

TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI KEMAMPUAN *POLYPROPYLENE* DALAM  
MENYERAP ENERGI *IMPACT* PADA APLIKASI  
*AIRBAG PACKAGING* UNTUK 14”*NOTEBOOK*  
DENGAN VARIASI KETEBALAN, TEKANAN, DAN  
SUDUT JATUH**

NGURAH BAGUS ARYA WIDIANTARA  
NRP 2111 100 095

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

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



TUGAS AKHIR - TM 141585

***STUDI KEMAMPUAN POLYPROPYLENE DALAM  
MENYERAP ENERGI IMPACT PADA APLIKASI  
AIRBAG PACKAGING UNTUK 14"NOTEBOOK  
DENGAN VARIASI KETEBALAN, TEKANAN, DAN  
SUDUT JATUH***

**NGURAH BAGUS ARYA WIDIANTARA  
NRP 2111 100 095**

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

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



**FINAL PROJECT - TM 141585**

**RELIABILITY STUDY OF POLYPROPYLENE TO  
ABSORB IMPACT ENERGY ON AIRBAG PACKAGING  
FOR NOTEBOOK 14" WITH THICKNESS,  
PRESSURE, AND DROP ANGLE AS CONSTRAIN  
VARIABLE**

**NGURAH BAGUS ARYA WIDIANTARA  
NRP 2111 100 095**

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

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

**STUDI KEMAMPUAN *POLYPROPYLENE* DALAM  
MENYERAP ENERGI *IMPACT* PADA APLIKASI *AIRBAG*  
*PACKAGING* UNTUK 14" *NOTEBOOK* DENGAN VARIASI  
KETEBALAN, TEKANAN DAN SUDUT JATUH**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

**NGURAH BAGUS ARYA WIDIANTARA**

NRP. 2111 100 095

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT. (Pembimbing)  
NIP. 19740703 200003 1 004
2. Indra Sidharta, ST., M.Sc. (Penguji I)  
NIP. 19800619 200604 5 003
3. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc. (Penguji II)  
NIP. 19820209 201212 1 001
4. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D. (Penguji III)  
NIP. 19800520 200501 1 003



**SURABAYA**

**JULI, 2017**

# **STUDI KEMAMPUAN POLYPROPYLENE DALAM MENYERAP ENERGI IMPACT PADA APLIKASI AIRBAG PACKAGING UNTUK 14"NOTEBOOK DENGAN VARIASI KETEBALAN, TEKANAN DAN SUDUT JATUH**

**Nama Mahasiswa** : Ngurah Bagus Arya Widiantera  
**NRP** : 2111100095  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr.Eng. Sutikno, ST., MT.

## **Abstrak**

*Dunia teknologi terkini memiliki banyak produk-produk teknologi canggih dan modern. Resikonya, produk dengan teknologi canggih dan bentuk yang minimalis membuat produk tersebut rentan terhadap beban kejut yang besar. Sebelumnya, dalam dunia packaging terdapat Styrofoam yang biasanya terbuat dari Polyethylene (PE) tetapi plastik PE kurang baik karena mudah terbakar dan meskipun tangguh tapi rentan rusak. Styrofoam juga selalu memenuhi ruangan dalam proses penyimpanannya. Maka, dibutuhkan metode packaging yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan merancang suatu produk airbag packaging dengan variasi ketebalan, tekanan, dan sudut jatuh untuk menganalisa energi beban impact yang dapat diserap oleh produk.*

*Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, dari studi pustaka, simulasi, pembuatan prototype, serta pengujian energi kinetik energi yang dapat diserap. Geometri dibuat mengacu pada studi-studi terdahulu. Penelitian dilakukan dengan karakteristik Polypropylene (PP) yang digunakan sebagai material dasar dari produk. Variasi yang digunakan yaitu ketebalan 0.3, 0.5, dan 0.8mm, variasi tekanan 5, 10, dan 15 psi, dan variasi sudut jatuh  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$ . Dalam proses simulasi, Geometri produk dibentuk menggunakan perangkat lunak Computer Aided Design (CAD) dengan skala sebenarnya sehingga dapat diaplikasikan. Untuk*

*tahapan selanjutnya dilakukan dengan software finite element dengan menambahkan variasi ketebalan, tekanan, dan sudut jatuh benda sebagai acuan dalam proses eksperimen. Proses simulasi menentukan kondisi terbaik airbag packaging dalam menyerap energi. Selanjutnya, proses pembuatan prototype sebagai benda uji sesuai dengan geometri pada simulasi. Selanjutnya, proses eksperimen dengan pengujian kompresi pada benda uji. Eksperimen dilakukan dengan metode quasi-static dan menggunakan standard ASTM D695 dalam proses pengujian energi yang dapat diserap pada plastik.*

*Dari hasil pengujian kompresi didapatkan nilai maksimum displacement sebesar 24,13 mm dan energi yang diserap airbag sebesar 26,58 J. Hal ini menandakan bahwa airbag dapat menyerap energi yang disebabkan oleh gaya pada pengujian kompresi. Sedangkan, dari hasil simulasi terlihat bahwa semakin tinggi ketebalan maka kemampuan airbag dalam menahan tegangan akan semakin besar. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai energi serap airbag yang mengalami penurunan. Dilain pihak, semakin tinggi tekanan kemampuan airbag dalam menahan tegangan semakin menurun. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai energi serap airbag yang mengalami peningkatan.*

***Kata kunci : polypropylene, airbag packaging, uji kompresi, plastik***

# **RELIABILITY STUDY OF POLYPROPYLENE TO ABSORB IMPACT ENERGY ON AIRBAG PACKAGING FOR NOTEBOOK 14" WITH THICKNESS, PRESSURE, AND DROP ANGLE AS CONSTRAIN VARIABLE**

**Student Name** : Ngurah Bagus Arya Widiantara  
**NRP** : 2111100095  
**Major** : Mechanical Engineering FTI-ITS  
**Advisor** : Dr.Eng. Sutikno, ST., MT.

## **Abstract**

*The latest technology world is now consist of many modern and advance technology that was compact in design, therefore the risk of having such product is it was fragile to impact force. In packaging technology there are Styrofoam that was made from Polyethylene (PE). It was sturdy, but easy to burn, break, and need much space for inventory. Therefore, a method to reduce the problem is necessary. This research is intended to design an airbag packaging product to solve the problem with impact energy analysis as value of failure, and thickness, pressure, also drop angle as constrain variable.*

*This research consist from, literature study, simulation, prototype production, also kinetic and impact energy testing. The geometry is made based on the research that was already done before. The research is using Polypropylene as basic material. The thickness constrain variable is set to 0.3, 0.5, and 0.8 mm, pressure set to 5, 10, and 15 psi, and drop angle set to 0<sup>o</sup>, 45<sup>o</sup>, and 90<sup>o</sup>. In simulation process, model is made using Computer Aided Design (CAD) software with real scale, and then the input is set to represent the actual testing condition of the product. The simulation is done to determine which is the best airbag packaging to withstand impact force. The next step is to make the actual product and testing it using compression test. Experimental study*

*is done with quasi-static method and using ASTM D695 standard as testing reference.*

*The result from compression testing shows that the maximum displacement is 24,13 mm and energy that was absorbed is 26,58 J. This result indicate the airbag can withstand and absorbed the forced caused by compression testing. The result from the simulation process shows that the higher the thickness, the bigger airbag ability to withstand the force. This is inversely proportional to energy absorbent value which is decreasing. Also, the higher the pressure, the smaller airbag ability to withstand the stress. This is also inversely proportional to energy absorbent value which is increasing.*

***Keywords : polypropylene, airbag packaging, compression testing, plastic***



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak Ir. Putu Karmiata Arya K. dan Ibu Luh Putu Yuni Anggraeni, SE., MM., orangtua penulis yang selalu memberikan semangat dan doa yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. dr. Putu Tatia Indah Karmita Sari dan Ngurah Adi Bramantia Putra selaku kakak-adik dari penulis yang selalu memberikan semangat, doa, dan saran hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr.Eng. Sutikno, ST., MT., sebagai dosen pembimbing dan sekaligus sebagai dosen wali yang telah memberikan bimbingan, arahan dan nasihat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Indra Sidharta, ST., M.Sc., Bapak Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc. dan Bapak Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan nasihat dan saran dalam penyusunan penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Eng.Sc., Ph.D., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Bapak Sumatri, Bapak Endang, Bapak Budi, Bapak Gatot, dan Mas Agus selaku Karyawan Laboratorium Metalurgi

yang telah memberikan nasihat dan bantuan selama menjadi keluarga lab. Metalurgi.

7. Seluruh Dosen beserta staff karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan serta sarana dan prasarana kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
8. Seluruh rekan-rekan Keluarga Laboratorium Metalurgi yang telah memberikan bantuan, hiburan, dan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
9. Seluruh rekan-rekan keluarga Laboratorium Komputer yang telah memberikan bantuan dan menciptakan lingkungan baik selama proses pengerjaan tugas akhir.
10. Seluruh rekan-rekan penumpang Laboratorium Mekanika Benda Padat yang telah memberikan bantuan, hiburan dan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
11. Seluruh rekan-rekan Teknik Mesin ITS 2011 M54 yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
12. Seluruh Keluarga Mahasiswa Mesin ITS khususnya mantan pengurus Mesin Music Club 2013/2014 yang tak henti-hentinya memberikan semangat kepada penulis.
13. Seluruh rekan-rekan tim kaderisasi jahat 2014/2015 yang terus mendukung kelancaran tugas akhir penulis.
14. Seluruh Mesin Fossil angkatan 2011 yang terus berdedikasi dengan predikat *fossil* nya dan terus menerima doa dengan baik.
15. Seluruh rekan Mdiskon yang terus mencari cara mendapat kualitas hiburan no.1 surabaya.
16. Seluruh rekan-rekan TPKH ITS 2011.
17. Seluruh rekan kos blok T-88.
18. Seluruh rekan kontrakan Titiugalagil.
19. Seluruh rekan kontrakan Klampis dan kontrakan M.
20. Terima kasih kepada klub Inter milan yang memberikan semangat kepada penulis.

Semoga amal dan jasa yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat imbalan dari Tuhan YME.

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

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

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRACT .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xvi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Tinjauan.....	5
2.2 <i>Airbag Packaging</i> .....	8
2.3 Polimer.....	10
2.4 Termoplastik .....	11
2.5 <i>Polypropylene</i> .....	11
2.6 Viskoelastik .....	13
2.7 Pengujian Mekanik .....	14
2.7.1 <i>Drop Weight Impact Test</i> .....	14
2.7.2 Uji Kompresi. ....	15
BAB III.....	17
METODOLOGI .....	17
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	17
3.2 Diagram Alir Simulasi.....	18
3.3 Diagram Alir Eksperimen .....	19
3.4 Studi Literatur.....	20
3.5 Simulasi Pengujian.....	21
3.6 Pengujian Eksperimen .....	24
3.6.1 Pembuatan Produk <i>Airbag</i> .....	24
3.6.2 Pengujian Eksperimen.....	25

BAB IV.....	27
ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA .....	27
4.1    Data Spesifikasi <i>Airbag Packaging</i> .....	27
4.1.1    Spesifikasi airbag pada simulasi.....	28
4.1.2    Spesifikasi airbag pada eksperimen.....	28
4.2    Analisa Hasil Simulasi.....	28
4.2.1    Analisa Tegangan Ekuivalen.....	28
4.2.1.1    Sudut Jatuh 0° .....	28
4.2.1.2    Sudut Jatuh 45° .....	31
4.2.1.3    Sudut Jatuh 90° .....	34
4.2.2    Analisa Deformasi Total.....	37
4.2.2.1    Sudut Jatuh 0° .....	37
4.2.2.2    Sudut Jatuh 45° .....	39
4.2.2.3    Sudut Jatuh 90° .....	43
4.3    Analisa Data Hasil Simulasi .....	46
4.4    Analisa Grafik Hasil Simulasi .....	46
4.4.1    Analisa grafik perbandingan energi dan ketebalan .....	46
4.4.1.1    Sudut Jatuh 0° .....	46
4.4.1.2    Sudut Jatuh 45° .....	47
4.4.1.3    Sudut Jatuh 90° .....	48
4.4.2    Analisa grafik perbandingan tegangan dan ketebalan .....	48
4.4.2.1    Sudut Jatuh 0° .....	48
4.4.2.2    Sudut Jatuh 45° .....	50
4.4.2.3    Sudut Jatuh 90° .....	51
4.4.3    Analisa grafik perbandingan tegangan dan ketebalan .....	52
4.4.3.1    Sudut Jatuh 0° .....	52
4.4.3.2    Sudut Jatuh 45° .....	53
4.4.3.3    Sudut Jatuh 90° .....	53
4.5    Analisa Hasil Pengujian Eksperimen pada <i>Airbag Packaging</i> .....	54
4.5.1    Analisa grafik displacement .....	55

4.5.2	Analisa perbandingan energi simulasi dan eksperimen.....	55
4.5.3	Analisa perbandingan <i>displacement</i> simulasi dan eksperimen .....	56
BAB V	.....	57
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	57
5.1	Kesimpulan .....	57
5.2	Saran .....	58
DAFTAR PUSTAKA	.....	59

**"Halaman ini sengaja dikosongkan"**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Eksperimental Setup .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Akselerasi dari <i>impactor</i> , (a) dari ketinggian 500mm airbag tidak rusak (b) dari ketinggian 700mm. airbag rusak .....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Pemodelan <i>Airbag</i> .....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Aplikasi <i>Airbag packaging</i> .....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Struktur polimer, (a) linier, (b) bercabang, (c) cross-linked, (d) network .....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Grafik hubungan temperatur dan waktu untuk plastik termoplastik .....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Biji <i>Polypropylene</i> .....	12
<b>Gambar 2.8</b>	Grafik hubungan tegangan-regangan viskoelastis bahan polimer .....	13
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian .....	17
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram alir simulasi.....	18
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram alir eksperimen.....	19
<b>Gambar 3.4</b>	Tampilan pada software finite element.....	21
<b>Gambar 3.5</b>	Dimensi model 3D <i>airbag packaging</i> . .....	22
<b>Gambar 3.6</b>	Meshing 3D <i>airbag packaging</i> dengan <i>notebook</i> .....	23
<b>Gambar 3.7</b>	Geometri <i>output airbag packaging</i> dengan <i>notebook</i> .....	23
<b>Gambar 3.8</b>	Peralatan dan bahan, (a) mesin pres, (b) plastik <i>polypropylene</i> , (c) kompresor .....	24
<b>Gambar 3.9</b>	Mesin Shimadzu Autograph AG-X. ....	25
<b>Gambar 3.10</b>	Skema pengujian kompresi <i>airbag packaging</i> . .....	26
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	28



<b>Gambar 4.2</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	29
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	30
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	31
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	32
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	33
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	34
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	35
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.....	36
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	37
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	38

<b>Gambar 4.12</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	39
<b>Gambar 4.13</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	40
<b>Gambar 4.14</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	41
<b>Gambar 4.15</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	42
<b>Gambar 4.16</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	43
<b>Gambar 4.17</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	44
<b>Gambar 4.18</b>	Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi .....	45
<b>Gambar 4.19</b>	Grafik Perbandingan energi dan ketebalan pada sudut jatuh 0° (Horizontal) .....	47
<b>Gambar 4.20</b>	Grafik Perbandingan energi dan ketebalan pada sudut jatuh 45° .....	47
<b>Gambar 4.21</b>	Grafik Perbandingan energi dan ketebalan pada sudut jatuh 90° (Vertikal).....	48
<b>Gambar 4.22</b>	Grafik Perbandingan tegangan dan ketebalan pada sudut jatuh 0° (Horizontal) .....	49
<b>Gambar 4.23</b>	Grafik Perbandingan energi dan ketebalan pada sudut jatuh 45° .....	50

<b>Gambar 4.24</b>	Grafik Perbandingan tegangan dan ketebalan pada sudut jatuh $90^\circ$ (Vertikal).....	51
<b>Gambar 4.25</b>	Grafik Perbandingan deformasi dan ketebalan pada sudut jatuh $0^\circ$ (Horizontal) .....	52
<b>Gambar 4.26</b>	Grafik Perbandingan deformasi dan ketebalan pada sudut jatuh $45^\circ$ .....	53
<b>Gambar 4.27</b>	Grafik Perbandingan deformasi dan ketebalan pada sudut jatuh $90^\circ$ (Vertikal).....	54
<b>Gambar 4.28</b>	Grafik gaya - <i>displacement</i> yang terdapat pada mesin .....	55
<b>Gambar 4.29</b>	Grafik perbandingan energi dari simulasi dan eksperimen .....	56
<b>Gambar 4.30</b>	Grafik perbandingan <i>displacement</i> dari simulasi dan pengujian.....	56

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Hasil Eksperimen Penelitian Terdahulu .....	6
<b>Tabel 2.2</b>	Hasil Eksperimen Penelitian Terdahulu .....	8
<b>Tabel 2.3</b>	<i>Properties of polypropylene</i> .....	8
<b>Tabel 3.1</b>	Properti Material .....	20
<b>Tabel 4.1</b>	Data Hasil Simulasi <i>Airbag Packaging</i> .....	27
<b>Tabel 4.2</b>	Data Hasil Eksperimen <i>Airbag Packaging</i> .....	28
<b>Tabel 4.3</b>	Data <i>polypropylene</i> pada eksperimen .....	46

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dunia teknologi terkini memiliki banyak produk-produk teknologi canggih dan modern dikarenakan tuntutan mempermudah hidup manusia yang cukup besar seperti telepon seluler *touchscreen*. Resikonya, produk dengan teknologi canggih dan bentuk yang minimalis membuat produk tersebut rentan terhadap beban kejut yang besar, terutama resiko dalam pengiriman.

Sebelumnya dalam dunia *packaging* terdapat *Styrofoam* yang biasanya terbuat dari PE. *Polyethylene* (PE) digunakan karena plastik tersebut memiliki beberapa sifat yang menguntungkan, yaitu dapat digunakan untuk penyimpanan dingin dengan low temperatur  $-60^{\circ}\text{C}$ , fleksibel sehingga mudah dibentuk dan mempunyai daya rentang yang tinggi tetapi plastik PE kurang baik karena mudah terbakar dan meskipun tangguh tapi rentan rusak. *Styrofoam* pada *packaging* juga hanya bisa digunakan sekali pakai. *Styrofoam* juga memiliki kelemahan yaitu dalam proses penyimpanan pada *warehouse*. Ukuran yang besar dapat menghabiskan tempat pada *warehouse* itu sendiri. Setidaknya dibutuhkan solusi dari permasalahan pengemasan yang ada.

Maka, dibutuhkan metode *packaging* yang dapat mengatasi permasalahan diatas. *Airbag packaging* hadir sebagai solusi dari masalah pengemasan yang ada. Selain hanya membutuhkan area penyimpanan yang lebih kecil, penggunaan *airbag packaging* juga memiliki perhatian terhadap lingkungan, yaitu *reusable*. Plastik pun masih menjadi bahan baku utama karena memiliki sifat yang mudah dibentuk. Terdapat banyak jenis plastik yang memiliki berbagai sifat mekanik yang menguntungkan akan tetapi hanya beberapa plastik yang memiliki *safety choice* yang baik, diantaranya *High-density polyethylene* (HDPE), *Low-*

*density polyethylene* (LDPE), *Polyethylene terephthalate* (PET) dan *Polypropylene* (PP).

Pada penelitian kali ini *airbag packaging* yang dibuat berbahan dasar *Polypropylene* yang memiliki ketahanan *impact* dan kekakuan yang tinggi. Pada PP juga mudah terbakar, tetapi tahan lebih baik daripada PE. PP juga memiliki ketahanan pada kelembapan yang baik. Bahan ini juga tidak mudah rusak jika dibandingkan dengan plastik PE maka *airbag* dapat digunakan lebih dari sekali pakai (*reusable*). Alasan tersebut pun menjadi dasar penggunaan *polypropylene* pada *airbag packaging*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian kali ini akan dianalisa kemampuan *airbag packaging* untuk menyerap energi kejut. *Airbag packaging* dibentuk sebagai pelindung barang yang retan pada beban kejut. Maka, material yang akan digunakan adalah polimer *polypropylene*, dengan alasan mempunyai sifat yang baik dalam menahan energi *beban kejut* adapun keunggulan *polypropylene* lain yang berpengaruh pada penyimpanan yaitu *reusable* atau dapat dipakai ulang.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini merancang suatu produk *airbag packaging* dengan variasi ketebalan 0.3, 0.5, dan 0.8mm, variasi tekanan 5, 10, dan 15 psi, dan variasi sudut jatuh  $0^0$ ,  $45^0$ , dan  $90^0$  untuk menganalisa energi beban *impact* yang dapat diserap oleh produk.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam analisis agar mengarah pada inti masalah sesungguhnya adalah:

1. Dimensi benda uji 400 x 300 x 85 mm dengan berat 2 Kg.
2. Pengujian yang dilakukan adalah uji kompresi metode *quasi static*.
3. Pengujian menggunakan replika *notebook*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap semua pihak. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan pengetahuan mengenai karakteristik polypropylene dalam penggunaan pada *airbag packaging*.
2. Sebagai referensi dan literatur dalam pembuatan karya ilmiah atau jurnal.

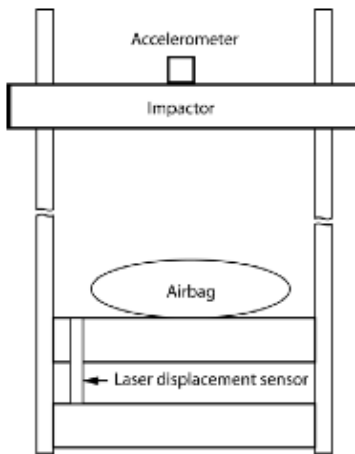


**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

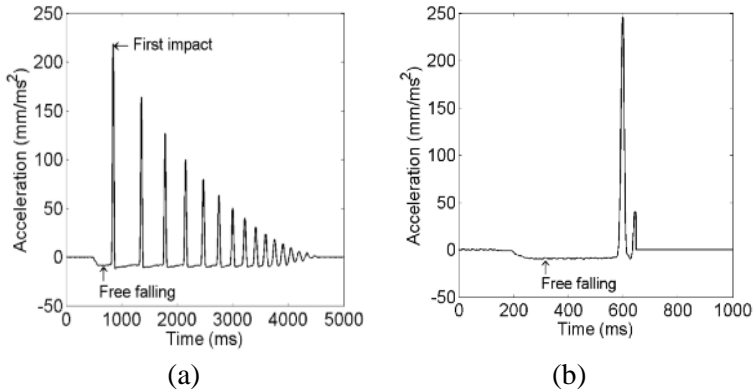
### 2.1 Dasar Tinjauan

Penelitian yang pernah dilakukan adalah mengenai kekuatan *airbag packaging* yang terbuat dari polimer polypropylene yang memiliki panjang 300mm dan lebar 200mm yang kemudian ketinggiannya meningkat hingga 75mm setelah diisi udara. Pengujian dilakukan dengan menjatuhkan plate impactor yang telah dipasang piezoelectric accelerometer (untuk mendapatkan kecepatan/perlambatan *impactor*) dengan variasi ketinggian 400mm sampai 700mm dimana menggunakan 5 spesimen uji untuk setiap ketinggian impactor.



**Gambar 2.1** Experimental Setup.<sup>[1]</sup>

Sensor laser yang terdapat pada plate bagian bawah berfungsi untuk mengetahui perubahan ketinggian spesimen setelah atau sebelum dikenai beban kejut.



**Gambar 2.2** Akselerasi dari *impactor*, (a) dari ketinggian 500mm airbag tidak rusak (b) dari ketinggian 700mm. airbag rusak.<sup>[1]</sup>

Kondisi airbag setelah dikenai beban kejut adalah sebagai berikut:

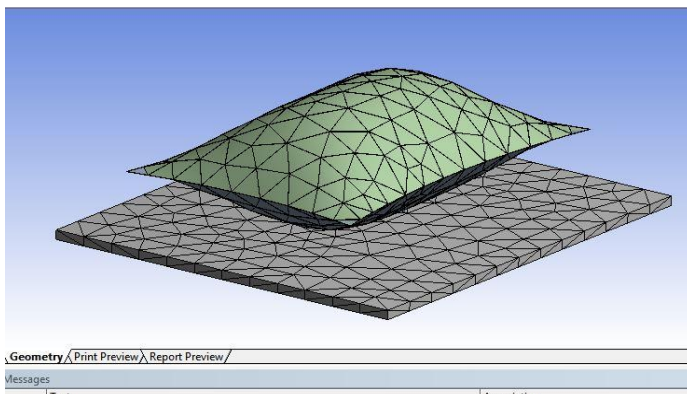
**Table 2.1** Hasil eksperimen. <sup>[1]</sup>

Impactor height (mm)	Impactor velocity (mm)	Airbag status	Impactor max disp. (mm)
400	2.26	Not broken	36.7
500	2.54	Not broken	39.9
600	2.82	Not broken	42.5
650	2.96	Mixed	-
700	3.30	Broken	-

Semua airbag tidak rusak ketika plate impactor dijatuhkan dari ketinggian 400, 500, 600 mm, tetapi beberapa mengalami kerusakan pada ketinggian 650mm, dan pada ketinggian 700mm semua airbag rusak. (F.E. Gunawan. 2010)

Penelitian lain yang pernah dilakukan adalah tentang pengujian *impact drop weight* menggunakan sensor strain gage untuk bahan komposit 80% resin bercampur 20% bubble glass dan berpenguat woven roving dan chopped strand mat. Pengujian ini dilakukan dengan menjatuhkan pendulum hingga mengenai spesimen uji dimana energi impact dapat diketahui dari sensor strain gage. Dari pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kekuatan impact yang paling besar dimiliki oleh komposit dengan komposisi resin dan bubble glass dengan penambahan Chopped Strand Mat (178,88 J), kemudian resin dan bubble glass (174,44 J), dan kekuatan impact paling rendah dimiliki oleh komposit dengan komposisi resin dan bubble glass dengan tambahan woven roving (162,22 J). (Pebriyanto, Risqi, 2013)

Penelitian selanjutnya ini tentang kemampuan material yakni *polypropylene* dalam penyerapan energi beban kejut dengan aplikasi dasar airbag packaging. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan satu bagian dari keseluruhan airbag.



**Gambar 2.3** Pemodelan *airbag*.<sup>[2]</sup>

Pengujian yang digunakan dengan melakukan uji kompresi ini dilakukan dengan 3 variabel ketebalan, sehingga mendapatkan hasil seperti pada tabel 2.2. (Rifqoh, 2016)

**Tabel 2.2** Hasil eksperimen.<sup>[2]</sup>

No.	Ketebalan (mm)	Energi (J)	Stress (Mpa)	Tot. Deformation (mm)
1.	0,3	8,3203	37,501	9,6534
2.	0,5	11,778	38,854	16,706
3.	0,8	14,41	39,324	18,793

## 2.2 *Airbag Packaging*

Setiap produk memiliki daya tahan masing-masing. Banyak dijumpai kondisi yang mengharuskan produk tersebut berada dalam kotak penyimpanan sehingga tidak mudah pecah maupun rusak, salah satunya yaitu produk elektronik. Seringkali produk elektronik menjadi rusak disebabkan oleh tekanan, benturan, getaran atau beban kejut yang cukup besar. Salah satu contoh produk yang sering mengalami kerusakan yaitu notebook.

Teknologi yang terus berkembang menghasilkan suatu kemasan yang sering dijumpai untuk melindungi produk elektronik masa kini itu. Styrofoam, salah satu yang sering digunakan sebagai sebuah penyangga atau pelindung, sering juga digunakan sebagai pengepakan (packaging) produk laptop tersebut. Sifat Styrofoam yang ringan, kedap air dan tebal itu membuat teknologi ini menjadi pilihan masyarakat global untuk melindungi. Tetapi dari berbagai manfaat yang diberikan oleh styrofoam, terdapat pula hal dasar yang menjadi kekurangan besar Styrofoam, yaitu bahan ini sulit untuk membusuk sehingga butuh ada daur ulang yang baik dan juga dalam suatu warehouse, ukuran styrofoam yang besar akan menjadi masalah karena membuat ruang penyimpanan yang besar pula. Ruang warehouse produksi menjadi harus bertambah hanya sebagai tempat penyimpanan warehouse.



**Gambar 2.4** Aplikasi *Airbag packaging*.<sup>[3]</sup>

Inovasi pada bidang industri yang terus bergerak cepat menghasilkan sistem pengemasan baru, yaitu *Airbag packaging*. Teknologi ini menjadi pilihan karena memiliki berbagai kelebihan, yaitu memiliki berat yang ringan, dapat dibuat sesuai dengan benda yang dikemas, mudah dalam penggunaan, hemat dalam penyimpanan, meminimalisir kelebihan beban dalam pengemasan, serta ketahan pada air maupun korosi baik.

Hal ini menjadikan adanya inovasi baru pada dunia industri khususnya untuk pengemasan (*packaging*). *Airbag packaging* adalah salah satu contohnya, benda ini digunakan untuk pengemasan suatu produk yang membutuhkan keamanan pada saat penyimpanan dan pada saat dibawa-bawa. *Airbag packaging* memiliki beberapa keunggulan<sup>[3]</sup>, yaitu:

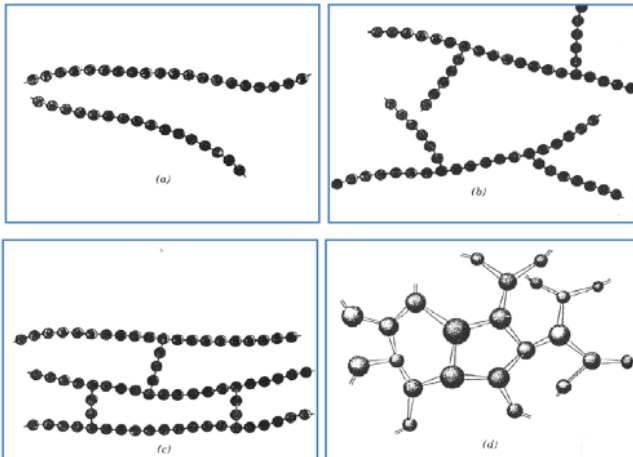
1. Memiliki warna yang transparan.
2. Memiliki berat yang ringan.
3. Dapat dibuat sesuai bentuk benda yang akan dikemas.
4. Penggunaannya mudah, dengan cara meniupkan udara pada airbag packaging.
5. Menghemat tempat karena jika tidak terpakai benda tersebut dapat dikempeskan kemudian disimpan.
6. Meminimalkan ukuran dan berat dari paket keseluruhan untuk biaya pengiriman yang lebih rendah.
7. Ketahanan terhadap air dan korosi baik

### 2.3 Polimer

Polimer merupakan molekul panjang yang merupakan gabungan dari monomer-monomer. Polimer sendiri berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata yaitu “poly” artinya banyak sedangkan “meros” artinya unit atau bagian. Umumnya polimer dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik-menarik yang disebut ikatan kovalen, dimana ikatan setiap atom dari pasangan menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang elektron.

Salah satu faktor yang menentukan sifat suatu polimer adalah keteraturan rantai. Berdasarkan struktur rantainya, polimer terdiri dari beberapa jenis yaitu:

- Linier
- Bercabang (branched)
- Cross-linked
- Jaringan (network)



**Gambar 2.5** Struktur polimer, (a) linier, (b) bercabang, (c) cross-linked, (d) network.<sup>[4]</sup>

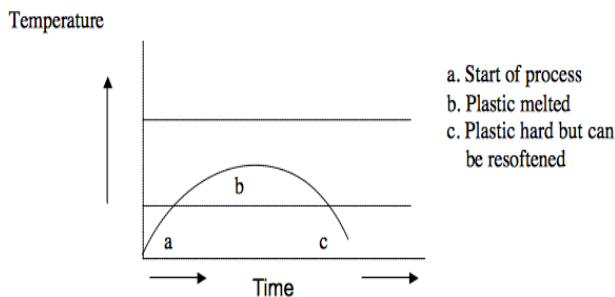
Polimer linier dan bercabang dapat dilunakkan atau bisa juga berubah menjadi bentuk lain jika dipanaskan atau berada pada

tekanan yang tinggi, sedangkan untuk polimer yang telah membentuk jaringan atau lebih akan stabil terhadap pengaruh panas dan tidak dapat meleleh.

Polimer menurut fungsi dan kegunaannya juga dapat dibagi menjadi termoset dan termoplastik. *Polypropylene* sendiri merupakan bagian dari termoplastik.

## 2.4 Termoplastik

Plastik jenis *thermoplastic* memiliki struktur molekul primer semikristalin yang dapat linier atau bercabang, sedangkan struktur sekundernya dapat amorph (bentuk amorph memiliki sifat jernih dan mudah patah) atau semikristalin (bentuk semikristalin memiliki sifat ulet), mudah larut dalam solvent, dapat menyatu jika dipanaskan (*fusible*), dapat dilas (*weldable*), titik lelehnya relatif rendah (mudah meleleh pada pemanasan temperatur tinggi), dan mudah dibentuk ulang dengan perlakuan panas dan tekanan (seperti *polyethylene* (PE), *polyvinyl chloride* (PVC), *polypropylene* (PP), nylon, *polystyrene* (PS), dll).



**Gambar 2.6** Grafik hubungan temperatur dan waktu untuk plastik termoplastik.<sup>[4]</sup>

## 2.5 Polypropylene

*Polypropylene* atau polipropilena (PP) adalah sebuah polimer termoplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya adalah untuk



pengemasan, seperti kantong plastik, gelas plastik, ember dan botol.



**Gambar 2.7** Biji *Polypropylene*.<sup>[5]</sup>

Polimer yang terbuat dari monomer propilena bersifat kasar dan tahan terhadap pelarut kimia, asam dan basa, tahan terhadap suhu tinggi dan tidak mudah retak. *Polypropylene* lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah. Dibandingkan dengan *polyethylene* dengan densitas tinggi atau rendah, *polypropylene* memiliki kekuatan tekan yang baik serta unggul pada kekuatan tarik. Stabil terhadap suhu tinggi bahan yang terbuat dari PP bila ditekan akan kembali ke bentuk semula, sifat lentur namun kuat.

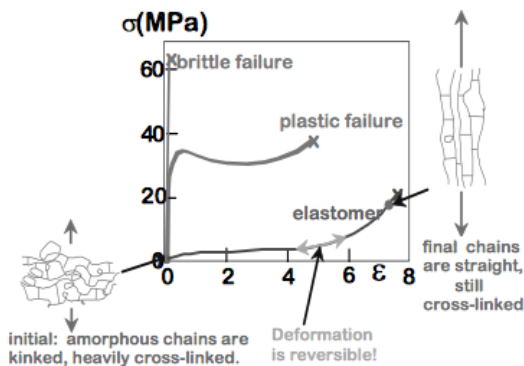
**Table 2.3** *Properties of polypropylene*.<sup>[6]</sup>

Sifat fisik	Nilai
Densitas, $g/cm^3$	0.910
Poisson Rasio	0,42
Modulus young, Mpa	1310
Tensile strength, Mpa	33,1
Titik lebur, °C	160

(<http://www.matweb.com/>, akses 2016)

## 2.6 Viskoelastik

Viskoelastis adalah sifat yang muncul pada material polimer. Sifat ini menunjukkan sifat mekanis yang merupakan gabungan dari sifat viskositas pada cairan dan elastis pada benda padat. Pada bahan viskoelastis ketika tegangan dihilangkan, bahan tersebut tidak segera dan tidak dapat langsung kembali ke bentuk semula. Secara umum, perilaku mekanis polimer ditunjukkan oleh grafik tegangan regangan dalam Gambar 2.5. Perilaku hubungan tegangan regangan bahan polimer memiliki sifat viskoelastik (perilaku strain softening dan strain hardening) yang ditentukan oleh struktur ikatan kimianya, laju tegangan-regangan dan perubahan temperatur. Jika deformasi relatif kecil dan perlakuan mekanik terjadi pada temperatur rendah, maka terjadi deformasi elastik. Pada suhu tinggi akan bersifat seperti liquid, sedangkan pada temperatur intermediet maka sifat mekaniknya berada diantara dua keadaan tersebut. Kondisi ini dinamakan viskoelastis. Tegangan dan regangan yang terjadi pada material viskoelastis merupakan suatu fungsi waktu. Beberapa material yang menunjukkan sifat viskoelastis adalah polimer, rubber, dan kayu.



**Gambar 2.8** Grafik hubungan tegangan-regangan viskoelastis bahan polimer.<sup>[4]</sup>

## 2.7 Pengujian Mekanik

Dalam penelitian yang diharapkan adalah hasil dari kekuatan impact namun dalam rangka mencapai hasil tersebut diperlukan adanya hubungan antara kekuatan impact dengan metode pengujian kompresi.

### 2.7.1 Drop Weight Impact Test

Sebuah massa yang jatuh bebas atau benda bergerak yang menabrak sebuah struktur dinamakan beban atau gaya dinamik atau tumbuk (*dynamic impact load and force*). *Drop weight test* adalah cara mudah dan bermanfaat untuk mengevaluasi dampak kekuatan impact dari berbagai material dalam berbagai ukuran dan hasilnya dapat digunakan dalam permodelan matematika dari tumbukan bola.

Prinsip dari alat uji impact drop weight adalah suatu beban (pendulum) dibiarkan jatuh bebas dengan jarak tertentu sehingga menumbuk spesimen. Dari pengujian ini dapat diketahui kekuatan material untuk menyerap dan menghilangkan energi saat terjadi tumbukan. Pengujian ini didasarkan pada penyerapan energi potensial dari beban yang dijatuhkan secara vertikal dengan ketinggian tertentu hingga spesimen mengalami deformasi. Banyaknya energi yang diserap oleh spesimen hingga terjadi patahan merupakan ukuran ketahanan impact material tersebut.

Untuk mengetahui nilai *impact strength* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$IS = \Delta E/A$$

dimana:

$\Delta E$  = Perubahan energi

A = Luasan efektif

Nilai  $\Delta E$  dapat diketahui dari rumus sebagai berikut:

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

dimana:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_P - E_K \\ &= (m \cdot g \cdot h) + \frac{1}{2} m v^2 \\ &= m g h \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_2 &= E_P - E_K \\ &= (m \cdot g \cdot h) + \frac{1}{2} m v^2 \\ &= \frac{1}{2} m v^2 \end{aligned}$$

### 2.7.2 Uji Kompresi

Uji tekan merupakan pengujian yang berkebalikan dengan uji tarik, pada pengujian ini spesimen akan di beri gaya hingga spesimen itu retak ataupun hancur. Data yang didapat berupa perubahan panjang, perubahan luas penampang dan tegangan tekan.

Tegangan tekan berlawanan dengan tegangan tarik. Jika pada tegangan tarik, arah gaya menjauhi ujung benda, maka pada tegangan tekan, arah gaya mendekati benda uji. Dengan kata lain benda tidak ditarik tetapi ditekan (gaya-gaya bekerja di dalam benda). Perubahan bentuk benda yang disebabkan oleh tegangan tekan dinamakan mampatan. Misalnya pada tiang-tiang yang menopang beban, seperti tiang bangunan mengalami tegangan tekan. Kekuatan tekan dapat diperoleh dari percobaan dengan alat pengujian tekan. Ketika dalam pengujian nantinya, spesimen (*airbag packaging*) akan menjadi lebih memanjang.

Dalam perancangan teknik yang sebenarnya sebagian besar kita bertumpu pada tegangan teknik. Pada kenyataannya, tegangan sebenarnya berbeda dengan tegangan teknik. Oleh sebab itu, material akibat beban tekan dapat dihitung dari penjelasan

persamaan yang diberikan. Hal ini tentu saja karena perubahan luas penampang ( $A_0$ ) dan fungsi dari luas penampang  $A = \varphi (F)$ .

Tegangan normal akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana:

$\Sigma$  = Tegangan normal akibat beban tekan static ( $N/m^2$ )

F = Beban tekan (N)

A = Luas penampang spesimen ( $m^2$ ).

Untuk menentukan besar energi yang diserap oleh spesimen dapat dihitung menggunakan rumus:

$$E = F \cdot \Delta L$$

Dimana:

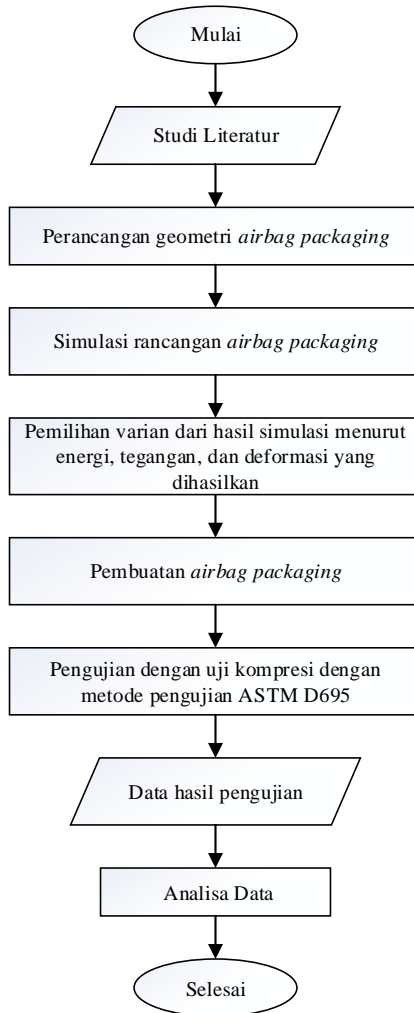
E = Energi yang diserap oleh spesimen

F = Beban tekan (N)

$\Delta L$  = Perubahan panjang (mm)

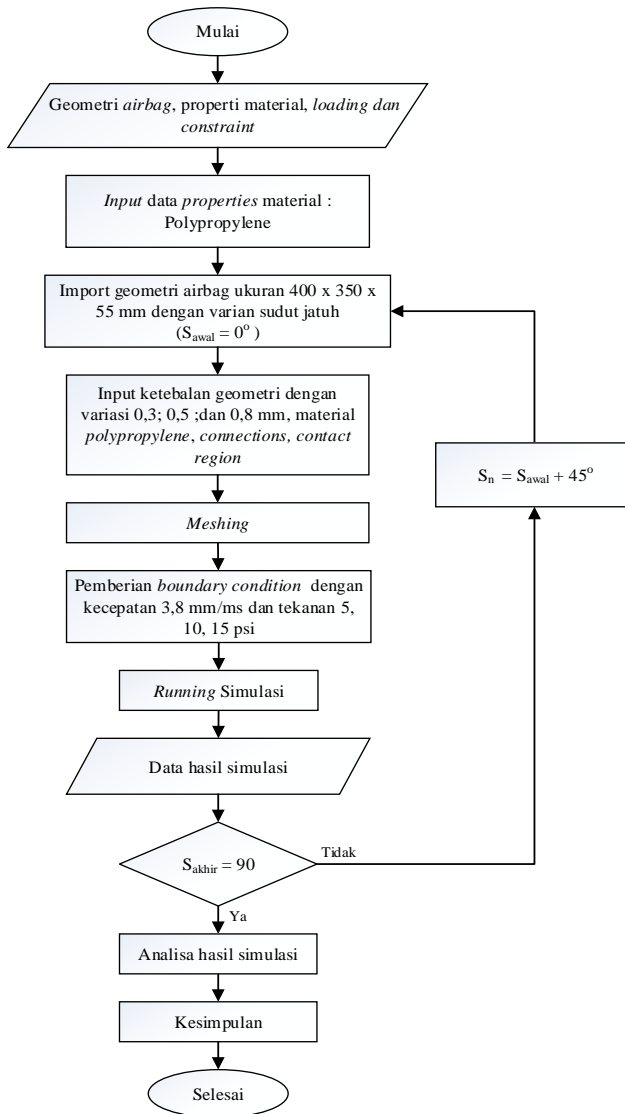
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



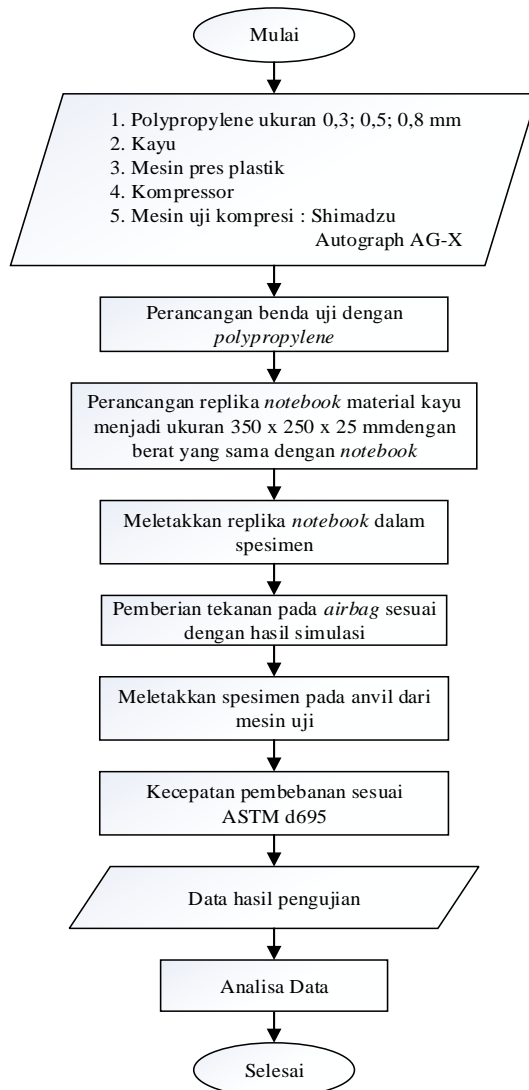
**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian *Airbag Packaging*

### 3.2 Diagram Alir Simulasi



**Gambar 3.2** Diagram Alir Simulasi Airbag Packaging

### 3.3 Diagram Alir Eksperimen



Gambar 3.3 Diagram Alir Eksperimen Airbag Packaging



### 3.4 Studi Literatur

Studi literature digunakan sebagai acuan atau dasar dalam penelitian sehingga dapat mendapatkan hasil yang akurat. Adapun studi literature yang digunakan sebagai berikut:

1. Hasil Penelitian Sebelumnya  
 Penelitian sebelumnya menggunakan bahan *polypropylene* sebagai bahan dasar *airbag packaging* yang digunakan sebagai dasar penelitian sekarang diperbesar cakupan *airbag packaging* sebagai satu kesatuan produk. Hasil penelitian sebelumnya tersebut didapat energi yang diserap dengan ketebalan 0.3mm, 0.5mm , dan 0.8mm yaitu 8.3203 J, 11.778 J, 14.41 J dan total deformasi dari 9.65mm , 16.706mm, 18.793mm secara berurutan.
2. Polypropylene  
 Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *polypropylene*. Bahan ini digunakan karena memiliki kemampuan menahan energi beban kejut yang baik dengan *properties* sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Properties material

Material	Densitas [g/cm <sup>3</sup> ]	Poisson Rasio	Modulus Young [Mpa]	Tensile Ultimate Strength [Mpa]
<i>Polypropylene</i>	0,910	0,42	1310	33,1

3. ASTM D695  
 Standard pengujian yang digunakan adalah ASTM D695 “*Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*” sebagai standard pengujian yang cocok digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.
4. Uji Kompresi  
 Pada dasarnya metode eksperimen seharusnya dilakukan dengan *impact drop test* akan tetapi dengan pendekatan gerak jatuh bebas (GLB), maka dapat dilakukan dengan uji

kompresi. Dengan memanfaatkan rumus kecepatan pada GLB,

$$V_t = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Dimana:

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h$  = Perpindahan benda (m)

$V_t$  = Kecepatan benda setelah  $t$  detik (m/s).

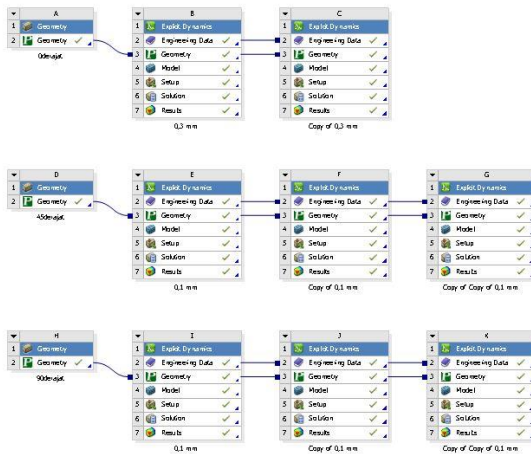
Pada simulasi, model benda uji juga didekatkan pada *fixed support*. Hal ini membuat benda uji seolah-olah menggunakan pengujian *drop test* dengan uji kompresi.

### 3.5 Simulasi Pengujian

Simulasi pengujian dilakukan dengan menggunakan software finite element yang terdiri dari beberapa tahap yaitu:

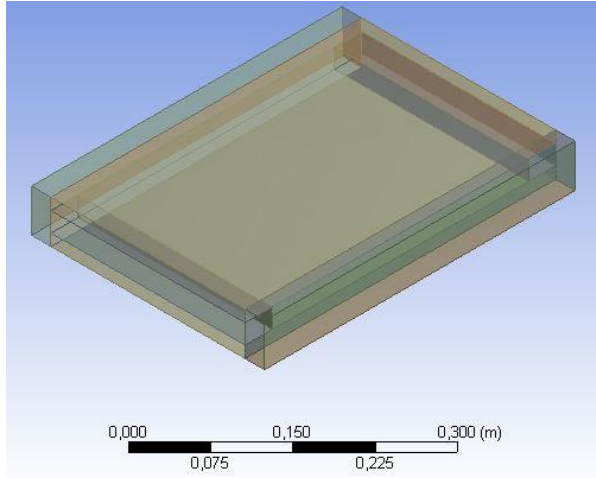
1. Proses input data material.

Data properti material dimasukkan ke dalam software finite element pada submenu Engineering Data



**Gambar 3.4** Tampilan submenu pada software finite element.

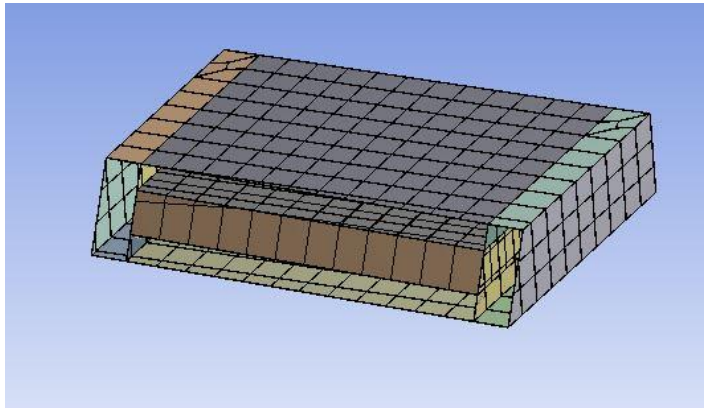
2. Proses penentuan geometri benda  
Geometri benda yang telah di gambar menjadi 6 sisi menggunakan software gambar 3D diimport ke dalam software finite elemen (Gambar 3.5).



**Gambar 3.5** Dimensi model 3D *airbag packaging*.

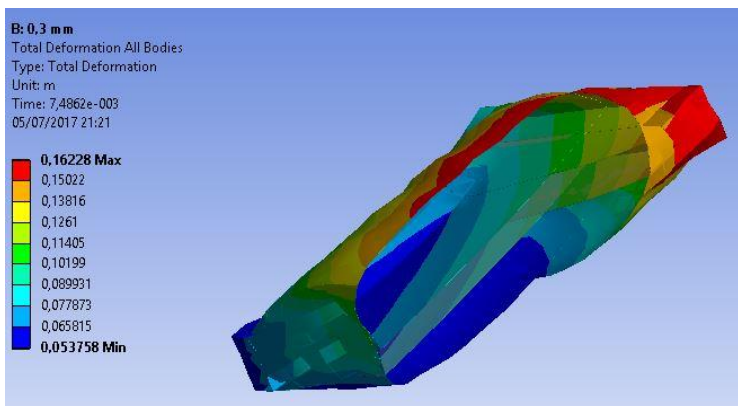
Pada software finite element bagian airbag semua sisi di *assembly* dengan cara di bonded agar kedua sisi menempel dan sesuai dengan keadaan nyata saat plastik di seal. Lalu dilakukan *assembly* kembali untuk keseluruhan kesatuan produk.

3. Proses modelling.  
Proses ini terdiri dari meshing (Gambar 3.6) dan setting kondisi sesuai dengan standar yang diinginkan. Setting kondisi untuk sistem *dynamic* dilakukan dengan memberikan input tekanan pada airbag.



**Gambar 3.6** Meshing 3D *airbag packaging* dengan *notebook*

4. Pemilihan output data yang diinginkan.  
Setelah kondisi disesuaikan dengan standar yang diinginkan, dilakukan pemilihan output data yang akan dihasilkan. Untuk simulasi airbag ini dipilih output data berupa tegangan maksimal yang terjadi, energi yang diserap, dan deformasi yang terjadi pada airbag. Contoh hasil output terlihat pada gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Geometri output *airbag packaging* dengan *notebook*

5. Proses running.  
Setelah menentukan output data yang diinginkan kemudian proses *running* dilakukan dengan melakukan *solve*.

### 3.6 Pengujian Eksperimen

#### 3.6.1 Pembuatan Produk *Airbag Packaging*

Adapun proses pembuatannya sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan dan peralatan yang diperlukan (Gambar 3.8).
2. Mengukur dimensi plastik dan kemudian dipotong.
3. Plastik yang telah dipotong kemudian dipres/direkatkan dengan menggunakan mesin pres (ditekan selama beberapa detik) pada setiap sisi.
4. Setelah proses pengepresan dan airbag sudah terbentuk, kemudian *airbag* tersebut diisi dengan udara dengan tekanan sesuai dengan hasil simulasi (5, 10, atau 15 Psi).
5. Setelah pemberian udara, produk dibentuk menjadi kesatuan produk.



**Gambar 3.8** Peralatan dan bahan, (a) mesin pres, (b) plastik *polypropylene*, (c) kompressor.

### 3.6.2 Pengujian Eksperimen

Pengujian tekan pada penelitian ini menggunakan metode pengujian quasi static dengan mengacu pada standar ASTM D695. Mesin yang digunakan adalah mesin Shimadzu Autograph AG-X di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS.

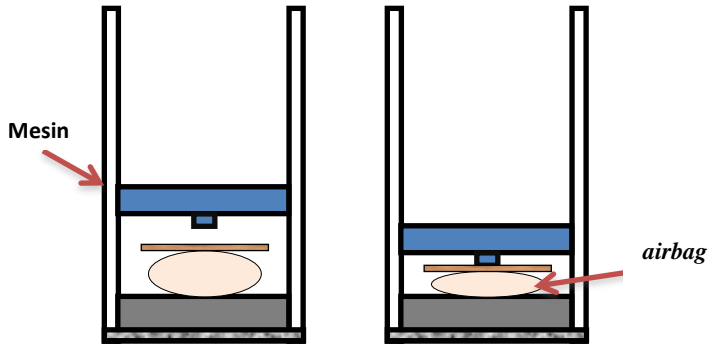


**Gambar 3.9** Mesin Shimadzu Autograph AG-X.

Pengujian tekan pada penelitian ini menggunakan metode pengujian quasi static dengan mengacu pada standar ASTM D695, “*Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*” dengan mesin pada gambar 3.9. Adapun proses pengujiannya sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen dan memastikan bahwa tidak ada kebocoran udara.
2. Meletakkan spesimen diatas permukaan plat.
3. Input kecepatan pembebanan pada mesin uji.
4. Pembebanan pada spesimen hingga meledak.
5. Data hasil pengujian dilihat pada komputer.

Berikut adalah skema pengujian yang dilakukan:



**Gambar 3.10** Skema pengujian kompresi *airbag packaging*.

**BAB IV**  
**ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA**

**4.1 Data Spesifikasi *Airbag Packaging***

**4.1.1 Data spesifikasi *airbag packaging* pada simulasi**

**Tabel 4.1** Data Hasil Simulasi *Airbag Packaging*

Sudut Jatuh	Tebal (mm)	Tekanan (Psi)	Tegangan (Mpa)	Energi (J)	Deformasi (mm)
0	0,3	5	103,40	60,07	85,26
		10	153,34	136,34	126,60
		15	180,87	228,43	162,28
	0,5	5	75,78	56,59	78,54
		10	119,33	122,00	120,13
		15	132,71	191,18	151,26
	0,8	5	59,31	54,24	69,81
		10	85,22	119,22	111,71
		15	95,03	172,35	147,70
45	0,3	5	84,70	100,77	45,42
		10	160,13	261,89	61,12
		15	182,63	474,05	89,12
	0,5	5	82,04	89,59	40,78
		10	112,79	215,34	49,98
		15	159,53	385,03	83,17
	0,8	5	74,21	84,95	34,79
		10	82,65	184,57	38,50
		15	86,98	317,46	77,34
90	0,3	5	62,00	107,61	40,39
		10	108,32	261,65	56,14
		15	161,50	463,65	62,02
	0,5	5	54,89	103,14	38,36
		10	75,56	229,48	45,22
		15	121,14	390,15	60,00
	0,8	5	52,77	96,19	35,24
		10	60,20	216,14	40,58
		15	92,80	317,95	55,03



#### 4.1.2 Data spesifikasi *airbag packaging* pada eksperimen

Tabel 4.2 Data Hasil Eksperimen

ketebalan (mm)	Impactor Ketinggian (mm)	Kecepatan Impactor (mm/ms)	Max Disp. (mm)	Energi (J)
0,5	736	3,8	24,129	26,5824

## 4.2 Analisa Hasil Simulasi

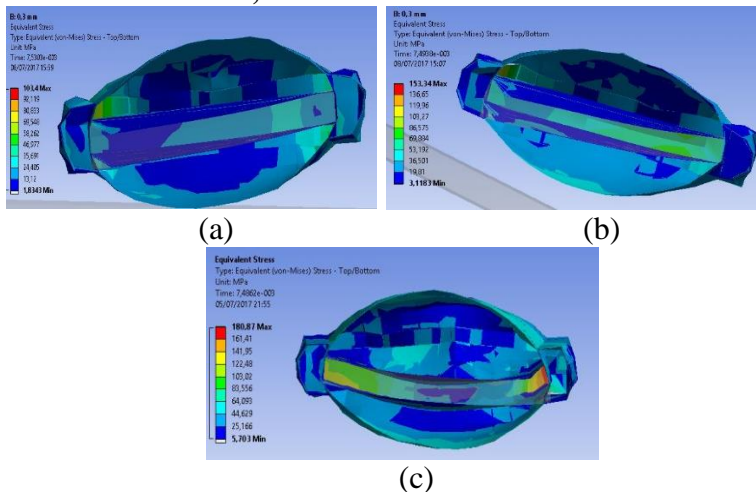
### 4.2.1 Analisa Tegangan Ekuivalen

Dari hasil simulasi pada tabel 4.2 terdapat tegangan ekuivalen yang berbeda didapat dari tiap variasi. Tegangan ekuivalen dapat menentukan *failure* atau kerusakan yang dialami oleh plastik *polypropylene* sesuai dengan nilai tegangan maksimum 33,1 MPa.

#### 4.2.1.1 Sudut Jatuh 0° (*Horizontal*)

Analisa berikut adalah analisa untuk sudut jatuh 0° mengenai tegangan yang diterima *airbag*.

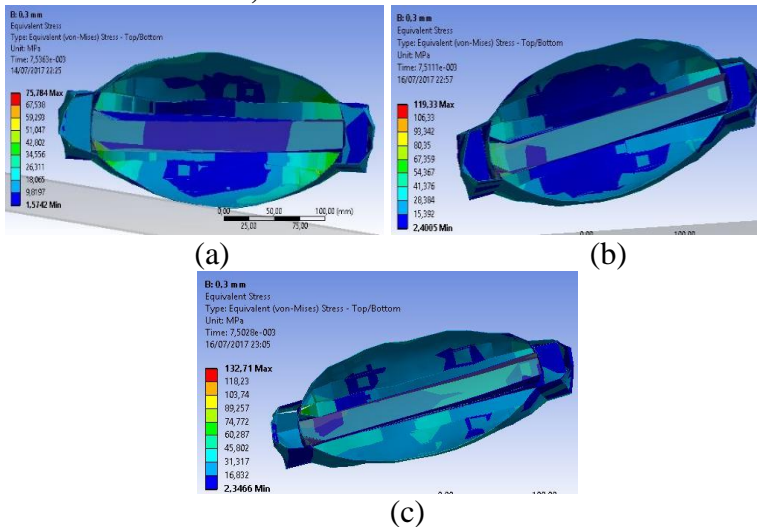
##### a. Ketebalan 0,3mm



**Gambar 4.1** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.1 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,3 mm dengan tekanan 15 psi sebesar 180,87 MPa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 153,34 MPa. Untuk tekanan 5 psi sebesar 103,4 MPa. Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terikat (bonded) pada saat *assembly*. Hal ini sama dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dimana kerusakan airbag pada saat meledak awalnya terjadi di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.

### b. Ketebalan 0,5mm

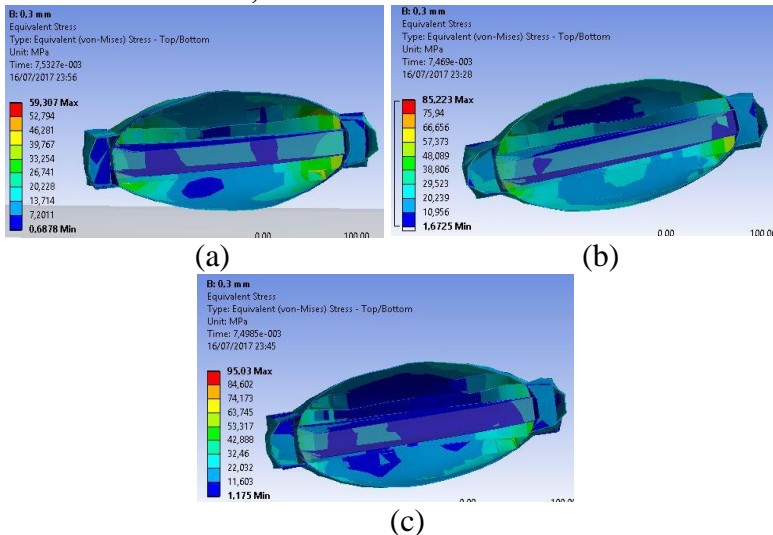


**Gambar 4.2** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,5mm dengan tekanan 15 psi sebesar 132,71 MPa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 119,33 MPa. Untuk tekanan 5 psi sebesar 75,78 MPa

Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terikat (bonded) pada saat *assembly*. Hal ini sama dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dimana kerusakan airbag pada saat meledak awalnya terjadi di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.

### c. Ketebalan 0,8mm



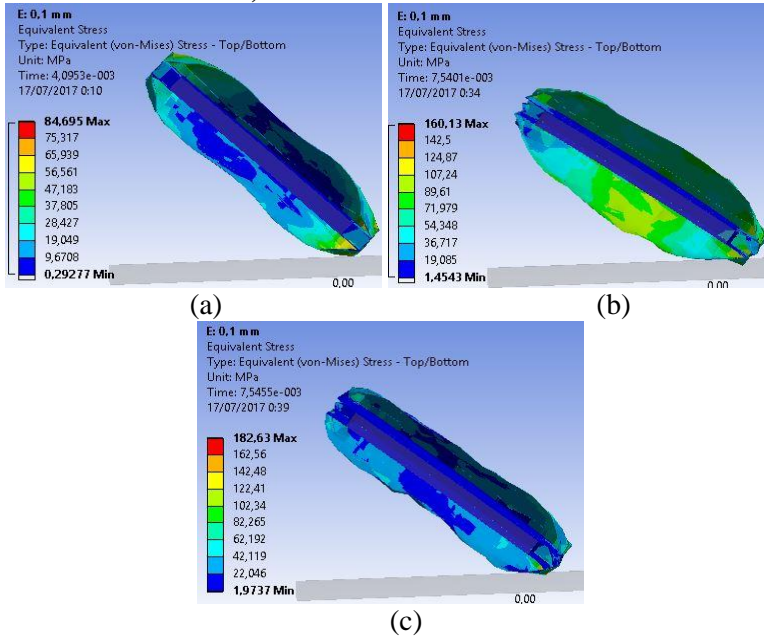
**Gambar 4.3** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,8 mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,8mm dengan tekanan 15 psi sebesar 95,03 MPa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 85,22 MPa. Untuk tekanan 5 psi sebesar 59,31 MPa. Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terikat (bonded) pada saat *assembly*. Hal ini sama dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dimana kerusakan airbag pada saat meledak awalnya terjadi di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.

### 4.2.1.2 Sudut Jatuh 45°

Analisa berikut adalah analisa untuk sudut jatuh 45° mengenai tegangan yang diterima *airbag*.

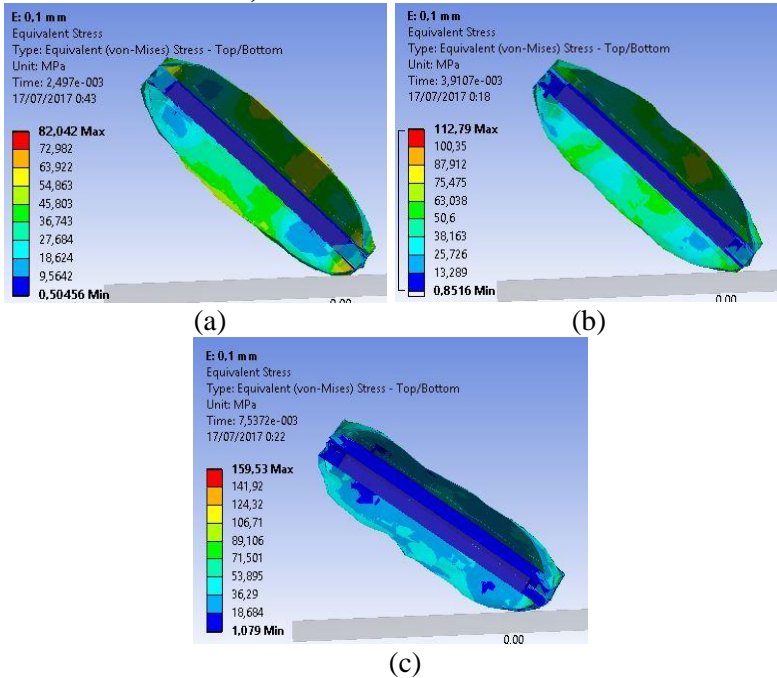
#### a. Ketebalan 0,3mm



**Gambar 4.4** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,3 mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.4 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,3mm dengan tekanan 15 psi sebesar 182,63 MPa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 160,13 MPa. Untuk tekanan 5 psi sebesar 84,695 MPa. Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terikat (bonded) pada saat *assembly*. Hal ini sama dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dimana kerusakan airbag pada saat meledak awalnya terjadi di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.

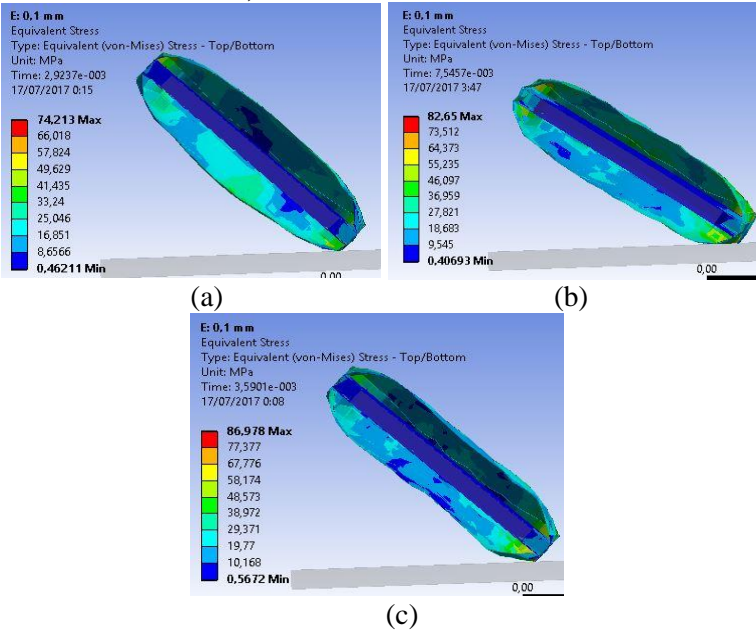
## b. Ketebalan 0,5mm



**Gambar 4.5** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,5 mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,5mm dengan tekanan 15 psi sebesar 159,53 MPa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 112,79 MPa. Untuk tekanan 5 psi sebesar 82,042 MPa. Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terikat (bonded) pada saat *assembly*. Hal ini sama dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dimana kerusakan airbag pada saat meledak awalnya terjadi di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.

### c. Ketebalan 0,8mm



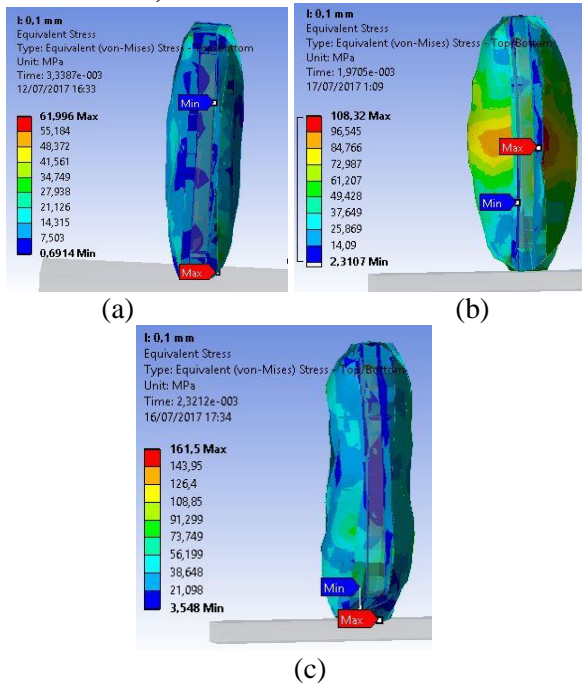
**Gambar 4.6** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,8 mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.6 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,8mm dengan tekanan 15 psi sebesar 86,974 MPa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 82,65 MPa. Untuk tekanan 5 psi sebesar 74,21 MPa. Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terikat (bonded) pada saat *assembly*. Hal ini sama dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dimana kerusakan airbag pada saat meledak awalnya terjadi di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.

### 4.2.1.3 Sudut Jatuh 90° (Vertikal)

Analisa berikut adalah analisa untuk sudut jatuh 90° mengenai tegangan yang diterima *airbag*.

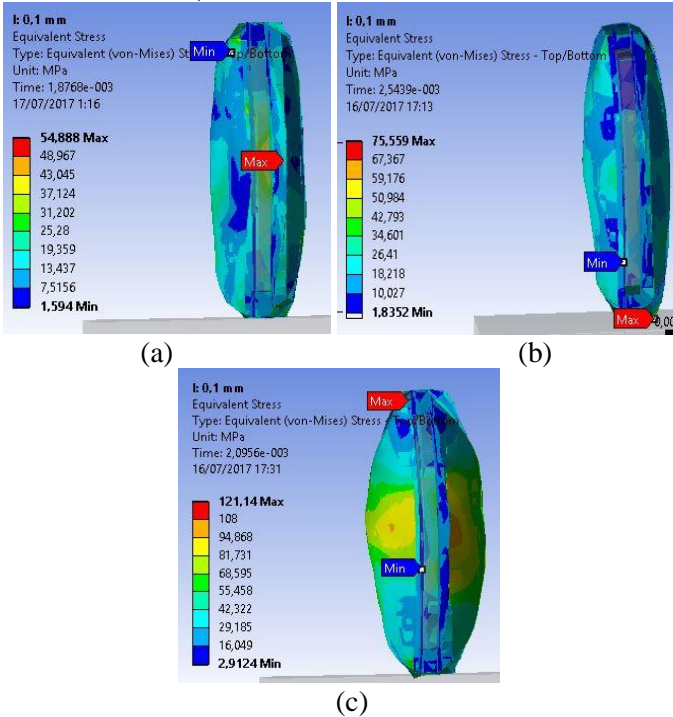
#### a. Ketebalan 0,3mm



**Gambar 4.7** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.7 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,3mm dengan tekanan 15 psi sebesar 161,5 Mpa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 108,32 MPa . Untuk tekanan 5 psi sebesar 61,996 MPa. Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terikat (*bonded*) pada saat *assembly*. Hal ini sama dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dimana kerusakan airbag pada saat meledak awalnya terjadi di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.

## b. Ketebalan 0,5mm

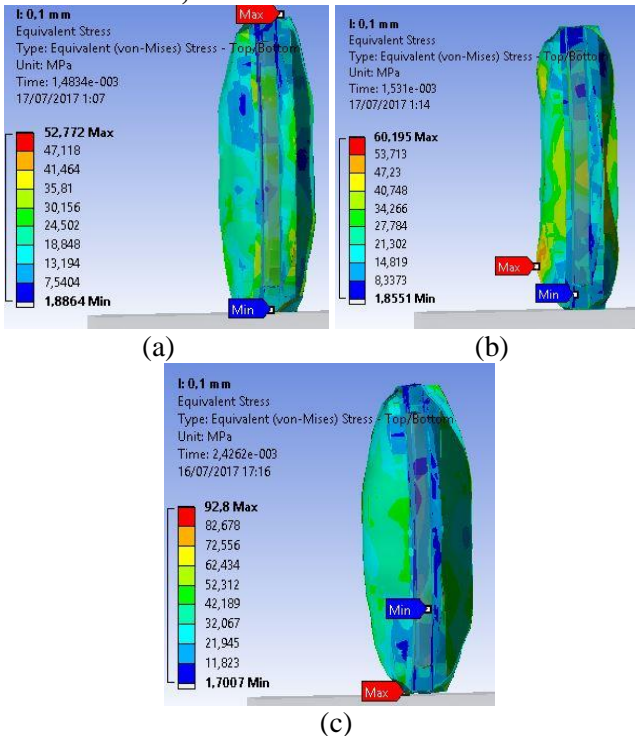


**Gambar 4.8** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,5 mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.8 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,5mm dengan tekanan 15 psi sebesar 121,14 Mpa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 75,559 MPa. Untuk tekanan 5 psi sebesar 58,66 MPa. Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terikat (bonded) pada saat *assembly*. Hal ini sama dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dimana kerusakan *airbag* pada saat meledak awalnya terjadi di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.



### c. Ketebalan 0,8mm



**Gambar 4.9** Hasil simulasi tegangan ekuivalen pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.9 bahwa persebaran nilai tegangan pada airbag terjadi pada seluruh bagian airbag. Nilai tegangan maksimal untuk airbag dengan ketebalan 0,8 mm dengan tekanan 15 psi sebesar 92,8 Mpa. Untuk tekanan 10 psi sebesar 60,195 MPa. Untuk tekanan 5 psi sebesar 52,772 MPa. Tegangan maksimal yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang terjadi berada di bagian tepi plastik yang telah di rekatkan.

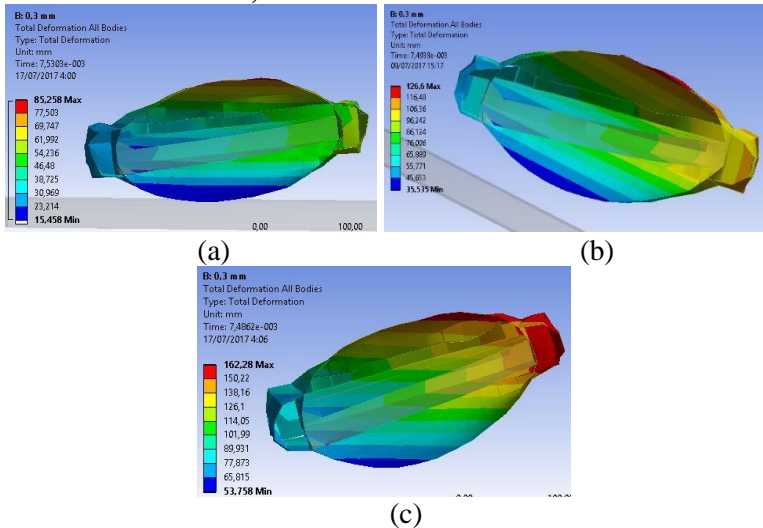
## 4.2.2 Analisa deformasi total

Dari hasil simulasi pada tabel 4.2 terdapat deformasi maksimum yang berbeda didapat dari tiap variasi. Deformasi dapat menentukan *failure* atau kerusakan yang dialami oleh plastik *polypropylene* sesuai dengan nilai maksimum yang ditentukan sebesar 50mm.

### 4.2.2.1 Sudut Jatuh 0° (Horizontal)

Analisa diberikut adalah analisa untuk sudut jatuh 0° mengenai deformasi total dari *airbag*.

#### a. Ketebalan 0,3mm



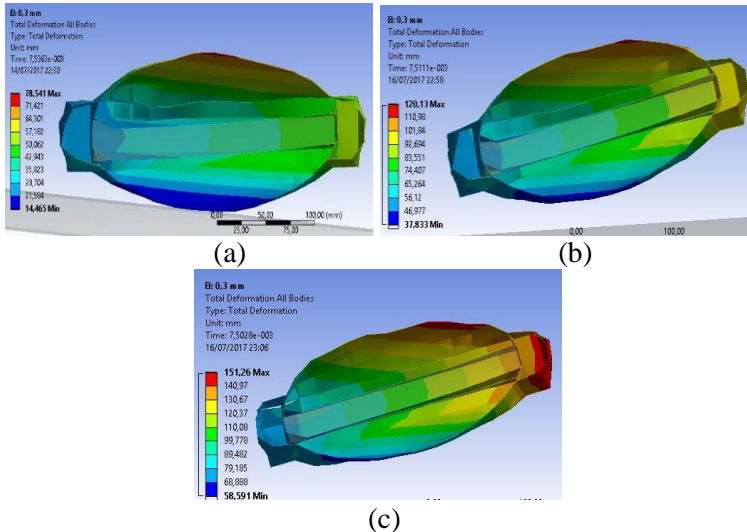
**Gambar 4.10** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 162,28 mm. Untuk tekanan 10 psi adalah 126,6 mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 85,258 MPa. Deformasi

maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.10.

### b. Ketebalan 0,5mm

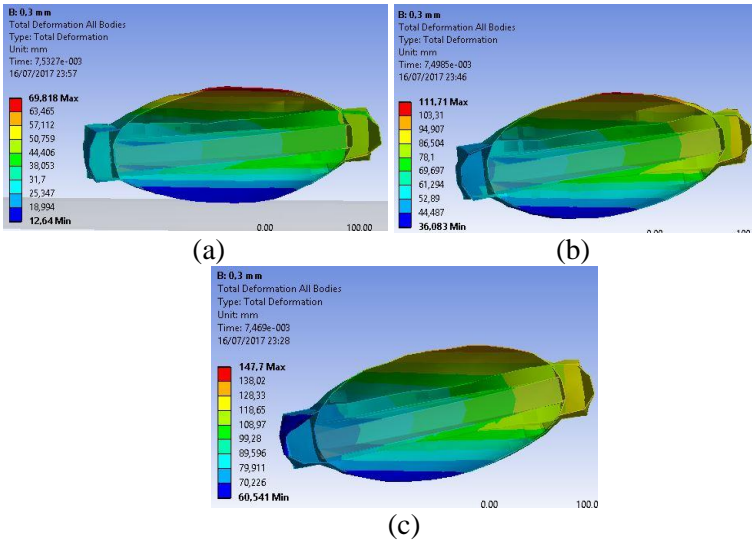


**Gambar 4.11** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 151,26 mm. Untuk tekanan 10 psi adalah 120,13 mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 78,54 mm. Deformasi maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.11.

### c. Ketebalan 0,8mm



**Gambar 4.12** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

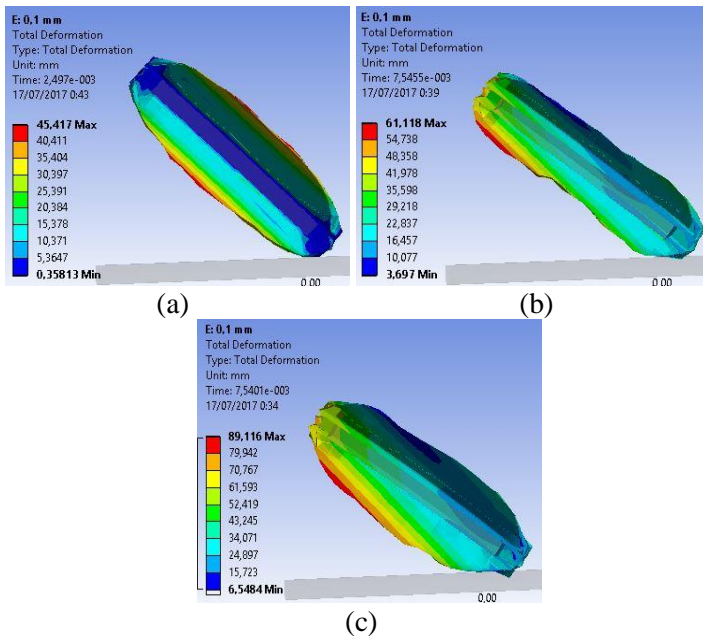
Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 147,7mm. Untuk tekanan 10 psi adalah 111,71mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 69,81mm. Deformasi maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.12.

#### 4.2.2.2 Sudut Jatuh 45°

Analisa diberikut adalah analisa untuk sudut jatuh 45° mengenai deformasi total dari *airbag*.

### a. Ketebalan 0,3mm

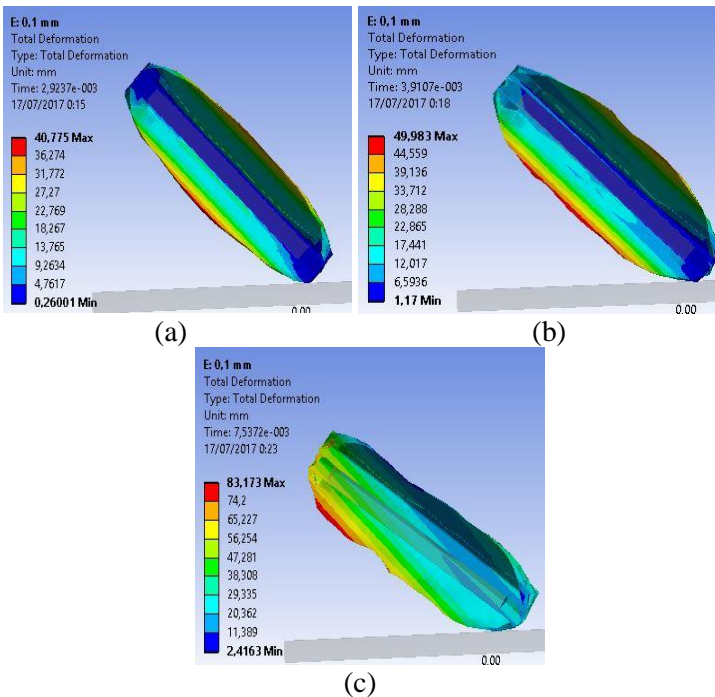


**Gambar 4.13** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 89,116 mm. Untuk tekanan 10 psi adalah 61,118 mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 45,41 mm. Deformasi maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.13.

## b. Ketebalan 0,5mm

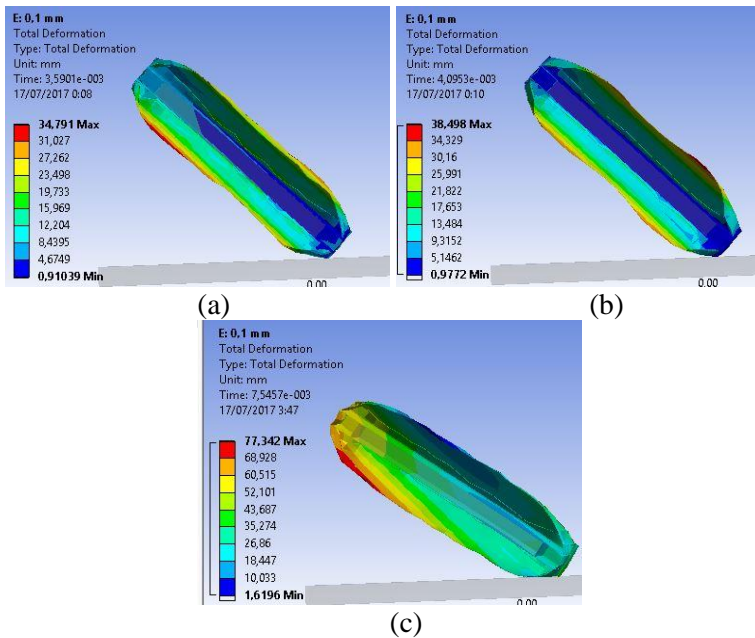


**Gambar 4.14** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 83,17 mm. Untuk tekanan 10 psi adalah 49,98 mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 40,77 mm. Deformasi maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.14.

### c. Ketebalan 0,8mm



**Gambar 4.15** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

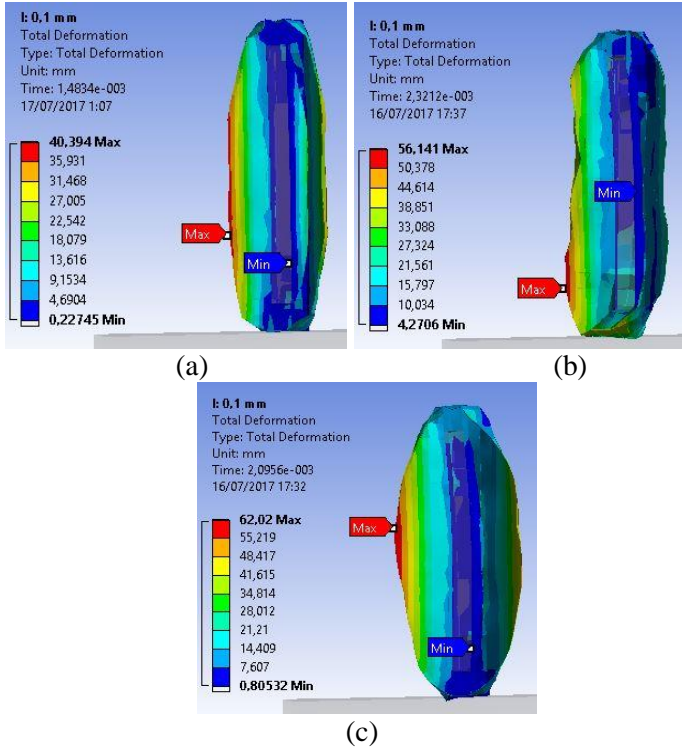
Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 77,342 mm. Untuk tekanan 10 psi adalah 38,49 mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 34,79 mm. Deformasi maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.15.

#### 4.2.2.3 Sudut Jatuh 90° (Vertikal)

Analisa berikut adalah analisa untuk sudut jatuh 90° mengenai deformasi total dari *airbag*.

##### a. Ketebalan 0,3mm



**Gambar 4.16** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,3mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

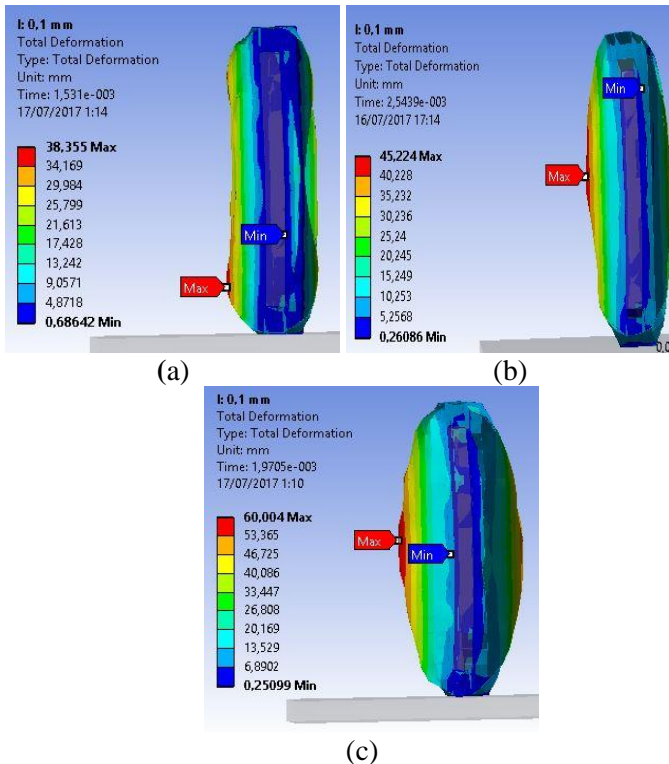
Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 62,02 mm. Untuk tekanan 10 psi adalah



56,141 mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 40,39 mm. Deformasi maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.16

### b. Ketebalan 0,5mm

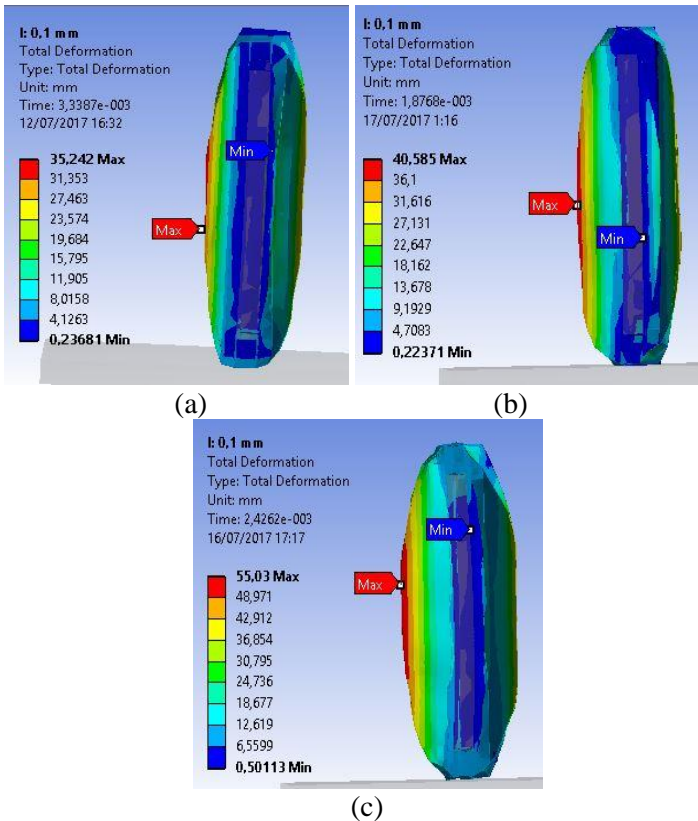


**Gambar 4.17** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,5mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 60,004 mm. Untuk tekanan 10 psi adalah 45,224 mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 38,35 mm. Deformasi maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.17

### c. Ketebalan 0,8mm



**Gambar 4.18** Hasil simulasi deformasi total pada ketebalan 0,8mm dengan tekanan (a) 5 psi, (b) 10 psi, dan (c) 15 psi.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi maksimal yang terjadi berada pada kedua sisi bagian di tepi airbag yang di bonded dan daerah disekitarnya juga mengalami deformasi namun lebih kecil.

Nilai deformasi maksimal untuk airbag dengan variasi tekanan 15 psi adalah 55,03 mm. Untuk tekanan 10 psi adalah 40,585 mm. Untuk tekanan 5 psi adalah 35,242 mm. Deformasi maksimal terjadi ditunjukkan dengan warna merah seperti pada gambar 4.18.

### 4.3 Analisa data hasil simulasi

Dari hasil simulasi (tabel 4.2) diketahui data mengenai tegangan, energi, deformasi, dan regangan.

**Tabel 4.3.** Data *polypropylene* pada eksperimen

Sudut Jatuh	Tebal (mm)	Tekanan (Psi)	Tegangan (Mpa)	Energi (J)	Deformasi (mm)
90	5	5	54,89	103,14	38,36

Dari data diatas (table 4.2) dan pembahasan tiap variasi, maka didapat plastik *polypropylene* dengan ketebalan 0,5 mm, tekanan 5 psi, dan pengujian dengan sudut jatuh 90° yang memiliki penyerapan energi terbaik dengan tegangan dan deformasi yang rendah sehingga memenuhi tujuan utama *airbag packaging* sebagai pengemasan yang *re-usable* atau dapat dipakai berulang kali. Pengemasan juga mempunyai batasan deformasi maksimal agar bisa memenuhi kotak pengemasan luar, dengan nilai deformasi maksimum sebesar 50 mm.

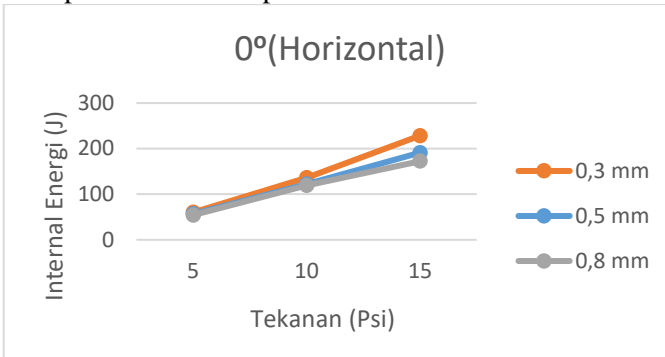
### 4.4 Analisa grafik hasil simulasi

#### 4.4.1 Analisa grafik perbandingan energi dan ketebalan

##### 4.4.1.1 Sudut jatuh 0° (Horizontal)

Pada gambar 4.19 diketahui pada kondisi tekanan yang semakin besar, membuat energi yang mampu diserap oleh *airbag* juga akan mengalami peningkatan. Pada airbag dengan ketebalan 0,3mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 228,43 J pada tekanan 15 psi. Ketebalan 0,5 mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 191,18 J pada tekanan 15 psi dan airbag dengan

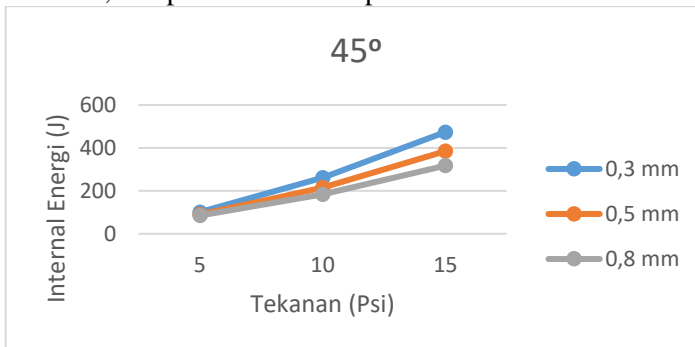
ketebalan 0,8 mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 175,15 J pada tekanan 15 psi.



**Gambar 4.19** Grafik Perbandingan energi dan ketebalan pada sudut jatuh 0° (Horizontal).

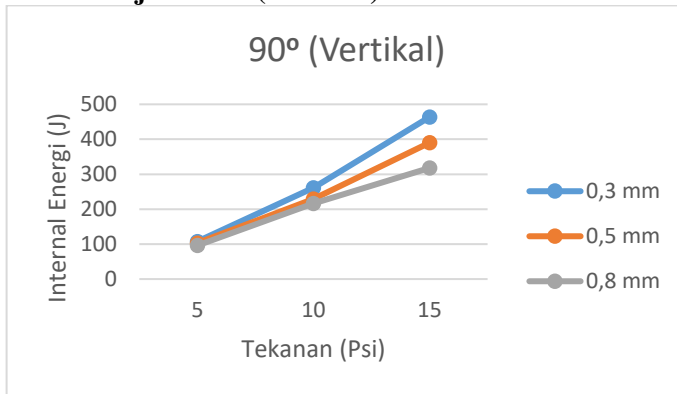
#### 4.4.1.2 Sudut jatuh 45°

Pada gambar 4.20 diketahui pada kondisi tekanan yang semakin besar, membuat energi yang mampu diserap oleh *airbag* juga akan mengalami peningkatan. Pada airbag dengan ketebalan 0,3mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 474,05 J pada tekanan 15 psi. ketebalan 0,5 mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 299,17 J pada tekanan 15 psi dan airbag dengan ketebalan 0,8 mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 317,46 J pada tekanan 15 psi.



**Gambar 4.20** Grafik Perbandingan energi dan ketebalan pada sudut jatuh 45°.

#### 4.4.1.3 Sudut jatuh 90° (Vertikal)



**Gambar 4.21** Grafik Perbandingan energi dan ketebalan pada sudut jatuh 90°

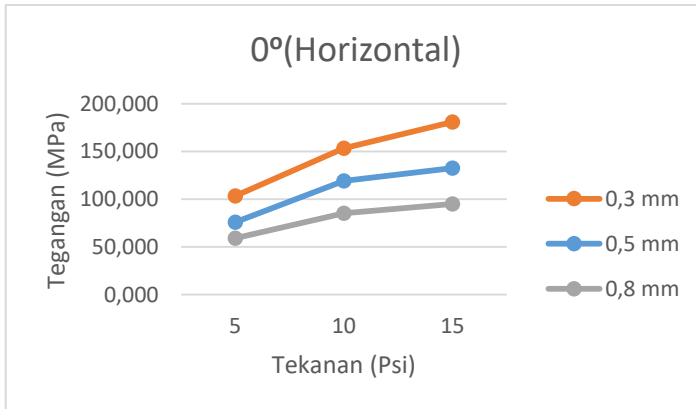
Pada gambar 4.21 diketahui pada kondisi tekanan yang semakin besar, membuat energi yang mampu diserap oleh *airbag* juga akan mengalami peningkatan. Pada *airbag* dengan ketebalan 0,3mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 463,65 J pada tekanan 15 psi. ketebalan 0,5mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 390,15 J pada tekanan 15 psi dan *airbag* dengan ketebalan 0,8mm energi maksimal yang mampu diserap sebesar 317,95 J pada tekanan 15 psi.

#### 4.4.2 Analisa grafik perbandingan tegangan dan ketebalan

##### 4.4.2.1 Sudut jatuh 0° (Horizontal)

Tegangan dari luar yang diterima *Airbag* terjadi karena akibat pembebanan yang di berikan. Beban akan terdistribusi ke luasan *airbag* sehingga apabila tegangan maksimal yang didapatkan dari simulasi memiliki nilai yang lebih rendah dari tegangan tekan maksimal material maka material aman digunakan. Namun pada simulasi yang dilakukan nilai tegangan yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar dari nilai propertis materialnya karena simulasi pada *airbag* ini dilakukan untuk mengetahui keadaan *airbag* pada saat mengalami kerusakan

sehingga dapat diketahui energi maksimal yang dapat di serap oleh airbag tersebut.



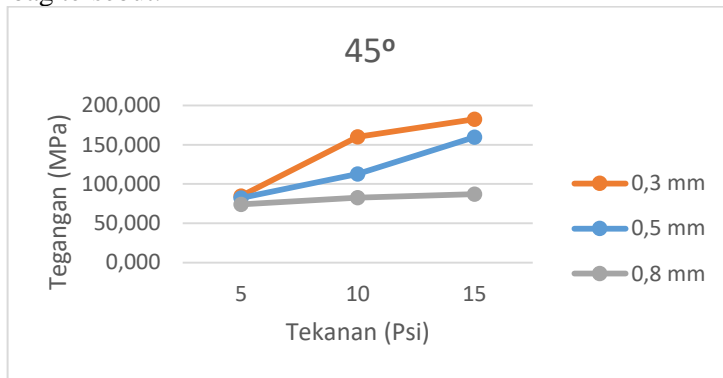
**Gambar 4.22** Grafik Perbandingan tegangan dan ketebalan untuk sudut jatuh 0° (Horizontal).

Dari gambar 4.22 dapat diketahui bahwa nilai tegangan ekuivalen untuk ketebalan yang sama, tegangan meningkat seiring pertambahan tekanan. Hal ini sesuai dengan prinsip tekanan. Semakin besarnya nilai tekanan maka gaya yang dihasilkan besar, sehingga tegangan yang diterima airbag akan menjadi besar. Ketebalan juga mempengaruhi tegangan yang diterima. Pada grafik gambar 4.22 tegangan yang tinggi diperoleh dengan ketebalan yang kecil yaitu 0,3 mm. Hal ini sesuai karena semakin tebal material, maka material dapat menahan tegangan lebih baik. Sehingga nilai tegangan yang diterima oleh material dengan ketebalan 0,8 mm akan lebih kecil daripada 0,3 mm. Nilai tegangan terbesar pada ketebalan 0,8 mm adalah 95,03 MPa. Nilai tegangan terbesar pada ketebalan 0,5 mm adalah 132,71 MPa. Nilai tegangan terbesar pada ketebalan 0,3 mm adalah 180,87 MPa.

#### 4.4.2.2 Sudut jatuh 45°

Tegangan dari luar yang diterima *Airbag* terjadi karena akibat pembebanan yang di berikan. Beban akan terdistribusi ke luasan airbag sehingga apabila tegangan maksimal yang

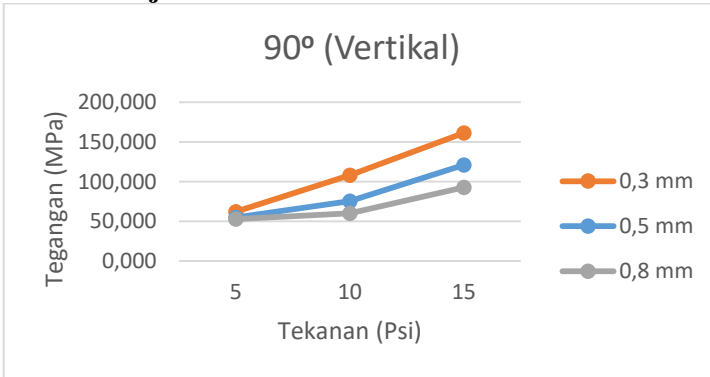
didapatkan dari simulasi memiliki nilai yang lebih rendah dari tegangan tekan maksimal material maka material aman digunakan. Namun pada simulasi yang dilakukan nilai tegangan yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar dari nilai propertis materialnya karena simulasi pada airbag ini dilakukan untuk mengetahui keadaan airbag pada saat mengalami kerusakan sehingga dapat diketahui energi maksimal yang dapat di serap oleh airbag tersebut.



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan tegangan dan ketebalan untuk sudut jatuh 45°

Dari gambar 4.23 dapat diketahui bahwa nilai tegangan ekuivalen untuk ketebalan yang sama, tegangan meningkat seiring pertambahan tekanan. Hal ini sesuai dengan prinsip tekanan. Semakin besarnya nilai tekanan maka gaya yang dihasilkan besar, sehingga tegangan yang diterima airbag akan menjadi besar. Ketebalan juga mempengaruhi tegangan yang diterima. Pada grafik 4.23 tegangan yang tinggi diperoleh dengan ketebalan yang kecil yaitu 0,3 mm. Hal ini sesuai karena semakin tebal material, maka material dapat menahan tegangan lebih baik. Sehingga nilai tegangan yang diterima oleh material dengan ketebalan 0,8 mm akan lebih kecil daripada 0,3 mm. Nilai tegangan terbesar pada ketebalan 0,8 mm adalah 86,978 MPa. Nilai tegangan terbesar pada ketebalan 0,5 mm adalah 159,53 MPa. Nilai tegangan terbesar pada ketebalan 0,3 mm adalah 182,63 MPa.

#### 4.4.2.3 Sudut jatuh 90°



**Gambar 4.24** Grafik Perbandingan tegangan dan ketebalan untuk sudut jatuh 90°

Tegangan dari luar yang diterima *Airbag* terjadi karena akibat pembebanan yang di berikan. Beban akan terdistribusi ke luasan airbag sehingga apabila tegangan maksimal yang didapatkan dari simulasi memiliki nilai yang lebih rendah dari tegangan tekan maksimal material maka material aman digunakan. Namun pada simulasi yang dilakukan nilai tegangan yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar dari nilai propertis materialnya karena simulasi pada airbag ini dilakukan untuk mengetahui keadaan airbag pada saat mengalami kerusakan sehingga dapat diketahui energi maksimal yang dapat di serap oleh airbag tersebut.

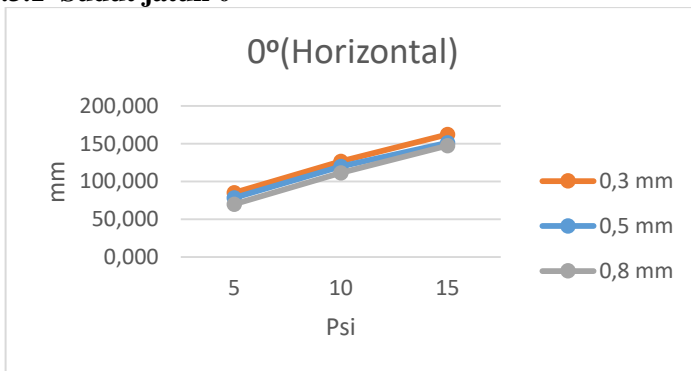
Dari gambar 4.24 dapat diketahui bahwa nilai tegangan ekuivalen untuk ketebalan yang sama, tegangan meningkat seiring pertambahan tekanan. Hal ini sesuai dengan prinsip tekanan. Semakin besarnya nilai tekanan maka gaya yang dihasilkan besar, sehingga tegangan yang diterima airbag akan menjadi besar. Ketebalan juga mempengaruhi tegangan yang diterima. Pada grafik 4.24 tegangan yang tinggi diperoleh dengan ketebalan yang kecil yaitu 0,3mm. Hal ini sesuai karena semakin tebal material, maka material dapat menahan tegangan lebih baik. Sehingga nilai tegangan yang diterima oleh material dengan ketebalan 0,8 mm akan lebih kecil daripada 0,3 mm. Nilai tegangan terbesar pada



ketebalan 0,8mm adalah 92,8 MPa. Nilai tegangan terbesar pada ketebalan 0,5mm adalah 121,14MPa. Nilai tegangan terbesar pada ketebalan 0,3mm adalah 161,5MPa.

#### 4.4.3 Analisa grafik perbandingan deformasi dan ketebalan

##### 4.4.3.1 Sudut jatuh 0°

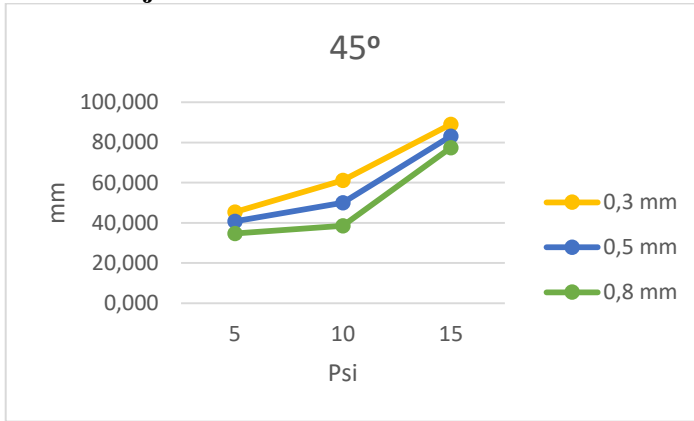


**Gambar 4.25** Grafik Perbandingan deformasi dan ketebalan untuk sudut jatuh 0°.

Deformasi akan terjadi apabila *Airbag* menerima tegangan. Deformasi yang terjadi bervariasi untuk ketebalan airbag yang berbeda. Semakin tebal material akan mengalami penurunan deformasi pada kondisi tekanan yang sama. Deformasi yang paling besar adalah material ketebalan 0,3 mm dengan tekanan 15 psi. Kenaikan nilai deformasi disebabkan oleh perbedaan tekanan dan semakin kecil ketebalan, gaya yang diterima menjadi lebih besar.

Nilai deformasi terbesar untuk *Airbag* dengan ketebalan 0,3mm sebesar 162,28 mm, untuk ketebalan 0,5 mm memiliki nilai terbesar yaitu sebesar 151,26 mm dan airbag dengan ketebalan 0,8 mm nilai deformasi terbesar yaitu sebesar 147,7 mm. Dari hasil yang telah di dapatkan dari simulasi ini, dapat disimpulkan bahwa semakin kecilnya ketebalan dan besarnya tekanan yang diterima, maka nilai deformasi yang terjadi akan semakin meningkat.

#### 4.4.3.2 Sudut jatuh 45°



**Gambar 4.26** Grafik Perbandingan deformasi dan ketebalan untuk sudut jatuh 45°.

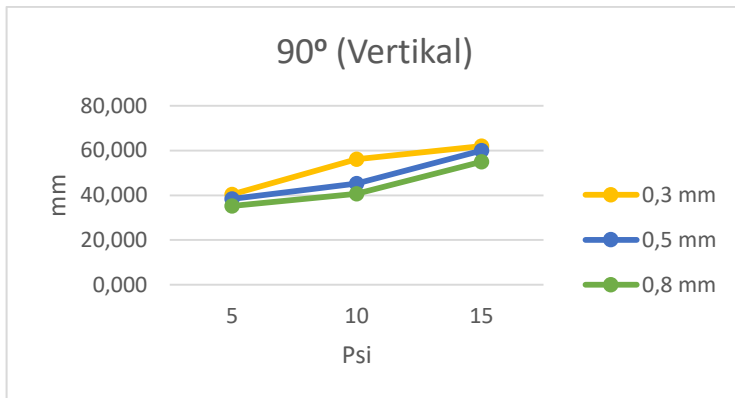
Deformasi akan terjadi apabila *Airbag* menerima tegangan. Deformasi yang terjadi bervariasi untuk ketebalan airbag yang berbeda. Semakin tebal material akan mengalami penurunan deformasi pada kondisi tekanan yang sama. Deformasi yang paling besar adalah material ketebalan 0,3mm dengan tekanan 15 psi. Kenaikan nilai deformasi disebabkan oleh perbedaan tekanan dan semakin kecil ketebalan, gaya yang diterima menjadi lebih besar.

Nilai deformasi terbesar untuk *Airbag* dengan ketebalan 0,3mm sebesar 89,116 mm, untuk ketebalan 0,5 mm memiliki nilai terbesar yaitu sebesar 83,173 mm dan airbag dengan ketebalan 0,8 mm nilai deformasi terbesar yaitu sebesar 77,342 mm. Dari hasil yang telah di dapatkan dari simulasi ini, dapat disimpulkan bahwa semakin kecilnya ketebalan dan besarnya tekanan yang diterima, maka nilai deformasi yang terjadi akan semakin meningkat.

#### 4.4.3.3 Sudut jatuh 90°

Deformasi akan terjadi apabila *Airbag* menerima tegangan. Deformasi yang terjadi bervariasi untuk ketebalan airbag yang berbeda. Semakin tebal material akan mengalami penurunan deformasi pada kondisi tekanan yang sama. Deformasi yang paling besar adalah material ketebalan 0,3mm dengan tekanan 15 psi.

Kenaikan nilai deformasi disebabkan oleh perbedaan tekanan dan semakin kecil ketebalan, gaya yang diterima menjadi lebih besar.



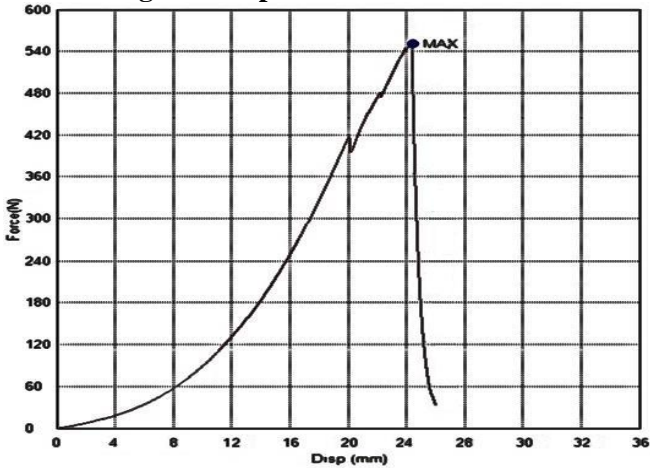
**Gambar 4.27** Grafik Perbandingan deformasi dan ketebalan untuk sudut jatuh 90°.

Nilai deformasi terbesar untuk *Airbag* dengan ketebalan 0,3mm sebesar 62,020 mm, untuk ketebalan 0,5 mm memiliki nilai terbesar yaitu sebesar 60,004 mm dan airbag dengan ketebalan 0,8 mm nilai deformasi terbesar yaitu sebesar 55,030 mm. Dari hasil yang telah di dapatkan dari simulasi ini, dapat disimpulkan bahwa semakin kecilnya ketebalan dan besarnya tekanan yang diterima, maka nilai deformasi yang terjadi akan semakin meningkat.

#### 4.5 Analisa Hasil Pengujian Eksperimen pada *Airbag Packaging*

Pengujian tekan dilakukan pada mesin uji tekan di laboratorium beton dan bahan bangunan jurusan teknik sipil ITS dengan input kecepatan 3,8 mm/ms. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2.

#### 4.5.1 Analisa grafik displacement

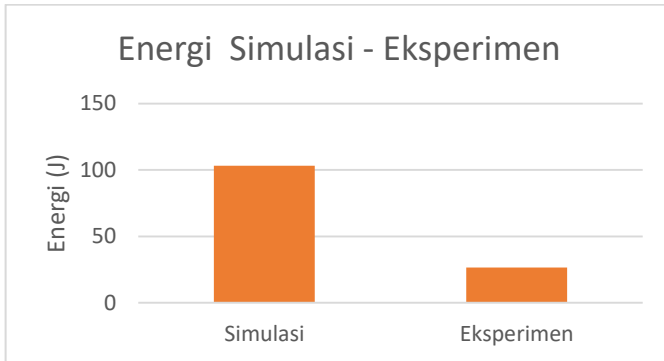


**Gambar 4.28** Grafik gaya - *displacement* yang terdapat pada mesin

Pada gambar 4.28 merupakan grafik gaya berbanding *displacement* *airbag packaging* saat pengujian. Airbag diberikan pembebanan perlahan sampai kondisi airbag meledak. Perubahan tersebut dapat dilihat pada gambar diatas untuk ketebalan 0,5 m dengan tekanan 5 psi saat kondisi airbag meledak maksimum *displacement*-nya sebesar 24,129 mm dengan pembebanan maksimal sebesar 547,223 N.

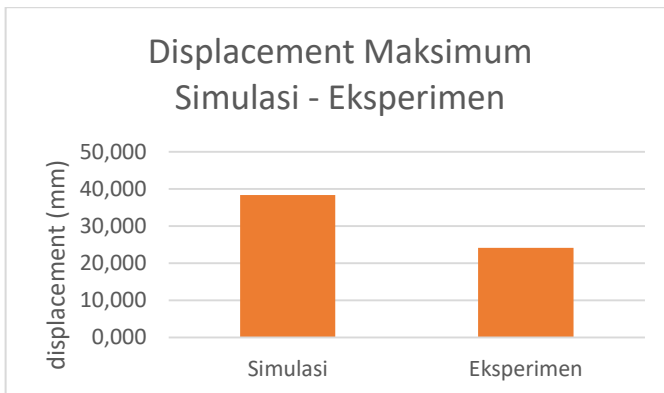
#### 4.5.2 Analisa perbandingan energi dari simulasi dan eksperimen

Pada grafik hasil eksperimen (gambar 4.29) ditunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki nilai energi yang diserap airbag sebesar 26,58 J dan hasil simulasi memiliki nilai energi yang diserap airbag sebesar 103,14 J.



**Gambar 4.29** Grafik perbandingan energi dari simulasi dan eksperimen.

#### 4.3.3 Analisa perbandingan displacement dari simulasi dan pengujian



**Gambar 4.30** Grafik perbandingan displacement dari simulasi dan pengujian.

Pada grafik hasil eksperimen diatas ditunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki displacement sebesar 24,129 mm dan hasil simulasi memiliki displacement yang lebih kecil yaitu sebesar 38,355 mm.

## BAB III KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yang berjudul Studi Kemampuan *Polypropylene* Dalam Menyerap Energi *Impact* Pada Aplikasi *Airbag Packaging* Untuk 14” *Notebook* Dengan Variasi Ketebalan, Tekanan, Dan Sudut Jatuh, yaitu:

1. Kemampuan *airbag packaging* dalam menahan tegangan mengalami peningkatan dengan adanya peningkatan ketebalan *airbag*. Nilai tegangan yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar dari nilai propertis material. Hal itu simulasi pada *airbag* ini dilakukan untuk mengetahui keadaan *airbag* pada saat mengalami kerusakan
2. Kemampuan *airbag packaging* dalam menahan tegangan mengalami peningkatan dengan adanya penurunan tekanan dalam *airbag*. Tekanan yang terlalu besar membuat tegangan *airbag* menjadi besar juga.
3. Kemampuan *airbag packaging* dalam menahan deformasi mengalami peningkatan dengan adanya peningkatan ketebalan *airbag*. Nilai deformasi yang dihasilkan *airbag* dengan ketebalan 0,8 mm lebih rendah dari *airbag* dengan ketebalan 0,5 mm, begitu juga dengan 0,3 mm.
4. Kemampuan *airbag packaging* dalam menahan deformasi mengalami penurunan dengan adanya peningkatan tekanan *airbag*. Nilai deformasi yang dihasilkan *airbag* dengan tekanan 15 lebih tinggi dari *airbag* dengan ketebalan 10 psi, begitu juga dengan 5 psi.
5. Kemampuan *airbag packaging* dalam menyerap energi rata-rata mengalami penurunan dengan adanya peningkatan ketebalan *airbag*. Nilai energi yang diserap *airbag* dengan ketebalan 0,8 mm lebih rendah dari *airbag* dengan ketebalan 0,5 mm, begitu juga dengan 0,3 mm.
6. Kemampuan *airbag packaging* dalam menyerap energi mengalami peningkatan dengan adanya peningkatan tekanan *airbag*. Nilai deformasi yang dihasilkan *airbag*

dengan tekanan 15 lebih tinggi dari *airbag* dengan ketebalan 10 psi, begitu juga dengan 5 psi.

7. Dari hasil pengujian besar nilai energi yang diserap yaitu 12,5824 MPa dan simulasi besar nilai energi yang di serap 103,14 MPa. Perbedaan hasil tersebut disebabkan oleh faktor tambahan penekan pada pengujian yang belum terdapat pada simulasi.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan guna kebaikan dan kelanjutan penelitian berikutnya yaitu:

1. Dilakukan pengujian lainnya seperti uji mekanik *impact drop weight* guna mendekati keadaan yang sesungguhnya.
2. Dilakukan simulasi dan eksperimen untuk model yang mendekati kondisi sebenarnya dari model, luasan, dan pengujian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunawan, F.E. 2012. **Numerical Modelling and Experimental Verification for Airbag for Packaging Material Application.** International Journal of Mechanical and Materials Engineering (ISSN 1823-0334) Indexed by Scopus Vol: 7 No: 1.
- [2] Rifqoh. 2016. **Studi Kemampuan Polypropylene Dalam Menyerap Energi Impact Pada Aplikasi Airbag Packaging.** Surabaya. Teknik Mesin ITS
- [3] <<http://www.uniqbag.com/home/>>(diakses tanggal 5 November 2016)
- [4] Callister, Jr.William.D. 2007. **Material Sciene and Engineering an Introduction.United State of America.**Quebeecor Versailles.
- [5] Maddah, Hisham A. 2016. **Polypropylene as a Promising Plastic.** United State of America. American Journal of Polymer Science.
- [6] Matweb : **polypropylene properties material**  
<<http://www.matweb.com/Search/MaterialGroupSearch.aspx?GroupID=64> > (diakses tanggal 20 September 2016)
- [7] Gupta, Rahul dan Ajit D.Kelkar. 2004. **Nonlinear Crash Dynamics Simulation of Novel Airbag Based Next Generation Energy Absorbing Barrier.** United State of America. North Carolina A&T State University.
- [8] Production Manual. Dell: **Notebook Durability Study.** United State of America. Dell Inc.
- [9] Stutz, Markus. 2015. **Material Restricted for Use.** United State of America. Dell Inc.



- [10] **Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics D695-02a**. United State of America. American Standard and Testing Material.
- [11] Friend, Duane, dkk. 2011. **The Pros and Cons of Styrofoam**. United States of America. University of Illinois Extension.
- [12] Duell, Joshua M. 2004. **Characterization of Composites**. United States of America. Trafford Publishing.
- [13] Crighton, Clifford D. 2008. **Characteristic & Benefit of Polypropylene**. United States of America. Plastic Inc.
- [14] Moolji, Sanjay. 2014. **Petrochemical Scenario across Continents: What is happening in the World of Polypropylene**. New Delhi. Tricon Energy Ltd.
- [15] Trong, Nguyen Van, dkk. 2014. **Stress Analysis of the Impactor Assembly of the Dropped Weight Impact Testing Machine**. Bandung. Trans Tech Publications.

## BIODATA PENULIS



Ngurah Bagus Arya Widiantera dilahirkan di Jakarta, 10 Desember 1993 merupakan anak yang terlahir dari orangtua bernama Ir. Putu Karmiata Arya Kutawaringin dan Luh Putu Yuni Anggraeni, SE., MM. Riwayat pendidikan penulis diawali di SD Dharma Karya UT, Kota Tangerang Selatan pada kelas I-VI (1999-2005). Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPK Mater Dei, Kota Tangerang Selatan pada tahun 2005-2008, kemudian melanjutkan pendidikannya di

SMAN 2 Tangerang Selatan pada tahun 2008-2011. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi Staff *Human Resource Development* di Mesin Music Club, Teknik Mesin ITS pada periode 2012-2013. Pada periode tahun yang sama, penulis juga menjabat sebagai Kepala Aspiratif Dewan Presidium Mesin dan sebagai anggota divisi seni dalam Tim Pembina Kerohanian Hindu ITS. Selanjutnya menjadi Ketua di Mesin Music Club, Teknik Mesin ITS pada periode 2013-2014. Selain itu penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan mahasiswa mesin beberapa diantaranya yaitu kegiatan *Indonesian Energy Marathon Challenge 2013 dan 2014* sebagai panitia acara. Selain aktif berorganisasi, penulis juga melakukan kerja praktek ke perusahaan seperti PT. Indonesia Power.

Selama hidup penulis berpegang teguh pada prinsip “*yang menghalangi jalan kesuksesan mu bukan lah orang lain, tapi diri sendiri.*” yang selalu menjadikan penulis selalu introspeksi, mawas diri dan berusaha memberikan yang terbaik pada setiap hal. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email [nbawsp@gmail.com](mailto:nbawsp@gmail.com)