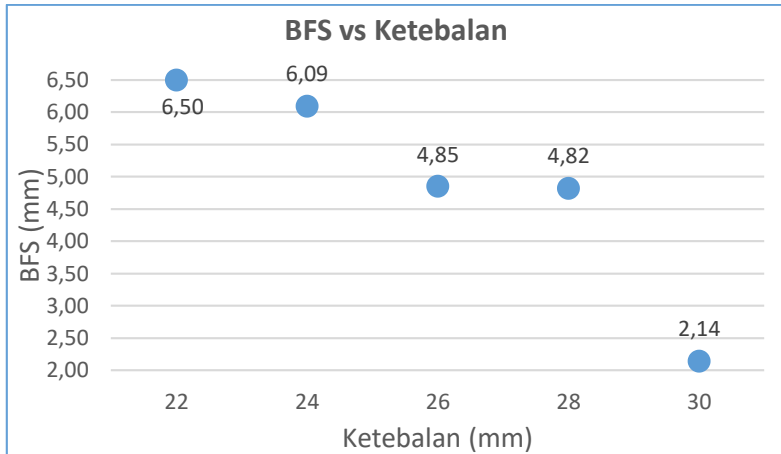
Merujuk pada standar NIJ 0101.06 dengan proyektil peluru level IV AP, konfigurasi hasil simulasi model spesimen rompi anti peluru yang memenuhi kriteria dari aspek penetrasi (tabel 3.1) terdapat pada ketebalan 30 mm seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.2. Konfigurasi ketebalan *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* yang memenuhi standar NIJ 0101.06 yaitu pada ketebalan 30 mm, dengan penetrasi proyektil peluru level IV AP sejauh 26,068 mm, dengan kata lain proyektil peluru gagal menembus spesimen rompi anti peluru dengan ketebalan 30 mm.

4.2.2. Hasil Simulasi *Back Face Signature*

Back Face Signature (BFS) dapat diartikan sebagai suatu deformasi yang terjadi pada spesimen rompi anti peluru dilihat dari perpindahan titik terjauh bagian belakang spesimen rompi anti peluru. Deformasi tersebut terjadi dikarenakan adanya tumbukan dari proyektil peluru terhadap spesimen rompi anti peluru. Kelayakan dari bahan dasar rompi anti peluru dapat dilihat dari seberapa kecil BFS yang terjadi akibat tumbukan dari proyektil peluru.

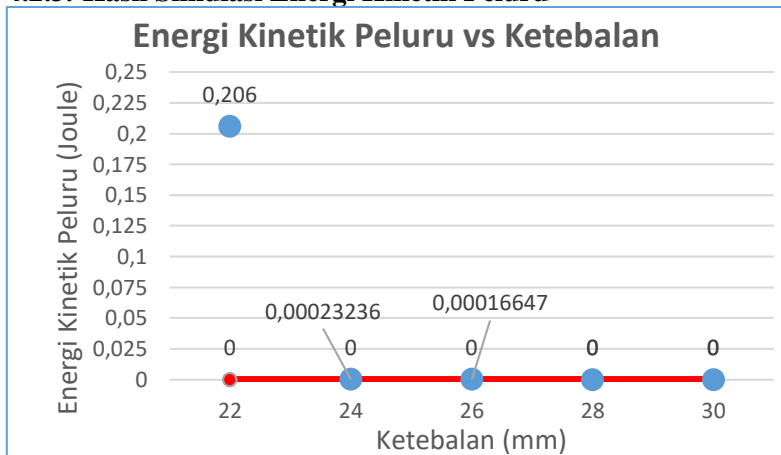
Pada gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara nilai *back face signature* seiring dengan penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru level IV NIJ 0101.06. Dalam grafik tersebut terdapat garis yang menunjukkan tren penurunan *back face signature* terhadap penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru. Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru, maka *back face signature* yang terjadi semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori dimana ketika rompi anti peluru semakin tebal maka kemampuan dari rompi anti peluru untuk menahan laju proyektil peluru akan semakin besar, yang berefek pada BFS yang terjadi akan semakin kecil.

Merujuk pada standar NIJ 0101.06 dengan proyektil peluru level IV AP, konfigurasi hasil simulasi model spesimen rompi anti peluru yang memenuhi kriteria dari aspek *back face signature* (tabel 3.1) terdapat pada ketebalan 22 mm-30 mm seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3. Konfigurasi ketebalan *epoxy-HGM-serat sisal woven* yang memenuhi standar NIJ 0101.06 yaitu pada ketebalan 22 mm-30 mm, dengan *back face signature* hasil tumbukan dari proyektil peluru level IV AP secara berurutan sebesar 6,50 mm, 6,09 mm, 4,85 mm, 4,85 mm, dan 2,14 mm. Dengan kata lain, pada ketebalan 22 mm-30 mm model spesimen uji balistik level IV AP tidak melewati standar *back face signature* NIJ 0101.06 sebesar 44 mm.



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Simulasi Penetrasi (mm) terhadap Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru

4.2.3. Hasil Simulasi Energi Kinetik Peluru



Gambar 4. 4 Grafik Energi Kinetik Peluru Akhir Terhadap Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru

Keterangan:

— : Batas nilai energi kinetik peluru yang menyatakan peluru dapat dihentikan

Energi kinetik peluru adalah suatu energi yang berasal dari sebuah peluru yang mempunyai massa tertentu dengan kecepatan tertentu. Peluru yang digunakan dalam simulasi dan pengujian balistik sesuai dengan standar NIJ 0101.06 level IV dengan jenis peluru *Armor Piercing* yang mempunyai kecepatan 878 m/s dan berat proyektil peluru sebesar 5,125 gram. Dengan kecepatan dan berat peluru tersebut, proyektil peluru level IV NIJ 0101.06 mempunyai energi kinetik sebesar 1975,39 Joule. Energi kinetik proyektil peluru tersebut akan berkurang atau bahkan sampai habis saat bertumbukan dengan spesimen rompi anti peluru karena berubah bentuk menjadi energi internal spesimen rompi anti peluru atau juga diteruskan sebagian ke tubuh pengguna. Ketika energi kinetik dari proyektil peluru bernilai nol (habis), maka dapat dikatakan proyektil peluru berhenti atau sudah tidak bergerak lagi.

Pada gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara nilai energi kinetik proyektil peluru setelah bertumbukan dengan spesimen rompi anti peluru terhadap penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru level IV NIJ 0101.06. Dalam grafik tersebut, terdapat garis yang menunjukkan tren penurunan energi kinetik proyektil peluru terhadap penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru. Grafik pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru, maka energi kinetik yang tersisa akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori dimana ketika rompi anti peluru semakin tebal maka kemampuan dari rompi anti peluru untuk menahan laju proyektil peluru akan semakin besar, yang berefek pada energi kinetik peluru setelah tumbukan akan semakin kecil.

Sebuah rompi anti peluru dikatakan berhasil ketika mampu menahan proyektil sehingga membuat proyektil peluru mempunyai energi kinetik sebesar 0 Joule. Konfigurasi ketebalan *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* yang dapat menahan proyektil peluru hingga energi kinetiknya bernilai 0 Joule yaitu pada ketebalan 28 mm dan 30 mm. Dengan kata lain, pada ketebalan 28 mm dan 30 mm, proyektil peluru dapat dihentikan oleh spesimen rompi anti peluru.

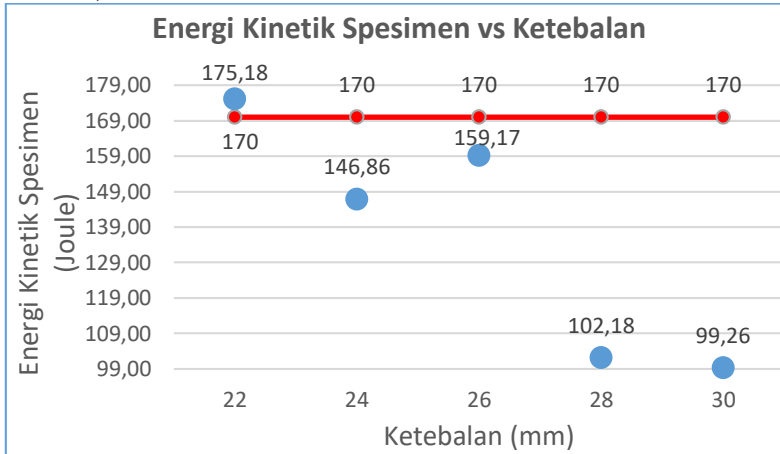
4.2.4. Hasil Simulasi Energi Kinetik Sisa pada Spesimen Rompi Anti Peluru

Energi kinetik sisa pada spesimen rompi anti peluru dapat diartikan dengan energi kinetik dari peluru yang tidak mampu diserap lagi oleh spesimen rompi anti peluru setelah rompi mengalami tumbukan dengan proyektil peluru, sehingga ditransfer ke tubuh pengguna. Energi yang dapat diterima oleh tubuh pengguna pun mempunyai batasan yang artinya jika melebihi batas tersebut, tubuh pengguna akan mengalami trauma atau bahkan luka. Maka dari itu, diperlukan rompi anti peluru dengan bahan tertentu yang dapat menyerap energi kinetik dari proyektil sebanyak mungkin, sehingga energi kinetik sisa yang diteruskan ke tubuh pengguna akan semakin sedikit.

Pada gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara energi kinetik yang diteruskan ke pengguna seiring dengan penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru. Dalam grafik diatas, terdapat garis yang dapat menunjukkan tren penurunan energi yang diteruskan oleh spesimen rompi anti peluru ke tubuh pengguna. Grafik diatas menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan spesimen rompi anti peluru, maka nilai energi kinetik yang diteruskan ke pengguna akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori dimana ketika rompi anti peluru semakin tebal maka kemampuan dari rompi anti peluru untuk menahan laju proyektil peluru akan semakin besar, yang berefek pada energi kinetik peluru sisa setelah tumbukan yang diteruskan ke tubuh pengguna akan semakin kecil. Adanya sebuah nilai energi kinetik sisa yang diteruskan ke pengguna yang tidak mengikuti tren pada ketebalan 26 mm disebabkan oleh kemampuan perangkat lunak simulasi ataupun perangkat keras yang digunakan mengurangi keakuratan hasil simulasi pada saat digunakan.

Mengacu pada Hatcher's Notebook [Hatcher, 1962), yang menyatakan bahwa limitasi nilai energi kinetik yang boleh diterima atau diteruskan ke tubuh pengguna rompi anti peluru sebesar 170,2 Joule, maka terdapat 4 konfigurasi ketebalan yang memenuhi kriteria, dari 24 mm-30 mm. Konfigurasi ketebalan yang memiliki

energi kinetik sisa terkecil adalah pada ketebalan 30 mm dengan nilai 99,258 Joule.



Gambar 4. 5 Grafik Energi Kinetik Sisa Panel Terhadap Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru

Keterangan:

— : Batas nilai energi kinetik spesimen rompi anti peluru

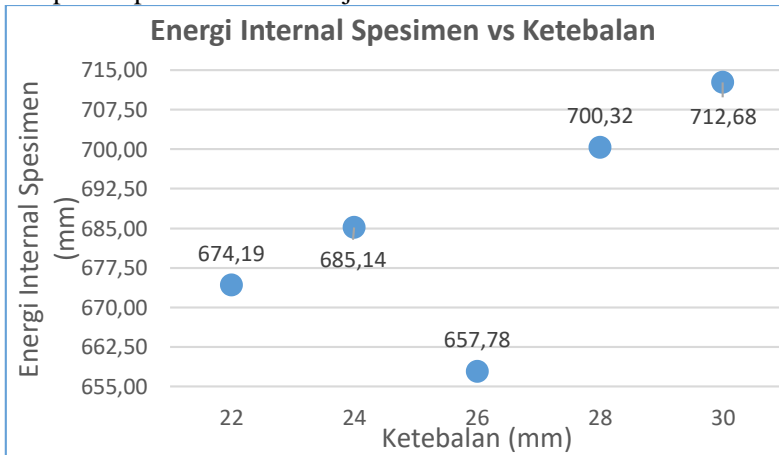
4.2.5. Hasil Simulasi Energi *Internal* Spesimen Rompi Anti Peluru

Energi kinetik dari proyektil peluru akan berkurang atau bahkan habis setelah tumbukan, tetapi energi tersebut bukan menghilang melainkan berubah bentuk menjadi energi internal pada rompi anti peluru dan energi kinetik sisa pada rompi anti peluru yang sudah dibahas pada subbab sebelumnya.

Pada gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara energi internal pada spesimen rompi anti peluru seiring dengan penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru. Dalam grafik dibawah, terdapat garis yang dapat menunjukkan tren kenaikan energi internal pada spesimen rompi anti peluru. Grafik diatas menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan spesimen rompi anti peluru, maka nilai energi internal spesimen rompi anti peluru akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori dimana ketika rompi anti

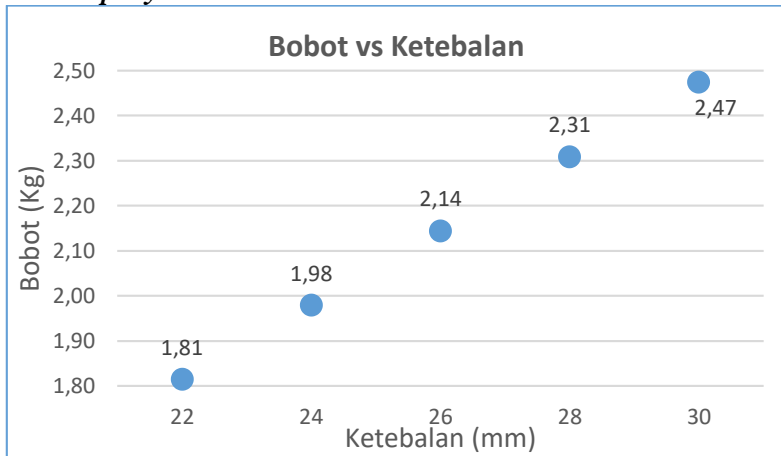
peluru semakin tebal maka kemampuan dari rompi anti peluru untuk menahan laju proyektil peluru akan semakin besar, yang berefek pada energi internal pada rompi anti peluru akan semakin besar. Adanya sebuah nilai energi internal spesimen rompi anti peluru yang tidak mengikuti tren pada ketebalan 26 mm disebabkan oleh kemampuan perangkat lunak simulasi ataupun perangkat keras yang digunakan mengurangi keakuratan hasil simulasi pada saat digunakan.

Sebuah rompi anti peluru dikatakan berhasil ketika suatu bahan dasar rompi anti peluru dapat menyimpan energi internal semaksimal mungkin dari perpindahan energi kinetik peluru setelah tumbukan. Rompi anti peluru dari ketebalan 22 mm sampai dengan 30 mm memiliki energi internal yang semakin meningkat. Dengan penambahan ketebalan rompi anti peluru, dapat dikatakan rompi anti peluru akan bekerja semakin baik.



Gambar 4. 6 Grafik Energi *Internal* pada Spesimen Rompi Anti Peluru

4.2.6. Hasil Simulasi Bobot Spesimen Rompi Anti Peluru *Epoxy-HGM-Serat Sisal Woven*

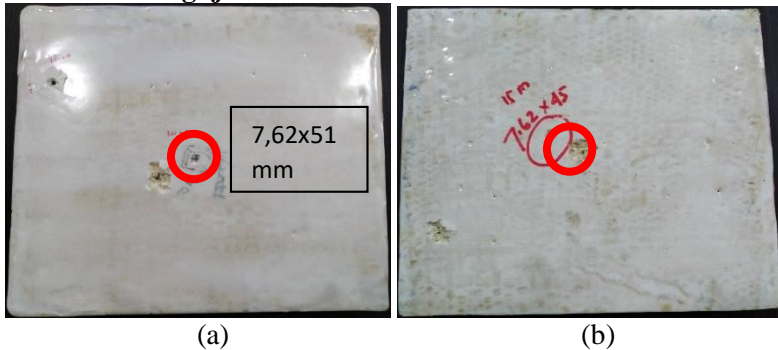


Gambar 4. 7 Bobot Rompi Anti Peluru Terhadap Ketebalan Spesimen Rompi Anti Peluru

Bobot atau berat spesimen rompi anti peluru dalam pembuatan spesimen uji balistik kali ini didapatkan dengan cara mengalikan densitas (massa jenis) dengan volume spesimen uji balistik. Densitas dari material *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* didapatkan dari literatur sebelumnya dan juga hasil eksperimen yang bernilai $1,0643 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan volume spesimen uji didapatkan atau disesuaikan dengan ukuran standar NIJ 0101.06 yang bernilai $2334,1 \text{ cm}^3$.

Pada gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara berat spesimen rompi anti peluru terhadap penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru level IV NIJ 0101.06. Dalam grafik tersebut, terdapat garis yang menunjukkan tren kenaikan berat spesimen rompi anti peluru terhadap penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru. Grafik pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan ketebalan spesimen rompi anti peluru, maka berat dari spesimen rompi anti peluru akan semakin besar.

4.3. Hasil Pengujian Balistik



Gambar 4. 8 Spesimen Rompi Anti Peluru *Epoxy-HGM-Serat Sisal Woven* (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

Pembuatan model dan simulasi model spesimen rompi anti peluru menghasilkan sebuah konfigurasi ketebalan material *epoxy-HGM-serat sisal woven* sebagai bahan dasar pembuatan spesimen rompi anti peluru. Ketebalan yang didapatkan dari hasil simulasi sebesar 30 mm atau bisa dikatakan 15 lapis komposit *epoxy-HGM-serat sisal woven*. Spesimen seperti pada gambar 4.8 harus melalui tahap validasi dengan melakukan pengujian balistik langsung dengan senjata api sesuai standarnya. Senjata yang digunakan adalah jenis *Steyr SSG 08* buatan austria dengan peluru ukuran 7,62x51 mm *Armor Piercing* dengan jarak tembak 50 m. Lokasi pengujian balistik dilakukan di Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat) Brimob Watukosek, Pasuruan, Jawa Timur. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.8. Gambar 4.8 memperlihatkan hasil kerusakan yang diakibatkan uji balistik level IV NIJ 0101.06. Hasilnya menunjukkan bahwa proyektil peluru level IV tersebut dapat menembus spesimen rompi anti peluru dengan material dasar *epoxy-HGM-serat sisal woven* tebal 30 mm. Pengujian juga dilakukan menggunakan 2 jenis peluru yang berbeda yaitu dengan 7,62x45 mm dan 7,62x39 mm. Dalam pengujian tersebut, dua jenis peluru yang berbeda juga dapat menembus spesimen rompi anti peluru.

4.4. Analisis Kegagalan

Perbedaan hasil spesimen rompi anti peluru *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* terjadi pada simulasi dan pengujian langsung (eksperimen), hasil pengujian langsung tidak dapat memvalidasi hasil dari simulasi pengujian balistik. Hasil simulasi pengujian balistik menunjukkan bahwa pada ketebalan spesimen komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *woven* 30 mm, peluru level IV NIJ 0101.06 tidak dapat menembus spesimen, sedangkan pada saat pengujian langsung hasilnya menunjukkan hal yang berbeda dengan hasil simulasi, peluru level IV NIJ 0101.06 dapat menembus spesimen komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *woven*.

Dengan adanya perbedaan hasil simulasi dengan pengujian langsung spesimen komposit *epoxy*-HGM-serat sisal *woven*, maka perlu dilakukan analisis penyebab perbedaan hasil tersebut. Dalam pembuatan analisis kegagalan hasil pengujian balistik, ada tiga tahapan pada proses pembuatan spesimen yang dapat dianalisis, yaitu:

a. Material Dasar Komposit

Material atau bahan penyusun dalam pembuatan komposit terdiri dari *epoxy* sebagai matriks, HGM dan serat sisal *woven* sebagai penguat. Pembuatan serat sisal *woven* dilakukan dengan membuat batasan TEX 0,3 gr/30 cm dengan tujuan menyeragamkan pilinan, lalu pilinan dianyam secara manual sehingga terbentuk sebuah lapis anyaman. Dalam pembuatan *woven* secara manual, kerapatan yang terjadi antar pilinan memungkinkan untuk tidak *uniform*, sehingga kekuatan ikatan yang terjadi juga tidak sama disetiap sisi anyaman. Dari masing-masing bahan penyusun komposit, setiap bahan mempunyai komposisi atau jumlah yang berbeda-beda. *Epoxy* dan HGM dicampur terlebih dahulu dengan perbandingan 84%-16%. Lalu campuran *epoxy*-HGM dengan serat sisal *woven* mempunyai perbandingan komposisi sebesar 70%-30%. Perbandingan komposisi dari setiap bahan penyusun didapat dari studi literatur sebelumnya. Lalu

properties peluru didapatkan dari studi literatur, tetapi tidak semua data yang dibutuhkan didapatkan.

b. Simulasi Spesimen Rompi Anti Peluru

Dalam melakukan simulasi, ada beberapa faktor yang harus dimasukkan agar mendapat hasil yang mendekati hasil eksperimen atau hasil secara *real*. Simulasi dimulai dengan menentukan jenis material yang akan digunakan dan juga nilai *properties* dari setiap jenis material yang digunakan. Nilai *properties* yang dimasukkan didapat dari studi literatur yang sudah didapatkan sebelumnya. Lalu setelah itu pembuatan geometri juga dilakukan berdasarkan dari standar pembuatan spesimen rompi anti peluru yang ada pada NIJ 0101.06. Dimensi dari spesimen rompi anti peluru sudah disamakan dengan standar NIJ 0101.06. Kemudian dilakukan *meshing*, besaran *meshing* ditentukan berdasarkan bentuk komponen dapat terlihat seperti aslinya atau tidak. Lalu menentukan *end time* dari simulasi.

c. Pembuatan Spesimen Uji Balistik

Dari setiap material penyusun, dicampur dan dijadikan satu. Dalam pencampurannya, diharapkan pencampuran antara *epoxy* dan HGM terjadi secara merata, sedangkan pencampuran hanya dilakukan dengan pengadukan secara manual, sehingga pencampuran mungkin tidak terjadi secara merata. Lalu pembuatan komposit spesimen uji balistik dilakukan dengan metode *hand lay-up* kemudian dilakukan pembebanan untuk menekan dan mengeluarkan gas yang terperangkap didalam komposit. Hal tersebut sangat memungkinkan gas yang terperangkap tidak dapat keluar semua, karena pembebanan tidak lebih efektif dibandingkan dengan *vacuum pump* dalam membantu mengeluarkan gas yang terperangkap.

4.4.1 Analisis Densitas

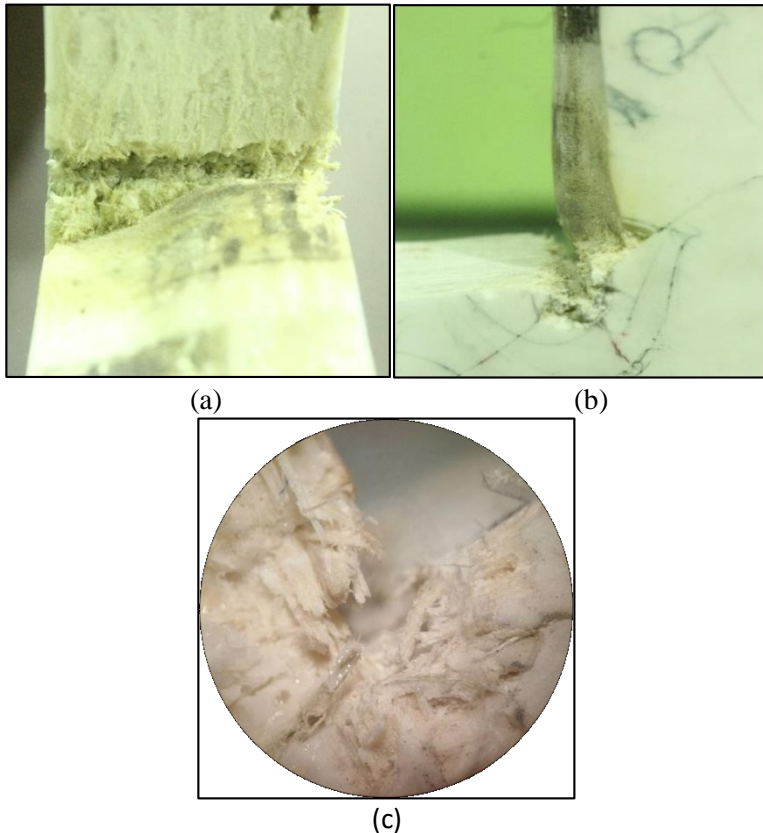
Densitas dapat diartikan sebagai massa per satuan volume. Semakin besar nilai densitas, maka semakin berat suatu benda per satuan volume-nya. Sebelum melakukan eksperimen, didapatkan densitas komposit *epoxy*-HGM-serat sisal woven dari studi literatur sebesar $1,0643 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan pada pembuatan spesimen rompi anti peluru didapatkan massa 2000 gram dengan volume $2324,1 \text{ cm}^3$, sehingga mempunyai densitas sebesar $0,8606 \text{ gr/cm}^3$.

Void adalah adanya udara yang terjebak didalam spesimen komposit yang menyebabkan adanya ruang kosong didalam spesimen rompi anti peluru. Merujuk pada ASTM D792-00 mengenai densitas, didapatkan densitas dari spesimen rompi anti peluru sebesar $0,78 \text{ gr/cm}^3$, lalu dilanjutkan pada ASTM D2734-09 mengenai void, didapatkan jumlah void yang terdapat pada spesimen rompi anti peluru sebesar 26,9%. Dengan adanya void di dalam spesimen rompi anti peluru, maka kemampuan dari spesimen rompi anti peluru akan lebih rendah dari yang seharusnya.



Gambar 4. 9 Bobot Spesimen Uji Rompi Anti Peluru

4.4.2 Analisis Pola Patahan



Gambar 4. 10 (a) Pola Patahan Tampak Samping (b) Pola Patahan Tampak Depan (c) Pola Patahan Perbesaran Makro

Pada gambar 4.11, dapat dilihat pola patahan serat yang terjadi akibat penetrasi dari proyektil peluru. Dari gambar yang terlihat, penguat (serat sisal) mengalami patah. Patahnya serat dapat disebabkan oleh kecepatan putaran dari proyektil peluru dan kerasnya ujung proyektil peluru level IV, karena ujung proyektil sudah mengalami pengerasan khusus (*Armor Piercing*), sehingga lebih keras daripada peluru jenis lainnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Konfigurasi terbaik yang mampu menahan proyektil peluru level IV NIJ 0101.06 dari hasil simulasi yaitu komposit *epoxy-HGM-serat sisal woven* dengan ketebalan 30 mm memiliki BFS dan penetrasi yang memenuhi kriteria NIJ 0101.06 dengan nilai 2,14 mm dan 26,07 mm.
2. Spesimen rompi anti peluru hasil simulasi mempunyai bobot 2,47 kg.
3. Konfigurasi *epoxy-HGM-serat sisal woven* dengan tebal 30 mm mempunyai energi kinetik yang diteruskan ke tubuh pengguna sebesar 99,26 Joule, sehingga memenuhi batas energi yang dapat diterima tubuh manusia.
4. Hasil pengujian balistik menunjukkan peluru level IV NIJ 0101.06 dapat menembus spesimen rompi anti peluru dengan material komposit *epoxy-HGM-serat sisal woven* dengan tebal 30 mm.
5. Diduga adanya *void* sebesar 26,9% dan ujung proyektil peluru yang mengalami pengerasan khusus menjadi penyebab gagalnya spesimen rompi anti peluru untuk menahan laju proyektil peluru level IV NIJ 0101.06.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah:

1. Penggunaan komposit berpenguat serat alami saja tidak mampu menahan laju proyektil peluru, penambahan lapisan plat logam akan membantu menahan laju proyektil peluru.
2. Pemilihan metode pembuatan yang tepat, penggunaan *vacuum pump*, dan penggunaan alat *mixer* dalam pencampuran *epoxy-HGM* akan membuat komposit mempunyai *properties* yang lebih maksimal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Hindun. (2015). *Pengaruh Komposit Epoxy HGM pada Bumper Depan Kendaraan untuk Mereduksi Energi Impact*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.
- American Society for Testing and Materials. 2009. ASTM D2734-09 Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics.
- American Society for Testing and Materials. 2000. ASTM D792-00 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastic by Displacement.
- Azhari, Ridho (2017). Analisa Komposit Multi Reinforcement sebagai material alternatif rompi anti peluru dalam menahan energi impact proyektil. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.
- Balittas. 2014. *Laporan Hasil Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat*. TA. 2014. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Malang.
- Balittas. 2015. *Laporan Hasil Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat* TA. 2015. Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Malang.
- BBSDLP (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian). 2008. *Potensi dan Ketersediaan Sumber Daya Lahan untuk Perluasan Areal Pertanian*. BBSDLP, Bogor.
- Bisanda E.T.N., Ansell M.P. 1991. *The effect of silane treatment on the mechanical and physical properties of sisal-epoxy composites*. Composites Science and Technology. No. 41. pp.165-178.
- Braga, Fabio de Oliveira. 2015. *Performance of natural curaua fiber-reinforced polyester composites under 7.62 mm bullet impact as a stand-alone ballistic armor*. Journal of Mterials research and Technology.
- Callister, William D. dan Rethwisch, David G. 2010. **Materials Science and Engineering an Introduction Eighth Edition page 629, 636, and 662**. John Wiley & Sons, Inc.

- Chand N., Tiwary R.K, Rohatgi P.K. 1988. *Bibliography resource structure properties of natural cellulosic fibres: an annotated bibliography*. Journal of Materials Science. No. 23. pp.381-387
- Gujarat V. 2004. *Project proposals: Global Investors Summit-2004*. Govt. of Gujarat. India.
- Gupta, M K, dkk. (2015). *Properties of Sisal Fibre Reinforced Epoxy Composite*. Departement of Mechanical Engineering, Motilal Nehru National Institute of Technology, Allahabad. India.
- Kaw, Autar K. 2006. *Mechanics of Composite Materials* Second Edition page 18. Taylor & Francis Group, LCC.
- Kusumastuti, Adhi. 2009. *Aplikasi Serat Sisal Sebagai Komposit Polimer*. Jurnal Kompetensi Teknik Vol. 1, No. 1.
- Laksamana, D. 2014. *Mengenal Tanaman Sisal*. <http://www.petanihebat.com/2014/09/mengenal-tanaman-sisal.html>. 8 Maret 2017
- Li Y., Mai Y.M., Ye L. 2000. *Sisal fibre and its composites: a review of recent developments*. *Composites Science and Technology*. No. 60. 2037-2055.
- Manuputty, M. dan P.T. Berhиту. 2010. *Pemanfaatan Material Bambu sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Pengganti Material Kayu untuk Armada Kapal Rakyat yang Beroperasi di Daerah Maluku*. Jurnal Teknologi, 7(2), 788-794.
- Mulyana, A. 2012. *Kawasan Transmigrasi Kembangkan Sisal*. <http://www.rmol.co/read/2012/01/25/53073/Kawasan-Transmigrasi-Kembangkan-Sisal-> 9 Maret 2017.
- Murherjee P.S., Satyanarayana K.G. 1984. *Structure and properties of some vegetable fibres, part 1*. Sisal fibre. Journal of Materials Science. No. 19. pp3925-3934.-
- National Institute of Justice. 2006. *Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06*.
- Nugroho, Joko Ade. (2018). *Aplikasi Komposit Epoxy-HGM-Sisal 90° Woven sebagai Material Sungkup Helm yang Mampu*

- Menahan Penetrasi dan Beban Impact*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya
- OSEC. 2004. *India Automotive Components Industry*. Swiss Business Hub India. OSEC Business network. Switzerland.
- Santoso, B. 2009. *Peluang Pengembangan Agave sebagai Sumber Serat Alam*. Perspektif Vol. 8 No.2 / Desember 2009. ISSN: 1412-8004
- Supriyadi, dkk. 1996. *Panduan Budidaya Tanaman Agave*. Balai Penelitian Tembakau dan Tanaman Serat, Malang.
- The International Institute for Strategic Studies. *ArmedConflicts Database: Data and Analysis on Conflicts Worldwide*. Washington: IISS; 2015. Available from:<http://acd.iiss.org/> [updated 2017].
- Ritonga, Widiyansah, (2014). *Pengaruh Varriasi Fraksi Volume, Temperatur curing dan Post-Curing Terhadap karakteristik Tekan Komposit Epoxy – Hollow Glass Microspheres IMK30K*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Anderson Wellinton Joeleis Gultom

merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Samser Aratua Gultom dan Riama br Pangaribuan, lahir di Jakarta pada 21 Juli 1995. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai pada tahun 2000 hingga 2001 di TK Boncel. Kemudian pendidikan dasar pada tahun 2001 sampai 2007 di SD Budi Mulia Desa Putera. Lalu pendidikan menengah di SMP Negeri 41 Jakarta pada tahun 2007 sampai 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 38 Jakarta pada tahun 2010 sampai 2013. Penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan mengambil Jurusan S1 Teknik Mesin angkatan 2013 dan ‘M56’ dengan NRP 02111340000194.

Selama masa perkuliahan, penulis banyak mendapatkan kesempatan mengembangkan potensi dibidang akademik maupun non-akademik. Pada bidang non-akademik, penulis aktif di organisasi mahasiswa Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) dengan menjabat sebagai Staf Kewirausahaan 2014-2015 dan Kepala Departemen Kewirausahaan 2015-2016. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan laboratorium Metalurgi yaitu sebagai grader, asisten, dan juga koordinator praktikum Metalurgi. Untuk informasi dalam kepentingan penelitian, penulis dapat dihubungi melalui email andersonwellinton@yahoo.com