



TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISA KOMPOSIT *EPOXY-HGM-SERAT RAMI WOVEN* SEBAGAI PANEL ANTI PELURU SENJATA API LARAS PANJANG (*ASSAULT RIFLE*)

ANANTA JATRA SUSETYA
NRP 0211134000078

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TM 141585

**ANALYSIS OF COMPOSITE EPOXY-HGM-WOVEN
RAMI FIBER AS BULLETPROOF PANEL OF
ASSAULT RIFLE**

ANANTA JATRA SUSETYA
NRP 0211134000078

Supervisor
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

**ANALISA KOMPOSIT EPOXY-HGM-SERAT RAMI
WOVEN SEBAGAI PANEL ANTI PELURU SENJATA
LARAS PANJANG (ASSAULT RIFLE)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik
pada Proram Studi S1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

ANANTA JATRA SUSETYA

NRP. 02111340000078

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T** (Pembimbing)
NIP. 197407032000031001
2. **Indra Sidharta, ST., M.Sc.** (Penguji 1)
NIP. 198006192006041004
3. **Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D** (Penguji II)
NIP. 19801152003121001
4. **Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D** (Penguji III)
NIP. 198005202005011003

**SURABAYA
JANUARI 2019**

ANALISA KOMPOSIT *EPOXY-HGM-SERAT RAMI WOVEN* SEBAGAI PANEL ANTI PELURU SENJATA API LARAS PANJANG (*ASSAULT RIFLE*)

Nama Mahasiswa : Ananta Jatra Susetya
NRP : 2113100078
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

ABSTRAK

Hard armor sendiri selain digunakan sebagai body armor, juga digunakan pada kendaraan roda empat. Awal penggunaan Hard armor pada kendaraan roda empat material yang digunakan merupakan plat logam yang tebal dan berat. Seiring dengan perkembangannya zaman Hard armor mulai banyak dikembangkan dengan menggunakan ceramic, material tersebut memiliki kekuatan yang sama kuat dan bobot yang sama beratnya dengan logam. Oleh karena itu di penelitian ini, didapatkan konfigurasi komposit yang dapat menahan penetrasi peluru senjata api laras panjang dan memiliki bobot yang lebih ringan.

Konfigurasi dari komposit yang akan digunakan sendiri akan terdiri dari matriks epoxy dengan penguat serat rami dan HGM. Komposit epoxy-hgm sebagai anti peluru sendiri sebelumnya sudah pernah diteliti oleh Pulungan pada tahun 2017, dengan menambahkan serat karbon sebagai penguat terhadap komposit epoxy-hgm didapatkan komposit anti peluru dengan ketebalan 20 mm dan dapat menyerap energi kinetik sebesar 138,70 Joule.. Untuk penggunaan serat rami didasari dari penelitian oleh LIPI, dimana LIPI pernah meneliti kinerja serat rami sebagai penguat pada komposit untuk menahan peluru. LIPI membandingkan modulus elastisitas serat rami woven dengan serat aramid atau biasa disebut kevlar, dengan hasil sifat mekanik dari serat rami yang hampir sama dengan serat aramid. Oleh

karena itu pada penelitian kali ini digunakan komposit dengan konfigurasi epoxy-hgm-serat rami. Dengan didapatkan konfigurasi yaitu epoxy-hgm-serat rami woven. Dilakukan pembuatan spesimen uji tarik dari konfigurasi komposit tersebut guna didapatkan *mechanical properties* dari material komposit. Setelah didapatkan *mechanical properties* dari komposit lamina epoxy-hgm-rami, dapat dilakukan pendekatan dengan metode *finite element*. Pengujian balistik sesuai dengan NIJ 0101.06 anti peluru level 4 dengan kecepatan peluru 878 m/s dan jarak tembak 15 meter.

Menurut simulasi atau pendekatan dengan metode *finite element* panel anti peluru dengan ketebalan 45 mm memiliki penetrasi terhadap peluru level 4 sebesar 37,33 mm dan BFS atau *back face signature* sebesar 2,44 mm. Panel anti peluru level 4 komposit dengan bahan dasar epoxy-HGM-serat rami pada ketebalan 45 mm memiliki bobot sebesar 3,38 kg. Eksperimen pengujian balistik level 4 dengan peluru 7,62x51 mm memiliki hasil yang berbanding terbalik dengan simulasi yaitu panel anti peluru komposit epoxy-HGM-serat rami gagal menahan kekerasan dan ketajaman peluru level 4. Hal tersebut terjadinya dikarenakan banyaknya void yang timbul pada panel komposit epoxy-HGM-serat rami woven. Dengan menggunakan metode perhitungan void sesuai dengan ASTM D2734-19 didapatkan void sebesar 12,94%.

Kata kunci : anti peluru level 4; serat rami; epoxy; HGM.

ANALYSIS OF COMPOSITE EPOXY-HGM-WOVEN RAMI FIBER AS BULLETPROOF PANEL OF ASSAULT RIFLE

Name : Ananta Jatra Susetya
NRP : 0211134000078
Department : Mechanical Engineer
Advisor : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

ABSTRACT

In addition to being used as a body armor, the hard armor is also used in four-wheeled vehicles. Early use of Hard armor in four-wheeled vehicles The material used is a thick and heavy metal plate. Along with the development of the era Hard armor began to be developed using a lot of ceramic, the material has the same strength and the same weight as metal.

Therefore, in this study, obtained a composite configuration that can withstand the penetration of long barrel firearms and has a lighter weight. The configuration of the composite to be used alone will consist of an epoxy matrix with hemp fiber reinforcement and HGM. Previously studied by Pulungan in epoxy-hgm as bulletproof composite in 2017, adding carbon fiber as an reinforcement to the epoxy-hgm composite obtained a bullet-proof composite with a thickness of 20 mm and can absorb kinetic energy of 138.70 Joules. the use of rami fiber is based on research by LIPI, where LIPI has examined the performance of rami fiber as a reinforcement in composites to resist bullets. LIPI compares the elastic modulus of woven rami fiber with aramid fiber or commonly called kevlar, with the results of mechanical properties of rami fibers which are almost the same as aramid fibers. Therefore, in this study a composite with epoxy-hgm-rami fiber configuration was used. With the configuration of epoxy-hgm-rami woven fiber obtained. The making of tensile test

specimens from the composite configuration is used to obtain the mechanical properties of the composite material. After obtaining the mechanical properties of the lamina epoxy-hgm-hemp composite, an approach using the finite element method can be carried out. Ballistic testing in accordance with NIJ 0101.06 ballistic level 4 with a bullet speed of 878 m / s and a shooting distance of 15 meters.

According to the simulation or approach with the bullet panel finite element method with a thickness of 45 mm, the penetration of ballistic level 4 is 37.33 mm and the BFS or back face signature is 2.44 mm. Level 4 composite bulletproof panel with epoxy-HGM-hemp fiber base material at a thickness of 45 mm has a weight of 3.38 kg. Ballistic level 4 testing experiments with 7.62x51 mm bullets have inversely proportional results with simulations, namely epoxy-HGM-hemp-fiber bulletproof composite panels failed to withstand level 4 bullet hardness and sharpness, this is due to the large number of voids that arise in epoxy-HGM-Hemp woven fiber composite panels. By using void calculation according to ASTM D2734-19 obtained void of 12,94%.

Keyword : Bulletproof level 4; Rami fiber; Epoxy; HGM.

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 dan Ibu, 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., Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D., Suwarno, ST., MSc., PhD. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ibu Vivien Supandhani Djanali S.T., ME., PhD., selaku dosen wali.
5. Seluruh mahasiswa bimbingan Pak Tik yaitu Welly, Rizku, Fahmi, Joko, Sutris, Ujang mas Pendy yang telah membantu mengisi waktu luang Penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh mahasiswa Lab Metalurgi yang tak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah memberikan semangat moril demi selesainya tugas akhir ini.
7. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin ITS 2013 yang telah memberikan semangat dan dorongan secara jasmani dan rohani :*.

8. Seluruh Keluarga Mahasiswa Mesin ITS khususnya yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan dukungan kepada Penulis.
9. Terima kasih kepada Tottenham Hotspur FC, klub yang selalu menemani penulis dikala suka dan duka.

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 salam sejahtera dan TERIMA KASIH.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
daftar gambar	xiv
daftar tabel	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Literatur Sebelumnya	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Hard Armor	6
2.2.2 Assault Rifle	7
2.2.3 Peluru	8
2.2.4 Komposit	9
2.2.5 Epoxy	11
2.2.6 Hollow Glass Microsphere (HGM).....	11
2.2.7 Serat Rami	12
2.2.8 NIJ 0101.06	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir Penelitian	15
3.2 Diagram Alir Simulasi Ketebalan <i>Epoxy-HGM-Rami Woven</i>	16
3.3 Material dan Bahan	17
3.4 Model Uji Panel Anti Peluru	17
3.5 Simulasi	18

3.6	Pembuatan Spesimen Uji	21
3.6.1	Perlatan dan Bahan	21
3.6.2	Langkah – langkah Pengerjaan	21
3.7	Pengujian NIJ 0101.06	23
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA	24
4.1	Spesifikasi dan <i>Mechanical Properties</i> Panel Anti Peluru (Epoxy-HGM-Serat Rami).....	24
4.2	Analisa Data dan Pembahasan Simulasi Panel Anti Peluru.....	26
4.2.1	Hasil Simulasi dan Pembahasan Penetrasi Peluru Terhadap Panel Anti Peluru.....	26
4.2.2	Hasil Simulasi dan Pembahasan BFS (<i>Back Face Signature</i>).....	27
4.2.3	Hasil Simulasi dan Pembahasan Energi Kinetik Peluru.....	28
4.2.4	Hasil Simulasi dan Pembahasan Kecepatan Peluru.....	29
4.2.5	Hasil Simulasi dan Pembahasan Energi Kinetik Sisa Panel Anti Peluru <i>Epoxy-HGM-Serat Rami Woven</i>	31
4.2.6	Hasil Simulasi dan Pembahasan Energi Internal pada Panel Anti Peluru <i>Epoxy-HGM-Serat Rami Woven</i> ...	32
4.2.7	Hasil Simulasi Bobot Panel Anti Peluru <i>Epoxy-HGM-Serat Rami Woven</i>	33
4.3	Pembahasan Eksperimen.....	33
4.4	Analisa Kegagalan Eksperimen	35
4.4.1	Analisa Pola Kerusakan Akibat Penetrasi Peluru	36
4.4.2	Analisa Densitas Panel Anti Peluru <i>Epoxy-HGM-Serat Rami</i>	37
BAB V	Kesimpulan dan Saran	40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran.....	40

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hard Armor (www.armslist.com, 3 Mei 2018).....	7
Gambar 2.2 Assault Rifle Colt M4 (www.thefirearms.guide.com, 3 Mei 2018).....	8
Gambar 2.3 Peluru 7,62x51 mm AP.....	9
Gambar 2.4 Matrix dan penguat (<i>Filler</i>) (Rimbun, 2010)	9
Gambar 2.5 Komposit Lamina (Gibson, 1994).....	10
Gambar 2.6 HGM (HGM IM30K)	12
Gambar 2.7 Serat rami <i>Woven</i>	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.2 Diagram alir simulasi terhadap material panel anti peluru <i>Epoxy-HGM-Rami</i>	16
Gambar 3.3 (a) Model Proyektil 7,62 mm AP (b) Model Panel Anti Peluru	18
Gambar 3.4 (a) <i>Meshing</i> Pada Bagian Peluru dan Panel.....	19
Gambar 3.5 <i>fixed support</i> pada panel anti peluru	19
Gambar 3.6 <i>Displacement</i> pada peluru.....	20
Gambar 3.7 Serat rami <i>woven</i>	22
Gambar 3.8 Konfigurasi 1 layer komposit <i>epoxy-HGM-serat rami</i>	22
Gambar 3.9 Peluru Balistik Level IV <i>Armor Piercing</i> 7,62x33 mm 7,62x45 dan 7,62x51	23
Gambar 4.1 Dimensi Spesimen Uji Balistik NIJ 0101.06.....	25
Gambar 4.2 Grafik Simulasi BFS Terhadap Ketebalan Panel	27
Gambar 4.3 Grafik Energi Kinetik Peluru Sisa Terhadap Ketebalan Panel.....	29

Gambar 4.4 Grafik Simulasi Kecepatan Peluru Sisa Terhadap Ketebalan Panel.....	30
Gambar 4.5 Grafik Energi Kinetik Sisa Panel Terhadap Ketebalan Panel.....	31
Gambar 4.6 Grafik Peningkatan Energi Internal pada Panel Anti Peluru	32
Gambar 4.7 Spesimen Panel Anti Peluru <i>Epoxy</i> -HGM-Serat Rami Sebelum Uji Balistik	34
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Balistik pada Panel Komposit <i>Epoxy</i> -HGM-Serat Rami	34
Gambar 4.9 Diagram <i>Root Cause Analysis</i>	35
Gambar 4.10 (a) Pola Penetrasi Peluru Tampak Depan (b) Struktur Makro Pola Patahan Bagian yang Terkena Penetrasi Peluru.	37
Gambar 4.11 Struktur Makro Komposit <i>Epoxy</i> -HGM-Serat Rami	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Mechanical Properties</i> HGM (Ahmat Safaat, 2017) ..	12
Tabel 2.2 Kriteria Standar Pengujian NIJ 0101.06	14
Tabel 4.1 Spesifikasi Panel Anti Peluru <i>Epoxy-HGM</i> -Serat rami <i>Woven</i>	25
Tabel 4.2 Data Simulasi Penetrasi Terhadap Ketebalan Panel Anti Peluru	26
Tabel 4.3 Simulasi Bobot Panel Anti Peluru	33
Tabel 4.4 <i>Root Cause Analysis</i> tabel	36
Tabel 4.5 Perbandingan Densitas Panel Simulasi dan Eksperimen	37

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia militer, senjata api merupakan suatu bagian yang sangat penting. Dunia militer selalu identik dengan perang dan peratahanan, dimana perang dan pertahanan militer tersebut selalu menggunakan senjata api. Seiring dengan perkembangan zaman teknologi perang pun berkembang dimana kendaraan roda 4 digunakan untuk perang, sehingga mengikuti perkembangan tersebut teknologi senjata pun dibuat untuk dapat menembus kendaraan roda empat atau terkadang disebut senjata laras panjang. Dengan senjata yang dapat menembus kendaraan roda empat, rompi anti peluru yang biasa digunakan tidak dapat menahan kekuatan peluru laras panjang. Oleh karena itu timbulnya inovasi yaitu *Hard Armor* yang dapat menahan peluru laras panjang.

Hard armor sendiri selain digunakan sebagai *body armor*, juga digunakan pada kendaraan roda empat. Awal penggunaan *Hard armor* pada kendaraan roda empat material yang digunakan merupakan plat logam yang tebal dan berat. Seiring dengan perkembangannya zaman *Hard armor* mulai banyak dikembangkan dengan menggunakan *ceramic*, material tersebut memiliki kekuatan yang sama kuat dengan plat logam dan berat yang lebih ringan, tetapi memiliki harga yang cukup mahal. Dengan melihat hal tersebut, perlu adanya alternatif material lain yang memiliki bobot lebih ringan dari plat logam dan *ceramic* tersebut, serta dari segi ekonomi memiliki harga yang lebih murah dan kekuatan yang dapat menyamai kekuatan logam dan *ceramic*.

Salah satu material yang dikembangkan dalam menggantikan *hard armor* atau disebut dengan panel balistik level 4 tersebut yaitu material komposit. Komposit merupakan suatu bahan yang terbuat atau terdiri dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik yang berbeda. Material komposit telah dikembangkan sejak beberapa abad sebelum masehi diberbagai wilayah dunia seperti Mesir, Jepang hingga Eropa bahkan

Indonesia. Pada umumnya material komposit ini dikembangkan untuk meningkatkan kualitas persenjataan yang berbasis material logam (Schwartz, 1984). Konfigurasi dari komposit yang akan digunakan sendiri akan terdiri dari matriks *epoxy* dengan penguat serat rami dan HGM.

Serat rami (*Bohemia Nivera*) merupakan salah satu serat alam dari sekian banyak serat alam yang dapat digunakan untuk material komposit. Pada tahun 2006, Mujiyono (UNS) pernah meneliti mengenai kekuatan serat rami dalam menaham peluru balistik level III dan IV, mengatakan bahwa Serat rami merupakan serat alam berbasis selulosa paling kuat. Mujiyono juga mengatakan bahwa serat rami dapat menahan peluru balistik level IIIA.

Suryaneta (2007) dari Universitas Indonesia pernah melakukan pengujian kinerja serat rami sebagai *reinforcement* pada komposit panel anti peluru. Suryaneta mengatakan serat rami yang disusun secara *wooven* atau tenunan dapat meningkatkan ketahanan *impact* dari komposit (Suryaneta, 2007). Hasil dari pengujian kinerja rami tersebut yaitu, performa panel anti peluru gagal ditembus peluru dengan fraksi volume 17,8% tenunan rami. Lipi juga pernah mengatakan pada tahun 2005, bahwa LIPI memilih serat rami karena memiliki sifat yang sebanding dengan dengan *kevlar* (LIPI, 2005). Dan serat rami juga mudah diperoleh dalam negeri sehingga memiliki harga yang lebih murah.

Penggunaan HGM atau *Hollow Glass Microsphere* sudah terbukti dapat meredam energi *impact*. Penelitian tentang HGM sendiri pernah dilakukan oleh Zahrah pada tahun 2015, mengenai kemampuan rompi anti peluru yang terbuat dari komposit HGM 16%, dengan ketebalan 25 mm dapat menyerap energi kinetik peluru sebanyak 149,5 Joule (Zahrah, 2015). Penelitian mengenai komposit epoxy-HGM sebagai rompi anti peluru kembali dilakukan Oleh Anhar Pulungan pada tahun 2017. Komposit epoxy-HGM yang ditambahkan dengan serat karbon dengan ketebalan total 20 mm dapat menyerap energi kinetik sebesar 138,77 Joule, dengan bobot rompi anti peluru 1,384 kg. Pada

Tahun 2017, Ridho melakukan penelitian mengenai komposit epoxy-HGM yang ditambahkan dengan serat sisal, dengan hasil energi kinetik yang diseram rompi anti peluru sebesar 98,14 Joule (Pulungan, 2017)

Dalam penelitian ini serat rami akan dibuat anyaman diikat dengan matriks epoxy-HGM yang akan disusun menjadi beberapa lapis sehingga menjadi satu kesatuan. Komposit dalam penelitian ini akan menggabungkan lapisan penguat serat rami *woven* yang disusun dengan jumlah dan urutan tertentu dalam satu matrik. Dengan digabungkannya antara serat rami dan HGM yang membentuk komposit berlapis maka diharapkan akan tercipta sifat serta karakteristik yang baru.

Dari latar belakang yang sudah di sampaikan, di penelitian kali ini akan dilakukan penelitian terhadap panel anti peluru untuk menahan peluru dengan kekuatan balistik level IV, dengan menggunakan komposit yang berkonfigurasi epoxy-HGM dan Serat Rami.

1.2 Rumusan Masalah

Hard armor pada kendaraan roda empat yang terbuat dari *ceramic* dan plat logam sudah beredar di pasaran sudah sesuai dengan standar NIJ 0101.06 tetapi masih memiliki kekurangan, dimana kekurangannya yaitu pada bobot *hard armor* yang cukup tinggi.

Pada Tahun 2016 Toyota memproduksi Fortuner yang dilapisi dengan baja anti peluru. Bobot awal Toyota Fortuner sebelum dilapisi baja anti peluru yaitu sebesar 1.88 ton, tetapi setelah dilapisi dengan baja anti peluru bobot dari Fortuner tersebut bertambah menjadi 3.7 ton. Hal tersebut menjadi salah satu permasalahan yang terjadi pada panel anti peluru level 4 atau untuk senjata laras panjang. Oleh karena itu pada penelitian kali ini digunakan komposit dengan konfigurasi epoxy-hgm-serat rami.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi komposit *Hard armor* sebagai panel anti peluru pada kendaraan roda empat dengan ketebalan yang dapat menahan peluru balistik level IV sesuai dengan standar NIJ 0101.06 dengan bobot yang ringan.

1.4 Manfaat

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.

1.5 Batasan Masalah

Batasan yang diberikan pada penelitian ini agar didapatkan hasil yang diharapkan yakni,

1. Geometri dan metode pengujian mengikuti standar pengujian balistik anti peluru level 4 NIJ 0101.06
2. Diameter serat rami yang digunakan sebagai penguat disusun secara *woven* dengan diameter diasumsikan sama.
3. Serat rami yang digunakan sebagai penguat didapatkan dari Balai Penelitian Tanaman dan Serat

1.6 Sistematika 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 *Epoxy*-HGM dan serat rami merupakan komposit yang disusun secara berlapis dan menggunakan serat alam yang dianyam yaitu serat rami *woven*. Komposit lapisan sendiri adalah jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri (Schwartz, 1984). Schwartz juga mengatakan yang dimaksud dengan komposit *multi reinforcement* merupakan suatu komposit yang memiliki lebih dari dua penguat pada matriksnya.

Penggunaan serat rami sebagai penguat pada komposit sebelumnya sudah pernah diteliti dan dibuktikan bahwa serat rami merupakan serat alam yang dapat menahan penetrasi peluru. Salah satu lembaga yang ternama dan pernah meneliti mengenai serat rami yaitu LIPI, dimana dalam penelitian tersebut LIPI membandingkan modulus elastisitas serat rami dengan serat aramid atau kevlar. Selain itu mengenai bentuk susunan serat rami yang digunakan, pada tahun 2014 Abdul Kadir, dkk pernah menganalisa mengenai pengaruh pola anyaman serat alam pada komposit terhadap kekuatan tarik. Dimana Abdul Kadir, dkk mengatakan serat alam yang disusun secara *woven* lebih baik dibandingkan serat alam yang disusun secara kontinu dan acak, hal tersebut dikarenakan dengan menggunakan pola *woven* ikatan antar serat lebih kuat dengan terjadinya interface antar matriks dan serat yang lebih merata. Selain itu dengan menggunakan pola *woven* akan membuat serat alam pada komposit tidak mudah bergerak dan meminimalkan terjadinya *void* (Abdul Kadir, 2014).

Pada tahun 2014 pernah dilakukan penelitian oleh Mujiono mengenai serat rami, dimana panel anti peluru yang terbuat dari serat rami yang ditenun atau dianyam dapat menahan peluru balistik level IIIA, tetapi gagal menahan peluru balistik level IV karena ketajaman peluru tipe AP tersebut. Dimana setelah ditinjau

panel peluru yang gagal menahan peluru balistik level IV perlu ditambahkannya lapisan pada anyaman serat rami pada panel tersebut (Mujiono, 2014).

Oleh karena itu perlu adanya tambahan literatur mengenai ketahanan komposit terhadap energi *impact* peluru. Penelitian mengenai penyerapan energi *impact* 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 Hard Armor

Untuk kategori *armor* dibedakan menjadi dua jenis menurut fungsi kekuatannya yaitu ada *soft armor* dan *Hard armor*. Untuk *soft armor*, merupakan lapisan anti peluru yang biasanya digunakan untuk menahan peluru laras pendek seperti *Revolver*, *Magnum* dan *Colt*. *Soft Armor* sendiri biasanya terbuat dari *kevlar*, dikarenakan pada lapisan anti peluru ini diperlukan lapisan yang memiliki fleksibilitas tinggi. Sedangkan untuk *Hard Armor*, merupakan suatu lapisan anti peluru yang berbentuk panel. Pada umumnya, *Hard armor* yang ada di pasaran terbuat dari keramik dan plat baja. Penggunaan keramik dan plat baja sendiri dikarenakan diperlukannya untuk menahan peluru untuk senjata api laras panjang.



Gambar 2.1 Hard Armor (www.armslist.com, 3 Mei 2018)

2.2.2 Assault Rifle

Assault Rifle adalah terjemahan dari kata bahasa Jerman yaitu *Sturmgewehr*, penamaan ini pertama kali disematkan oleh Adolf Hitler untuk menjelaskan kegunaan *Maschinenpistole 43*, yang kemudian di namakan kembali sebagai *Sturmgewehr 44*, yang merupakan sebagai konsep senjata laras panjang yang mempengaruhi model semua senapan modern sekarang.

Assault Rifle menjadi istilah untuk semua senjata api yang memiliki fungsi yang sama dengan *Stg 44*. Sebuah senjata api harus mengikuti karakteristik yang sama untuk dapat disebut senjata tersebut *assault rifle* yaitu :

- Haruslah sebuah senapan individu yang ditembakkan dengan menempelkan di bahu (memiliki popor bahu)
- Harus memiliki pilihan untuk menembak otomatis, semi otomatis atau *burst* 3 butir
- Harus memiliki kartrid dengan kekuatan menengah : lebih kuat dari kartrid pistol
- Amunisi harus di pasok dari *magazine* (kotak peluru) yang dapat dilepas



Gambar 2.2 Assault Rifle Colt M4 (www.thefirearms.guide.com, 3 Mei 2018)

2.2.3 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 dimulai 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.

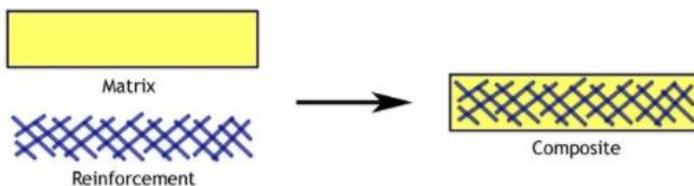
Perkembangan selanjutnya, bentuk peluru berubah menjadi model *armor piercing* dimana proyektil peluru dan bubuk mesiu disatukan dalam sebuah selongsong. Selongsong atau *core* tersebut memiliki ketajaman dan nilai kekerasan dari peluru model FMJ. Model peluru ini menjadi cikal bakal peluru yang ada sekarang. Perkembangan terkini model peluru menggunakan model AP (*armor piercing*) 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 2.3 Peluru 7,62x51 mm AP

2.2.4 Komposit

Komposit adalah material yang tersusun atas campuran dua atau lebih material dengan sifat kimia dan fisika berbeda, dan menghasilkan sebuah material baru yang memiliki sifat-sifat berbeda dengan material-material pengusunnya. Salah satu contoh paling mudah dari material komposit adalah beton cor yang tersusun atas campuran dari pasir, batu koral, semen, besi, serta air. Nampak bahwa material-material penyusun tersebut memiliki sifat-sifat yang berbeda-beda, namun ketika dicampurkan dengan perbandingan serta teknik tertentu akan menghasilkan beton yang sangat kuat, keras, dan tahan terhadap berbagai cuaca.



Gambar 2.4 *Matrix* dan penguat (*Filler*) (Rimbun, 2010)

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)

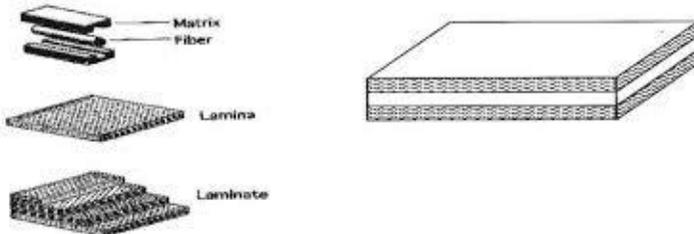
MMC menggunakan logam sebagai matriksnya dan memiliki keunggulan tahan terhadap temperatur tinggi, memiliki ketahanan aus dan termal yang baik, dan memiliki kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi.

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.

2.2.4.1 Komposit Lamina

Lamina adalah gabungan dari dua atau lebih lapisan (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Sebagai elemen sebuah struktur, lamina yang serat penguatnya searah saja, pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk.



Gambar 2.5 Komposit Lamina (Gibson, 1994)

2.2.5 Epoxy

Epoxy adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda. Ini disebut sebagai "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok epoksida di kedua ujung. Epoxy resin Paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A, meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Pengeras terdiri dari monomer polyamine, misalnya Triethylenetetramine (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut "curing", dan dapat dikontrol melalui suhu, pilihan senyawa resin dan pengeras, dan rasio kata senyawanya; proses dapat mengambil menit untuk jam. Beberapa formulasi manfaat dari pemanasan selama masa penyembuhan, sedangkan yang lainnya hanya memerlukan waktu, dan suhu ambien.

2.2.6 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 2.6 HGM (HGM IM30K)

Tabel 2.1 *Mechanical Properties* HGM (Ahmat Safaat, 2017)

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

2.2.7 Serat Rami

Serat rami merupakan salah satu serat tanaman kuat dan dapat diproduksi secara cepat dengan frekuensi panen tiga kali per tahun. Serat ini dapat diekstrak dengan cara mengambil serat kulit tanaman rami tersebut. Biasanya, panjang dan diameter ekstrak serat tersebut bervariasi berturut-turut antara 6 hingga 50 cm dan antara 20 hingga 35 mikrometer. Jika dibandingkan dengan serat alam lain, serat ini tergolong salah satu serat terkuat dengan komposisi selulosa (65-75%) dan lignin (1-2%). Sebagai perbandingan, kayu memiliki kandungan selulosa 40-50% dan kandungan lignin 15-35%. Bila serat rami ditarik atau dikupas dari

batang tanamannya, akan didapatkan serat rami dalam bentuk gumpalan. Gumpalan tersebut dapat diproses lebih lanjut guna memisahkan masing-masing serat yang menempel bersamaan atau digunakan secara langsung untuk mencegah kerusakan serat.

Menurut Abdul Kadir pada tahun 2014 telah meneliti mengenai pengaruh pola susunan serat alam pada komposit. Dimana Abdul Kadir mengatakan dengan pola susunan serat alam yang di anyam atau *woven* memiliki performa lebih baik terhadap kekuatan tarik, hal tersebut terjadi karena dengan serat alam yang di anyam ikatan *interface* antara matriks dan serat alam lebih baik. Sehingga digunakan serat rami *woven* sebagai konfigurasi komposit *hard armor*. Gambar serat rami dalam bentuk serat maupun anyaman dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 2.7 Serat rami *Woven*

2.2.8 NIJ 0101.06

NIJ 0101.06 merupakan standar yang diterbitkan oleh US Department of Justice. Dalam NIJ 0101.06 diatur kriteria dan tata cara pengujian yang dilakukan terhadap *body armor* atau rompi anti peluru. Adapun kriteria dan syarat kerja pengujian tercantum pada Tabel 2.2.

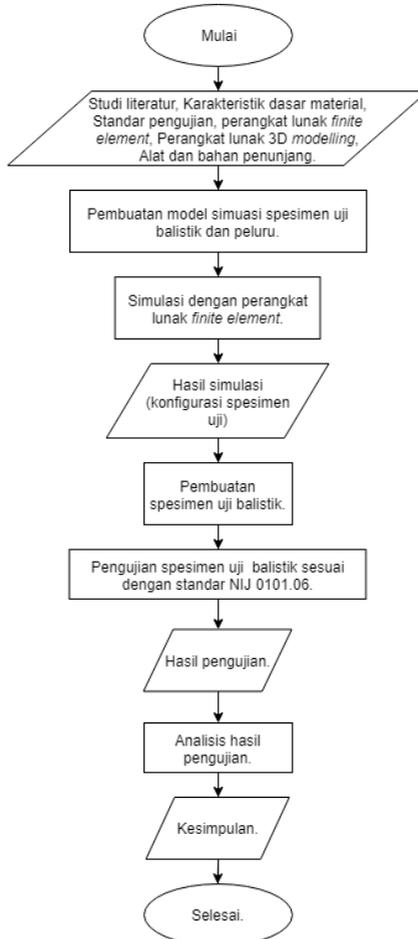
Tabel 2.2 Kriteria Standar Pengujian NIJ 0101.06

Syarat kerja	Kriteria
<ul style="list-style-type: none"> • Jarak tembak minimal 15 meter dari model uji panel anti peluru • Tipe peluru 7,62 mm AP ditembakkan dengan Sejata api laras panjang ($v \approx 878$ m/s) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Backface signature</i> yang terjadi pada <i>hard armor</i> ≤ 44 mm • <i>Hard armor</i> tidak tembus oleh peluru

Hard armor yang tidak tertembus peluru merupakan kriteria utama suatu *armor* dikatakan anti peluru, dengan melihat apakah peluru dapat menembus hingga permukaan bagian belakang komposit *hard armor*. Selain itu, ketika *hard armor* sudah tidak tertembus peluru perlu melihat lagi kriteria yang kedua yaitu *Back face Signature* kurang dari 44 mm. BFS merupakan suatu bekas atau dampak dari energi kinetik yang diberikan peluru ke *Hard armor*. Untuk mengetahui BFS dari suatu *hard armor*, saat pengujian perlu diberikan *backing material* pada bagian belakang *hard armor* berupa *clay* atau tanah liat sehingga dapat diukur deformasi akibat energi kinetik peluru atau *back face signature*

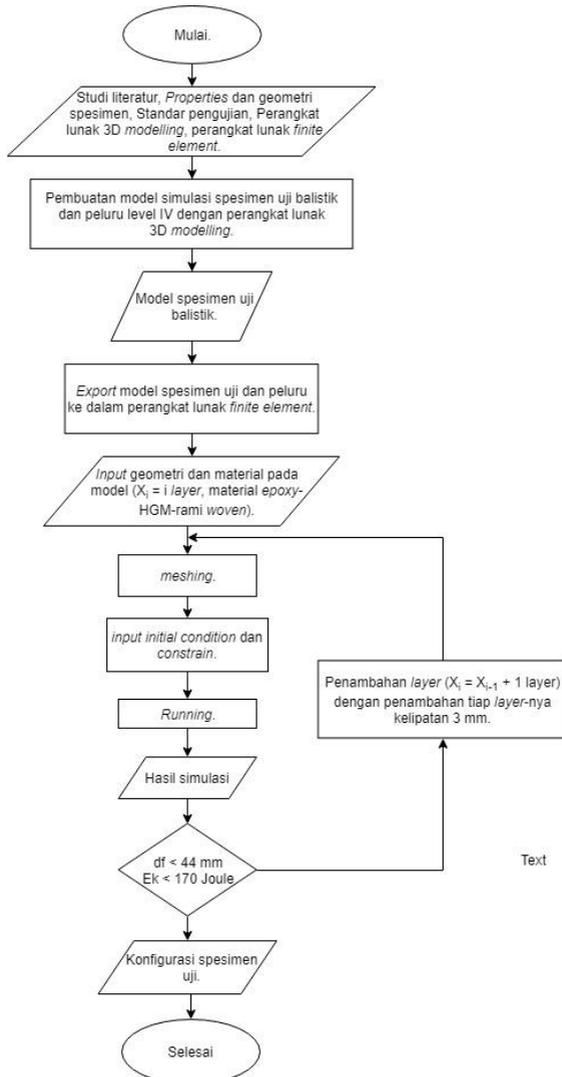
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Diagram Alir Simulasi Ketebalan *Epoxy-HGM-Rami Woven*



Gambar 3.2 Diagram alir simulasi terhadap material panel anti peluru *Epoxy-HGM-Rami*

3.3 Material dan Bahan

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. Epoxy

Epoxy merupakan suatu polimer *thermosett* yang berfungsi sebagai matriks atau pengikat dari pengisi yang akan dipadukan seperti. *Properties* mengenai Epoxy didapat dari pengujian tarik spesimen yang sudah dipadukan dengan pengisi seperti HGM, serat rami dan serat carbon

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. *Properties* dari HGM didapat dari spesimen yang dilakukan pengujian tarik. Spesimen komposit tersebut ber matriks epoxy dang penguat HGM, serat rami dan serat carbon.

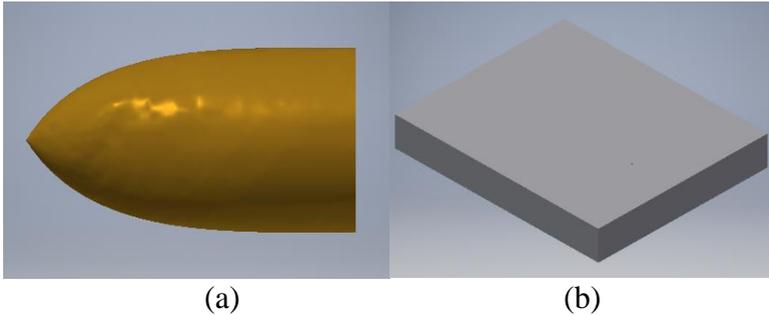
3. Serat Rami

Penelitian sebelumnya mengenai serat rami dilakukan oleh LIPI. LIPI mengatakan bahwa serat rami merupakan serat alam yang cocok sebagai pengganti serat *aramid*. Dari penelitian tersebut diperoleh informasi pendukung mengenai serat rami.

3.4 Model Uji Panel Anti Peluru

Geometri model uji panel anti peluru yang digunakan mengacu pada NIJ 0101.06. Peluru yang digunakan dalam pengujian merupakan peluru *Armor Piercing* 7,62 mm, atau peluru yang biasa digunakan pada senjata api laras panjang. *Properties* material yang diterapkan pada model disesuaikan dengan material

yang akan digunakan pada pengujian eksperimental. Adapun geometri model uji tercantum pada gambar 3.3 dan 3.4.



Gambar 3.3 (a) Model Proyektil 7,62 mm AP (b) Model Panel Anti Peluru

3.5 Simulasi

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

1. Pembuatan model

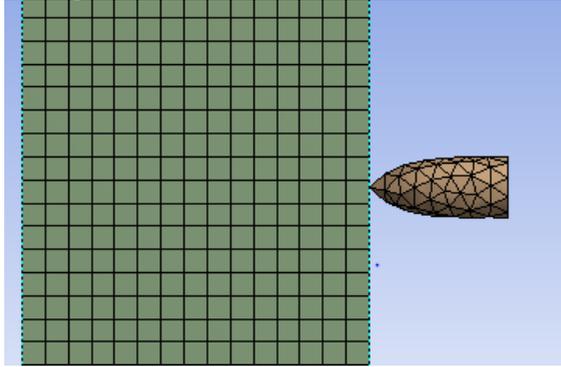
Geometri model uji proyektil dan rompi anti peluru mengacu pada ketentuan NIJ 0101.06. Pembuatan model menggunakan perangkat lunak 3D-CAD. Selanjutnya, dilakukan proses *assembly* terhadap model panel dan peluru sesuai dengan ketentuan NIJ 0101.06. Setelah itu, model uji peluru dan panel anti peluru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

2. *Material and properties*

Nilai properties dari suatu material dimasukkan ke dalam sub menu engineering data pada perangkat lunak *finite element*. Adapun properties material yang dimasukkan merupakan properties material Epoxy-HGM-serat rami dengan fraksi berat 40% Epoxy-HGM-serat karbon dan 60% serat rami.

3. Meshing

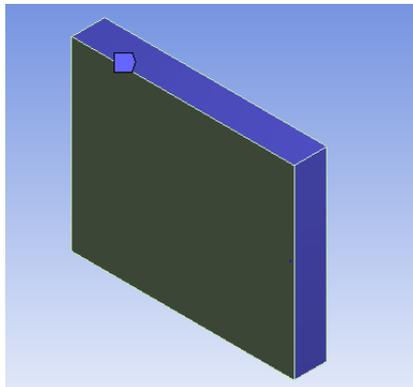
Meshing atau penentuan simpul – simpul pengamatan suatu komponen yang terhubung satu sama lain (*nodes*). Pemilihan meshing ditujukan untuk mengatur tingkat keakuratan hasil simulasi.



Gambar 3.4 (a) Meshing Pada Bagian Peluru dan Panel

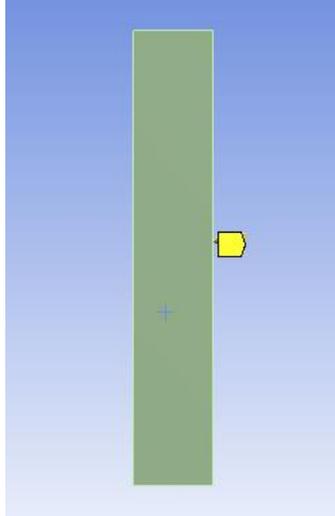
4. Boundary conditions

Pada *boundary condtion*, dilakukan pengkondisian area-area *fixed support*, *displacement* dan pemberian initial condition seperti kecepatan yang bekerja pada peluru *Armor Piercing* seperti pada gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3.5 *fixed support* pada panel anti peluru

Pemberian kondisi *fixed support* pada permukaan di keempat sisi panel anti peluru, hal tersebut dilakukan agar panel tidak ikut bergerak ketika dikenai peluru.



Gambar 3.6 *Displacement* pada peluru

Pemberian kondisi *displacement* pada model proyektil peluru, dimana pemberian arah *displacement* pada sumbu x dan y dianggap nol dan *displacement* pada sumbu z dianggap bebas. Hal tersebut dilakukan untuk melihat arah *displacement* peluru hanya pada sumbu z atau tepat mengarah ke panel anti peluru.

5. *Running*

Proses running dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi.

6. *Analisa hasil simulasi*

Analisa hasil simulasi ditujukan untuk memperoleh konfigurasi komposit lamina yang memenuhi ketentuan NIJ 0101.06. Dari konfigurasi yang didapatkan, dipilih konfigurasi dengan massa paling kecil untuk selanjutnya dilakukan pembuatan *prototype*.

3.6 Pembuatan Spesimen Uji

Prototype dibuat berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari proses simulasi. Hasil simulasi berupa geometri panel anti peluru beserta konfigurasi ketebalan komposit *Epoxy-HGM-serat rami*. Dari beberapa hasil yang memenuhi kriteria, diambil geometri (konfigurasi) dengan massa terendah. Hal tersebut dipertimbangkan atas dasar penggunaan panel anti peluru dengan bobot yang ringan.

3.6.1 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

1. Peralatan keselamatan : masker, sarung tangan, kacamata, celemek
2. Alat bantu : gunting, serbet, cutter, kertas gosok, penggaris, dan kuas.
3. Epoxy resin, *hardener*, *Hgm*, serat rami
4. Peralatan dan bahan penunjang lain yang mendukung (box).

3.6.2 Langkah – langkah Pengerjaan

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

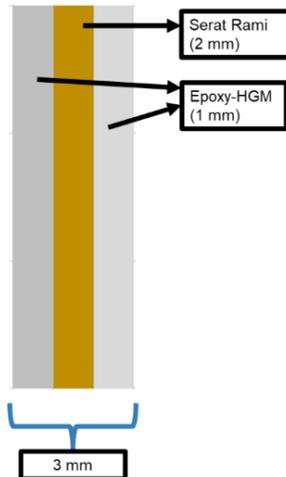
1. Persiapan alat dan bahan.
2. Permukaan *box* yang akan digunakan sebagai cetakan dipastikan bersih dan halus.
3. Wax dioleskan pada permukaan *box* dan digosok hingga merata. Pengolesan dan penggosokan dilakukan beberapa kali hingga halus dan merata.
4. *Hgm* dicampur dengan resin *Epoxy* dan diaduk hingga merata (16 % HGM).
5. *Hgm-epoxy* dituangkan ke dalam cetakan
6. Peletakan serat rami woven diatas tuangan *hgm* dan resin *epoxy*
7. HGM kembali dituangkan diatas serat rami *woven*.
8. Kembali dilakukan hingga ketinggian sesuai dengan ketebalan pada simulasi.

9. Perataan tuangan HGM-epoxy pada cetakan
10. Proses *curing* komposit pada suhu ruangan selama 24 jam.



Gambar 3.7 Serat rami *woven*

Setelah dilakukan prosedur pembuatan panel uji balistik, didapatkan 15 layer komposit *epoxy-HGM-serat rami* dengan ketebalan 45 mm.



Gambar 3.8 Konfigurasi 1 layer komposit *epoxy-HGM-serat rami*

3.7 Pengujian NIJ 0101.06

Pengujian eksperimental yang dilakukan mengacu pada NIJ 0101.06 yang diterbitkan oleh *US Department of Justice*. Pengujian dilakukan setelah prototype dibuat dan dilakukan pengecekan terhadap kondisi fisik panel anti peluru. Selanjutnya,. Pengujian dilakukan oleh perwakilan Pusdiklat Brimob.

Pengujian balistik tipe IV dilakukan di Pusdiklat Brimob, Watukosek, Pasuruan. Dengan menggunakan tiga tipe peluru balistik level IV yaitu 7,62x33 mm, 7,62x45 dan 7,62x51 mm



Gambar 3.9 Peluru Balistik Level IV *Armor Piercing* 7,62x33 mm, 7,62x45 dan 7,62x51

Pengujian balistik dilakukan dengan 1 tembakan masing masing peluru, dengan jarak tembak sejauh 50 m untuk peluru 7,62x45 mm dan 7,62x51 mm, sedangkan untuk peluru 7,62x33 mm dengan jarak tembak sejauh 15 m

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA

4.1 Spesifikasi dan *Mechanical Properties* Panel Anti Peluru (Epoxy-HGM-Serat Rami)

Permodelan panel anti peluru dengan menggunakan bahan material *epoxy*-HGM dan serat rami terhadap penetrasi, bfs (*back face signature*), kecepatan peluru, energi kinetik peluru dan energi kinetik sisa panel. Ketebalan material panel anti peluru divariasasi antara 3-45 mm dengan besar 3 mm tiap layer. Permodelan dilakukan dengan menggunakan metode *finite element*.

Ketebalan dari panel anti peluru yang berbahan komposit *epoxy-hgm* dan serat rami memiliki beberapa kriteria yang perlu dipenuhi untuk dapat dikatakan bahwa panel tersebut anti peluru, antara lain

1. Keberhasilan panel anti peluru tersebut dalam menahan peluru, hal tersebut dilihat dari tertembus atau tidak nya panel anti peluru.
2. BFS atau *Back Face Signature*, merupakan suatu deformasi yang terjadi pada bagian belakang panel anti peluru. Menurut NIJ 0101.06 maksimal deformasi pada panel anti peluru agar tidak mengenai pengguna yaitu maksimal 44 mm.

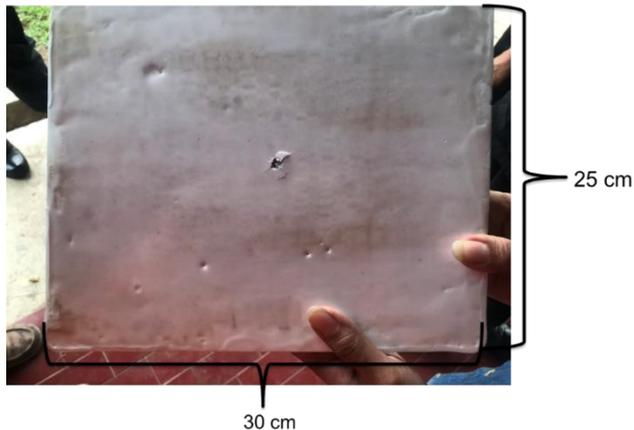
Berdasarkan model yang telah dibuat, didapatkan bobot sesuai dengan densitas dan volume yang ditampilkan pada *software* 3D CAD. Massa panel diperoleh dari perkalian antara *density* dari *epoxy-hgm*-serat rami dan volume panel.

Tabel 4.1 Spesifikasi Panel Anti Peluru *Epoxy-HGM-Serat rami Woven*

Ketebalan (mm)	Densitas (g/cm ³)	Volume (cm ³)	Bobot (Kg)
33	0,97	2556,5	2,479
36		2788,9	2,743
39		3021,3	2,931
42		3253,7	3,156
45		3486,1	3,381

panel yang digunakan

Dari hasil simulasi dengan melihat kriteria standar NIJ 0101.06 didapatkan panel anti peluru *epoxy-HGM-serat rami woven* dengan ketebalan 45 mm dan bobot sebesar 3,381 kg. Bentuk spesimen uji menyesuaikan dengan standar pengujian balistik NIJ 0101.06.



Gambar 4.1 Dimensi Spesimen Uji Balistik NIJ 0101.06

Dengan melihat hasil simulasi dan permodelan didapatkan panel anti peluru tipe IV dengan ketebalan 45 mm dan bobot sebesar 3,38 kg. Melihat panel anti peluru tipe 4 yang sudah beredar dipasaran salah satu contoh yaitu *Balistic Ceramic AR500* dengan densitas 1,56 g/cc dengan tebal 29 mm, ukuran dimensi

sesuai dengan standar balistik NIJ 0101.06 yaitu 25cm x 30 cm memiliki bobot sebesar 3,4 kg

4.2 Analisa Data dan Pembahasan Simulasi Panel Anti Peluru

4.2.1 Hasil Simulasi dan Pembahasan Penetrasi Peluru Terhadap Panel Anti Peluru

Energi kinetik yang disebabkan oleh peluru terhadap panel mengalami penurunan, hal tersebut terjadi dikarenakan kecepatan peluru juga mengalami penurunan ketika peluru bertumbukan dengan panel. Penurunan kecepatan peluru tersebut akan semakin tinggi ketika ketebalan panel semakin besar, sehingga kedalaman penetrasi juga berkurang. Data pada tabel 4.1 dibawah ini menunjukkan pengaruh ketebalan panel anti peluru komposit *Epoxy-HGM* dan serat rami terhadap penetrasi peluru.

Tabel 4.2 Data Simulasi Penetrasi Terhadap Ketebalan Panel Anti Peluru

Ketebalan (mm)	Penetrasi (mm)
27	174,36
30	44,28
33	38,78
36	39,54
39	37,87
42	43,29
45	37,33

lolos standar NIJ 0101.06

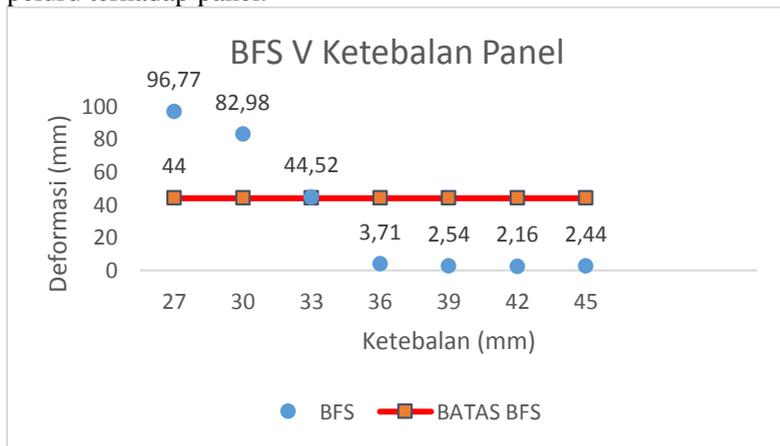
Tabel 4.2 menunjukkan bahwa semakin bertambah ketebalan panel anti peluru, maka kemampuan peluru untuk berpenetrasi ke panel juga semakin berkurang. Menurut standar NIJ 0101.06 menyatakan bahwa deformasi pada bagian belakang panel yang dibutuhkan agar panel dapat digunakan lebih baik adalah sebesar 44 mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada ketebalan 45 mm peluru *level IV Armor Piercing* dapat berpenetrasi sejauh 37,33 mm yang berarti bahwa peluru gagal menembus

ketebalan dari panel. Hal tersebut juga diikuti dengan bfs yang terjadi sebesar 2,21 mm. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa panel dengan ketebalan 45 mm telah memenuhi standar dari NIJ 0101.06.

Penurunan penetrasi diakibatkan dari sifat mekanik dari material HGM dan serat rami yang tangguh dan memiliki kekakuan yang cukup baik sehingga penetrasi berkurang seiring bertambahnya ketebalan panel anti peluru.

4.2.2 Hasil Simulasi dan Pembahasan BFS (*Back Face Signature*)

BFS atau *back face signature* merupakan suatu deformasi yang terjadi pada bagian belakang panel uji balistik, deformasi tersebut terbentuk dikarenakan adanya tumbukan dan penetrasi peluru terhadap panel.



Gambar 4.2 Grafik Simulasi BFS Terhadap Ketebalan Panel

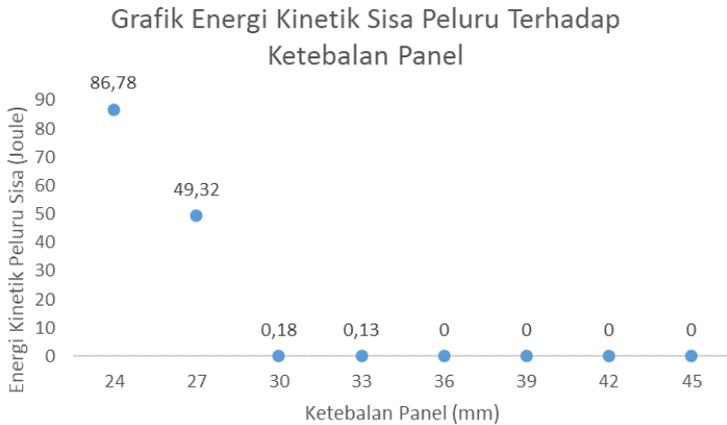
Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa menurut Standar NIJ 0101.06 *back face signature* yang diperbolehkan pada suatu panel anti peluru yaitu maksimal sebesar 44 mm. Pada ketebalan 27 mm, hasil simulasi menunjukkan adanya deformasi sebesar 96,77 mm pada bagian belakan panel sehingga deformasi tersebut diatas dari batas yang diperbolehkan oleh NIJ 0101.06 yaitu sebesar 44 mm,

begitu juga dengan ketebalan 30 mm dan 33 mm. Sedangkan pada panel 36 mm, 39 mm, 42 mm dan 45 mm memiliki *back face signature* masing masing 3,71 mm, 2,54 mm, 2,16 mm dan 2,44 mm sehingga pada ketebalan tersebut memiliki BFS dibawah batas yang diperbolehkan oleh NIJ 0101.06

Dengan melihat penetrasi dari ketebalan 36 mm, 39 mm, 42 mm dan 45 mm. Hanya panel dengan 45 mm yang gagal ditembus oleh peluru dengan penetrasi sebesar 37,33 mm. Sehingga panel dengan ketebalan 45 mm yang lolos untuk digunakan sesuai dengan standar NIJ 0101.06.

4.2.3 Hasil Simulasi dan Pembahasan Energi Kinetik Peluru

Peluru .30 cal *Armor Piercing* merupakan peluru dengan kategori level IV menurut NIJ 0101.06 memiliki kecepatan 878 m/s dan bobot pelor (inti peluru) sebesar 5,125 gram. Sehingga dapat diketahui bahwa energi kinetik peluru sebesar 1975,39 J. Energi kinetik peluru tersebut akan dipindahkan ke panel saat proses peluru bertumbukan dan terpenetrasi pada panel. Energi kinetik peluru yang pada awalnya sebesar 1975,39 J terjadi penurunan pada saat mulai terjadinya penetrasi ke dalam rompi. Dengan melihat hal tersebut dapat diketahui bahwa peluru sudah benar benar berhenti berpenetrasi. Gambar 4.3 menunjukkan tren penurunan energi kinetik terhadap ketebalan panel.



Gambar 4.3 Grafik Energi Kinetik Peluru Sisa Terhadap Ketebalan Panel

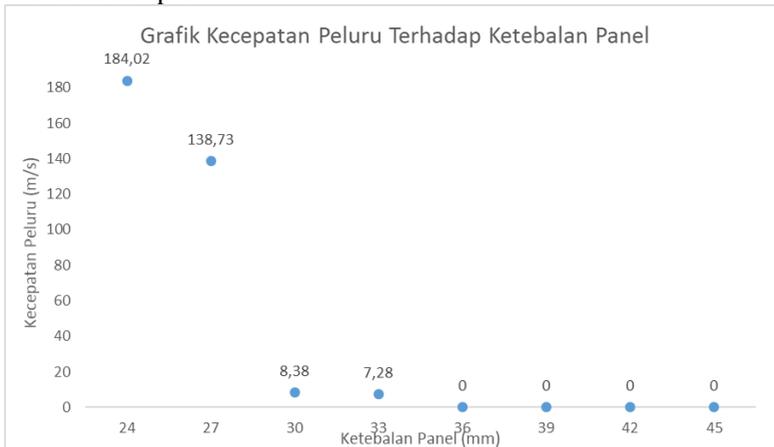
Gambar 4.3 menunjukkan penurunan energi kinetik akhir peluru terhadap ketebalan panel anti peluru, seiring dengan bertambahnya ketebalan panel energi kinetik mengalami penurunan hal tersebut terjadi karena peluru berpenetrasi terhadap panel. Sehingga semakin tebal panel membutuhkan energi kinetik yang semakin besar untuk melakukan penetrasi terhadap panel.

Penurunan energi kinetik peluru disebabkan juga karena adanya penyerapan energi oleh panel dan diubah kedalam energi kinetik, energi internal, dan energi sisa. Dapat terlihat mulai dari ketebal 36 mm energi kinetik peluru akhir telah mencapai 0 tetapi peluru masih dianggap menembus panel *epoxy-HGM-serat rami woven*, hal tersebut dikarenakan penetrasi pada ketebalan 36 mm 39 mm dan 42 mm melebihi dari ketebalan panel itu sendiri.

4.2.4 Hasil Simulasi dan Pembahasan Kecepatan Peluru

Kecepatan dari suatu peluru terbentuk dari tembakan senjata api dengan tekanan tinggi yang memberikan dorongan sehingga menghasilkan kecepatan pada peluru. Peluru yang keluar dari senjata api melepaskan diri dari selongsong akibat pembakaran bubuk mesiu yang terdapat di dalam selongsong.

Berdasarkan standar pengujian NIJ 0101.06 Level IV kecepatan peluru ketika telah lepas dari selongsong peluru yaitu sebesar 878 m/s. Peluru dengan kecepatan tinggi memiliki energi kinetik yang akan mengalami penurunan ketika menghantam panel, sehingga energi kinetik berpindah ke panel. Data pada 4.2 dibawah ini menunjukkan kecepatan peluru dimana grafik tersebut menunjukkan bahwa peluru sudah berhenti ketika kecepatan peluru sudah mencapai 0.

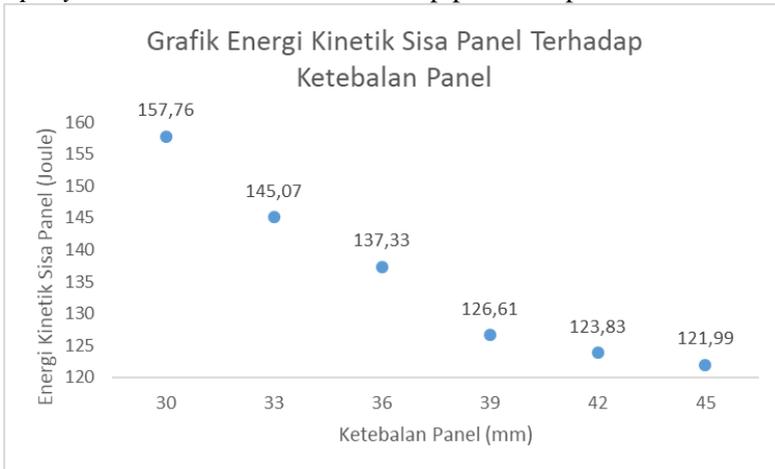


Gambar 4.4 Grafik Simulasi Kecepatan Peluru Sisa Terhadap Ketebalan Panel

Gambar 4.4 menunjukkan penurunan kecepatan peluru dari sebesar 878 m/s menjadi 0 m/s. Dapat dilihat pada grafik dengan bertambahnya ketebalan panel penurunan kecepatan peluru semakin besar. Hal ini disebabkan oleh kombinasi serat rami dan HGM sebagai penguat yang memiliki sifat mekanik yang kuat dan kekakuan yang tinggi dan juga dipengaruhi dengan bentuk alur serat rami yaitu woven. Serat rami woven memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup tinggi dikarenakan ikatan dengan matriks yaitu epoxy yang cukup baik. Selain itu HGM juga memiliki ketangguhan yang baik sehingga cocok digunakan untuk meredam *impact* maupun tekan dari peluru.

4.2.5 Hasil Simulasi dan Pembahasan Energi Kinetik Sisa Panel Anti Peluru *Epoxy-HGM-Serat Rami Woven*

Energi kinetik yang disebabkan oleh peluru pada panel menyebabkan kecepatan peluru terjadi penurunan. Akibat dari penurunan kecepatan tersebut maka Data pada tabel 4.4 dibawah ini menunjukkan pengaruh ketebalan panel anti peluru komposit *Epoxy-HGM* dan serat rami terhadap penetrasi peluru



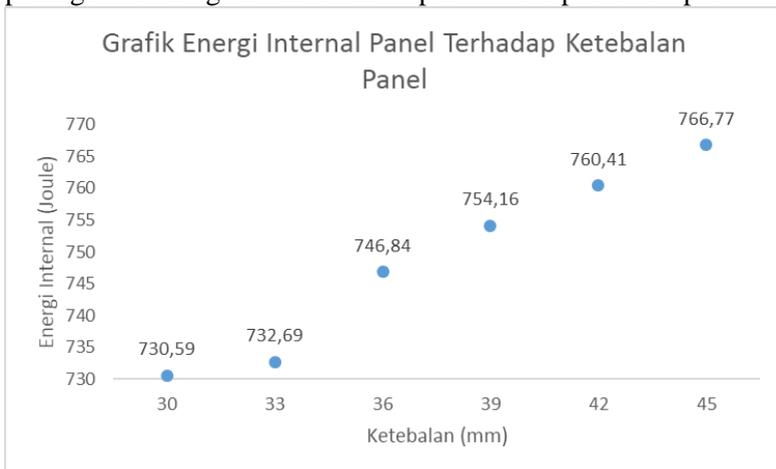
Gambar 4.5 Grafik Energi Kinetik Sisa Panel Terhadap Ketebalan Panel

Gambar 4.5 merupakan grafik energi kinetik sisa pada panel anti peluru. Pada panel dengan ketebalan 3 mm hingga 21 mm energi kinetik sisa pada panel cenderung meningkat, hal ini disebabkan energi kinetik peluru .30 Cal *Armor Piercing* yang cukup besar sehingga peluru dengan cepat menembus panel sehingga transfer energi kinetik dari peluru terhadap panel yang kecil. Panel dengan ketebalan 3 mm memiliki energi kinetik sisa yang diterima sebesar 36,224 Joule hingga pada ketebalan 21 mm memiliki energi kinetik sisa sebesar 160,55 Joule. Sedangkan mulai dari ketebalan panel 24 mm hingga 45 mm energi kinetik sisa pada panel cenderung menurun terhadap ketebalan panel. Pada panel dengan ketebalan 24 mm memiliki energi kinetik sebesar

153,29 Joule hingga pada ketebalan 45 mm dengan energi kinetik sisa panel sebesar 121,99 Joule. Terjadinya penurunan penyerapan energi kinetik pada panel tersebut dikarenakan bertambahnya ketebalan yang dimiliki panel sehingga penyerapan pada panel lebih baik dan dipengaruhi sifat dari penguat yaitu HGM dan serat rami.

4.2.6 Hasil Simulasi dan Pembahasan Energi Internal pada Panel Anti Peluru *Epoxy-HGM-Serat Rami Woven*

Energi kinetik peluru dipindahkan ke panel anti peluru, energi kinetik yang dipindahkan diubah menjadi energi internal pada panel dan energi kinetik sisa pada panel seperti yang sudah di bahas di sub bab sebelumnya. Gambar 4.6 dibawah menunjukkan peningkatan energi internal terhadap ketebalan panel anti peluru.



Gambar 4.6 Grafik Peningkatan Energi Internal pada Panel Anti Peluru

Gambar 4.6 menunjukkan semakin bertambahnya ketebalan panel maka energi kinetik peluru yang diubah menjadi energi internal semakin mengalami peningkatan. Panel dengan ketebalan 3 mm memiliki energi internal sebesar 388,31 Joule. Pada ketebalan 6 mm energi internal yang diterima panel sebesar 391,96

Joule begitu juga dengan ketebalan lain hingga 45 mm energi internal akan cenderung meningkat.

4.2.7 Hasil Simulasi Bobot Panel Anti Peluru *Epoxy-HGM-Serat Rami Woven*

Bobot atau berat panel anti peluru merupakan suatu acuan, dimana pada tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan panel komposit anti peluru yang memiliki bobot lebih ringan dari yang ada di pasaran. Berikut hasil simulasi bobot panel anti peluru komposit *Epoxy-HGM* dan serat rami.

Tabel 4.3 Simulasi Bobot Panel Anti Peluru

Ketebalan (mm)	Bobot (Kg)
27	2,028
30	2,254
33	2,479
36	2,743
39	2,931
42	3,156
45	3,381

Tabel 4.3 menunjukkan hasil simulasi bertambahnya bobot panel anti peluru di setiap meningkatnya ketebalan. Hal tersebut juga didukung dengan densitas dari material komposit *Epoxy-HGM-serat rami* sebesar $0,97 \text{ g/cm}^3$.

4.3 Pembahasan Eksperimen

Hasil yang didapat dari permodelan dan simulasi, dilakukan validasi dengan melakukan eksperimen untuk mengetahui penetrasi yang terjadi pada rompi anti peluru. Ketebalan rompi dari hasil permodelan didapat sebesar 45 mm, dengan konfigurasi komposit *Epoxy-HGM* dan serat rami berstruktur lamina sebanyak 15 layer.



Gambar 4.7 Spesimen Panel Anti Peluru *Epoxy-HGM-Serat Rami* Sebelum Uji Balistik

Spesimen panel komposit seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 diatas akan diuji balistik dengan menggunakan senjata api level 4 dengan peluru 7,62x51 mm *Armor Piercing* dengan jarak tembak sejauh 50 m. Lokasi pengujian dilakukan di Pusdiklat Brimob Watukosek, Pasuruan. Hasil dari ekpresimen uji balistik ditunjukkan pada gambar 4.5 dibawah ini



Gambar 4.8 Hasil Pengujian Balistik pada Panel Komposit *Epoxy-HGM-Serat Rami*

Gambar 4.8 diatas menunjukkan hasil kerusakan uji balistik level 4 dengan peluru 7,62x51 mm. Pada hasil pengujian balistik,

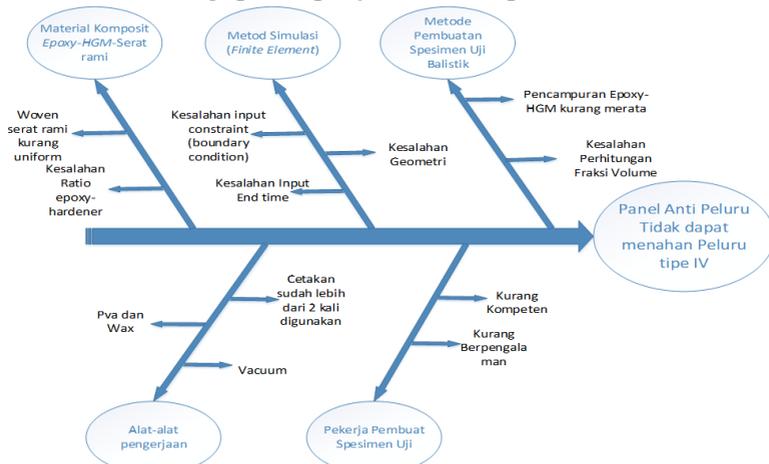
peluru berhasil menembus panel komposit *epoxy-HGM-serat rami* dengan ketebal 45 mm.

Pengujian pada panel komposit *epoxy-HGM-serat rami* dilakukan dengan 3 tembakan menggunakan 3 jenis peluru 7,62 mm yang berbeda yaitu 7,62x51 mm 7,62x45 mm dan 7,62 x33 mm seperti pada gambar 3.9

4.4 Analisa Kegagalan Eksperimen

Kegagalan yang terjadi pada panel anti peluru *epoxy-HGM-serat rami*, hasil pengujian balistik sesuai dengan standar NIJ 0101.06 yang tidak sesuai dengan hasil simulasi permodelan. Dimana hasil simulasi mengatakan pada ketebalan 45 mm peluru balistik tipe IV tidak dapat menembus panel komposit *epoxy-HGM-serat rami*, sedangkan hasil eksperimen mengatakan sebaliknya dengan peluru balistik tipe IV berhasil menembus panel komposit *epoxy-HGM-serat rami*.

Dengan demikian perlu adanya analisa kembali penyebab terjadinya kegagalan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa kegagalan yaitu dengan *root cause analysis* atau bisa disebut juga dengan *fishbone* diagram.



Gambar 4.9 Diagram *Root Cause Analysis*

Gambar 4.9 merupakan *fishbone* diagram yang menunjukkan beberapa permasalahan yang menjadi kemungkinan terjadinya kegagalan terbesar pada panel komposit *epoxy-HGM*-serat rami. Mengevaluasi kembali kemungkinan yang terjadi pada setiap permasalahan sehingga didapatkan akar permasalahan.

Tabel 4.4 *Root Cause Analysis* tabel

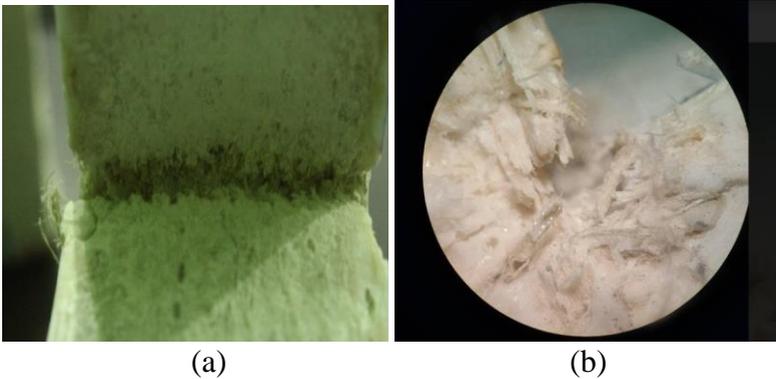
NO	Possible Root Cause	Discussion	Root Cause
	Metode Pembuatan Spesimen Uji		
1	Pencampuran Epoxy-HGM-Hardener kurang merata	Kemungkinan timbulnya gelembung dan pengendapan	Y
2	Kesalahan Perhitungan fraksi Volume	Fraksi volume telah ditimbang dan dihitung dengan akurat	N
	Metode Simulasi (<i>finite element</i>)		
3	Geometri	Geometri sesuai standar NII 0101.06	N
4	Boundary condition	Sesuai dengan <i>constraint</i> yang diinginkan	N
5	End time	Pemilihan end time sudah tepat	N
	Material Komposit		
6	<i>Woven</i> serat rami kurang <i>uniform</i>	Banyaknya simpul yang menyebabkan <i>uniform</i> dari <i>woven</i> serat rami berkurang	N
7	Rasio <i>epoxy-hardener</i>	Rasio <i>epoxy-hardener</i> sesuai dengan arahan katalog <i>epoxy</i>	N
	Alat alat pengerjaan		
8	Cetakan	Cetakan spesimen uji telah digunakan lebih dari 2 kali	N
9	<i>Vacuum</i>	Pembuatan spesimen tidak menggunakan <i>vacuum pump</i>	Y
10	PVA dan Wax	PVA dan wax menggunakan yang terbaru	N
	Pekerja pembuat spesimen uji		
11	Kurang Kompeten	Telah dibantu oleh pekerja yang kompeten dan berpengalaman	N
12	Kurang Berpengalaman		

Setelah dilakukan evaluasi ulang seperti tabel 4.4 didapatkan kemungkinan besar penyebab kegagalan dari panel komposit *epoxy-HGM*-serat rami yaitu :

1. Pencampuran *epoxy-hardener-HGM* yang kurang merata, sehingga menyebabkan terbentuknya gelembung dan pengendapan.
2. Pembuatan spesimen panel anti peluru komposit *epoxy-HGM*-serat rami tidak menggunakan *vacuum pump* sehingga banyak *void* (kekosongan dikarenakan adanya gelembung udara pada proses pengerasan) yang terdapat didalam panel komposit

4.4.1 Analisa Pola Kerusakan Akibat Penetrasi Peluru

Dengan melihat kesimpulan analisa kegagalan, perlu adanya pengamatan yang terjadi pada bagian dalam panel yang terkena penetrasi peluru.



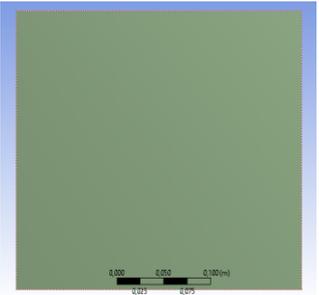
Gambar 4.10 (a) Pola Penetrasi Peluru Tampak Depan (b) Struktur Makro Pola Patahan Bagian yang Terkena Penetrasi Peluru.

Dengan melihat gambar 4.10 dapat dilihat bahwa serat rami sebagai penguat pada komposit *Epoxy-HGM-serat rami* terkoyak. Hal tersebut terjadi dikarenakan ketajaman peluru tipe 4 yang memiliki ketajaman dan kekerasan yang cukup tinggi pada bagian yang menumbuk panel. Selain itu adanya *void* atau bagian kosong yang mempengaruhi serat rami *woven* sebagai penguat untuk menahan peluru.

4.4.2 Analisa Densitas Panel Anti Peluru *Epoxy-HGM-Serat Rami*

Densitas merupakan massa jenis atau kerapatan massa yang dapat didefinisikan dengan massa per satuan volume. Semakin tinggi massa jenis suatu benda maka semakin besar juga massa setiap volume nya, dimana massa jenis rata rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya.

Tabel 4.5 Perbandingan Densitas Panel Simulasi dan Eksperimen

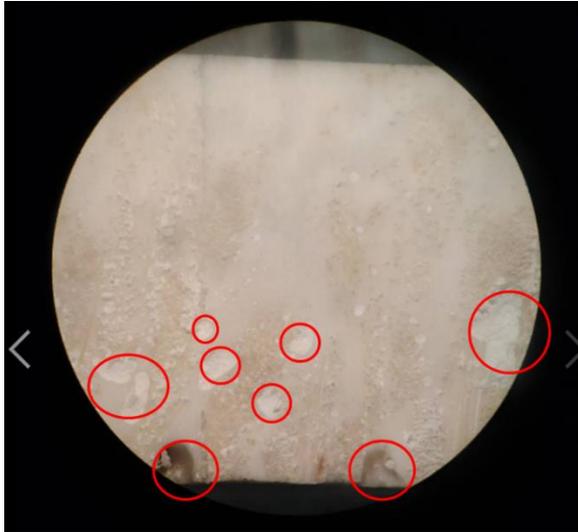
	Simulasi	Eksperimen
Massa	3380 g	2700 g
Densitas	0,97 g/cm ³	0,8 g/cm ³
Gambar		

Pada tabel 4.5 panel komposit *epoxy-HGM*-serat rami pada hasil simulasi memiliki bobot sebesar 3380 gram atau 3,38 kg sedangkan hasil eksperimen memiliki bobot sebesar 2700 gram atau 2,7 kg. Dapat dilihat pada densitas juga terdapat perbedaan pada panel eksperimen dan simulasi masing masing 0,8 g/cm³ dan 1,125 g/cm³.

Kembali lagi melihat definisi dari densitas yang merupakan kerapatan massa, maka dapat disimpulkan bahwa perbedaan massa dan densitas pada panel komposit *epoxy-HGM*-serat rami simulasi dan eksperimen karena adanya perbedaan kerapatan massa. Pada panel simulasi kerapatan massa dari panel diasumsikan solid dan terisi penuh per satuan volumenya sedangkan pada panel hasil eksperimen ada massa yang tidak terisi per satuan volume atau bisa dikatakan bahwa adanya kekosongan atau *void*. Kekosongan tersebut terjadi karena adanya pencampuran yang kurang merata *epoxy-HGM* pada saat proses *hand lay-up* panel eksperimen dan proses pembuatan tidak menggunakan *vacuum pump* yang menyebabkan masih ada udara terjebak pada campuran *epoxy-HGM* sehingga menimbulkan gelembung dan menjadi *void*.

Void merupakan rongga atau ruang kosong yang berada pada bagian dalam material. *Vodi* terbentuk dikarenakan adanya gelembung udara yang terjebak di dalam komposit *epoxy-HGM*-serat rami saat proses *curing* atau pengeringan. *Void* atau rongga

tersebut dapat menyebabkan menurunnya *mechanical properties* dari komposit *epoxy-HGM-serat rami*, oleh karena itu perlu adanya analisa banyaknya *void* yang terbentuk pada material. Dengan menggunakan metode pengujian *void* sesuai dengan ASTM D2734-19 didapatkan *void* pada panel komposit *epoxy-HGM-serat rami* sebanyak 12,94%.



Gambar 4.11 Struktur Makro Komposit *Epoxy-HGM-Serat Rami*

Gambar 4.11 merupakan struktur makro dari panel komposit *epoxy-HGM-serat rami*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa banyak terjadi *void* pada bagian dalam panel komposit, bagian yang diberi lingkaran merah merupakan bagian yang memiliki kecacatan *void*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Menurut simulasi atau pendekatan dengan metode *finite element* panel anti peluru dengan ketebalan 45 mm memiliki penetrasi terhadap peluru *level 4* sebesar 37,33 mm dan BFS atau *back face signature* sebesar 2,44 mm.
2. Menurut simulasi panel anti peluru *level 4* komposit dengan bahan dasar *epoxy-HGM*-serat rami pada ketebalan 45 mm memiliki bobot sebesar 3,38 kg.
3. Penetrasi dari peluru balistik tipe 4 yaitu 7,62x51 7,62x45 dan 7,62x33 mm berhasil menembus ketebalan dari panel anti peluru saat pengujian balistik sesuai dengan standar NIJ 0101.06
4. Setelah dilakukan analisa kegagalan pada panel dengan metode *root cause analysis* atau *fishbone* diagram didapat 2 akar permasalahan yang besar, yaitu pencampuran *epoxy-HGM* yang kurang merata sehingga menimbulkan gelembung, dan pembuatan *epoxy-HGM* yang tidak menggunakan *vacuum pump* sehingga menyebabkan timbulnya banyak *void* atau kekosongan pada panel komposit *epoxy-HGM*-serat rami. Jumlah *void* sebesar 12,94%.

5.2 Saran

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

1. Penggunaan *vacuum pump* sangat meminimalisir timbulnya *void*.
2. Perlu analisa densitas pada panel komposit sebelum melakukan eksperimen uji balistik.

3. Adanya pemanasan atau pengeringan serat rami sebelum proses pembuatan serat rami menjadi komposit.
4. Diperlukan literatur mengenai tekanan yang diberikan pada komposit saat proses *hand layup*.
5. Proses pencampuran *epoxy*-HGM menggunakan *mixer*.
6. Pembuatan serat rami *woven* yang lebih *uniform*.
7. Perlu analisa kembali mengenai kecepatan putar peluru level 4.
8. Analisa *void* dengan metode sesuai ASTM D2734-19.

DAFTAR PUSTAKA

- Rizki Aditya. 2013. Sifat Mekanik Biokomposit Serat Rami. Institut Pertanian Bogor.
- National Institute of justice (NIJ). 2006. *NIJ 0101.06*. Washington, D.C. United States
- Muhammad Anhar Pulungan. 2017. Analisis Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit *HGM-Epoxy* dan Serat Karbon dalam Menyerap Energi *Impact* Peluru.
- Ridho Azhari. 2017. Analisa Komposit *Multi Reinforcement* Sebagai Material Alternatif Rompoi Anti Peluru dalam Menahan Energi *Impact* Proyektil.
- Wira Ashari. 2017. Aplikasi Kemampuan Rompi Anti Peluru Terbuat Dari Epoxy – HGM – Carbon Fiber Dalam Menahan Back Face Signature Dan Energi Impact Akibat Proyektil.
- Ahmat Safaat. 2017. Aplikasi Komposit *Epoxy-HGM-Carbon Fiber* pada Sungkup Helm Untuk Menahan Penetrasi dan Mereduksi *Impact*.
- LIPI. 2011. Serat Rami Sebagai Material Anti Peluru.
- Widiansyah Ritonga. 2014. Pengaruh Variasi Fraksi Volume, *Temperature Curing* dan *Post Curing* terhadap Karakteristik Tekan Komposit *HGM-Epoxy*.
- Zahrah, Lutfianisa. 2015. Analisa Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM dalam Menyerap Energi Akibat Impact Proyektil. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

- Y.Du, N.Yan. 2012. The Use of Ramie Fibres as Reinforcement in Composites.
- Suryaneta. 2007. Kinerja Serat Rami sebagai *Reinforcement* pada Polimer Komposit Panel Anti Peluru. Universitas Indonesia.
- Mujiono. 2014. Rekayasa Panel Tahan Peluru Level IV Standar NIJ dari Komposit Serat Rami dan Hardfacing Material HV1000 dengan matriks epoxy. Universitas Negeri Surakarta.
- N.A Rahman, S.Abdullah. 2010. *Ballistic Limit of High-Strength Steel and Al7075-T6 Multi-Layered Plates Under 7.62-mm Armour Piercing Projectile Impact.*
- Abdul Kadir, Amimar, Marzan. 2014. Pengaruh Pola Anyaman Serat Alam Terhadap Kekuatan Tarik. ASTM D2734-19. *Standar Test Method for Void Content of Reinforcement Plastics.*

BIODATA PENULIS



Ananta Jatra Susetya, adalah pria yang lahir dan besar di Surabaya pada tanggal 4 Agustus 1995.

Ananta merupakan anak kedua dari 2 bersaudar, dimana memiliki Bapak yang bekerja sebagai pegawai swasta dan Ibu sebagai Ibu Rumah Tangga.

Ananta memiliki seorang kakak perempuan yang bekerja di Jakarta. Ananta berasal dari

Surabaya, Ananta menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Tunas Jaka Sampurna, Bekasi sampai kelas 3, kelas 4 dan 5 ditempuh di Bandar Lampung dan menyelesaikannya di SD Al-Azhar Pontianak, Kalimantan Barat. Ananta melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Denpasar, setelah mengampu ilmu 3 tahun di bangku SMAN 4 Denpasar Ananta melanjutkan ke Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013. Selama berkuliah Ananta memilih untuk berorganisasi Mesin ITS *Autosport* sebagai Staff Ahli HRD dan menjadi Sekretaris Departemen ORG di Himpunan Teknik Mesin ITS. Selain kuliah dan organisasi, Ananta sempat melakukan praktik bisnis berupa

angkringan selama 1 tahun, bersama Saudara Joko Ade Nugroho, oleh karena itu Ananta harus kuliah lebih lama dari seharusnya, yaitu 5,5 tahun.

Ananta memiliki motto hidup *forever student*, yang berarti pelajar selamanya. Yang dimaksud oleh pelajar selamanya yaitu Ananta sebagai manusia tidak akan pernah berhenti belajar. Hal tersebut juga telah terlihat dari pencapaian dimana Ananta akhirnya dapat menyelesaikan kuliahnya yang mulanya terseok-seok dan tertatih-tatih, pada akhirnya menjadi berdiri dengan lapang. Walaupun waktu kuliah Ananta 5,5 tahun hal tersebut tidak berarti Ananta merupakan manusia yang malas.

Salah satu mata kuliah favorit dari Ananta yaitu LPI atau logam paduan industri dimana memiliki dosen yaitu Pak Indra Sidharta, salah satu kuliah yang paling Ananta ingat yaitu tentang *superalloys* dimana salah satu unsur paduannya yaitu *nickel*. *Super alloy* sendiri merupakan material paduan tahan panas, dan ketahanan korosi yang tinggi, hal tersebut menginspirasi Ananta untuk kemudian memberikan nama anak, *Nickel*. Untuk saran, dan informasi lebih lanjut mengenai tugas akhir, dapat menghubungi ke email, warnoise@gmail.com