



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 184835

**STUDI NUMERIK APLIKASI KOMPOSIT RAMI
SEBAGAI HELM TAHAN PENETRASI PELURU *LONG
RIFLE***

ZIKHRUL ARIF
NRP 02111240000112

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa
Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - TM 184835

**STUDI NUMERIK APLIKASI KOMPOSIT RAMI
SEBAGAI HELM TAHAN PENETRASI PELURU *LONG
RIFLE***

**ZIKHRUL ARIF
NRP 02111240000112**

**Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Sutikno S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TM 184835

**NUMERICAL STUDY OF RAMIE COMPOSITES
APPLICATION AS PENETRATION RESISTANT
HELMET AGAINST LONG RIFLE BULLET**

ZIKHRUL ARIF
NRP 02111240000112

Supervisor
Dr. Eng. Sutikno S.T., M.T.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System
Engineering Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI NUMERIK APLIKASI KOMPOSIT RAMI SEBAGAI HELM TAHAN PENETRASI PELURU LONG RIFLE

Nama Mahasiswa : Zikhrul Arif
NRP : 02111240000112
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

Abstrak

Pada industri pertahanan, pemilihan material diperhatikan dengan baik, untuk melindungi dari luka yang diakibatkan oleh perseteruan. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu perangkat pelindung yang sesuai dalam upaya mencegah timbulnya terlalu banyak korban akibat penggunaan senjata api pada medan konflik terutama pada bagian kepala. Helm merupakan alat pelindung kepala dari serangan benda tajam, senjata tumpul, dan peluru. Salah satu jenis peluru yang populer pada kalangan penembak pemula dan ahli adalah peluru .22 Long Rifle dikarenakan recoil yang minimal dan kebisingan yang relatif. Dari berbagai macam material, komposit adalah material yang umum digunakan sebagai bahan dasar proses produksi material tahan balistik. Kemudahan dalam pembentukan menjadikan komposit sebagai bahan utama dalam pembuatan material tahan balistik modern. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa beban yang mampu diserap oleh helm yang terbuat dari material epoxy dengan serat rami woven agar tidak tertembus peluru .22 Long Rifle. Hal tersebut dihubungkan dengan ketebalan helm hingga tidak tembus peluru demi mempelajari ketebalan optimal dari helm yang terbuat komposit epoxy – serat rami woven. Penelitian dilakukan dengan mensimulasikan helm dengan berbagai ketebalan tertembak peluru, lalu menganalisa besar nilai stress dan deformasi yang diterima oleh helm sebagai acuan menentukan ketahanan helm dalam menahan penetrasi.

Adapun hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah variasi ketebalan helm dengan tebal 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Dengan pengujian awal pada helm dengan ketebalan 2 mm yang ditembakkan pada bagian depan, samping, dan belakang helm guna mencari nilai stress terbesar agar digunakan pada penelitian selanjutnya. Nilai stress terbesar dengan arah penetrasi dari depan sebesar 790 Mpa, diikuti oleh arah penetrasi dari belakang sebesar 377 Mpa dan arah penetrasi dari samping 3.17×10^{-8} Mpa dengan nilai stress terkecil untuk penetrasi yang dilakukan pada helm ketebalan 2 mm. Dengan dibandingkan dengan nilai Ultimate Tensile Strength, helm dengan ketebalan 2 mm dinyatakan gagal, untuk helm ketebalan 4 mm memiliki nilai stress sebesar 455 Mpa, 6 mm memiliki nilai stress sebesar 360 Mpa, 8 mm memiliki nilai stress sebesar 344 Mpa, dan 10 mm memiliki nilai stress sebesar 370 Mpa tidak mengalami kegagalan dengan arah penetrasi dari depan. Untuk deformasi, seluruh helm kecuali helm 2 mm yang gagal mengalami deformasi plastis dan nilai deformasi dari helm ketebalan 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, dan 10 mm adalah sebesar 20.9 mm, 13.4 mm, 9.16 mm, 6.18 mm, dan 4.44 mm. Untuk helm dengan ketebalan 8 mm merupakan helm dengan ketebalan optimal, dengan nilai stress paling mendekati yield dari material dan berat yang lebih ringan dibanding helm ketebalan 10 mm.

Kata kunci : epoksi; helm anti peluru; serat rami; simulasi;

NUMERICAL STUDY OF RAMIE COMPOSITES APPLICATION AS PENETRATION RESISTANT HELMET AGAINST .22 LONG RIFLE BULLET

Name : Zikhrul Arif
NRP : 02111240000112
Department : Mechanical Engineering
Supervisor : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

Abstract

In the defense industry, the choice of material is carefully considered, to protect against wounds caused by fighting. Therefore, a suitable protective device is needed to prevent too many victims from using firearms in the conflict area, especially in the head. A helmet is a head protection device from attacks by sharp objects, blunt weapons, and bullets. One type of bullet popular with both novice and expert shooters is the .22 Long Rifle due to its minimal recoil and relative noise. Of a variety of materials, composites are the materials commonly used as the basis for the production process for ballistic resistant materials. The ease of shaping makes composites the main ingredient in the manufacture of modern ballistic resistant materials. This study aims to analyze the load that can be absorbed by a helmet made of epoxy material with woven hemp fibers to prevent it from being penetrated by bullets .22 Long Rifle. This is related to the thickness of the helmet so that it is not bulletproof to study the optimal thickness of a helmet made of epoxy composite - woven hemp fibers. The research was conducted by simulating helmets with various thicknesses of being shot by bullets, then analyzing the value of stress and deformation received by the helmet as a reference for determining the resistance of the helmet in resisting penetration.

The results obtained from this study are variations in the thickness of the helmet with a thickness of 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, and 10 mm. With the initial test on a helmet with a thickness of 2 mm which was fired at the front, side and rear of the helmet in order to find the greatest stress value for use in further research. The biggest stress value with the direction of penetration from the front of 790 Mpa, followed by the direction of penetration from the back of 377 Mpa and the direction of penetration from the side of 3.17×10^{-8} Mpa with the smallest stress value for penetration carried out on a 2 mm thickness helmet. When compared with the Ultimate Tensile Strength value, a helmet with a thickness of 2 mm is declared a failure, for a 4 mm thickness helmet has a stress value of 455 Mpa, 6 mm has a stress value of 360 Mpa, 8 mm has a stress value of 344 Mpa, and 10 mm has a stress value of stress value of 370 Mpa does not fail with the direction of penetration from the front. For deformation, all helmets except 2 mm helmets that fail to undergo plastic deformation and the deformation values of 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, and 10 mm thickness helmets are 20.9 mm, 13.4 mm, 9.16 mm, 6.18 mm, and 4.44 mm. For a helmet with a thickness of 8 mm is a helmet with optimal thickness, with the stress value closest to the yield of the material and a lighter weight than a helmet with a thickness of 10 mm.

Keywords : bullet proof helmet; epoxy; ramie fiber; simulation;

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir penulis. Keberhasilan Tugas Akhir ini melibatkan banyak pihak yang telah berkontribusi didalamnya. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. **Masril, Zuchra Johan, Fitra Rezha Ramadhan, Fadhli Ichwan, dan Abdee Maulana** selaku Ayah, Bunda, dan Adik penulis yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan do'a untuk penulis hingga Tugas Akhir ini selesai.
2. Bapak **Prof. Dr.-Ing. Ir.Suhardjono MSc.** selaku dosen wali yang selalu memberikan banyak bimbingan, perhatian, dan mengarahkan penulis untuk fokus melangkah kedepan walaupun perlahan dan tidak menyerah dalam menyelesaikan perkuliahan selama delapan tahun terakhir.
3. Bapak **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.** selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah selama proses pengerjaan menghadapi penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Ibu **Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin, DEA**, Bapak **Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., PhD.**, dan Bapak **Suwarno, ST., MSc., PhD.** selaku dosen penguji Seminar Proposal dan Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan, koreksi, dan tetap sabar menghadapi penulis sehingga Tugas
6. **M55** (Gregorius, Faedian, Gilas, Amri, dll) dan **SMRM** (Bimo, Jatmiko, Rayhan, Buntal, Raja, dll) yang selalu memberi semangat kepada dan penulis untuk terus berusaha memenuhi tanggung jawab terlepas keadaan yang sangat tidak mendukung.
7. Teman-teman di dunia Industri Kopi, khususnya **Kalamula** (Theda, Arun, Atsari, Timothy, Charisma, Wienda, Arya, dll), **Kawan Seduh** (Mas Martin, Mas Yuyud, Topan, Elyna,

Iqbal, Nia dll), **Casa Coffee** (Mas Yodi, Mas Helmi, Mas Cholik, Mba Nanda, Salsha, Irfan, Hisaya, Made, Deddy, dll), **Bang Harry**, dan **Aldi** yang tetap mengingatkan dan memberi semangat penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan, terlepas sekecil apapun sejak penulis masih seorang mahasiswa baru sampai dengan diselesaikannya Tugas Akhir ini.

Semoga segala kebaikan yang diberikan mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari sempurna oleh karena itu kritik dan saran sangat dibutuhkan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 25 Agustus 2020

Penulis

**STUDI NUMERIK APLIKASI KOMPOSIT
RAMI SEBAGAI HELM TAHAN PENETRASI
PELURU *LONG RIFLE***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

ZIKHRUL ARIF
NRP. 02111240000112

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.**
NIP. 197407032000031001
 (Pembimbing)
2. **Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin, DEA**
NIP. 196308151989032001
 (Penguji I)
3. **Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., PhD.**
NIP. 197801152003121002
 (Penguji II)
4. **Suwarno, S.T., M.Sc., PhD.**
NIP. 198005202005011003
 (Penguji III)

**SURABAYA
AGUSTUS, 2020**

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Literatur Terdahulu	5
2.2. Dasar Teori	7
2.2.1. Komposit	7
2.2.2. Epoxy	8
2.2.3. Serat Rami.....	9
2.2.4. Komposit Epoxy – Rami Woven	9
2.2.5. Sifat Mekanik Material	10
2.2.6. Helm	14
2.2.6.1. Jenis Helm	14
2.2.7. Keputusan Menteri Pertahanan Nomor : KEP/1119/XII/2012	16
2.2.8. <i>Finite Element</i>	17
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2. Metode Penelitian	22
3.3 Pembuatan Model Helm dan Alat Pengujian	22
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Hasil Data	25
4.2. Analisa Data dan Pembahasan Pengujian	26
4.2.1. Stress Helm Ketebalan 2 mm	26

4.2.2.	Stress Helm dengan Arah Penetrasi dari Depan	
		29
4.2.3.	Deformasi Helm dengan Arah Penetrasi dari Depan	
		32
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
	5.1. Kesimpulan	37
	5.2. Saran	37
	DAFTAR PUSTAKA	39
	BIODATA PENULIS	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Helm perang modern (wikipedia.com, 25 Agustus 2020).....	5
Gambar 2. 2. Helm pengendara sepeda motor (wikipedia.com, 25 Agustus 2020)	6
Gambar 2. 3. Helm proyek/keselamatan(today.line.me)	6
Gambar 2. 4. (a) Helm pasukan TNI tampak samping (b) Helm pasukan TNI tampak belakang(Keputusan Menteri Pertahanan Nomor : KEP/1119/XII/2012)	7
Gambar 2. 5. <i>Finite element</i> bola	9
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3. 2. (a) Dimensi helm tampak samping, (b) Dimensi helm tampak atas	22
Gambar 3. 3. Dimensi peluru .22 <i>Long Rifle</i>	22
Gambar 3. 5. Pengujian penetrasi.....	23
Gambar 3. 6. (a) Pemilihan <i>meshing</i> untuk uji penetrasi pada helm (b) Pemilihan <i>meshing</i> untuk uji penetrasi pada peluru	23
Gambar 3. 7. Pemberian <i>fixed support</i> pada bagian bawah helm (a) untuk arah penetrasi dari depan dan belakang (b) untuk arah penetrasi dari samping	24
Gambar 4. 1. Grafik Nilai Stress pada Helm Ketebalan 2 mm ...	31
Gambar 4. 2. distribusi stress helm 2 mm (a) penetrasi dari depan, (b) penetrasi dari samping, (c) penetrasi dari belakang	32
Gambar 4. 3. Grafik Nilai Stress pada Helm dengan Ketebalan Berbeda	33
Gambar 4. 4. distribusi stress pada helm (a) helm ketebalanan 4 mm, (b) helm ketebalanan 6 mm, (c) helm ketebalanan 8 mm, (d) helm ketebalanan 10 mm	35
Gambar 4. 5. Grafik Deformasi yang Terjadi pada Helm dengan Ketebalan Berbeda	36
Gambar 4. 6. Area deformasi pada helm (a) helm ketebalan 2 mm, (b) helm ketebalan 4 mm, (c) helm ketebalan 6 mm, (d) helm ketebalan 8 mm, (e) helm ketebalan 10 mm	39

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Data Kevlar	6
Tabel 2. 2. Rami Respon Uji Tarik untuk Spesimen dengan Serat Rami 90°	7
Tabel 2. 3. Sifat Mekanik Epoxy – Serat Rami <i>Woven</i>	10
Tabel 4. 1. Spesifikasi Helm	25
Tabel 4. 2. Nilai Stress pada Helm Ketebalan 2 mm	25
Tabel 4. 3. Nilai Stress dan Deformasi Helm dengan Arah Penetrasi dari Depan	26

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang

Pada industri pertahanan pemilihan material yang sesuai biaya, faktor keamanan, kemudahan merawat, dan efisiensi sangat penting. Kemajuan industri hingga saat ini, semakin banyak material yang diproduksi. Hal itu berbanding lurus dengan penggunaan energi, sehingga salah satu faktor yang menjadi isu besarnya adalah bagaimana mencari alternatif dari energi yang tersedia saat ini. Penelitian yang bergerak dalam bidang pengembangan bioenergi dan bahan berbasis dari alam dalam menghadapi masalah dunia terhadap keamanan energi, perlindungan lingkungan, dan pertumbuhan ekonomi [1].

Penggunaan material diperhatikan dengan baik pada industri pertahanan, untuk melindungi dari luka yang diakibatkan oleh perseteruan terutama pada bagian kepala. Helm merupakan alat pelindung kepala dari serangan benda tajam, senjata tumpul, dan peluru. Salah satu material yang digunakan dalam memproduksi helm pada bagian luarnya adalah polimer komposit. Keunggulan dari material ini adalah *strength to weight ratio* yang tinggi dibanding dengan material logam. Selain sifat fisik yang berupa berat jenis yang ringan, sifat mekanik dari material juga perlu dipertimbangkan karena terkait keamanan dari penggunaan helm anti peluru. Agar mampu melindungi pengguna dari beban yang bekerja pada bagian luar helm akibat beban yang diterima, maka sifat mekanik seperti ketangguhan retak (*fracture toughness*), kekuatan tekan (*compressive strength*), kekuatan tarik (*tensile strength*) dan ketahanan beban kejut (*impact resistance*) juga harus menjadi pertimbangan dalam perancangan sebelum memasuki proses produksi bagian luar helm. Dengan penelitian yang mendukung keunggulan dari penggunaan bahan komposit yang diperkuat serat dibanding material *isotropic*. Keunggulan yang mencakup peningkatan *properties*, kekuatan spesifik yang tinggi,

kekakuan spesifik, pengurangan berat, dan fleksibilitas dari desian yang membuat material dapat dimodifikasi sesuai spesifikasi yang diinginkan, potensial untuk penyerapan energi yang ringan, dan biaya produksi yang murah [2].

Bidang perlindungan diri penggunaan baja dan komposit mengalami titik balik kemajuan. Helm baja digunakan dari akhir abad 19 hingga pertengahan 20. Walaupun helm baja melindungi dari pecahan proyektil kecil, tetapi hal itu kurang memadai dari segi perlindungan, berat, dan kenyamanan. Contohnya, helm M1, yang terbuat dari *hardened steel* yang digunakan pada Perang Dunia II, hanya dapat menghentikan peluru 0,45 kaliber dengan kecepatan 244 m/s. Dengan berat sekitar 1,8 kg dan hanya memiliki satu ukuran, ditambah kenyamanan pergerakan untuk pengguna. Untuk mengatasi hal tersebut dan mendapatkan perlindungan lebih baik, dibutuhkan material perlindungan jenis baru. Sekitar tahun 1960, komposit *fiber* dikembangkan dan digunakan untuk perlindungan personal, menghasilkan peningkatan pelindung diri dengan berat yang lebih ringan, proteksi yang lebih baik, fleksibilitas, dan peningkatan kenyamanan. Helm *The Personnel Armor System Ground Troops* (PASGT) adalah helm pertama yang dibuat dari material *woven fabric*, Kevlar 29, menggunakan serat aramid dengan merek dagang DuPont.

Menteri Pertahanan [3] pada tahun 2012 menjelaskan helm yang baik memiliki syarat memenuhi fungsi sebagai sistem perlindungan kepala prajurit terhadap pukulan, benturan, tembakan senjata ringan terbatas benda-benda tajam dan keras serta pecahan-pecahan granat atau bom. Dengan persyaratan umum ringan, kuat, ergonomis, mudah digunakan, dan sederhana. Bagian utama yang digunakan pada helm dari menteri pertahanan berbahan aramid, *polyethylene* atau *nylon cloths reinforce plastic* dengan ketebalan 7,5 – 8 mm. Pada tahun 2009, Peneliti dari Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) [4], LIPI di Bandung, Jawa Barat, diminta oleh Tentara Negara Indonesia (TNI) untuk

mencarikan alternatif dari serat kevlar dikarenakan terbatasnya bahan baku dan harganya yang terlalu tinggi.

Peluru *.22 Long Rifle* populer di kalangan penembak pemula dan ahli dikarenakan recoil yang minimal dan kebisingan yang relatif rendah menjadikannya ideal untuk perburuan hewan kecil, dan pengendalian hama. Sehingga senjata yang menggunakan peluru *.22 Long Rifle* biasanya digunakan oleh taruna militer dan lainnya untuk senjata api dasar, pelatihan keahlian menembak, dan banyak digunakan. Untuk itu helm ini hanya dapat menahan senjata ringan terbatas, tidak melindungi dari senjata berat. Dan dengan melakukan studi numerik, merupakan salah satu langkah yang dapat diambil dalam merancang sebuah produk, Aare dan Kleinen[5], tahun 2017, sudah mengembangkan model numerik dari kepala manusia dan helm PASGT untuk dampak balistik, yang sebelumnya berfokus pada plat.

1.2 Rumusan Masalah

Terbatas dan mahalnya bahan baku yang beredar dipasaran menyebabkan pada tahun 2009, LIPI [4], menyatakan LIPI membuat program untuk meneliti serat rami sebagai material perlindungan sebagai alternatif. Dengan metode pemodelan numerik yang merupakan salah satu cara untuk mendapatkan data awal yang relevan sebelum melakukan studi eksperimen. Sehingga dapat menentukan ketebalan helm yang harus dimiliki komposit epoxy – serat rami *woven* untuk tidak tertembus peluru *.22 Long Rifle*.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa beban yang mampu diserap oleh helm yang terbuat dari material epoxy dengan serat rami *woven* agar tidak tertembus peluru *.22 Long Rifle* dan hubungannya terhadap ketebalan helm hingga tidak tembus peluru.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat digunakan pihak terkait sebagai pertimbangan dalam pemilihan variabel ketebalan helm dengan menggunakan komposit yang terdiri dari epoxy dan serat rami woven terkait uji penetrasi dengan peluru .22 *Long Rifle*.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak melenceng dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan berbasis studi numerik dan dilaksanakan dengan bantuan perangkat lunak *finite element*.
2. Pengujian penetrasi pada helm menggunakan peluru .22 *Long Rifle*.
3. Setiap lapisan diasumsikan tertempel dengan sempurna.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Literatur Terdahulu

Pemilihan serat rami sebagai bahan penelitian didasarkan pada pertimbangan atas potensi serat rami di Indonesia yang berlimpah dan belum termanfaatkan secara baik. Serat rami yang berasal dari serat alam sangat berpotensi untuk dikembangkan dan memenuhi kriteria penggunaan bahan alami. Demikian juga jika dilihat dari sisi kekuatan. Seperti yang dilakukan pada tahun 2009, Soemardi TP dkk [7], studi eksperimental untuk mengetahui potensi komposit lamina epoksi-rami. Dengan metode hand lay-up, Soemardi membuat spesimen yang memiliki variasi fraksi volume serat sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%, dimana pada setiap variasinya terdapat 6 buah sampel. Kemudian, seluruh sampel diuji tarik berdasarkan ASTM D 3039/D 3039M, dan diuji geser berdasarkan ASTM D 4225/D 4255M-83. Data hasil pengujian kemudian disajikan dalam bentuk hubungan antara kekuatan tarik, kekuatan geser, modulus elastisitas, modulus geser, vs fraksi volume serat. Data tersebut kemudian dibandingkan dengan data hasil perhitungan teoretis dan kegagalan yang

terjadi diobservasi menggunakan Scanning Electron Microscope. Hasil akhir penelitian kemudian dibandingkan dengan standar ISO mengenai bahan plastik/polimer yang diaplikasikan pada bidang kesehatan. Soemardi menyimpulkan bahwa komposit yang ditelitinya telah berhasil melewati standar sifat mekanik yang berkesesuaian, dan komposit tersebut sangat berpeluang untuk dikembangkan lebih lanjut. Hasil-hasil penelitian yang telah dipublikasikan oleh peneliti sebelumnya menunjukkan bahwa serat mempunyai rasio kekuatan yang baik dan ringan. Hal ini dapat menjawab masalah yang diberikan kepada LIPI pada tahun 2005, walau sudah banyak dilakukan tetapi hingga saat ini banyak yang masih mengaplikasikannya untuk rompi anti peluru seperti pada tahun 2018, Susetya A. J.[8], melakukan

pemodelan numerik dan studi eksperimen dengan komposit epoxy – Hollow Glass Microspheres – serat rami. Dalam simulasi yang dilakukan, komposit tersebut dapat menahan ancaman balistik tipe IV.

Sebagai pembandingan, pada tahun 2006, Tham, C. Y. [9], dkk melakukan eksperimen dan pemodelan numerik pada helm kevlar, dengan tujuan mengetahui respon dari helm kevlar dengan ballistic impact yang lalu nantinya akan dimasukkan kedalam pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak dan diteruskan untuk penelitian selanjutnya. Pada tes *attenuation*, peluru 11,9 g ditembakkan dari pistol ringan yang tertuju kepada bagian belakang helm dengan kecepatan impak 205 m/s dan kejadian tersebut direkam menggunakan fotografi kecepatan tinggi. Hasil rekaman tersebut akan memperlihatkan respon dari helm ketika impak, dan foto kerusakan setelah tes pun akan diambil untuk melihat kerusakan helm. Pada eksperimen yang berlangsung kedalam penetrasi didapat 0.5 mm dan ketika dimasukkan ke perangkat lunak didapat 0.7 mm. Hal ini menunjukkan bahwa helm kevlar yang diuji telah memenuhi standar NIJ – 0106.01 tipe II, dengan data kevlar yang dimasukkan ke perangkat lunak berupa :

Tabel 2.1 Data Kevlar [5]

Parameter	Value
Ref. density (g/cm ³)	1.65
EOS	Ortho
Young modulus 11 (kPa)	1.7989e+07
Young modulus 22 (kPa)	1.7989e+07
Young modulus 33 (kPa)	1.9480e+06
Poisson ratio 12	0.0800
Poisson ratio 23	0.6980
Poisson ratio 31	0.0756
Shear modulus 12 (kPa)	1.85701e+06
Shear modulus 23 (kPa)	2.23500e+05
Shear modulus 31 (kPa)	2.23500e+05
Strength	Elastic
Shear modulus (kPa)	1.85701e+06
Failure	Material Stress/ Strain
Tensile failure strain 11	0.06
Tensile failure strain 22	0.06
Tensile failure strain 33	0.02
Post-failure option	Orthotropic
Residual shear stiffness fraction	0.20
Failed in 11, failure mode	11 only
Failed in 22, failure mode	22 only
Failed in 33, failure mode	33 only
Failed in 12, failure mode	12 & 33 only
Failed in 23, failure mode	23 & 33 only
Failed in 31, failure mode	31 & 33 only

Dengan data tersebut, dibandingkan kevlar, komposit epoxy – serat rami memiliki properties yang cukup jauh. Dapat dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ghousji, M. J., dkk [9] pada tahun 2017 menunjukkan nilai modulus young, kekuatan tarik dan kegagalan regangan pada serat rami epoxy woven 12 lapisan dengan ketebalan 1.7 mm.

Tabel 2.2 Respon Uji Tarik untuk Spesimen dengan Serat Rami 90° [9]

	Young's modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Failure strain (%)
Average value	9.78	96	6.25
Standard deviation	0.66	5.06	1.47

2.2 Dasar Teori

2.2.1 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 penyusunnya. Sebagai contoh mudah adalah beton cor yang terbentuk dari campuran pasir, batu koral, semen, besi, dan air. Perbedaan sifat material penyusun terlihat berbeda dapat menghasilkan beton yang sangat kuat, keras dan tahan terhadap berbagai cuaca. Kelebihan tersebutlah yang membuat komposit diaplikasikan dalam berbagai industri.

Secara garis besar komposit tersusun atas dua bahan penyusun yaitu bahan utama sebagai penguat (reinforce) dan bahan pendukung sebagai pengisi (matriks). Matriks berfungsi sebagai pengikat dan pelindung penguat, dengan cara menahan dan meneruskan tegangan yang diterima oleh komposit. Sedangkan

penguat adalah unsur utama yang menentukan karakteristik material komposit dalam proses pembentukannya.

Sehingga secara garis besar komposit dapat diklasifikasikan menjadi dua, menurut matriks dan penguat. Klasifikasi menurut matriks dapat dibagi menjadi tiga, berdasarkan bahan dari matriks yang digunakan, yaitu Polymer Matrix Composite (PMC), Metal Matrix Composite (MMC), dan Ceramic Matrix Composite (CMC). Dengan kelebihan yang berbeda-beda, PMC memiliki kemampuan mengikuti bentuk, lebih ringan dan memiliki ketangguhan yang baik sehingga sering digunakan untuk kebutuhan rumah tangga atau komponen elektronik karena menggunakan material polymer sebagai matriks. MMC menggunakan material logam sebagai matriks, membuatnya unggul terhadap temperature tinggi, ketahanan aus dan termal, ditambah kekuatan dan kekakuan yang relatif lebih tinggi sehingga sering ditemui pada industry otomotif dan dirgantara. CMC yang menggunakan matriks keramik dapat ditemui pada industri pesawat luar angkasa atau roket disebabkan memiliki keunggulan ketahanan yang baik terhadap temperatur yang berubah dan proses relative tidak sulit.

Sedangkan menurut penguat dibagi menjadi 4 jenis, yaitu komposit berpenguat partikel, komposit berpenguat serat dan komposit berpenguat struktur. Selain yang disebutkan ada komposit hibrida yang memiliki lebih dari satu penguat.

2.2.2 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.

2.2.3 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.

2.2.4 Komposit Epoxy – Rami Woven

Material yang digunakan pada penelitian kali ini adalah epoxy – serat rami *woven* dengan data yang berasal dari konsorsium[10]. Dengan data sebagai berikut:

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Epoxy – Serat Rami Woven

Sifat Mekanik			
<i>Density</i>	7850 kg/m	<i>Shear Modulus</i>	76.932 Gpa
<i>Young's Modulus</i>	200 Gpa	<i>UTS</i>	480 Mpa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.3	<i>Yield Strength</i>	260 Mpa
<i>Bulk Modulus</i>	166.67 Gpa	<i>Specific Heat</i>	434 J/Kg.C

2.2.5 Sifat Mekanik Material

Pada penelitian ini, terdapat beberapa sifat mekanik yang menjadi acuan pembahasan. Adapun sifat-sifat mekanik tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan

Dalam ilmu bahan, terdapat banyak jenis kekuatan. Contoh diantaranya adalah *compression strength*, *tensile strength*, *shear strength*, *flexural strength*, *fracture strength*, dsb. Namun, istilah kekuatan paling umum diasosiasikan dengan *tensile strength* atau kekuatan tarik. Hal ini disebabkan nilai kekuatan tarik suatu material dapat merepresentasikan banyak sifat mekanik lainnya yang dimiliki material tersebut. Kekuatan adalah nilai tegangan maksimum yang dapat diterima oleh suatu material/struktur dalam keadaan tarik.

Terdapat banyak hal yang memiliki keterikatan erat dengan istilah kekuatan tarik. Hal-hal ini dinamakan *tensile properties*. Diantaranya adalah *yield strength*, *proportional limit*, *modulus elastisitas*, *modulus resilience*, *ultimate tensile strength*, dan *fracture strength*. *Yield strength* adalah kekuatan material ketika mengalami fenomena *yielding*. *Yielding* adalah keadaan dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Dengan begitu, *yield stress* adalah nilai tegangan dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Pada grafik tegangan-regangan, *yielding* terletak pada suatu titik pada kurva dimana kurva tsb tidak lagi bergerak

secara linear atau proporsional antara nilai tegangan dengan regangannya. Titik ini disebut juga sebagai proportional limit. Dalam kasus yang sederhana, proportional limit dan yield point berada pada titik yang sama.

Namun, dalam banyak kasus, keberadaan titik proportional limit serta *yield point* ini pada grafik cenderung sulit ditentukan secara visual. Hal ini disebabkan setiap material uji tidaklah menghasilkan suatu grafik yang uniform jika dibandingkan satu dengan lainnya. Oleh karena itu, berdasarkan hasil konvensi internasional, *yield point* dapat diketahui dengan mencari titik perpotongan antara garis parallel dengan *offset* 0.02 persen terhadap modulus elastisitas, dengan garis kurva tegangan-regangan. Titik perpotongan tersebut adalah titik *yield point*. Nilai tegangan pada yield point tersebut disebut sebagai *yield stress*, dan dapat juga dinamakan *yield strength*. Apabila menggunakan metode ini, terdapat kemungkinan *proportional limit* dan *yield point* tidaklah berada pada satu titik

Modulus elastisitas adalah suatu perumusan untuk mengetahui nilai kekakuan dan/atau elastisitas material. *Modulus resilience* adalah suatu perumusan untuk mengetahui seberapa besar energi deformasi elastis yang dapat diserap material. *Ultimate tensile strength* adalah nilai tegangan tarik maksimum yang dapat diterima oleh material. Nilai UTS ini terdapat pada puncak kurva tegangan-regangan. *Fracture strength* adalah nilai tegangan dimana material akhirnya mengalami kegagalan (patah)

2. Ketangguhan

Secara umum, adalah suatu nilai yang mengukur kemampuan suatu material untuk menyerap energy sampai akhirnya material tersebut patah. Nilai ketangguhan suatu material memiliki ketergantungan dengan sifat pembebanan yang diberikan, dan juga dengan kondisi serta geometri material tersebut. Contohnya, walau terbuat dari material yang serupa, nilai ketangguhan suatu spesimen yang memiliki *surface finish* yang kasar akan berbeda

dengan nilai ketangguhan spesimen yang memiliki *surface finish* yang halus. Untuk mendapatkan sifat tangguh, penting bagi suatu material untuk memiliki kekuatan dan keuletan. Hal ini karena pada umumnya, material ulet memiliki ketangguhan yang lebih baik dibandingkan material getas, walau material getas kemungkinan memiliki *yield strength* dan juga *tensile strength* yang lebih tinggi.

3. Keuletan dan Kegetasan

Adalah suatu nilai yang mengukur seberapa banyak deformasi yang diterima oleh material ketika patah. Material memiliki sifat ulet apabila material tersebut mengalami banyak deformasi plastis ketika patah. Keuletan dan kegetasan dapat dinyatakan sebagai sifat yang berlawanan secara langsung. Maksudnya, material yang ulet pasti tidak getas, dan sebaliknya. Oleh karena itu, material getas adalah suatu material yang hanya sedikit atau bahkan sama sekali tidak mengalami deformasi plastis ketika patah.

4. Kekakuan (*stiffness*), Elastisitas (*elasticity*), *Resilience*, Plastisitas (*plasticity*)

Apabila keuletan dan kegetasan berpaku kepada deformasi plastis, kekakuan dan elastisitas berpaku kepada deformasi elastis yang dialami material. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi ketika tegangan dan regangan yang diterima oleh material bekerja secara proporsional (sebanding) terhadap satu dengan lainnya. Deformasi elastis serta sifat mekanik kekakuan dan elastisitas erat hubungannya dengan hooke's law. *Hooke's law* dinyatakan dengan E atau modulus elastisitas (modulus young). Modulus elastisitas berguna untuk mengetahui proporsionalitas yang dimaksud dengan cara membandingkan tegangan dengan regangan yang bekerja pada suatu material. Hanya saja, apabila suatu tegangan dan regangan yang bekerja terhadap suatu material memiliki proporsionalitas, maka kurva tegangan-regangan yang dihasilkan tentu akan berbentuk linear dengan besaran kemiringan tertentu. Nilai kemiringan dari kurva tersebut adalah nilai dari

modulus elastisitas. Artinya, *hooke's law* berlaku pada kondisi dimana sebuah material belum mengalami *yielding*.

Suatu material yang memiliki modulus elastisitas (E) yang tinggi, apabila rasio atau perbandingan tegangan terhadap regangan yang terjadi sebelum *yielding* bernilai tinggi pula. Dalam hal ini, kurva yang dihasilkan akan memiliki kemiringan yang tajam. Material yang memiliki modulus elastisitas yang tinggi kemudian dapat dinyatakan material yang kaku. Dan hal ini berlaku sebaliknya. Apabila modulus elastisitas suatu material bernilai rendah, maka kurva daerah proporsional akan memiliki kemiringan yang landau, dan material tersebut dapat dinyatakan sebagai material elastis. Nilai kekakuan dan elastisitas memiliki ketergantungan terhadap temperatur kerja material.

Penting untuk dimengerti bahwa sifat kaku dan elastis hanyalah sifat kualitatif yang berfungsi sebagai pembanding terhadap satu sama lain. Karena modulus elastisitas hanya dapat memberikan data mengenai nilai kemiringan saja, dan tidak dapat memberikan data mengenai seberapa panjang sebenarnya kurva tegangan-regangan tersebut sampai akhirnya mencapai batas proporsionalnya. Panjang dari kurva proporsional inilah yang bersifat kuantitatif, sebab nilai panjang tersebut akan mendikte mengenai seberapa banyak energi deformasi elastis yang dapat diterima oleh material. Besarnya energy deformasi elastis yang dapat diserap suatu material dapat diketahui melalui modulus resilience, dan kemampuan suatu material untuk menyerap energi deformasi elastis kemudian dinamakan sebagai *Resilience*.

Suatu material yang tidak dapat menyerap banyak energi deformasi elastis adalah material yang mudah mengalami deformasi plastis, atau material dengan sifat platisitas yang baik. Sifat platisitas material diindikasikan dengan kurva tegangan-regangan proporsional yang pendek, dan modulus elastisitas yang rendah. Atau dengan kata lain, nilai modulus resilience yang kecil.

5. Kekerasan (*hardness*)

Adalah suatu nilai yang mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokalisasi. Contohnya penyok kecil, baret, indentasi, dsb. Nilai kekerasan bisa didapatkan dengan melakukan pengujian kekerasan.

2.2.6 Helm

Helm merupakan topi pelindung kepala yang dibuat dari bahan yang tahan benturan (dipakai oleh tantara, anggota barisan pemadam kebakaran, pekerja tambang, pengendara sepeda motor, dan sebagainya) [KBBI]. Helm terus berkembang seiring berjalannya waktu dan menyesuaikan dengan penggunaannya.

2.2.6.1 Jenis Helm

Jenis helm dibedakan berdasarkan keperluan penggunaannya antara lain:

1. Helm Perang

Pada awalnya helm digunakan sebagai bagian dari baju zirah peradaban Yunani Kuno, Romawi Klasik, hingga akhir abad ke – 17 yang membentang dari Eropa hingga Jepang dan jarang ditemukan penggunaan helm selain untuk keperluan perang. Helm melindungi kepala penggunaan dari tebasan senjata lawan, hujan panah, hingga peluru dengan kecepatan rendah. Penggunaan helm menurun seiring dengan meningkatnya efisiensi dan kecepatan peluru senapan. Sehingga, pada kisaran abad ke – 18 jarang ditemukan pasukan infantri yang mengenakan helm.

Pada era Napoleon, penggunaan helm kembali dilakukan oleh kavaleri Perancis. Pada Perang Dunia I, penggunaan artileri berat menuntut prajurit infantri Kembali menggunakan helm untuk melindungi diri dari serpihan bom (schrappel). Pada Perang Dunia II hingga masa sekarang, helm merupakan alat perlindungan standar bagi semua Angkatan bersenjata.



Gambar 2.1 Helm perang modern 2. Helm Motor

Helm motor digunakan untuk melindungi kepala bila terjadi kecelakaan lalu-lintas yang melibatkan pengendara sepeda motor. Kewajiban menggunakan helm di Indonesia, pertama dicetuskan oleh Kapolri Jenderal Hoegeng Iman Santoso dan mendapatkan penolakan keras. Selanjutnya, peraturan penggunaan helm diatur dalam Undang-Undang No. 14 Tahun 1992 Tentang Kewajiban Menggunakan Helm.



Gambar 2.2 Helm pengendara sepeda motor

3. Helm Proyek/Keselamatan

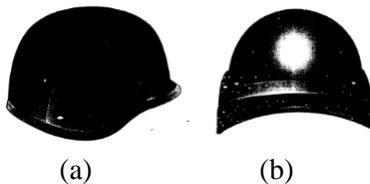
Helm proyek merupakan helm yang direncanakan untuk melindungi jatuhnya material pada proyek pembangunan rumah, Gedung ataupun juga digunakan di daerah tambang. Helm proyek wajib dikenakan oleh semua orang yang ada dilokasi proyek/pekerjaan. Penggunaan helm disesuaikan dengan pekerjaan yang dilakukan dan atau jabatan orang yang bersangkutan. Helm proyek dikategorikan dengan warnanya masing-masing, kuning untuk pekerja, putih untuk supervisor dan merah untuk safety (HSE).



Gambar 2.3 Helm proyek/keselamatan

2.2.7 Keputusan Menteri Pertahanan Nomor : KEP/1119/XII/2012

Keputusan Menteri Pertahanan Nomor : KEP/1119/XII/2012 merupakan instrumen hukum yang diberlakukan pemerintah dalam rangka mengatur penggunaan helm balistik di Indonesia yang ditujukan untuk penggunaan helm balistik oleh personil pertahanan negara. Helm pasukan Tentara Nasional Indonesia (TNI) diklasifikasikan menjadi helm pasukan tempur dan helm khusus.



Gambar 2.4 (a) Helm pasukan TNI tampak samping (b) Helm pasukan TNI tampak belakang

Untuk helm pasukan tempur memiliki syarat taktis berupa melindungi kepala dari pecahan-pecahan yang berkecepatan tinggi, tahan benturan benda tumpul dan benda tajam, tidak mempengaruhi penggunaan kompas, tahan terhadap perlakuan ekstrim, mudah disamakan, mudah dalam pemeliharaan, tidak mengganggu penglihatan, pendengaran dan gerakan, dan juga aman digunakan saat penerjunaan. Dan untuk syarat teknis bagian

sungkup harus berwarna hijau dengan ketebalan 7,5 – 8 mm untuk bahan aramid, *polyethylene*, atau *nylon cloths reinforce plastic*.

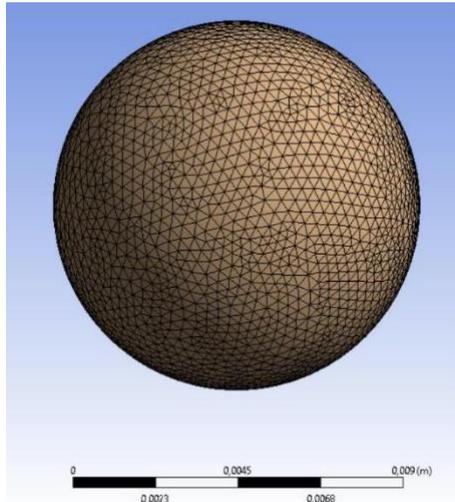
2.2.8 Finite Element

Finite Element adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matriks untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Selain itu adalah metode analitik, untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana dapat menjadi alternatif untuk menghindari jauhnya perbedaan hasil dan kesulitan dari perangkat lunak dalam memodelkan masalah. yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (*kontinum*).

Dalam *Finite Element Analysis* (FEA), obyek baik berupa luasan (2D) maupun volume (3D) dipecah menjadi elemen kecil-kecil kemudian dengan memasukan nilai batasan (biasanya pada permukaan) dan nilai awal (sebagai *trial and error*) pada rumus-rumus yang ada (misalnya persamaan diferensial). Perhitungan seperti itu dilakukan berulang-ulang (*iterasi*) sehingga diperoleh hasil yang tepat (masuk toleransi). Perhitungan ini bila dilakukan secara manual akan sulit dan memerlukan waktu yang lama, namun dengan bantuan sebuah komputer, perhitungan menjadi mudah dan cepat.

Komponen mekanis dalam bentuk batang atau balok sederhana, dapat dianalisis dengan metode dasar mekanika. Namun kenyataanya sangat jarang komponen mekanis berbentuk

sederhana, sehingga membutuhkan metode numerik yang lebih kompleks.



Gambar 2.5 Finite elements bola

Oleh sebab itulah tercipta metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis. Metode elemen hingga membagi (discretizes) struktur menjadi kecil tetapi terbatas, yang didefinisikan dengan baik, substruktur elastis (elemen). Dengan menggunakan fungsi polinomial dan dengan operasi matriks, perilaku elastis setiap elemen terus menerus dikembangkan dalam hal material elemen dan sifat geometris. Beban dapat diterapkan dalam elemen (gravitasi, dinamis, termal, dll), pada permukaan elemen, atau di nodal elemen. Nodal elemen adalah yang mengatur dasar elemen, karena nodal di elemen menghubungkan elemen unsur lain, di mana sifat elastis dari elemen yang akhirnya perlihatkan, jika kondisi batas yang ditetapkan, dan akhirnya diterapkan. Sebagian besar, nodal dapat memiliki tiga gerak translasi dan tiga gerak

rotasi dari derajat kebebasan. Setelah setiap elemen dalam struktur didefinisikan secara lokal dalam bentuk matriks, kemudian elemen di satukan secara global melalui nodal mereka ke dalam sistem matriks secara keseluruhan. Kemudian penerapan beban dan kondisi batas ditentukan melalui operasi matriks, nilai dari semua perpindahan derajat kebebasan tidak diketahui sehingga harus ditentukan. Setelah hal itu dilakukan, hal ini menjadi masalah sederhana untuk menggunakan perpindahan dalam menentukan regangan dan tegangan didalam persamaan konstitutif melalui elastisitas. Metode elemen hingga adalah metode numerik domain diskritisasi dari struktur secara berkelanjutan sehingga kesalahan pun mungkin terjadi, yaitu:

1. Kesalahan komputasi

Kesalahan ini adalah karena perhitungan komputer dan formulasi dari skema integrasi numerik yang digunakan. Untuk tujuan komersial kebanyakan kode batasan elemen adalah berkonsentrasi pada pengurangan dalam kesalahan ini dan akibatnya analisis umumnya berkaitan dengan diskritisasi faktor.

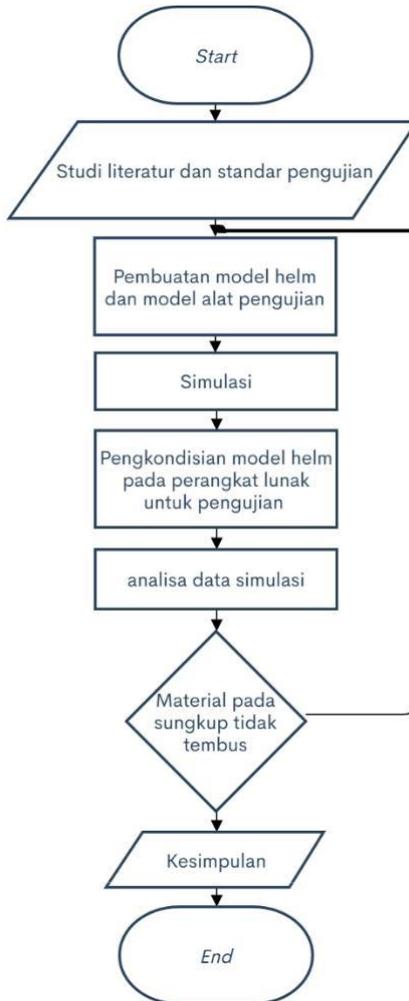
2. Kesalahan diskritisasi

Geometri dan distribusi perpindahan struktur yang sebenarnya terus menerus bervariasi. Menggunakan jumlah elemen terbatas untuk model struktur dapat menerangkan kesalahan dalam pencocokan geometri dan distribusi perpindahan karena keterbatasan matematika yang melekat pada elemen.

Elemen struktur dimodelkan dengan elemen hingga dengan menerapkan tiga nodal, tegangan bidang, elemen segitiga sederhana. Tipe elemen tersebut memiliki lubang dengan dua masalah dasar. Elemen yang memiliki sisi lurus tetap lurus setelah deformasi. Regangan seluruh bidang (plane stress) elemen segitiga adalah konstan. Masalah pertama, geometri dimodelkan dengan kurva lengkung tepi. Catatan bahwa model permukaan dengan besar kelengkungan terlihat kurang dimodelkan, sedangkan permukaan lubang tampaknya cukup dimodelkan. Kemudian,

regangan di berbagai daerah struktur sebenarnya berubah dengan cepat, dan konstanta elemen regangan hanya akan memberikan perkiraan dari regangan rata-rata di tengah elemen. Jadi secara singkatnya, hasil diprediksi model ini akan sangat kurang. Hasilnya dapat ditingkatkan secara signifikan dengan meningkatkan jumlah elemen (kerapatan mesh) atau menggunakan elemen yang lebih baik, seperti segiempat delapan nodal, yang lebih cocok untuk aplikasi ini, sehingga akan memberikan peningkatan hasil. Karena interpolasi fungsi orde tinggi yaitu delapan nodal elemen segiempat dapat dimodelkan lengkung tepi dan menyediakan fungsi tingkat tinggi untuk distribusi regangan.

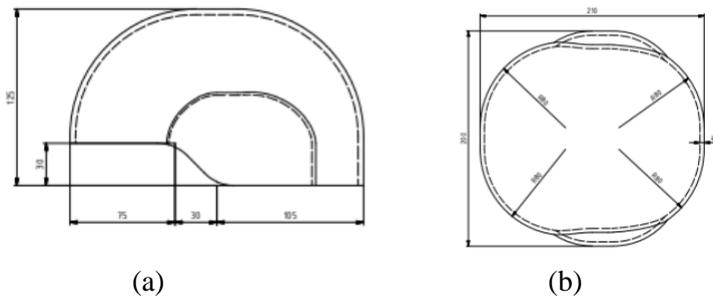
BAB III
METODOLOGI
PENELITIAN 3.1 Diagram Alir Penelitian



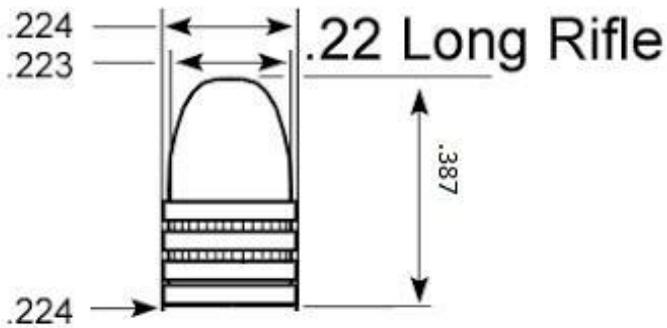
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini melakukan simulasi ballistic penetration test pada helm dengan dimensi helm ditunjukkan pada gambar 3.2. Diuji dengan peluru *.22 long rifle* dengan dimensi ditunjukkan pada gambar 3.3. Dengan variabel ketebalan helm yang digunakan adalah 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, dan 10 mm



Gambar 3.2 (a) Dimensi helm tampak samping, (b) Dimensi helm tampak atas

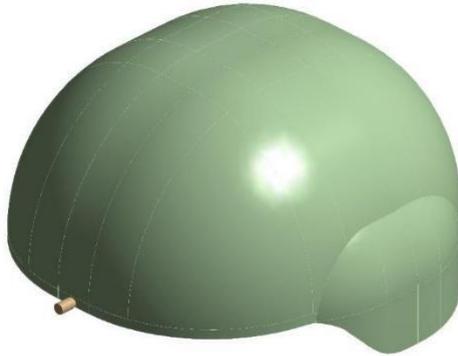


Gambar 3.4 Dimensi peluru *.22 Long Rifle*

3.3 Pembuatan Model Helm dan Alat pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan peluru yang ditembakkan tegak lurus dengan permukaan helm seperti pada gambar 3.5 dengan

kecepatan 320 m/s. Data yang dimasukkan pada perangkat lunak finite element dapat dilihat pada tabel 2.3 untuk komposit epoxy – serat rami *woven*. Untuk peluru menggunakan data material *structural steel* yang tersedia pada perangkat lunak.



Gambar 3.5 Pengujian penetrasi

Pemilihan *meshing* yang paling kecil untuk penelitian diharapkan mampu mendekati hasil sebenarnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6. Peluru diletakkan pada helm, dengan tiga arah berbeda untuk penelitian pertama dapat dilihat pada gambar 4.2. Pada penelitian selanjutnya dilakukan pada titik nilai stress tertinggi.

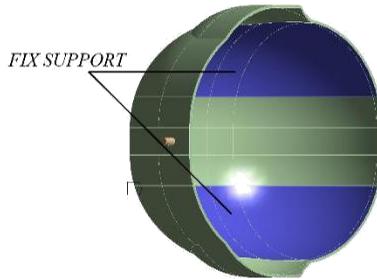


(a)

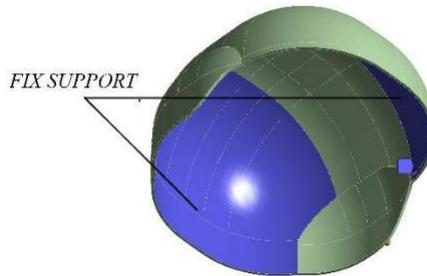


(b)

Gambar 3.6 (a) Pemilihan *meshing* untuk uji penetrasi pada helm
(b) Pemilihan *meshing* untuk uji penetrasi pada peluru



(a)



(b)

Gambar 3.7 Pemberian *fixed support* pada bagian bawah helm (a) untuk arah penetrasi dari depan dan belakang (b) untuk arah penetrasi dari samping

Fixed support diberikan pada bagian bawah helm dengan jarak masing-masing 35 mm ke kanan dan kiri dari arah peluru mengenai helm seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Gambar 6 (a) adalah *fixed support* yang diberikan untuk arah peluru dari depan atau belakang dan gambar 6 (b) adalah *fixed support* yang diberikan untuk peluru dari samping.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Data

Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan data-data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Helm

No.	Ketebalan (mm)	Volume (m ³)	Berat (kg)
1	2	0.00001523	0.21474
2	4	0.000029914	0.242179
3	6	0.000044061	0.62125
4	8	0.000057683	0.81333
5	10	0.000070787	0.9981

Pada tabel 4.1 menunjukkan peningkatan volume dan berat dari setiap penambahan ketebalan, sesuatu yang wajar terjadi. Dan untuk mempersingkat waktu penelitian, helm dengan ketebalan terkecil dilakukan pengujian dari tiga sisi, yaitu depan, belakang dan samping, dengan asumsi helm bagian samping memiliki nilai yang mendekati sehingga penulis hanya melakukan pengujian pada salah satu bagian. Dengan pengujian numerik yang telah dilakukan tersebut, untuk selanjutnya dilakukan pengujian pada arah penetrasi yang memiliki nilai stress terbesar. Untuk arah penetrasi dari depan dapat dilihat pada gambar 3.7, untuk arah penetrasi dari samping dapat dilihat pada gambar 3.8 (b), dan untuk arah penetrasi dari belakang dapat dilihat pada gambar 4.2 (c). Tabel 4.2 Nilai Stress pada Helm Ketebalan 2 mm

No	Arah Penetrasi	Stress (MPa)
1	Depan	790
2	Samping	3.17×10^{-8}
3	Belakang	377

Dengan data yang diperlihatkan oleh tabel 4.2, maka pengujian yang dilakukan adalah pada arah penetrasi dari depan. Dengan data

nilai stress dan deformasi pada ketebalan helm berbeda dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Nilai Stress dan Deformasi Helm dengan Arah Penetrasi dari Depan

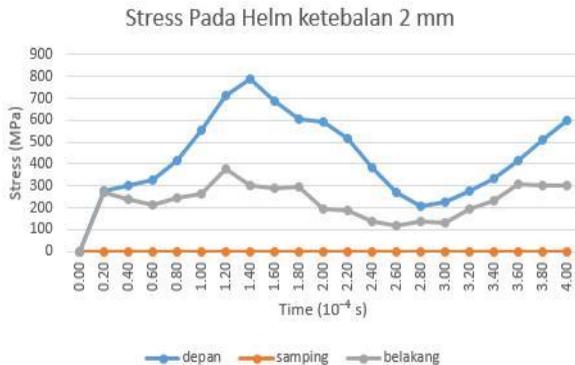
No	Ketebalan (mm)	Stress (Mpa)	Deformasi (mm)
1	2	790	20.9
2	4	455	13.4
3	6	360	9.16
4	8	344	6.18
5	10	370	4.44

Nilai stress dan deformasi yang diambil pada pengujian ini adalah nilai pada tiap nodal, sehingga warna-warna pada helm memperlihatkan besaran nilai yang dialami jika disesuaikan dengan skala warna yang nantinya akan diperlihatkan pada bagian kiri gambar.

4.2 Analisa Data dan Pembahasan Pengujian

4.2.1 Stress Helm Ketebalan 2 mm

Peluru yang ditembakkan menumbuk helm yang diam, dapat menghasilkan stress pada helm karena adanya energi dari peluru yang diterima oleh helm yang dibagi per area helm.

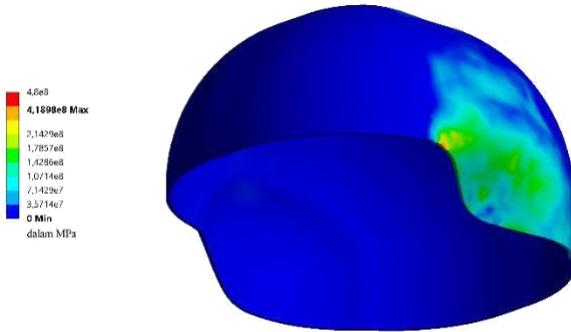


Gambar 4.1 Grafik Nilai Stress pada Helm Ketebalan 2 mm

Pada pembahasan kali ini dilakukan pada helm 2 mm dengan tiga arah penetrasi.. Dari nilai yang ditunjukkan pada grafik diatas, setiap arah penetrasi memiliki perbedaan nilai stress yang signifikan, dari nilai terkecil pada helm yang dipenetrasi dari samping dengan nilai terbesar 3.17×10^{-8} MPa, dilanjut dengan penetrasi dari depan sebesar 377 MPa, dan pada penetrasi dari arah depan memiliki nilai stress terbesar yaitu 790 MPa. Pada gambar 4.2 memperlihatkan distribusi stress yang dialami oleh helm 2 mm dengan arah penetrasi berbeda. Pada bagian kiri dari gambar memperlihatkan rentang stress yang terjadi pada helm sesuai warna, sehingga pada setiap gambar dapat dilihat seberapa besar nilai stress yang terjadi pada helm.



(a) Distribusi stress dengan penetrasi dari arah depan helm



(b) Distribusi stress dengan penetrasi dari arah samping helm



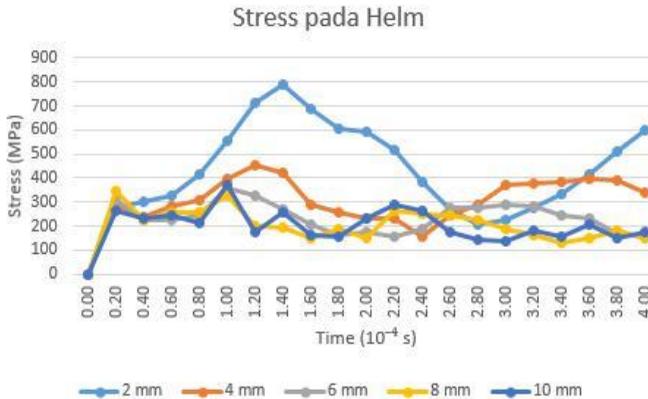
(c) Distribusi stress dengan penetrasi dari arah belakang helm
Gambar 4.2 distribusi stress helm 2 mm (a) penetrasi dari depan,

(b) penetrasi dari samping, (c) penetrasi dari belakang.

Pada gambar 4.2 distribusi stress pada helm, hanya pada bagian depan yang memiliki warna yang mendekati nilai stress maksimal, dapat dilihat pada gambar 8 a. Warna yang berbeda didapat karena stress yang didapat dari semua nodal. Dan dengan nilai stress terbesar terjadi pada helm dengan arah penetrasi dari depan penulis mempermudah penelitian dengan melakukan pengambilan data

penetrasi yang ditembakkan peluru dari arah depan untuk pengujian selanjutnya.

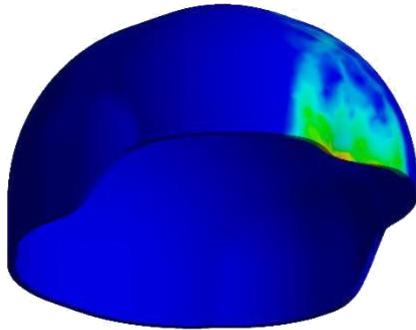
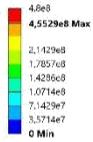
4.2.2 Stress Helm dengan Arah Penetrasi dari Depan



Gambar 4.3 Grafik Nilai Stress pada Helm dengan Ketebalan Berbeda

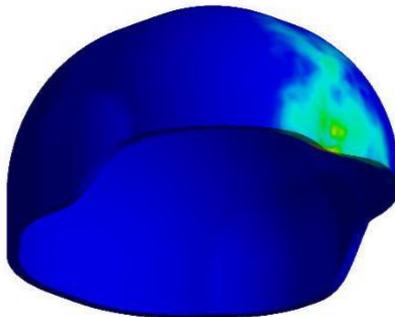
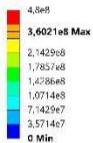
Pada pembahasan sebelumnya, arah penetrasi yang dilakukan untuk mendapat nilai stress terbesar adalah pada bagian depan helm, dengan begitu untuk pembahasan kali ini nilai stress yang diuji hanya pada arah penetrasi dari depan dengan ketebalan yang berbeda. Gambar 4.4 memperlihatkan nilai stress yang dialami oleh helm dengan ketebalan berbeda mengalami penurunan, seiring dengan bertambahnya ketebalan dari helm. Dengan nilai stress pada ketebalan 2 mm adalah 790 MPa, ketebalan 4 mm adalah 455 MPa, ketebalan 6 mm adalah 360 Mpa, ketebalan 8 mm adalah 344 MPa, dan pada ketebalan 10 mm nilai stressnya merupakan 370 MPa. Dengan data yang didapat dari tabel 1 yang menjelaskan terkait nilai material yang digunakan, nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) sebesar 480 MPa, sehingga hanya helm dengan ketebalan 2 mm yang mengalami kegagalan.

T: Zikh 4mm Depan REVISED
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1,2004e-004
Cycle Number: 412



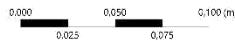
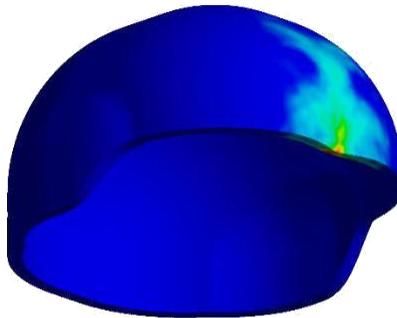
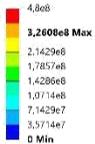
(a) Distribusi stress helm 4 mm

Q: Zikh 6mm Depan REVISED
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1,0033e-004
Cycle Number: 298



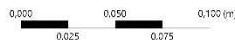
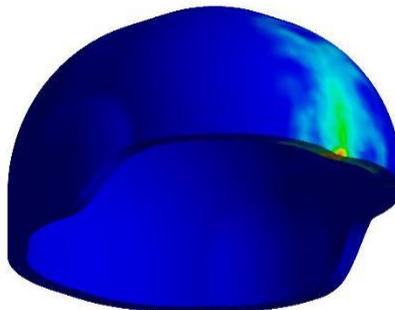
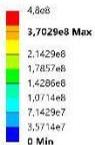
(b) Distribusi stress helm 6 mm

AH: Zikh 8mm Depan REVISED
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1,0008e-004
Cycle Number 284



(c) Distribusi stress helm 8 mm

AO: Zikh 10mm Depan REVISED
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1,0035e-004
Cycle Number 282



(d) Distribusi stress helm 10 mm

Gambar 4.4 Distribusi stress pada helm (a) helm ketebalan 4 mm, (b) helm ketebalan 6 mm, (c) helm ketebalan 8 mm, (d) helm ketebalan 10 mm.

Pada gambar 4.4 memperlihatkan distribusi stress dari setiap ketebalan helm, dan untuk distribusi stress helm ketebalan 2 mm dapat dilihat pada gambar 4.2 a. Jika dilihat pada gambar 4.4 distribusi stress yang terjadi semakin kecil dengan penambahan ketebalan. Penurunan nilai stress dan area distribusi stress ini dapat

dikaitkan dengan rumus umum tegangan *principal* atau tegangan normal yang terjadi dapat dilihat pada persamaan (1).

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

σ (sigma) = tahanan

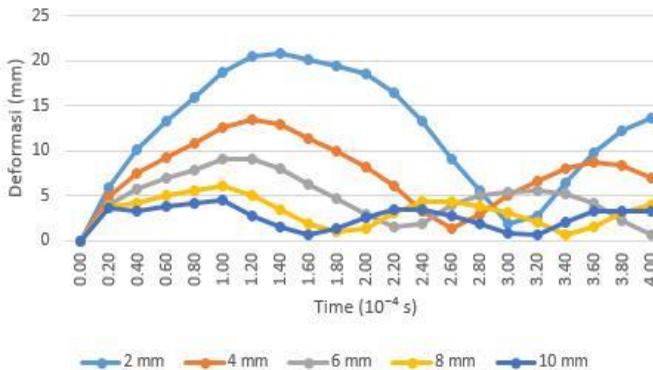
F = gaya yang diberikan

A = luas permukaan yang diberikan tegangan.

Secara planar 2Dimensi, bila luas permukaan diperbesar maka tegangan yang terjadi mengecil. Luas permukaan helm secara umum tidak berubah dengan variasi ketebalan. Dengan penambahan tebal maka jika dilihat dari potongan samping maka luas permukaan samping meluas dengan penambahan tebal. Dihubungkan dengan luas permukaan maka jika gaya yang diberikan tetap maka dengan A yang lebih besar maka tegangan yang terjadi semakin kecil.

4.2.3 Deformasi Helm dengan Arah Penetrasi dari Depan

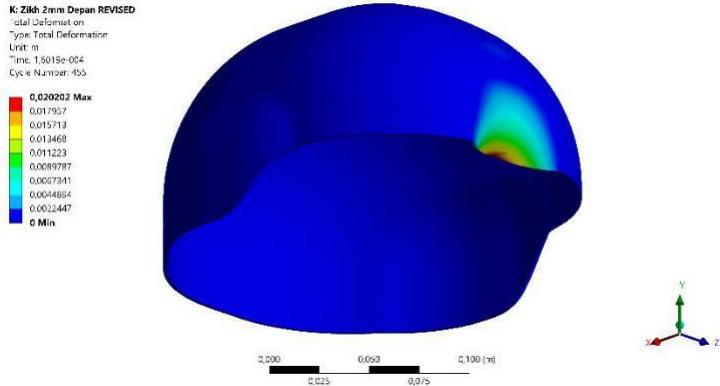
Deformasi pada helm



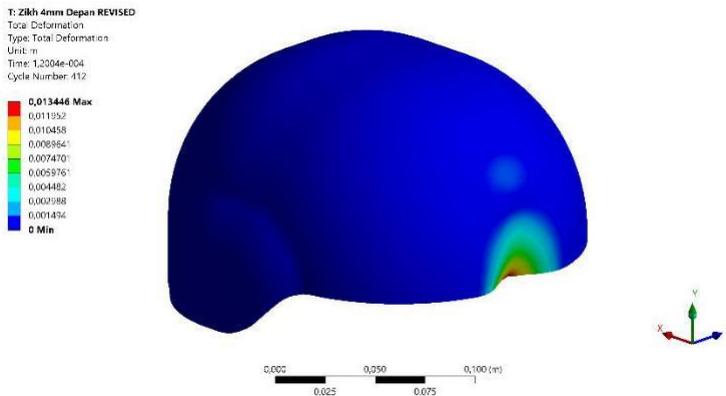
Gambar 4.5 Grafik Deformasi yang Terjadi pada Helm dengan Ketebalan Berbeda

Dengan terjadinya kontak antara peluru dan helm menghasilkan stress, helm juga mengalami deformasi. Pada gambar 4.4 menjelaskan nilai deformasi yang terjadi pada helm

mengalami penurunan dengan nilai deformasi pada helm ketebalan 2 mm adalah sebesar 20.9 mm, helm ketebalan 4 mm mengalami deformasi sebesar 13.4 mm, helm ketebalan 6 mm mengalami deformasi sebesar 9.16 mm, helm ketebalan 8 mm mengalami deformasi sebesar 6.18 mm, dan pada helm dengan ketebalan 10 mm mengalami deformasi sebesar 4.44 mm.



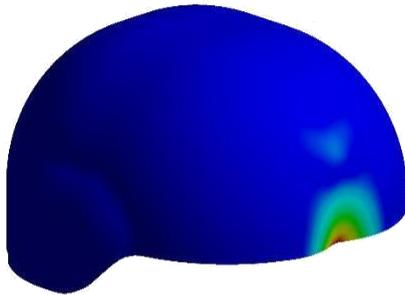
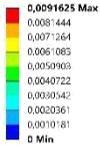
(a) Area deformasi helm ketebalan 2 mm



(b) Area deformasi helm ketebalan 4 mm

Q: Zikh 6mm Depan REVISED

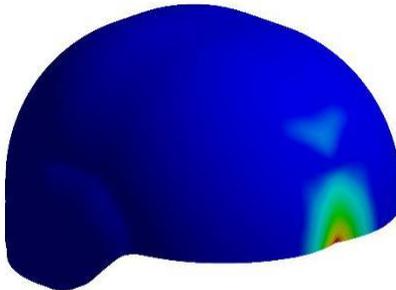
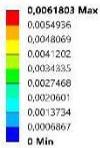
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1,0033e-004
Cycle Number 298



(c) Area deformasi helm ketebalan 6 mm

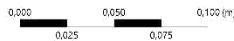
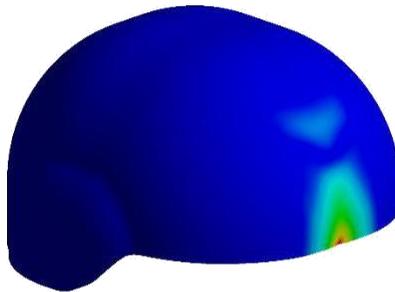
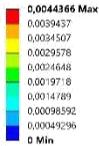
AN: Zikh 8mm Depan REVISED

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1,0006e-004
Cycle Number 284



(d) Area deformasi helm ketebalan 8 mm

AO-Zih 10mm Depan REVISED
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1,0035e-004
Cycle Number: 282



(e) Area deformasi helm ketebalan 10 mm

Gambar 4.6 Area deformasi pada helm (a) helm ketebalan 2 mm, (b) helm ketebalan 4 mm, (c) helm ketebalan 6 mm, (d) helm ketebalan 8 mm, (e) helm ketebalan 10 mm.

Pada gambar 4.6 dapat dilihat area pada helm yang mengalami deformasi. Dengan nilai deformasi terkecil pada helm 10 mm, area yang terdampak semakin kecil. Melihat tegangan yang terjadi semakin kecil, dapat kita hubungkan dengan diagram stress strain material. Dapat dilihat jika tegangan yang terjadi kecil maka strain dan elongasi yang terjadi juga menjadi kecil. Strain dan deformation dapat dihubungkan dengan deformasi. Turunnya tegangan akan berakibat pada turunnya strain sehingga deformasi yang terjadi semakin kecil dengan penambahan tebal material.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai stress terbesar dengan arah penetrasi dari depan sebesar 790 Mpa, diikuti oleh arah penetrasi dari belakang sebesar 377 Mpa dan arah penetrasi dari samping 3.17×10^{-8} Mpa dengan nilai stress terkecil.
2. Helm dengan ketebalan 2 mm mengalami kegagalan dikarenakan nilai stress sebesar 790 Mpa melebihi nilai UTS dari material. Pada helm ketebalan 4 mm, 6 mm, 8 mm dan 10 mm tidak mengalami kegagalan dengan nilai stress sebesar 455 Mpa, 360 Mpa, 344 Mpa, dan 370 Mpa.
3. Deformasi yang terjadi semakin kecil seiring dengan bertambahnya ketebalan helm. Nilai deformasi dari helm ketebalan 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, dan 10 mm adalah sebesar 20.9 mm, 13.4 mm, 9.16 mm, 6.18 mm, dan 4.44 mm. Dengan deformasi yang terjadi adalah deformasi plastis selain pada helm 2 mm yang gagal.
4. Berdasarkan tiga hal yang telah dijelaskan diatas, helm dengan ketebalan 8 mm merupakan helm dengan ketebalan optimal, dengan nilai stress paling mendekati yield dari material dan berat yang lebih ringan dibanding helm ketebalan 10 mm. Dan dengan nilai deformasi yang tidak melebihi ketebalan dari material.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini adalah :

1. Dilakukan pengujian dengan standar yang dirujuk oleh lembaga pertahanan.
2. Dilakukan pengujian eksperimen sebagai pembanding hasil simulasi.

3. Membuat design yang dapat menahan penetrasi lebih baik untuk helm bagian depan.
4. Melakukan pemahaman rumus terkait untuk mengkonfirmasi tingkat ketepatan penelitian yang dilakukan..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] John MJ and Thomas S. 2008. Biofibres and Biocomposites. Page 343-364. Mahatma Gandhi University.
- [2] Mamalis AG, Manolakos DE, Ioannidis MB, et al. 2005. On the response of thin-walled CFRP composite tubular components subjected to static and dynamic axial compressive loading: Experimental.Compos Struct. page 69; 407-420.
- [3] Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. 2012. KEP/1119/XII/ 2012. Jakarta. Indonesia.
- [4] Fisika.lipi.go.id, “Baju Tahan Peluru dari Serat Rami”, 2009, 21:12 [diakses 30 Mei 2020]. Tersedia dari <http://www.fisika.lipi.go.id/webfisika/content/baju-tahan-peluru-dari-seratrami>
- [5] Aare, M., Kleiven, S. 2007. Evaluation of Head Response to Ballistic Helmet Impact Using The Finite Element Method. Royal Institute of Technology (KTH) Sweden.
- [6] Soemardi T. P., Kusumaningsih W., Irawan A. P.. 2007. Kinerja Serat Rami sebagai Reinforcement pada Polimer Komposit Panel Anti Peluru. Universitas Indonesia.
- [7] Susetya, Ananta Jatra. 2018. Analysis of Composite Epoxy-HGM Woven Ramie Fiber as Bulletproof Panel of Assault Rifle. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Thama C.Y., Tanb V.B.C., Lee H.P.. 2007. Ballistic impact of a KEVLAR® helmet: Experiment and simulations. National University of Singapore
- [9] Ghoushji, M. J., dkk. 2017. Energy absorption capability of axially compressed woven natural ramie/green epoxy

square composite tubes. *Journal of Reinforced
Plastics and Composites*.

[10] Konsorsium. Belum dipublikasikan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Zikhrul Arif merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Masril dan Zuchra Johan. Penulis lahir di Solok, tanggal 11 Desember tahun 1994. Penulis menempuh pendidikan formal sekolah dasar pada tahun 2000 sampai 2006 di SDN 02 Kebon Melati. Penulis kemudian melanjutkan pendidikannya di SMPN 1 Jakarta pada tahun 2006 hingga 2009 dan di SMAN 4 Jakarta

pada tahun 2009 hingga 2012. Setelah menyelesaikan pendidikan formal, penulis memutuskan untuk menempuh pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Departemen Teknik Mesin. Selama berkuliah, penulis mengikuti berbagai kegiatan akademik dan non akademik demi menunjang terbentuknya pengalaman moral, keprofesian, serta sosial yang kaya. Penulis aktif berkontribusi sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Mesin dan Mesin ITS Autosport periode 2013/2014 dan 2014/2015 masing-masing sebagai Staf Departemen Umum, Staf Divisi *Human Resource Departement*, Kepala Departemen Organisasi, dan Sekertaris Umum. Penulis pun aktif sebagai rakyat Laboratorium Metalurgi, sebagai Asisten Praktikum Metalurgi 1 dan 2. Informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini dapat menghubungi penulis melalui email zikhrula@gmail.com.