



TUGAS AKHIR (*Metalurgi*) - TM 091486

**PENGARUH KOMPOSIT *EPOXY* HGM PADA
BUMPER DEPAN KENDARAAN UNTUK
MEREDUKSI ENERGI *IMPACT***

HINDUN AMALIA

NRP. 2110 100 059

Dosen Pembimbing

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

JURUSAN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014



FINAL PROJECT (*Metallurgy*) - TM 091486

**THE EFFECT OF HOLLOW GLASS
REINFORCED EPOXY IN ABSORBING
IMPACT ENERGY FOR VEHICLE BUMPER
APPLICATION**

HINDUN AMALIA

NRP. 2110 100 059

Academic Supervisor

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

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2014

PENGARUH KOMPOSIT EPOXY HGM PADA BUMPER DEPAN KENDARAAN UNTUK MEREDUKSI ENERGI IMPACT

Nama mahasiswa : Hindun Amalia
NRP : 2110 100 059
Dosen : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

ABSTRAK

Komposit merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih material yang memiliki sifat yang lebih baik dari material-material penyusunnya. Komposit epoxy dengan penguat Hollow Glass Microsphere merupakan material yang memiliki densitas yang cukup kecil namun memiliki ketahanan terhadap kompresi yang baik. Material yang memiliki strength-to-weight ratio yang baik banyak diaplikasikan khususnya untuk alat transportasi karena ringan namun tetap kuat sehingga alat transportasi bisa berfungsi dengan efisiensi yang baik. Aplikasi komposit epoxy dengan penguat HGM untuk bumper belum pernah dilakukan, oleh karena itu perlu adanya penelitian untuk mengetahui bagaimana kemampuan komposit ini sebagai material bumper untuk menyerap energi impact ketika terjadi tabrakan dengan kecepatan rendah.

Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan software finite element. Material yang digunakan adalah komposit Epoxy HG,. Bumper didesain dengan variasi ketebalan 4 hingga 8mm, dan dilakukan simulasi pembebanan impact sesuai standar Economic Comission for Europe-regulasi 42.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu bumper mampu menyerap 86,39% energi kinetik impactor dengan nilai tegangan dibawah yield, dan deformasi maksimal dibawah 74 mm. Apabila ketebalan bumper ditingkatkan, maka nilai tegangan dan deformasi akan mengalami penurunan.

Kata kunci : bumper, komposit, epoxy, HGM.

THE EFFECT OF HOLLOW GLASS REINFORCED EPOXY IN ABSORBING IMPACT ENERGY FOR VEHICLE BUMPER APPLICATION

Name : Hindun Amalia
NRP : 2110 100 059
Supervisor : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

ABSTRACT

Safety is one of important factors which has to be considered in designing vehicle in the automotive industry. One of the components related to the vehicle safety is bumper. A bumper is applied for vehicle's body protection. Bumpers attached to the vehicle's body on front and rear to protect vehicle's body damage from low speed crash. Hollow glass microsphere (HGM) reinforced epoxy is used as the material for vehicle's bumper. This material has not applied for this application yet. This research is conducted in order to find the ability of this composite material in absorbing impact energy from low speed crash.

This research is conducted numerically by using finite element method. Thickness of the bumper varied from 4 mm to 8 mm with 1 mm increment is used in this research. Low speed collision simulation is implemented by following Economic Commission for Europe Regulation 42. The bumper energy absorption is analyzed and indicated by the internal energy, deformation and equivalent stress from each bumper's thickness.

Results achieved from this experiments are, composite bumper are able to absorb 86,39% of applied kinetic energy from impactor with von mises stress below composite yield strength and total deformation of 74 mm. Increasing in bumper thickness will reduce the value of stress and deformation of bumper.

Keywords: Bumper, Composite, Epoxy, Hollow Glass Microsphere.

PENGARUH KOMPOSIT EPOXY HGM PADA BUMPER DEPAN KENDARAAN UNTUK MEREDUKSI ENERGI IMPACT

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

HINDUN AMALIA

NRP. 2110 100 059

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Eng Sutikno, S.T., M.T.(Pembimbing)
2. Wahyu Wijanarko, S.T., M.Sc(Penguji I)
3. Putu Suwarta, S.T., M.Sc(Penguji II)
4. Indra Sidharta, S.T., M.Sc.(Penguji III)

SURABAYA, Juli 2014

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan karunia Allah YME sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai persyaratan akademis untuk mendapat gelar Sarjana Teknik, pada bidang studi Metalurgi, jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas akhir ini tidak mungkin terlaksana dengan baik tanpa adanya bantuan dan kerjasama semua pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah, Ibu, dan seluruh keluarga yang memberikan dukungan moral dan material sehingga tugas akhir ini dapat selesai.
2. Bapak Dr. Eng. Sutikno, S.T, M.T. selaku pembimbing Tugas Akhir yang banyak memberikan bimbingan dan saran.
3. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen selaku staf pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu dan wawasan.
4. Seluruh Karyawan laboratorium di Jurusan Teknik Mesin
5. Rekan-rekan laboratorium Metalurgi, Zahra, Fira, Puput, Dono, Esthi, Arfi, Rifqi, Supri, Galang, Ervan, Budhita, Yordi, Endri, Mas May, Mas Babik, Mas Rio, Mas Tyo, Mas Bustan, Mas Iwak, Mas Bilal, Mas Upil, Mas Widi, dan teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu per satu.
6. Semua pihak yang telah terlibat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya penyempurnaan lebih lanjut oleh pihak yang berkepentingan agar Tugas Akhir ini bisa lebih dikembangkan.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAM DASAR TEORI	3
2.1 Tinjauan Pustaka.....	3
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Komposit.....	8
2.2.2 Matriks.....	9
2.2.3 Polimer.....	10
2.2.4 Penguat (<i>reinforcement</i>).....	12
2.2.5 Bumper.....	15
2.2.6 United Nationals E.C.E Regulasi 42.....	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Metodologi Penelitian.....	20
3.2.1 Studi Literatur.....	20
3.2.2 Desain Bumper dan <i>Impactor</i>	41

3.2.3 Material Bumper.....	22
3.2.4 Simulasi Pengujian.....	22
3.2.5 Analisa Data.....	24
3.2.6 Kesimpulan.....	24
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Data Spesifikasi Bumper.....	25
4.2 Analisa Gambar Hasil Simulasi.....	27
4.2.1 Analisa Gambar Tegangan Von Mises.....	27
4.2.1.1 Bumper 4 mm.....	27
4.2.1.2 Bumper 5 mm.....	28
4.2.1.3 Bumper 6 mm.....	29
4.2.1.4 Bumper 7 mm.....	30
4.2.1.5 Bumper 8 mm.....	31
4.2.1.6 Bumper Aluminium 7 mm.....	32
4.2.1 Analisa Gambar Deformasi Total.....	33
4.2.1.1 Bumper 4 mm.....	33
4.2.1.2 Bumper 5 mm.....	34
4.2.1.3 Bumper 6 mm.....	35
4.2.1.4 Bumper 7 mm.....	36
4.2.1.5 Bumper 8 mm.....	37
4.2.1.6 Bumper Aluminium 7 mm.....	38
4.3 Analisa Data Hasil Simulasi.....	39
4.3.1 Analisa Perbandingan Grafik Energi Kinetik Impactor dan Energi Internal Bumper.....	39
4.3.1.1 Bumper 4 mm.....	39
4.3.1.2 Bumper 5 mm.....	40
4.3.1.3 Bumper 6 mm.....	41
4.3.1.4 Bumper 7 mm.....	42
4.3.1.5 Bumper 8 mm.....	43
4.3.2 Analisa Deformasi Bumper Komposit.....	45
4.3.3 Analisa Tegangan Bumper Komposit.....	46
4.3.4 Analisa Berat Bumper Komposit.....	47
4.3.5 Analisa Gaya <i>Impact</i> Bumper Komposit.....	48



4.3.6 Analisa Perbandingan Tegangan Bumper Komposit dan Aluminium.....	49
4.3.7 Analisa Perbandingan Deformasi Bumper Komposit dan Aluminium.....	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	52
4.1 Kesimpulan.....	52
4.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR TABEL

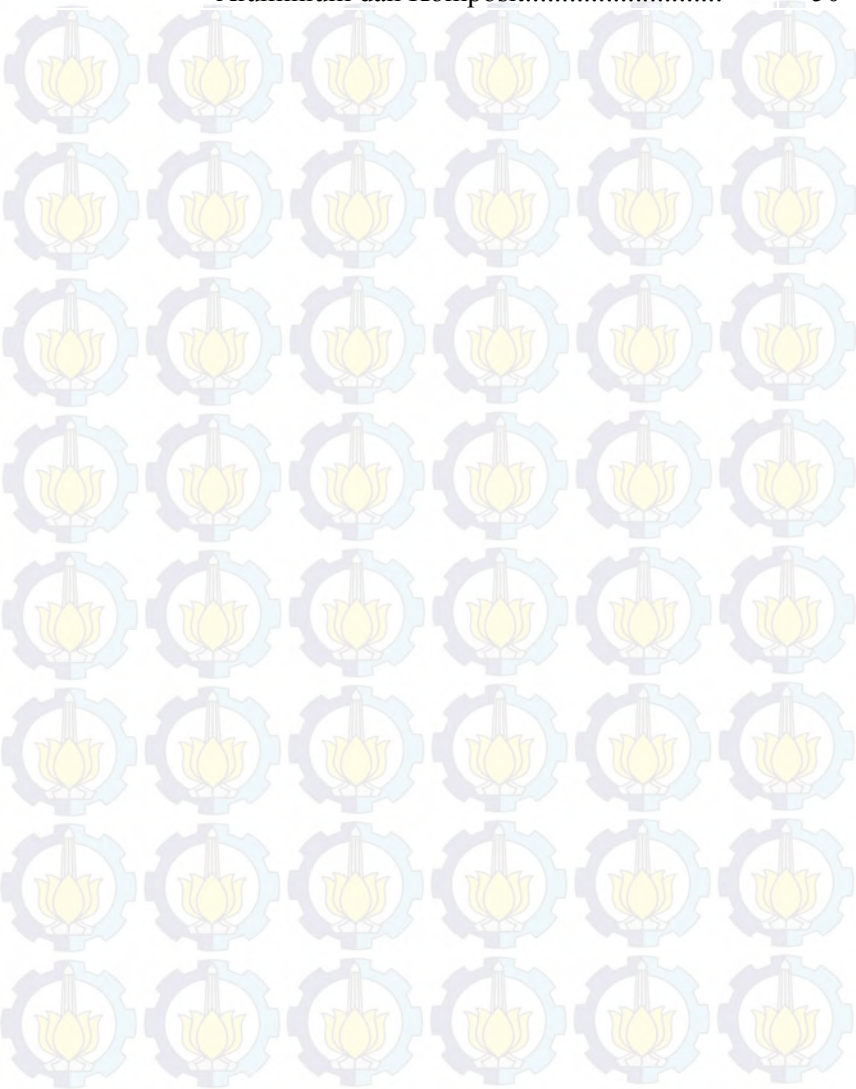
Tabel 2.1	Properti material.....	4
Tabel 2.2	Sifat material termoset.....	12
Tabel 2.3	Spesifikasi HGM iM30K	14
Tabel 3.1	Properti Material.....	22
Tabel 4.1	Spesifikasi bumper untuk material komposit epoxy HGM.....	25
Tabel 4.2	Nilai absorpsi energi kinetik <i>impactor</i>	25
Tabel 4.3	Nilai Tegangan Ekuivalen Maksimal bumper....	26
Tabel 4.4	Nilai Deformasi Total Maksimal bumper.....	26
Tabel 4.5	Perbandingan Berat Aluminium dan Komposit...	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Layout pembebanan <i>impact</i> pada bumper	3
Gambar 2.2	Distribusi tegangan berturut-turut pada bumper GMT dan SMC.....	4
Gambar 2.3	Skema pemilihan desain.....	5
Gambar 2.4	Grafik tegangan von mises parameter ketebalan	6
Gambar 2.5	Distribusi tegangan pada bumper baja dan bumper komposit	7
Gambar 2.6	Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit.....	9
Gambar 2.7	Klasifikasi matriks.....	10
Gambar 2.8	Struktur polimer, (a) linear, (b) <i>branched</i> , (c) <i>cross-linked</i> , (d) <i>network</i>	10
Gambar 2.9	Kelebihan dan kekurangan material polimer poliester, vinilester, dan <i>epoxy</i>	12
Gambar 2.10	Klasifikasi komposit	13
Gambar 2.11	Sistem bumper secara umum	16
Gambar 2.12	<i>Impactor</i> untuk <i>longitudinal test</i>	18
Gambar 3.1	Skema diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3.2	Dimensi bumper kendaraan.....	21
Gambar 3.3	<i>Impactor</i> untuk <i>longitudinal test</i>	21
Gambar 3.4	Layout desain bumper dan <i>impactor</i> pada software <i>finite element</i>	23
Gambar 4.1	Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 4 mm.....	27
Gambar 4.2	Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 5 mm.....	28
Gambar 4.3	Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 6 mm.....	29
Gambar 4.4	Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 7 mm.....	30

Gambar 4.5	Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 8 mm.....	31
Gambar 4.6	Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper Aluminium 7 mm.....	32
Gambar 4.7	Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 4 mm.....	33
Gambar 4.8	Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 5 mm.....	44
Gambar 4.9	Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 6 mm.....	35
Gambar 4.10	Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 7 mm.....	36
Gambar 4.11	Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 8 mm.....	37
Gambar 4.12	Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper Aluminium 7 mm.....	38
Gambar 4.13	Grafik perbandingan energi kinetik <i>impactor</i> dan energi internal bumper 4 mm.....	39
Gambar 4.14	Grafik perbandingan energi kinetik <i>impactor</i> dan energi internal bumper 5 mm.....	40
Gambar 4.15	Grafik perbandingan energi kinetik <i>impactor</i> dan energi internal bumper 6 mm.....	41
Gambar 4.16	Grafik perbandingan energi kinetik <i>impactor</i> dan energi internal bumper 7 mm.....	42
Gambar 4.17	Grafik perbandingan energi kinetik <i>impactor</i> dan energi internal bumper 8 mm.....	43
Gambar 4.18	Grafik perbandingan deformasi bumper dengan variasi ketebalan.....	45
Gambar 4.19	Grafik perbandingan tegangan ekuivalen dengan variasi ketebalan.....	46
Gambar 4.20	Grafik perbandingan berat dengan variasi ketebalan.....	47
Gambar 4.21	Grafik gaya <i>impact</i> dengan variasi ketebalan...	48
Gambar 4.22	Grafik perbandingan tegangan ekuivalen Aluminium dan Komposit.....	49

Gambar 4.23 Grafik perbandingan deformasi total Aluminium dan Komposit..... 50





BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih material yang ditujukan menghasilkan sifat yang lebih baik. Komposit banyak digunakan karena bisa mengungguli material lain. Komponen material pada komposit dapat dibedakan baik secara fisik maupun kimia. Komposit terdiri dari berbagai jenis, salah satunya adalah komposit dengan matriks polimer dengan penambahan penguat partikel. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Fahmi pada tahun 2013[1]. Komposit *epoxy* dengan penguat HGM memiliki densitas yang rendah dan kekuatan kompresi yang baik.

Pada dunia industri otomotif, faktor yang diperhatikan adalah efisiensi bahan bakar dan keselamatan penumpang. Efisiensi bahan bakar dapat ditingkatkan dengan mengurangi berat mobil. Sedangkan bumper dapat digunakan untuk melindungi kendaraan dari beban mendadak ketika terjadi tabrakan. Fungsi utama bumper adalah penyerapan energi ketika terjadi tabrakan dengan kecepatan rendah.

Penelitian mengenai komposit sebagai material untuk bumper sudah banyak dilakukan. Javad melakukan penelitian mengenai bumper dengan material komposit termoplastik maupun termoset dengan penguat fiber [2]. Prabhakaran melakukan penelitian mengenai bumper dengan material komposit resin dengan penguat fiber [3]. Aplikasi bumper terbuat dari komposit bisa memberikan kontribusi untuk pengembangan bagian kendaraan yang lebih ringan namun tetap memperhatikan faktor keamanan. Namun penelitian mengenai bumper dengan menggunakan material komposit *epoxy* HGM belum pernah dilakukan. Oleh karena itu perlu adanya penelitian untuk mengetahui kemampuan komposit epoxy HGM untuk menahan beban kejut.



1.2. Perumusan Masalah

Material Komposit *epoxy* dengan penguat berupa *Hollow Glass Microsphere* merupakan komposit yang belum pernah diimplementasikan untuk bumper. Penambahan HGM pada matriks *Epoxy* meningkatkan kekuatan kompresi dan dapat menurunkan nilai densitas sehingga komposit menjadi lebih ringan.

Dalam penelitian ini, kemampuan material *epoxy* HGM ini dalam menyerap energi *impact* untuk aplikasi bumper akan dievaluasi.

1.3. Tujuan Penelitian

Bumper merupakan komponen kendaraan yang berfungsi menyerap energi saat terjadi tabrakan kecepatan rendah. Penambahan bumper pada body kendaraan akan melindungi kendaraan namun meningkatkan berat kendaraan sehingga bisa menurunkan efisiensi. Oleh karena itu, pemilihan material yang ringan dan mempunyai kemampuan dalam menahan beban kompresi sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi implementasi material *epoxy* dengan penguat HGM sebagai bumper kendaraan dalam menerima beban *impact* dan hubungannya terhadap ketebalan bumper.

1.4. Batasan Masalah

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

1. Standar pengujian menggunakan *Economic Commission for Europe (ECE)* regulasi nomor 42[4].

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Dapat digunakan sebagai referensi untuk merancang bumper kendaraan.

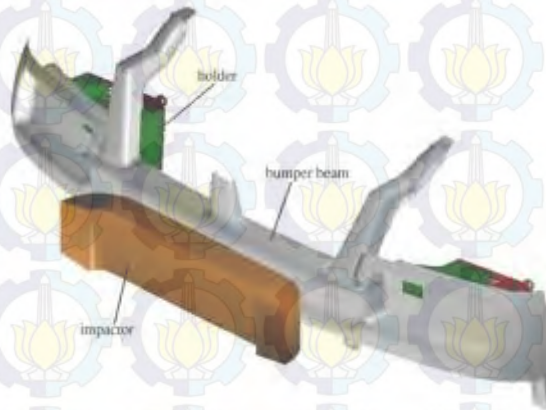


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada tahun 2009, Javad Marzbanrad, Masoud Alijanpour, dan Mahdi Saeid Kiasat melakukan penelitian dengan judul “*Design and analysis of an automotive bumper beam in low-speed frontal crashes*”[2]. Penelitian ini membahas mengenai desain dengan beberapa parameter yaitu ketebalan, bentuk, dan jenis material yang digunakan untuk pembuatan bumper. Standar pengujian yang digunakan berdasarkan *Economic Comissions for Europe (ECE) United Nations Agreement (no.42, 1994)*. Bumper diuji dengan pemberian beban *impact* seperti pada berikut ini.



Gambar 2.1 Layout pembebanan *impact* pada bumper[2].

Pembebanan kejut diberikan pada bumper melalui *impactor* yang bergerak menuju ke arah bumper. Holder yang terbuat dari foam akan berfungsi menyerap energi ketika terjadi tabrakan sehingga body mobil tidak mengalami kerusakan. *Impactor* yang merupakan struktur dari baja akan bergerak dan menabrak *bumper beam* dengan kecepatan 4 km/jam, sesuai

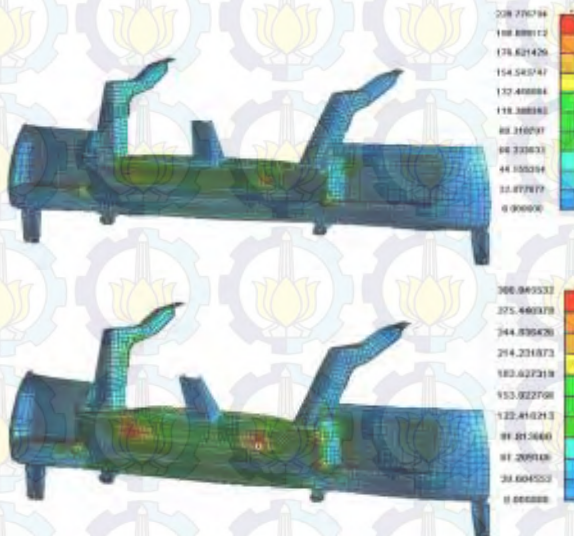


standar ECE. Bumper menggunakan material komposit GMT (*Glass Mat Thermoplastic*) berupa fiber dengan resin termoplastik dan SMC (*Sheet Moulding Compound*) berupa fiber dengan resin termoset.

Tabel 2.1 Properti material[2].

Material	Modulus Young [GPa]	Poisson's Ratio	Yield Strength [Mpa]	Density [kg/m^3]
GMT	12	0,41	230	1280
SMC	20	0,33	309	1830

Salah satu hasil simulasinya adalah gambar dengan distribusi tegangan seperti berikut ini :



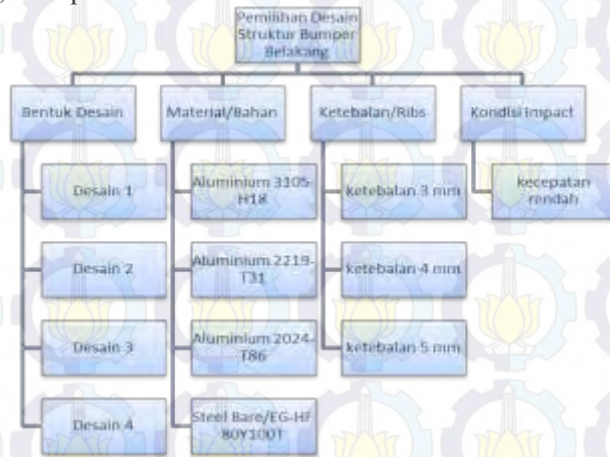
Gambar 2.2 Distribusi tegangan berturut-turut pada bumper GMT dan SMC[2].



Nilai tegangan paling tinggi pada bumper GMT adalah 220,77 MPa dengan ketebalan bumper 5 mm, sedangkan untuk SMC dengan ketebalan 4 mm adalah 306,045 MPa dimana keduanya berada di bawah nilai tegangan yield masing-masing material sehingga aman untuk digunakan.

Pada tahun 2011, Heru Purnomo dan Djoeli Satrijo melakukan penelitian dengan judul “Desain dan Analisa *Impact* pada Struktur Bumper Belakang Kendaraan SUV dengan Metode Elemen Hingga”[5].

Penelitian ini membahas mengenai desain dan analisa struktur bumper belakang dengan menggunakan *software finite element*. Penelitian menggunakan pembebanan kejut dengan standar ECE (*Economic Commission for Europe*) Regulasi nomor 42, dengan beberapa variabel yaitu jenis material, ketebalan, desain, dan penambahan absorber.

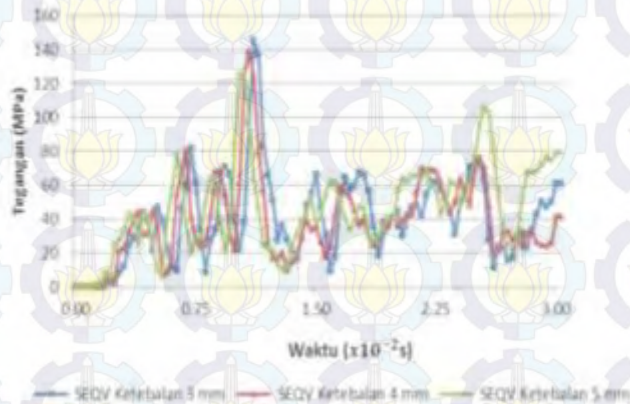


Gambar 2.3 Skema pemilihan desain[5].

Untuk Analisa berbagai parameter didapatkan grafik perbandingan. Salah satu hasil simulasinya adalah grafik pada gambar 2.4. Dari gambar ini plot data didapatkan dengan output *history time*. Grafik Tegangan versus Waktu akan menunjukkan



variasi ketebalan dengan nilai distribusi tegangannya. Dari grafik dapat diketahui bahwa nilai tegangan yang paling rendah bumper dengan ketebalan 5 mm .

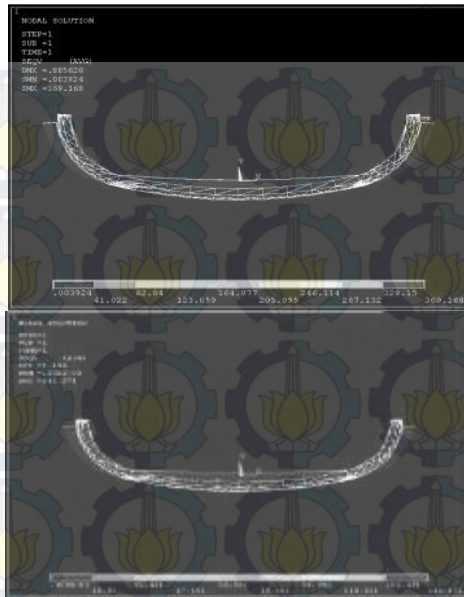


Gambar 2.4 Grafik tegangan von mises parameter ketebalan[5].

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bentuk desain, ketebalan maupun jenis material menentukan kekuatan *impact* untuk bumper. Ketebalan yang semakin meningkat akan menaikkan kemampuan penyerapan energi tapi meningkatkan berat dari bumper.

Pada tahun 2012, S. Prabhakaran, K. Chinnarasu, dan M. Senthil Kumar melakukan penelitian dengan judul “*Design and Fabrication of Composite Bumper for Light Passenger Vehicles*”[3].

Penelitian ini membahas mengenai proses desain dan fabrikasi bumper untuk kendaraan penumpang. Bumper terbuat dari komposit dengan fiber kaca dan *epoxy resin*. Bumper komposit ini dibandingkan dengan bumper baja yang sudah ada. Ada beberapa pengujian, yaitu pengujian *impact strength* dengan metode *charpy* dan simulasi menggunakan *software finite element* untuk mengetahui distribusi tegangan pada bumper.



Gambar 2.5 Distribusi tegangan pada bumper baja dan bumper komposit[3].

Dari hasil simulasi didapatkan nilai tegangan maksimum pada bumper baja adalah $369,68 \text{ N/mm}^2$ sedangkan untuk komposit sebesar $142,471 \text{ N/mm}^2$. Dari hasil penelitian kesimpulan yang didapatkan adalah bumper yang terbuat dari komposit lebih ringan jika dibandingkan dengan baja (ada penurunan berat sebesar 53,8%). Bumper komposit memiliki tegangan maksimal yang lebih kecil jika dibandingkan dengan bumper baja.



2.2. Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit merupakan material multifase yang didapatkan dari kombinasi material yang berbeda untuk mendapatkan sifat mekanik yang tidak bisa didapatkan apabila material diaplikasikan secara individual[6]. Komponen-komponen penyusun komposit tetap bisa dibedakan secara makro dan memiliki sifat seperti sebelumnya. Material komposit banyak diaplikasikan karena memiliki kombinasi sifat yang tidak bisa didapatkan apabila menggunakan material konvensional seperti logam, polimer, maupun keramik.

Sifat komposit bervariasi dan tergantung pada berbagai macam faktor antara lain : jenis komponen yang dipilih, distribusi komponen, dan morfologi komponen.

Ada beberapa kelebihan dari komposit apabila dibandingkan dengan material konvensional antara lain :

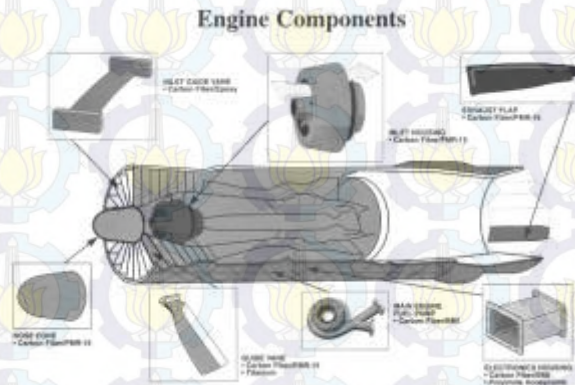
1. Material komposit mampu berperan menjadi bagian terintegrasi, misalnya satu komposit mampu menggantikan peran dari beberapa material logam.
2. Komposit memiliki *stiffness-to-density ratio* yang baik. Rasionalnya 1/5 dari baja dan 1/2 dari aluminium.
3. Komposit memiliki *strength-to-density ratio* yang baik. Dengan kelebihan ini pesawat maupun kendaraan bermotor bisa bergerak lebih cepat dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik. Kekuatan spesifiknya sekitar tiga hingga lima kali lebih baik jika dibandingkan dengan baja, oleh karena itu komponen pesawat terbang menggunakan komposit karena lebih ringan namun tetap kuat.
4. *Endurance limit* (*fatigue strength*) dari komposit baik. Untuk paduan aluminium maupun baja endurance limit berada pada 50% dari nilai *static strength*, sementara



untuk *unidirectional carbon/epoxy composite* bisa mencapai 90% dari *static strength*. [7]

Komposit banyak diaplikasikan dalam dunia industri salah satunya adalah industri pesawat terbang. Komponen pesawat terbang harus memiliki *strength-to-density* yang baik, komponen harus ringan tapi kuat, dimana dengan berat yang sama komposit mampu menahan beban yang memiliki nilai lebih tinggi jika dibanding dengan baja agar pesawat mampu terbang dengan kinerja lebih baik.

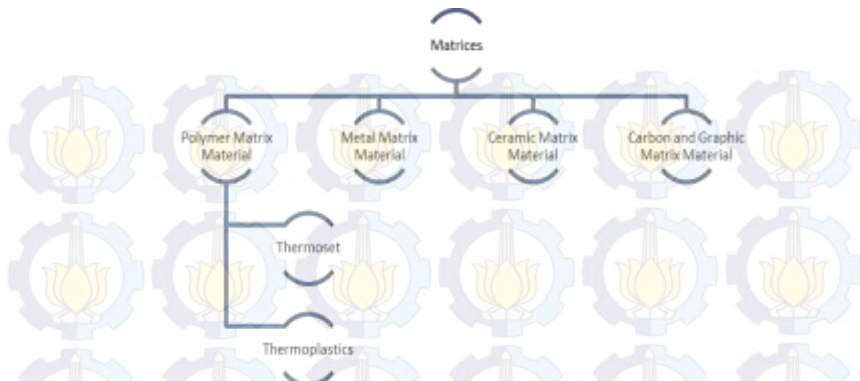
Berikut ini contoh gambar aplikasi pada komponen penyusun mesin pesawat terbang yang terbuat dari komposit :



Gambar 2.6 Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit[7].

2.2.2 Matriks

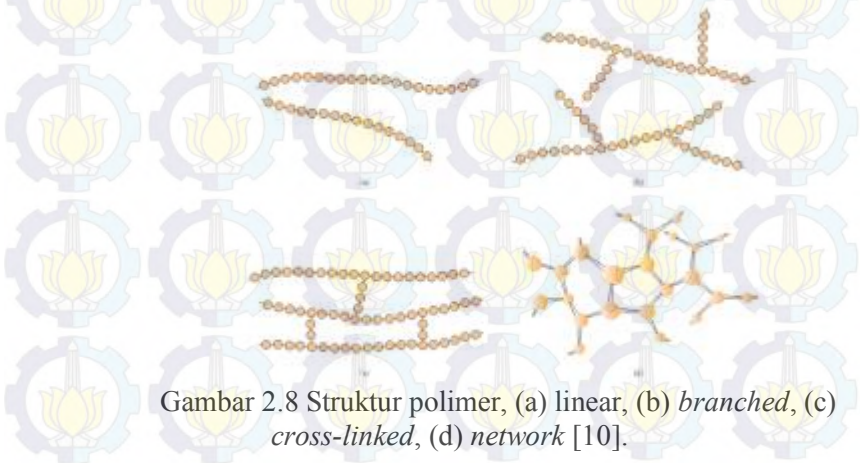
Komposit umumnya terdiri dari komponen matriks dan pengisi (*filler*). Matriks yang berfungsi untuk mengikat *filler* serta mendistribusikan tegangan yang diterima oleh komposit, *filler* umumnya bersifat lebih kuat dan kaku jika dibandingkan dengan matriks, sehingga *filler* berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*). Matriks dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis materialnya. Gambar 2.7 menunjukkan klasifikasi dari matriks.



Gambar 2.7 Klasifikasi matriks[8].

2.2.3 Polimer

Kata polimer berasal dari bahasa Yunani *poly* yang berarti banyak dan *meros* yang berarti bagian. Polimer merupakan molekul panjang yang tersusun dari monomer-monomer yang terhubung dari ujung ke ujung[9]. Struktur polimer terdiri dari berbagai jenis yaitu linear, bercabang (*branched*), *cross-linked*, dan jaringan (*network*).

Gambar 2.8 Struktur polimer, (a) linear, (b) *branched*, (c) *cross-linked*, (d) *network* [10].



Ada dua jenis polimer yaitu polimer termoset dan polimer termoplastik. Polimer termoset merupakan polimer yang apabila dipanaskan hingga suhu tertentu akan membentuk susunan berupa *crosslink* yang tidak bisa dikembalikan seperti semula (*irreversible*). Contoh dari material polimer termoset adalah *epoxy*, *phenolics*, dan beberapa jenis poliester resin. Material polimer termoplastik dapat dipanaskan maupun didinginkan secara berulang-ulang, material ini lebih fleksibel jika dibandingkan dengan material termoset, contoh dari material termoplastik adalah polivinil klorida, polietilen, dan polistiren.

2.2.3.1 Epoxy

Epoxy didapatkan dengan proses *curing* (*cross-linking*) secara kimiawi dengan amina, anhidrida, fenol, asam karboksilik, dan alkohol. *Epoxy* merupakan resin cair yang mengandung beberapa group epoksida seperti *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA) yang memiliki dua grup epoksida. Proses *curing* dilakukan dengan cara menambahkan *curing agent*, misalnya *diethylene triamine* (DETA). Selama proses *curing* molekul-molekul DGEBA akan membentuk ikatan *cross-link*. Ikatan ini akan menghasilkan bentuk tiga dimensi yang disebut *network* dan akhirnya membentuk *epoxy* padat.

Epoxy merupakan salah satu polimer termoset. *Epoxy* merupakan material serba guna yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Epoxy* banyak digunakan dalam industri penerbangan maupun digunakan untuk peralatan olahraga. Ada berbagai jenis dan *grade*, sehingga bisa disesuaikan untuk aplikasinya. Adapun beberapa kelebihan dari *epoxy* antara lain :

- Cocok untuk material matiks karena Penyusutan material rendah.
- Sifat adhesif material baik.
- Ketahanan kimia material yang baik.



- Material memiliki sifat mekanik, seperti ketangguhan yang baik.
- Temperatur *curing* 120⁰-170⁰ C.
- *Flame resistance* yang baik[8].

Tabel 2.2 Sifat material termoset[7]

<i>Resin Material</i>	<i>Density [g/cm³]</i>	<i>Tensile Modulus [GPa]</i>	<i>Tensile Strength [Mpa]</i>
<i>Epoxy</i>	1.2-1.4	2.5-5.0	50-110

Dari berbagai jenis material termoset ada kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Berikut ini adalah gambar mengenai kelebihan dan kekurangan untuk material *epoxy*, vinylester, dan poliester :

Poliesters	Vinylesters	Epoxyes
<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • easy to use • lowest cost of resins available • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • only moderate mechanical properties • high styrene emission in open moulds • high cure shrinkage • limited range of working times 	<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • very high chemical/environmental resistance • high mechanical properties than polyester • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • Postcure generally required for high properties • high styrene content • higher cost than polyesters • high cure shrinkage 	<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • high mechanical and thermal properties • high water resistance • long working times available • temperature resistance can be up to 240°C wet or 220°C dry • Low cure shrinkage • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • more expensive than vinylester • critical mixing • careless handling

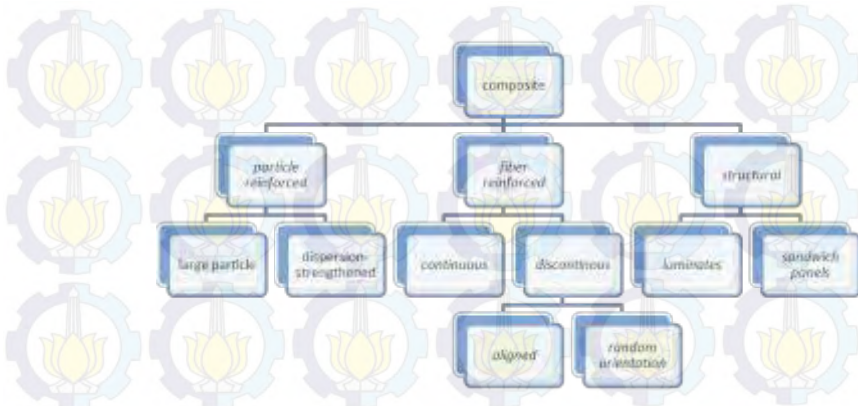
Gambar 2.9 Kelebihan dan kekurangan material polimer poliester, vinilester, dan *epoxy* [11].

2.2.4 Penguat (*Reinforcement*)

Komposit bisa diklasifikasikan berdasarkan jenis penguatnya, ada beberapa jenis komposit berdasarkan penguatnya : komposit dengan penguat partikel, komposit dengan penguat



fiber, dan komposit struktural.



Gambar 2.10 Klasifikasi komposit[10].

Pada sub-spesifikasi *particle-reinforced*, penguat yang digunakan berbentuk partikel. Ada dua jenis yaitu *large particle* dan *dispersion strengthening*, kedua jenis ini dibedakan berdasarkan penguat dan mekanisme penguatannya. Interaksi antara matriks dan penguat memegang peranan penting. Penguat cenderung menahan pergeseran matrix di sekeliling partikel dan menerima distribusi tegangan dari matriks. Peningkatan kualitas sifat-sifat mekaniknya tergantung pada ikatan *interface* matriks dan partikel.

Komposit jenis *dispersion-strengthened*, partikel penguat umumnya kecil. Pada prinsipnya, penguatan pada komposit jenis ini hampir sama dengan *precipitation hardening* dimana matriksnya berfungsi untuk menerima beban, sedangkan partikel-partikel kecilnya menghambat pergerakan dislokasi.

2.2.4.1 Hollow Glass Microspheres

Glass Microsphere merupakan bola kaca berukuran mikroskopis yang diaplikasikan untuk; penelitian, dunia medis, dan produk untuk konsumen di berbagai jenis industri. Bola kaca



ini umumnya memiliki diameter mulai dari 1 mikron hingga 1000 mikron. *Hollow Glass Microsphere* memiliki range diameter dari 10 mikron hingga 300 mikron. HGM biasanya digunakan sebagai pengisi untuk material komposit, kelebihan dari HGM ini antara lain :

- HGM memiliki massa jenis yang kecil.
- Konduktivitas termal yang rendah
- Ketahanan terhadap beban kompresi yang baik

Hollow Glass Micropsheres (HGM) merupakan penguat jenis partikel. HGM merupakan bola yang terbuat dari kaca dengan ketebalan tertentu dan di dalamnya memiliki lubang berisi gas inert. HGM memiliki berbagai kelebihan, misalnya memiliki densitas yang ekcil karena memiliki lubang sehingga cocok digunakan untuk menghasilkan kombinasi material (komposit) yang ringan. HGM jenis iM30K, merupakan HGM yang terbuat dari material *soda-lime-borosilicate glass* dengan densitas 600kg/m^3 , dengan diameter rata-rata untuk setiap partikelnya adalah 18 mikron. HGM ini memiliki kekuatan - *isostatic crush* yang cukup tinggi yaitu 28000 psi (193 Mpa).

Tabel 2.3 Spesifikasi HGM iM30K[12].

Property	IM30K	
<i>Shape</i>	<i>Hollow spheres with thin walls</i>	
<i>Composition</i>	<i>Soda-lime-borosilicate glass</i>	
<i>Color, Unaided Eye</i>	<i>White powder</i>	
<i>Physical Properties</i>	<i>IM30K</i>	<i>Test Method</i>
<i>Isostatic Crush Strength</i>	<i>28000 psi</i>	<i>3M QCM 14.1.8</i>
<i>True Density</i>	<i>600 kg/m³</i>	<i>3M QCM 14.24.1</i>
<i>Packing Factor (bulk density to true particle density)</i>	<i>63%</i>	
<i>Oil Absorption</i>	<i>33.5</i>	<i>ASTM D282-84 of</i>



		<i>polymer additive</i>
<i>Softening Point</i>	$600^{\circ}C$	
<i>Flotation Density</i>	90% (in volume)	3M QCM 37.2
<i>Volatile content (by weight)</i>	0,5 % max	3M QCM 1.5.7
<i>Alkalinity (miliequivalents)</i>	0,5	3M QCM 55.19gr/max
<i>pH(5% loading in water)</i>	9,5	ASTM D3100-1982
<i>Diameter</i>	18 mikrons	3M QCM 193.0

Sifat mekanik untuk material komposit matriks epoxy dengan penambahan HGM 15% adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Sifat mekanik material komposit epoxy HGM[13].

Material	Poisson Rasio	Modulus Young [Mpa]	Densitas [kg/m³]
Epoxy HGM 16%	0,12	567,02	1034,5

2.2.5 Bumper

Bumper merupakan bagian berbentuk balok atau batangan yang diletakkan pada bagian depan maupun belakang kendaraan. Bumper berfungsi sebagai penyerap energi apabila terjadi tabrakan dengan kecepatan rendah. Bumper diimplementasikan pada kendaraan untuk mengurangi efek kerusakan pada kendaraan itu sendiri. Ada beberapa standar yang digunakan sebagai acuan untuk faktor keamanan bumper.

1. Standar untuk Amerika Utara

Standar yang digunakan di Amerika Serikat untuk kendaraan penumpang adalah tidak adanya indikasi kerusakan secara visual dan tidak ada kerusakan pada komponen yang menyangkut keamanan pada tabrakan dengan kecepatan



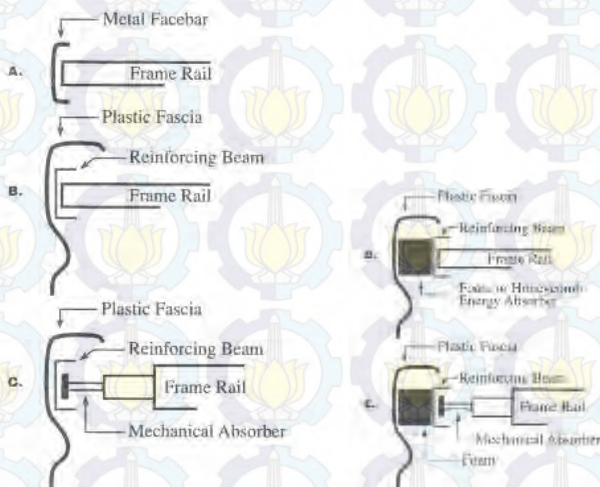
4km/jam. Standar di Kanada memperbolehkan adanya sedikit kerusakan pada kecepatan 8 km/jam untuk kendaraan penumpang.

2. Standar untuk Eropa

Standar yang digunakan di Eropa adalah ECE 42, dengan indikasi tidak adanya kerusakan parah untuk tabrakan dengan kecepatan 4 km/jam.

Ada beberapa sistem bumper seperti ditunjukkan pada gambar 2.5:

- a. Balok logam (*metal facebar*)
- b. *Plastic Fascia* dengan batang penguat.
- c. *Plastic Fascia*, batang penguat dan penyerap energi (*mechanical absorber*).
- d. *Plastic Fascia*, batang penguat, dan *foam/honeycomb*.
- e. *Plastic Fascia*, batang penguat, foam, dan penyerap energi.



Gambar 2.11 Sistem bumper secara umum[14].



Ada beberapa bagian bumper, yaitu *Plastic Fascia*, penyerap energi, batang penguat, dan *facebar*.

- *Plastic Fascia* merupakan bagian dari bumper yang aerodinamis dan ringan dimana bagian ini harus terlihat menarik agar bisa meningkatkan daya saing dengan kompetitor lain, material untuk bagian ini adalah polimer dengan massa yang ringan.
- Penyerap energi berfungsi untuk menyerap sebagian energi apabila terjadi tabrakan dengan kecepatan rendah, material yang digunakan bisa berupa logam maupun foam/honeycomb. Foam / honeycomb mampu menyerap energi dengan massa jenis yang ringan, di sisi lain logam memiliki massa jenis yang lebih tinggi namun energi yang diserap juga lebih banyak.
- Batang Penguat merupakan komponen penting untuk bumper. Bagian ini berfungsi untuk menyerap energi kinetik ketika terjadi tabrakan agar bagian kendaraan tetap terlindungi dan tidak mengalami kerusakan.

Menurut *Research Council for Automotive Repair RCAR*, ada beberapa kriteria untuk bumper yang baik[15]. Kriteria-kriteria tersebut antara lain :

- Cocok untuk bagian depan maupun belakang kendaraan.
- Dapat dilepas/dipindahkan tanpa proses pengelasan maupun pemotongan.
- Ketinggian balok (*beam*) melebihi 100 mm.
- Diletakan berpasangan dengan *bumper barrier*.
- Tahan terhadap beban torsi agar mampu menahan beban eksentrik tanpa mengalami puntiran.
- Mampu menyerap energi dan menyalurkannya ke sistem bumper saja.
- Dipasang pada body kendaraan menggunakan struktur yang mampu menyerap energi, dimana struktur tersebut

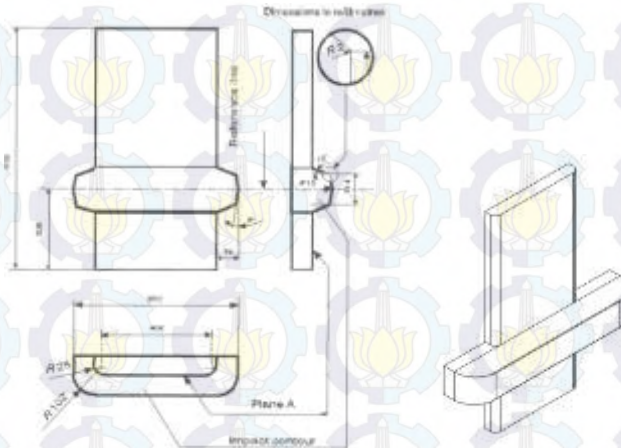


mudah dalam proses pelepasan maupun penggantinya.

- Stabil ketika menerima beban kejut.
- Mampu menghindarkan kerusakan untuk komponen struktural, hasil pengelasan atau *bonding*, atau komponen lain yang mahal.
- Penambahan panjang secara lateral untuk proteksi bagian sudut kendaraan.

2.2.6 *United National Economic Commission for Europe, Regulasi Nomor 42.*

Pengujian untuk impact yang digunakan adalah pengujian yang digunakan untuk kendaraan roda empat atau lebih, yang dapat mengangkut penumpang sejumlah delapan orang (termasuk pengemudi). Pengujian yang digunakan untuk penelitian ini adalah *Longitudinal Test*. Pengujian ini dilakukan dengan menabrakkan sebuah *impactor* dengan kecepatan 4km/jam.

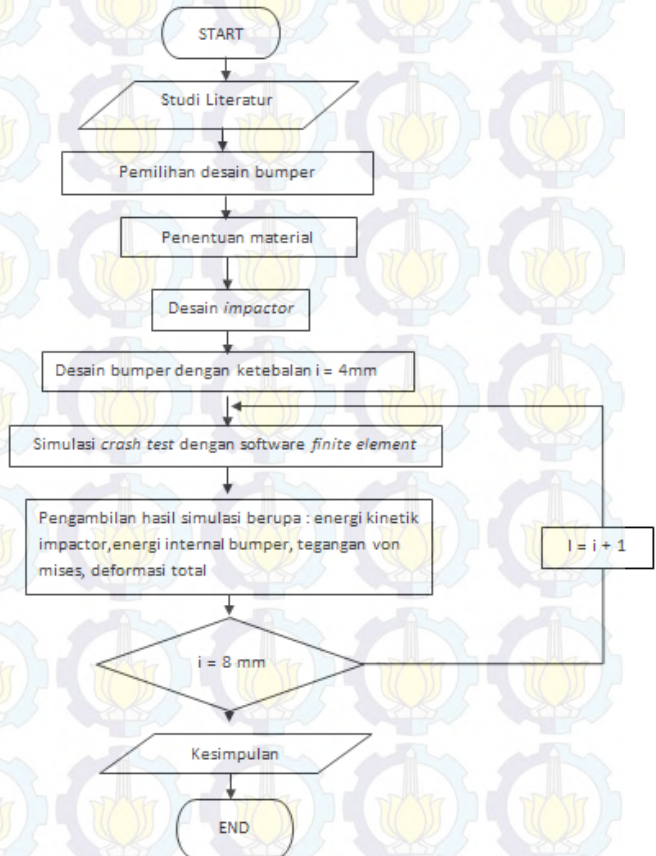


Gambar 2.12 *Impactor* untuk *longitudinal test*[3].



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian.



3.2 Metodologi Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui dasar teori mengenai informasi yang berkaitan dengan penelitian. Dasar teori berkaitan dengan :

1. Komposit

Dasar teori mengenai definisi komposit, komponen-komponen penyusunnya yaitu matriks dan penguat serta penjelasan secara detail untuk aspek tertentu yang berkaitan dengan penelitian.

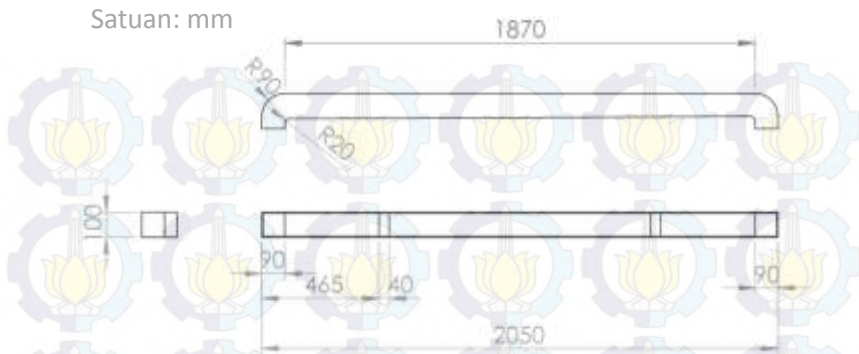
2. Bumper

Penjelasan mengenai bumper, fungsi dan standar pengujian yang digunakan untuk mengetahui kemampuan bumper menyerap energi *impact*.

Kajian pustaka berisi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan bumper kendaraan. Khususnya pengujian untuk meninjau kemampuan suatu material untuk menerima beban *impact* jika dibandingkan dengan material yang sudah ada dengan berat yang lebih ringan.

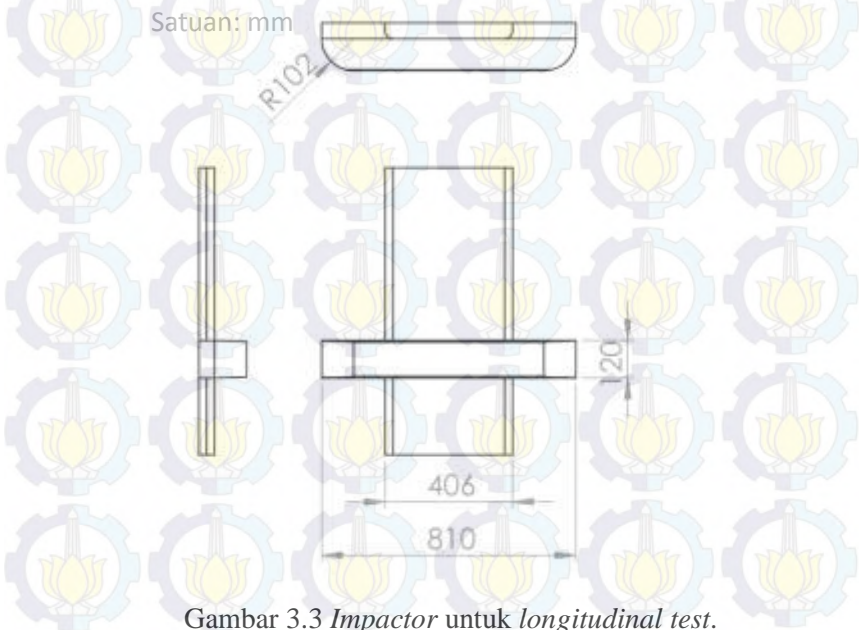
3.2.2 Desain Bumper dan Barrier.

Desain digambar sesuai dengan ukuran representatif bumper kendaraan. Kendaraan yang dipilih adalah jenis MPV (*Multi Passenger Vehicle*). Tipe profil yang dipilih adalah tipe profil *C-beam*. Desain yang digunakan memiliki variasi ketebalan mulai dari 4 mm hingga 8 mm berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Morgan untuk bumper yang terbuat dari komposit [16]. Dimensi bumper sesuai gambar dengan satuan milimeter.



Gambar 3.2 Dimensi bumper kendaraan.

Impactor didesain sesuai dengan standar untuk *ECE* Regulasi 42. Satuan ukuran dalam milimeter.



Gambar 3.3 *Impactor* untuk longitudinal test.



3.2.3. Material Bumper

Material untuk bumper ditentukan, yaitu Komposit epoxy HGM dengan fraksi volume HGM 16% dan untuk pembeding digunakan aluminium.

Tabel 3.1 Properti Material.

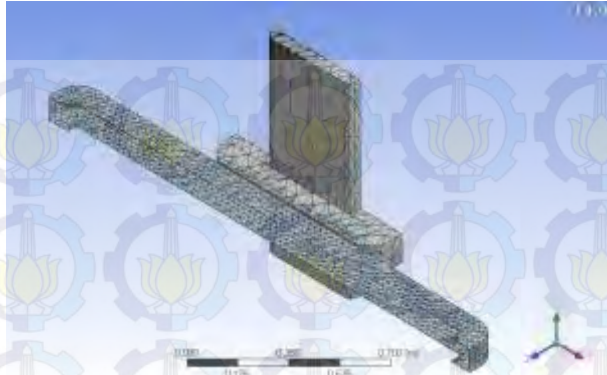
Material	Poisson Rasio	Modulus Young [Mpa]	Densitas [kg/m ³]
Epoxy HGM 16%	0,12	567	1034,5
Aluminium	0,33	72400	2780

3.2.4 Simulasi Pengujian

Simulasi pengujian dilakukan dengan software *finite element*. Standar yang digunakan adalah pengujian dari ECE sesuai dengan regulasi 42, dengan standar pengujian ini *impactor bergerak* dengan kecepatan 4 km/jam menuju bumper. Simulasi menggunakan analisa *explicit Dynamics*.

Ada beberapa *boundary condition* yang diterapkan dalam simulasi ini yaitu :

- *Impactor* bergerak dengan kecepatan konstan sebesar 4 km/jam (1,11 m/s)
- *Impactor* diasumsikan *rigid body*.
- Bumper ditumpu dengan *fix support* melalui 2 bidang berukuran 40mm x 100 mm yang memiliki jarak 465 mm dari tepi bumper



Gambar 3.4 Layout desain bumper dan *impactor* pada software *finite element*.

Simulasi terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1. Proses input data material.
Data properti material dimasukkan ke dalam software melalui submenu *Engineering Data*.
2. Proses penentuan geometri benda.
Geometri benda yang telah desain menggunakan software gambar 3D diimport ke dalam software *finite element*.
3. Proses *Modelling*
Proses ini terdiri dari *meshing* dan *setting* kondisi sesuai dengan standar yang diinginkan. Setting kondisi untuk sistem *explicit Dynamics* dilakukan dengan memberikan input berupa *velocity* untuk komponen yang bergerak yaitu bumper. Kecepatan didefinisikan dengan arah bergerak sesuai dengan sumbu dimana bumper bergerak menuju *barrier*.
4. Proses *Running* dan Hasil Simulasi
Setelah kondisi disesuaikan dengan standar yang diinginkan, dilakukan pemilihan data yang ingin dihasilkan. Untuk simulasi ini dipilih tegangan maksimal yang terjadi (*Von Mises Equivalent Stress*), nilai energi



impact, dan energi internal bumper. Proses simulasi dilakukan dengan melakukan *solve* untuk pengkondisian yang sudah ditetapkan.

3.2.5 Analisa Data

Dari hasil simulasi berupa distribusi tegangan dan energi kinetik serta energi internal pada bumper untuk masing-masing material, dianalisa apakah nilai tegangan berada dibawah tegangan *yieldnya* (aman digunakan), nilai deformasi total dan gaya *impact* yang mampu diserap. Analisa dilakukan untuk masing masing ketebalan mulai dari 4 mm hingga 8 mm. Untuk masing masing ketebalan bumper dilakukan perhitungan berat bumper.

Rumus gaya *impact* yang mampu diserap yaitu :

$$F = W/d..... (1)$$

Dimana :

W : Usaha (Energi Kinetik Awal *Impactor*)

F : Gaya *Impact*

d : deformasi maksimal bumper

3.2.6 Kesimpulan

Dari data yang didapatkan dari simulasi disimpulkan apakah material komposit matriks epoxy dengan HGM dapat diaplikasikan sebagai bumper dan berapa nilai energi yang mampu diserap oleh material tersebut, serta tegangan maksimal dan deformasi pada bumper untuk masing masing ketebalan.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesifikasi Bumper

Tabel 4.1 Spesifikasi bumper untuk material komposit epoxy HGM

No	Ketebalan [mm]	Volume [m ³]	densitas [kg/m ³]	Berat [kg]
1	4	0,00243	1034,5	2,51
2	5	0,003013	1034,5	3,12
3	6	0,003586	1034,5	3,71
4	7	0,00415	1034,5	4,29
5	8	0,004705	1034,5	4,87

Tabel 4.2 Nilai absorpsi energi kinetik *impactor*

No	Ketebalan [mm]	Energi <i>Impactor</i> [Joule]	Energi internal [Joule]	Penyerapan [%]
1	4	694,12	601,03	86,59
2	5	694,12	594,55	85,66
3	6	694,12	600,79	86,55
4	7	694,12	598,88	86,28
5	8	694,12	603,31	86,92



Tabel 4.3 Nilai Tegangan Ekuivalen Maksimal bumper

Ketebalan [mm]	Tegangan Ekuivalen Maksimal [Mpa]
4 mm	51,38
5 mm	47,1
6 mm	41,92
7 mm	32,13
8 mm	27,42

Tabel 4.4 Nilai Deformasi Total Maksimal bumper.

Ketebalan [mm]	Deformasi Total Maksimal [mm]
4	73,96
5	72,68
6	67,25
7	64,49
8	60,62

Tabel 4.5 Perbandingan Berat Aluminium dan Komposit.

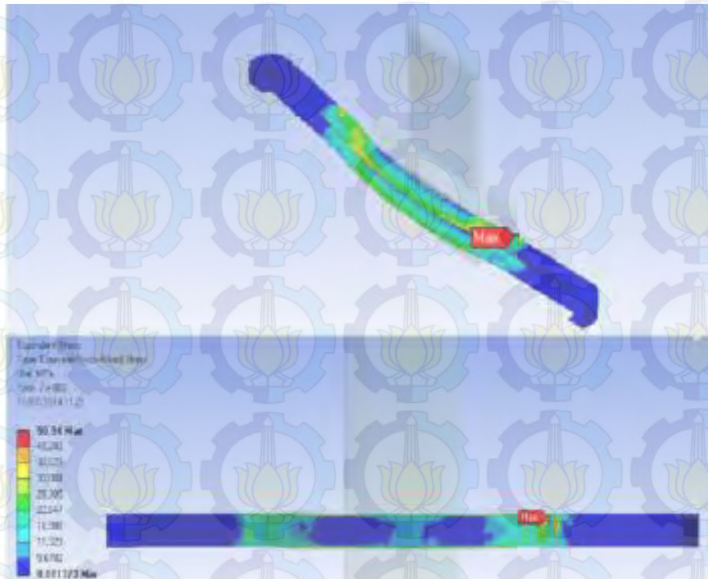
Material	Densitas [kg/m ³]	ketebalan [mm]	volume [m ³]	berat [kg]
Komposit	1034,5	8	0,0047	4,87
Aluminium	2780	7	0,0041	11,54



4.2 Analisa Gambar Hasil Simulasi.

4.2.1 Analisa Gambar Tegangan Von Mises

4.2.1.1 Bumper 4 mm



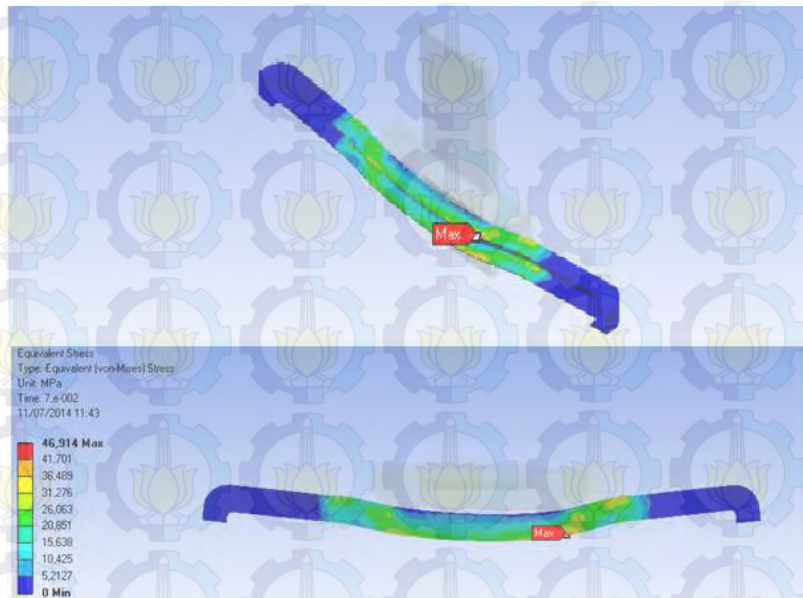
Gambar 4.1 Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 4 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa persebaran nilai tegangan pada bumper terjadi pada area yang mengalami kontak dengan *impactor* dan area di dekatnya, sementara untuk daerah bumper bagian tepi tidak mengalami tegangan.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 4 mm adalah 50,94 MPa. Tegangan maksimal terjadi pada waktu 0,072 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.1.



4.2.1.2 Bumper 5 mm



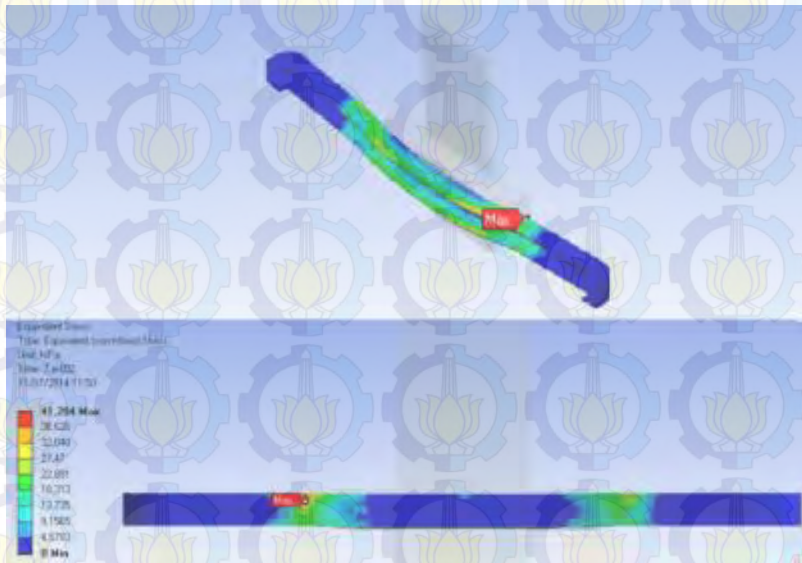
Gambar 4.2 Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 5 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa persebaran nilai tegangan pada bumper terjadi pada area yang mengalami kontak dengan *impactor* dan area di dekatnya, sementara untuk daerah bumper bagian tepi tidak mengalami tegangan.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 5 mm adalah 46,9 MPa. Tegangan maksimal terjadi pada waktu 0,072 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.2.



4.2.1.3 Bumper 6 mm



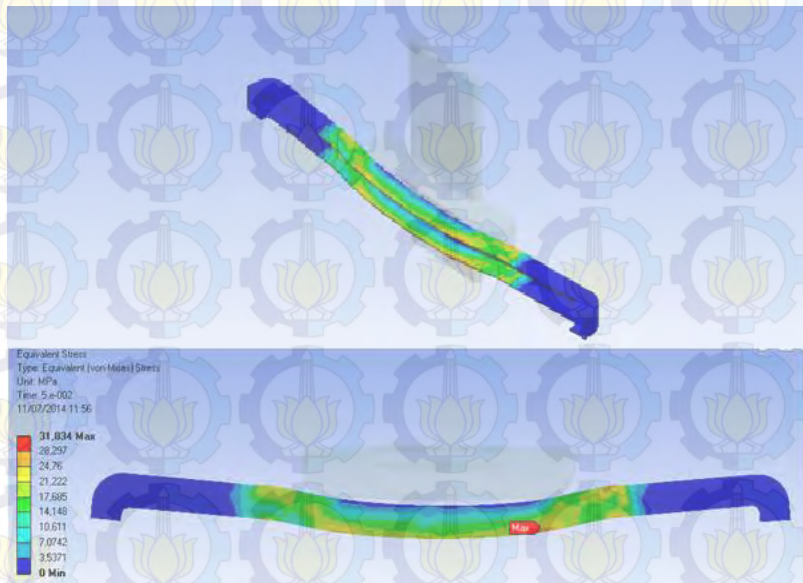
Gambar 4.3 Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 6 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa persebaran nilai tegangan pada bumper terjadi pada area yang mengalami kontak dengan *impactor* dan area di dekatnya, sementara untuk daerah bumper bagian tepi tidak mengalami tegangan.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 6 mm adalah 41,2 MPa. Tegangan maksimal terjadi pada waktu 0,072 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.3.



4.2.1.4 Bumper 7 mm



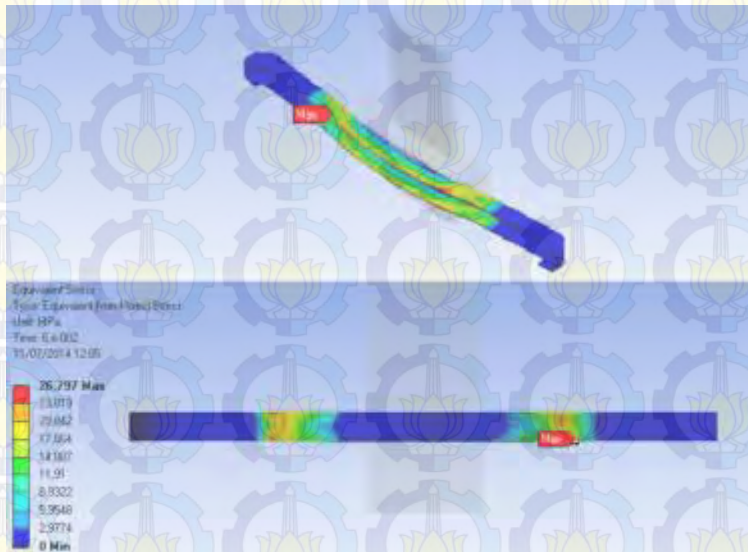
Gambar 4.4 Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 7 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa persebaran nilai tegangan pada bumper terjadi pada area yang mengalami kontak dengan *impactor* dan area di dekatnya, sementara untuk daerah bumper bagian tepi tidak mengalami tegangan.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 7 mm adalah 31,8 MPa. Tegangan maksimal terjadi pada waktu 0,05 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.4.



4.2.1.5 Bumper 8 mm



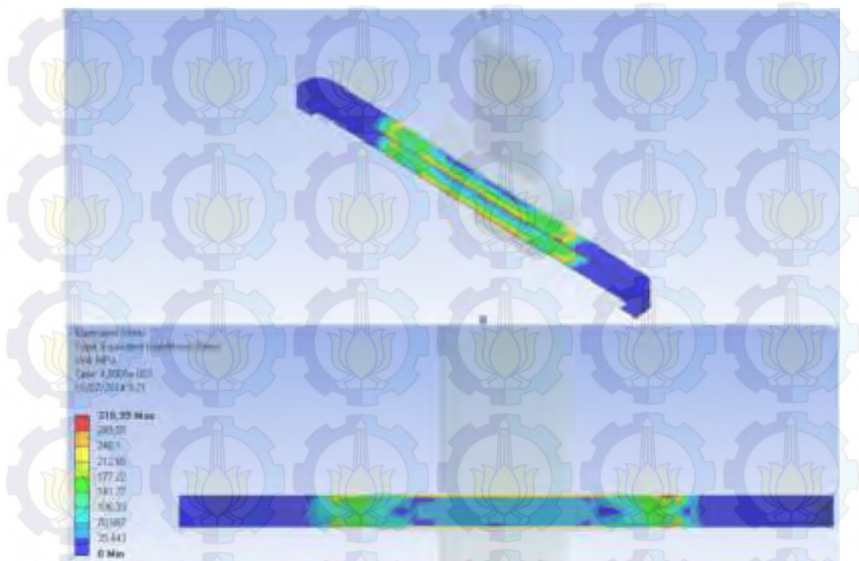
Gambar 4.5 Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 8 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa persebaran nilai tegangan pada bumper terjadi pada area yang mengalami kontak dengan *impactor* dan area di dekatnya, sementara untuk daerah bumper bagian tepi tidak mengalami tegangan.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 8 mm adalah 26,75 MPa. Tegangan maksimal terjadi pada waktu 0,058 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.5.



4.2.1.5 Bumper Aluminium 7 mm



Gambar 4.6 Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper Aluminium 7 mm.

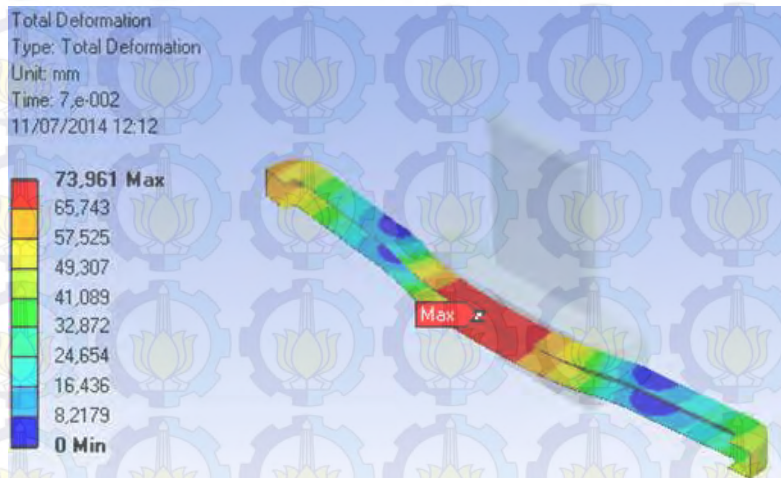
Dari hasil simulasi diketahui bahwa persebaran nilai tegangan pada bumper terjadi pada area yang mengalami kontak dengan *impactor* dan area di dekatnya, sementara untuk daerah bumper bagian tepi tidak mengalami tegangan.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 8 mm adalah 318,99 MPa. Tegangan maksimal terjadi pada waktu 0,004 detik. Dengan indikasi warna merah.



4.2.2 Analisa Gambar Deformasi Total

4.2.2.1 Bumper 4 mm



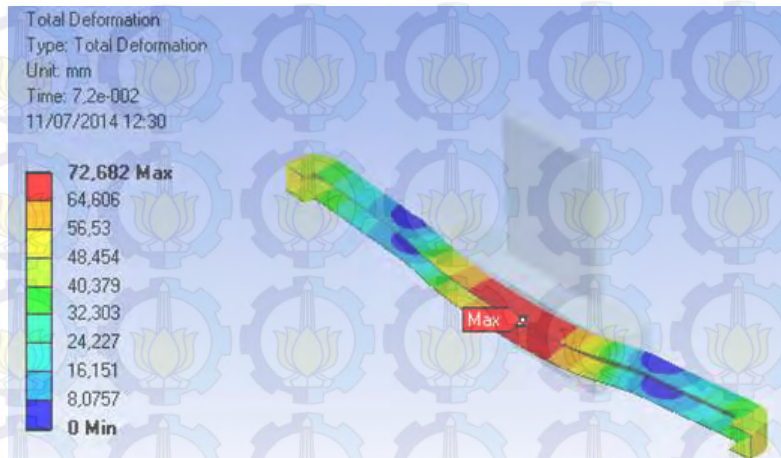
Gambar 4.7 Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 4 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi yang terjadi cukup tinggi pada daerah yang mengalami kontak dengan *impactor* dan daerah disekitarnya serta daerah ujung bumper.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 4 mm adalah 73,96 mm. Deformasi maksimal terjadi pada waktu 0,07 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.7.



4.2.2.2 Bumper 5 mm



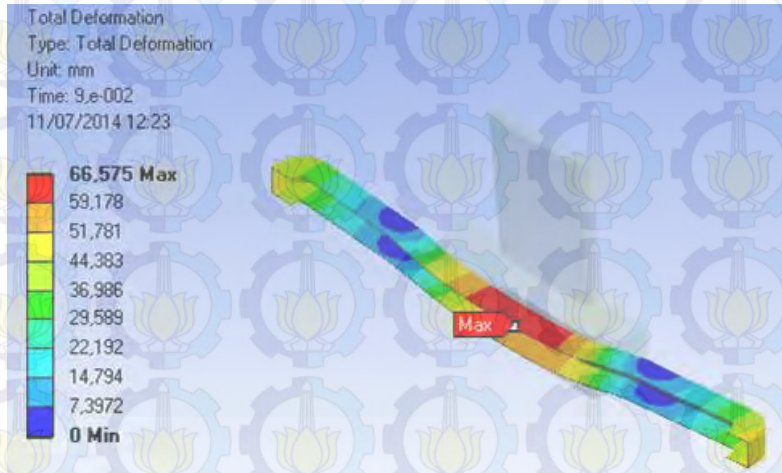
Gambar 4.8 Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 5 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi yang terjadi cukup tinggi pada daerah yang mengalami kontak dengan *impactor* dan daerah disekitarnya serta daerah ujung bumper.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 5 mm adalah 72,68 mm. Deformasi maksimal terjadi pada waktu 0,07 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.8.



4.2.2.3 Bumper 6 mm



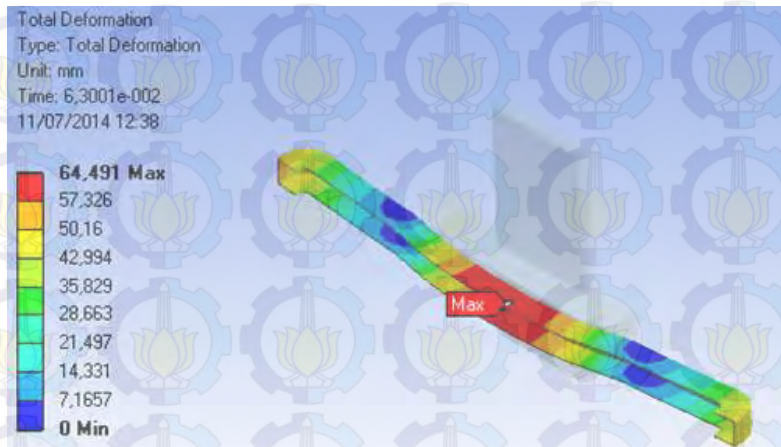
Gambar 4.9 Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 6 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi yang terjadi cukup tinggi pada daerah yang mengalami kontak dengan *impactor* dan daerah disekitarnya serta daerah ujung bumper.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 6 mm adalah 67,25 mm. Deformasi maksimal terjadi pada waktu 0,06 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.9.



4.2.2.4 Bumper 7 mm



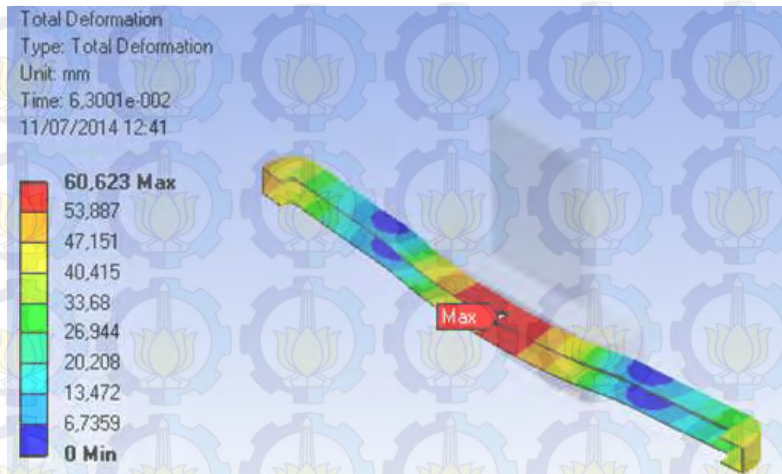
Gambar 4.10 Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 7 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi yang terjadi cukup tinggi pada daerah yang mengalami kontak dengan *impactor* dan daerah disekitarnya serta daerah ujung bumper.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 6 mm adalah 64,49 mm. Deformasi maksimal terjadi pada waktu 0,06 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.10.



4.2.2.5 Bumper 8 mm



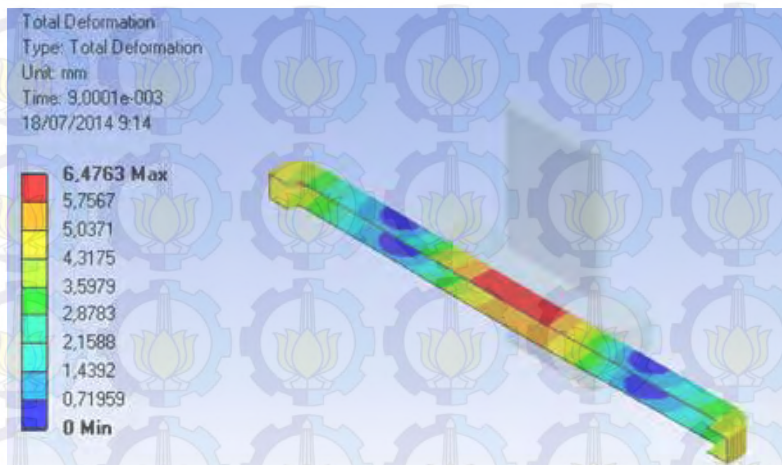
Gambar 4.11 Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper 8 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi yang terjadi cukup tinggi pada daerah yang mengalami kontak dengan *impactor* dan daerah disekitarnya serta daerah ujung bumper.

Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 6 mm adalah 60,62 mm. Deformasi maksimal terjadi pada waktu 0,06 detik dengan posisi *probe max* seperti pada gambar 4.11.



4.2.2.5 Bumper Aluminium 7 mm



Gambar 4.12 Hasil simulasi nilai deformasi total pada bumper Aluminium 7 mm.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa deformasi terjadi pada hampir semua bagian bumper. Deformasi yang terjadi cukup tinggi pada daerah yang mengalami kontak dengan *impactor* dan daerah disekitarnya serta daerah ujung bumper.

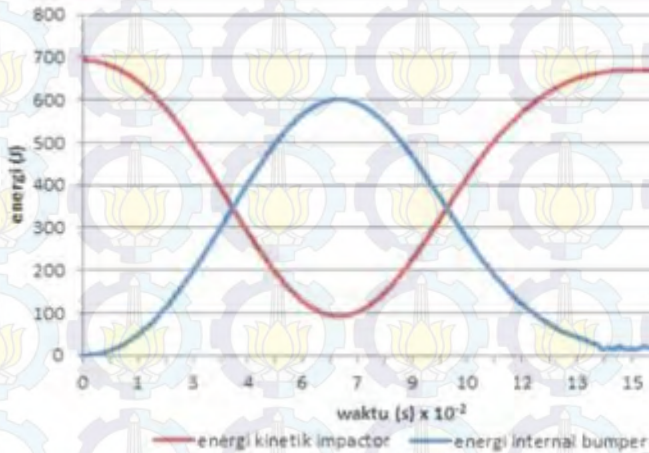
Nilai tegangan von mises maksimal untuk bumper dengan ketebalan 6 mm adalah 6,47 mm. Deformasi maksimal terjadi pada waktu 0,009 detik dengan warna merah seperti pada gambar 4.12.



4.3 Analisa Data Hasil Simulasi

4.3.1 Analisa Perbandingan Grafik Energi Kinetik *Impactor* dan Energi Internal Bumper

4.3.1.1 Bumper 4 mm



Gambar 4.13 Grafik perbandingan energi kinetik *impactor* dan energi internal bumper 4 mm.

Simulasi untuk bumper dengan ketebalan 4 mm dilakukan mulai dari $t = 0$ detik, hingga $t = 0,09$ detik. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan lalu mengalami peningkatan kembali ke nilai yang relatif konstan. Sedangkan energi internal bumper mengalami kenaikan mulai dari nol kemudian mengalami penurunan ke nilai yang relatif konstan.

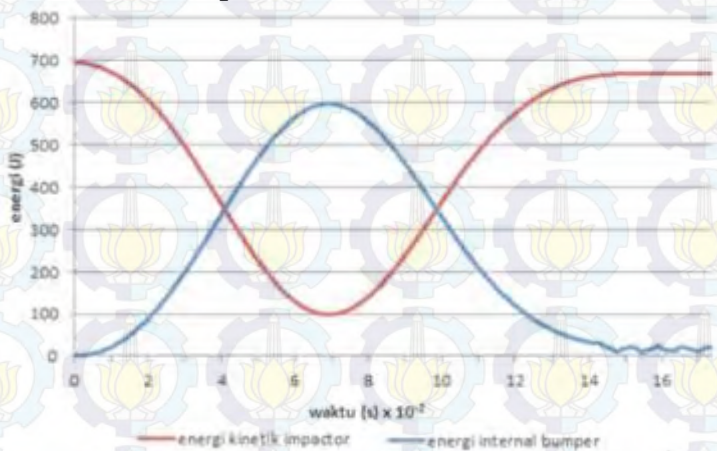
Energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan dari 694,12 Joule menjadi 92,39 Joule, kemudian energi kinetik mengalami kenaikan ketika *impactor* dipantulkan kembali. Energi internal dari bumper mengalami kenaikan hingga 601,02 Joule,



setelah *impactor* dipantulkan energi internal mengalami penurunan.

Dari data yang ada, energi kinetik dari *impactor* diserap oleh bumper sesuai dengan hukum kekekalan energi. Bumper mampu menyerap energi sebesar 601,02 Joule dari 694,12 Joule. Energi yang mampu diserap bumper adalah 86,4% dari total energi kinetik *impactor*.

4.3.1.2 Bumper 5 mm



Gambar 4.14 Grafik perbandingan energi kinetik *impactor* dan energi internal bumper 5 mm.

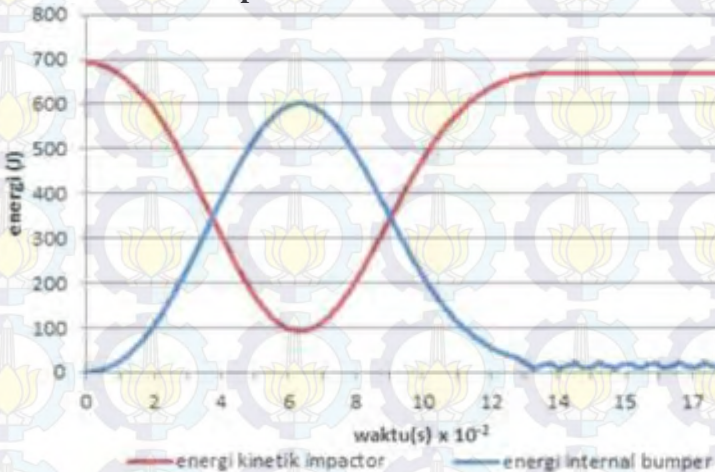
Simulasi untuk bumper dengan ketebalan 4 mm dilakukan mulai dari $t = 0$ detik, hingga $t = 0,09$ detik. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan lalu mengalami peningkatan kembali ke nilai yang relatif konstan. Sedangkan energi internal bumper mengalami kenaikan mulai dari nol kemudian mengalami penurunan ke nilai yang relatif konstan.



Energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan dari 694,12 Joule menjadi 98,36 Joule, kemudian energi kinetik mengalami kenaikan ketika *impactor* dipantulkan kembali. Energi internal dari bumper mengalami kenaikan hingga 594,55 Joule, setelah *impactor* dipantulkan energi internal mengalami penurunan.

Dari data yang ada, energi kinetik dari *impactor* diserap oleh bumper sesuai dengan hukum kekekalan energi. Bumper mampu menyerap energi sebesar 594,55 Joule dari 694,12 Joule. Energi yang mampu diserap bumper adalah 85,4% dari total energi kinetik *impactor*.

4.3.1.3 Bumper 6 mm



Gambar 4.15 Grafik perbandingan energi kinetik *impactor* dan energi internal bumper 6 mm.

Simulasi untuk bumper dengan ketebalan 4 mm dilakukan mulai dari $t = 0$ detik, hingga $t = 0,09$ detik. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan lalu mengalami peningkatan kembali ke

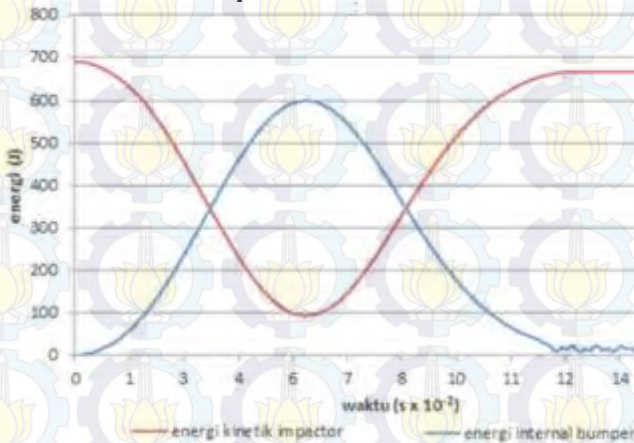


nilai yang relatif konstan. Sedangkan energi internal bumper mengalami kenaikan mulai dari nol kemudian mengalami penurunan ke nilai yang relatif konstan.

Energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan dari 694,12 Joule menjadi 92,49 Joule, kemudian energi kinetik mengalami kenaikan ketika *impactor* dipantulkan kembali. Energi internal dari bumper mengalami kenaikan hingga 600,7923 Joule, setelah *impactor* dipantulkan energi internal mengalami penurunan.

Dari data yang ada, energi kinetik dari *impactor* diserap oleh bumper sesuai dengan hukum kekekalan energi. Bumper mampu menyerap energi sebesar 600,79 Joule dari 694,12 Joule. Energi yang mampu diserap bumper adalah 86,39% dari total energi kinetik *impactor*.

4.3.1.4 Bumper 7 mm



16 Grafik perbandingan energi kinetik *impactor* dan energi internal bumper 7 mm.

Simulasi untuk bumper dengan ketebalan 4 mm dilakukan mulai dari $t = 0$ detik, hingga $t = 0,09$ detik. Dari

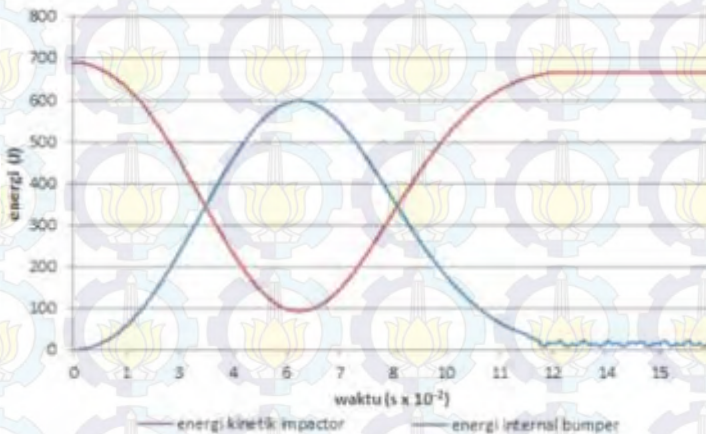


gambar di atas dapat diketahui bahwa energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan lalu mengalami peningkatan kembali ke nilai yang relatif konstan. Sedangkan energi internal bumper mengalami kenaikan mulai dari nol kemudian mengalami penurunan ke nilai yang relatif konstan.

Energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan dari 694,12 Joule menjadi 93,71 Joule, kemudian energi kinetik mengalami kenaikan ketika *impactor* dipantulkan kembali. Energi internal dari bumper mengalami kenaikan hingga 598,88 Joule, setelah *impactor* dipantulkan energi internal mengalami penurunan.

Dari data yang ada, energi kinetik dari *impactor* diserap oleh bumper sesuai dengan hukum kekekalan energi. Bumper mampu menyerap energi sebesar 598,88 Joule dari 694,12 Joule. Energi yang mampu diserap bumper adalah 86,48% dari total energi kinetik *impactor*.

4.3.1.5 Bumper 8 mm



Gambar 4.17 Grafik perbandingan energi kinetik *impactor* dan energi internal bumper 8 mm.



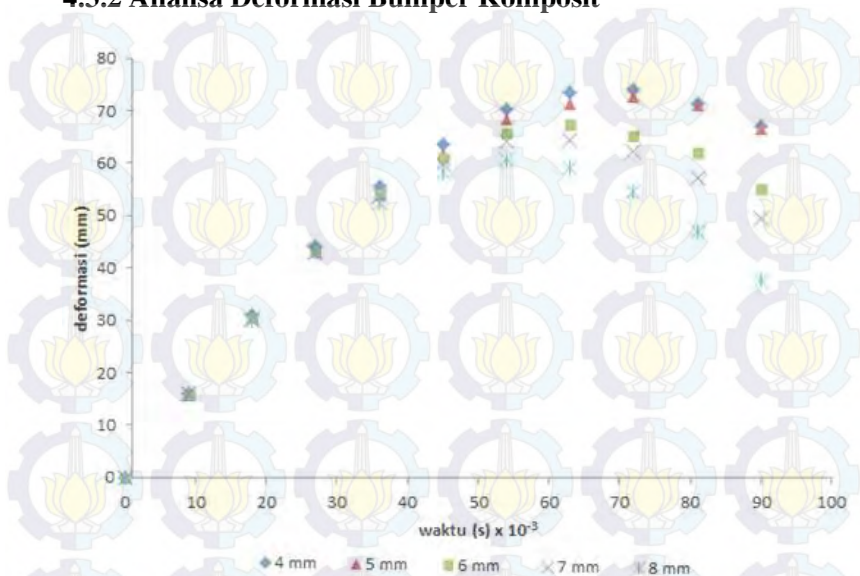
Simulasi untuk bumper dengan ketebalan 4 mm dilakukan mulai dari $t = 0$ detik, hingga $t = 0,09$ detik. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan lalu mengalami peningkatan kembali ke nilai yang relatif konstan. Sedangkan energi internal bumper mengalami kenaikan mulai dari nol kemudian mengalami penurunan ke nilai yang relatif konstan.

Energi kinetik dari *impactor* mengalami penurunan dari 694,12 Joule menjadi 87,72 Joule, kemudian energi kinetik mengalami kenaikan ketika *impactor* dipantulkan kembali. Energi internal dari bumper mengalami kenaikan hingga 603,32 Joule, setelah *impactor* dipantulkan energi internal mengalami penurunan.

Dari data yang ada, energi kinetik dari *impactor* diserap oleh bumper sesuai dengan hukum kekekalan energi. Bumper mampu menyerap energi sebesar 603,32 Joule dari 694,12 Joule. Energi yang mampu diserap bumper adalah 87,28% dari total energi kinetik *impactor*.



4.3.2 Analisa Deformasi Bumper Komposit



Gambar 4.18 Grafik perbandingan deformasi bumper dengan variasi ketebalan.

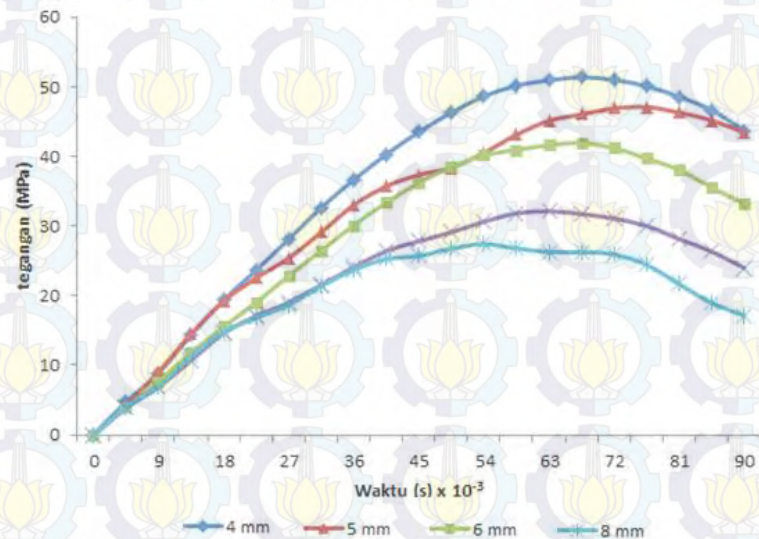
Bumper akan mengalami deformasi apabila menerima tegangan. Deformasi terjadi mulai dari $t = 0$ hingga $t = 0,09$. Deformasi bervariasi untuk ketebalan bumper yang berbeda. Deformasi yang paling kecil adalah deformasi untuk bumper dengan ketebalan paling tinggi, yaitu 8 mm diikuti dengan bumper ketebalan 7 mm, 6 mm, 5 mm, dan yang paling tinggi deformasinya adalah bumper dengan ketebalan 4 mm. Namun deformasi pada bumper cukup besar (lebih dari 2 mm) sehingga nanti akan muncul kerusakan yang dapat diamati secara visual.

Nilai deformasi untuk bumper dengan ketebalan 4 mm adalah 73,96 mm untuk bumper ketebalan 5 mm adalah 72,68 mm, bumper 6 mm sebesar 67,25 mm, bumper 7 mm sebesar 64,49



mm dan bumper dengan ketebalan 8 mm memiliki deformasi minimal sebesar 60,62 mm. Bumper yang memiliki nilai deformasi maksimal adalah bumper dengan ketebalan 4 mm. Peningkatan ketebalan mengakibatkan bumper lebih tahan terhadap deformasi. Dari hasil yang ada dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatnya ketebalan, maka nilai deformasi maksimal yang terjadi mengalami penurunan.

4.3.3 Analisa Tegangan Bumper Komposit



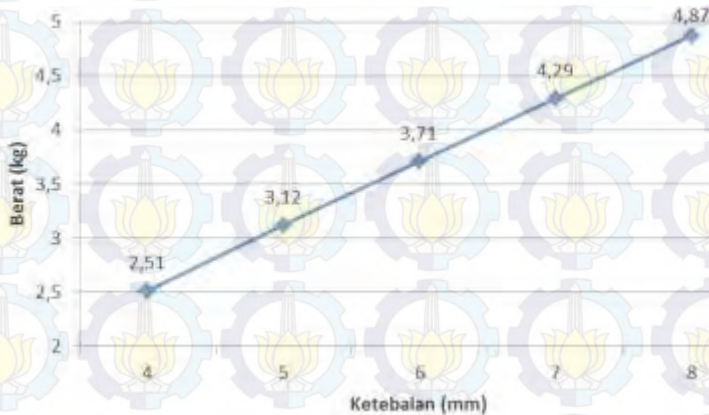
Gambar 4.19 Grafik perbandingan tegangan ekuivalen dengan variasi ketebalan.

Bumper akan menerima tegangan dari luar akibat pembebanan kejut yang diberikan oleh *impactor*. Beban terdistribusi ke luasan bumper. Apabila tegangan maksimal yang didapatkan dari simulasi bernilai lebih rendah maka material aman digunakan.



Dari hasil simulasi, didapatkan hasil bahwa bumper dengan ketebalan 4 mm hingga 8 mm memiliki tegangan maksimal dibawah tegangan tekan maksimal material komposit, sehingga bumper aman untuk digunakan. Nilai tegangan ekuivalen maksimal berturut-turut untuk ketebalan 4 mm hingga 8 mm adalah 51,38 Mpa, 47,10 Mpa, 41,92 MPa, 32,13 Mpa, 27,424 Mpa. Peningkatan ketebalan bumper meningkatkan luas area untuk menerima beban, sehingga nilai tegangan yang terjadi mengalami penurunan. Dari data di atas, dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatnya ketebalan bumper maka nilai tegangan yang terjadi pada bumper akan mengalami penurunan.

4.3.4 Analisa Berat Bumper Komposit



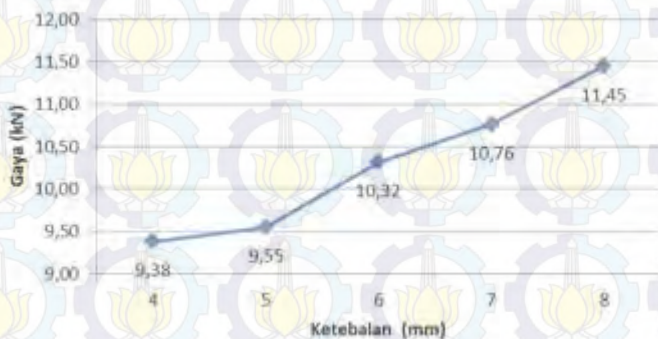
Gambar 4.20 Grafik perbandingan berat dengan variasi ketebalan.

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya ketebalan, berat bumper juga mengalami peningkatan. Semakin tinggi nilai ketebalan bumper semakin tinggi volume sehingga akan meningkatkan nilai massa dari bumper.



Bumper dengan ketebalan 4 mm memiliki berat 2,51 kg, bumper 5 mm memiliki berat 3,12 kg, bumper dengan ketebalan 6 mm memiliki berat 3,71 kg, bumper 7 mm memiliki ketebalan 4,29 kg, dan bumper dengan ketebalan 8 mm memiliki berat paling besar yaitu 4,87 kg.

4.3.5 Analisa Gaya *Impact* Bumper



Gambar 4.21 Grafik gaya *impact* dengan variasi ketebalan.

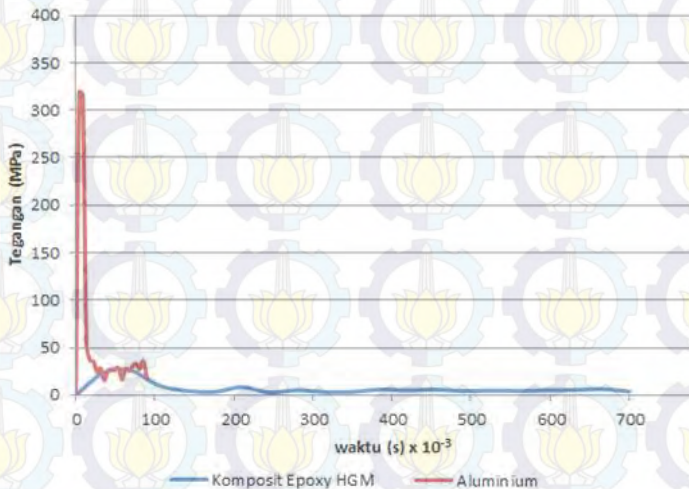
Grafik di atas menunjukkan tren kenaikan gaya impact yang mampu diserap, apabila ketebalan bumper ditingkatkan.

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya ketebalan, gaya *impact* yang mampu diterima mengalami peningkatan. Bumper dengan ketebalan 4 mm hingga 8 mm mampu menerima gaya *impact* berturut-turut sebesar 9,38 kN, 9,55 kN, 10,32 kN, 10,76 kN, 11,45 kN. Dari data di atas dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya ketebalan bumper, energi *impact* yang mampu diserap juga akan mengalami peningkatan. Dengan kecepatan *impactor* yang sama, akan dihasilkan energi awal yang sama untuk masing-masing ketebalan, namun deformasi mengalami penurunan dengan adanya peningkatan ketebalan, penurunan deformasi akan meningkatkan nilai gaya yang diserap sesuai dengan rumus 1.



Disimpulkan bahwa dengan adanya peningkatan ketebalan bumper maka nilai gaya impact yang mampu diterima oleh bumper akan mengalami kenaikan.

4.3.6 Analisa Perbandingan Tegangan Bumper Komposit dengan Aluminium



Gambar 4.22 Grafik perbandingan tegangan ekuivalen Aluminium dan Komposit.

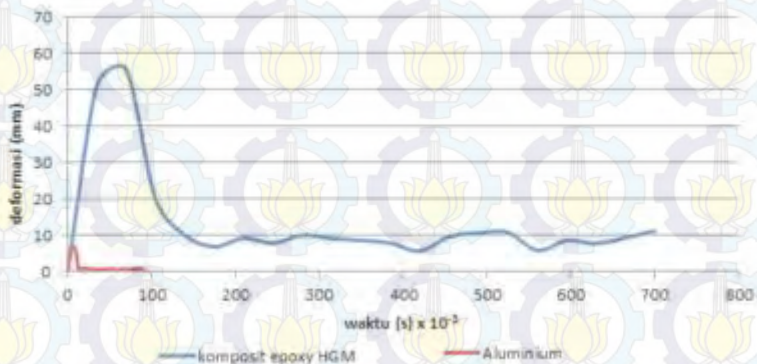
Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa nilai tegangan ekuivalen untuk material aluminium lebih tinggi jika dibandingkan dengan material komposit epoxy HGM. Hal ini sesuai dengan teori, apabila nilai modulus young suatu material lebih tinggi maka nilai tegangan ekuivalennya tinggi dan sebaliknya, apabila nilai modulus young material rendah, maka nilai tegangan ekuivalennya juga rendah.

Material aluminium dengan ketebalan 7 mm memiliki nilai tegangan sebesar 377,29 MPa. Nilai tegangan ini berada dibawah nilai tegangan yield material sehingga aman untuk



digunakan. Untuk material komposit epoxy HGM dengan ketebalan 8 mm, nilai tegangan ekuivalennya adalah 27,37 Mpa. Nilai tegangan ini berada dibawah tegangan yield sehingga material ini juga aman digunakan. Nilai tegangan untuk material aluminium lebih tinggi daripada dibandingkan dengan nilai tegangan yang terjadi pada material komposit. Hal ini disebabkan karena waktu impact yang terjadi untuk aluminium lebih singkat jika dibandingkan dengan komposit epoxy HGM, waktu yang singkat akan mengakibatkan luas area untuk menerima beban lebih kecil yang mengakibatkan adanya peningkatan tegangan.

4.3.7 Analisa Perbandingan Tegangan Bumper Komposit dengan Aluminium

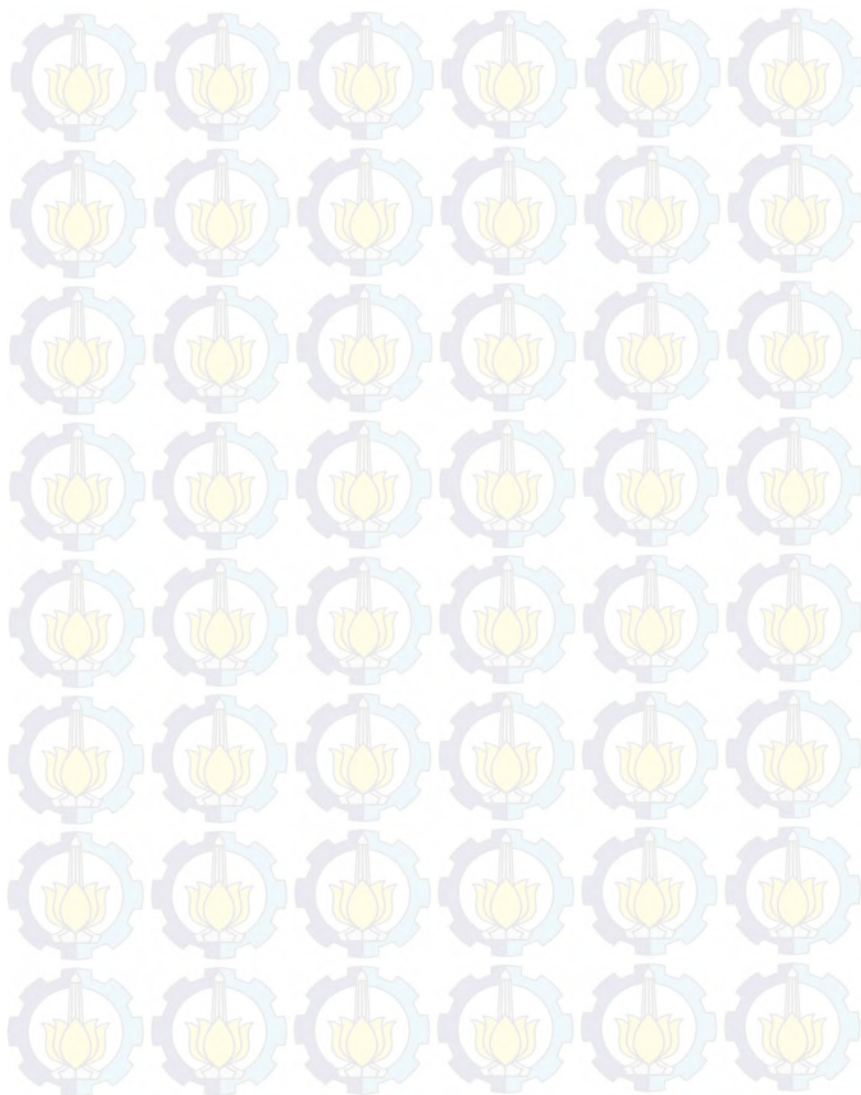


Gambar 4.23 Grafik perbandingan deformasi total Aluminium dan Komposit.

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa nilai deformasi untuk material aluminium lebih rendah jika dibandingkan dengan material komposit epoxy HGM. Hal ini sesuai dengan teori, apabila nilai modulus young suatu material lebih tinggi maka nilai deformasinya akan rendah dan sebaliknya, apabila nilai modulus young material rendah, maka nilai deformasi tinggi



Material aluminium dengan ketebalan 7 mm memiliki nilai deformasi maksimal sebesar 7,44 mm. Sedangkan adalah deformasi sisa (adalah 1,1 mm. Untuk material komposit epoxy HGM dengan ketebalan 8 mm, nilai deformasi maksimal sebesar 60,26 mm, sedangkan nilai deformasi sisa (deformasi plastik) adalah 9,1 mm. Nilai deformasi untuk material aluminium lebih kecil jika dibandingkan dengan komposit epoxy HGM, hal ini disebabkan karena nilai Modulus Young dari aluminium lebih tinggi daripada komposit. Nilai modulus young menunjukkan nilai kekakuan material yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan teori, material dengan kekakuan yang tinggi akan menalami deformasi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan material yang memiliki kekakuan rendah.





BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

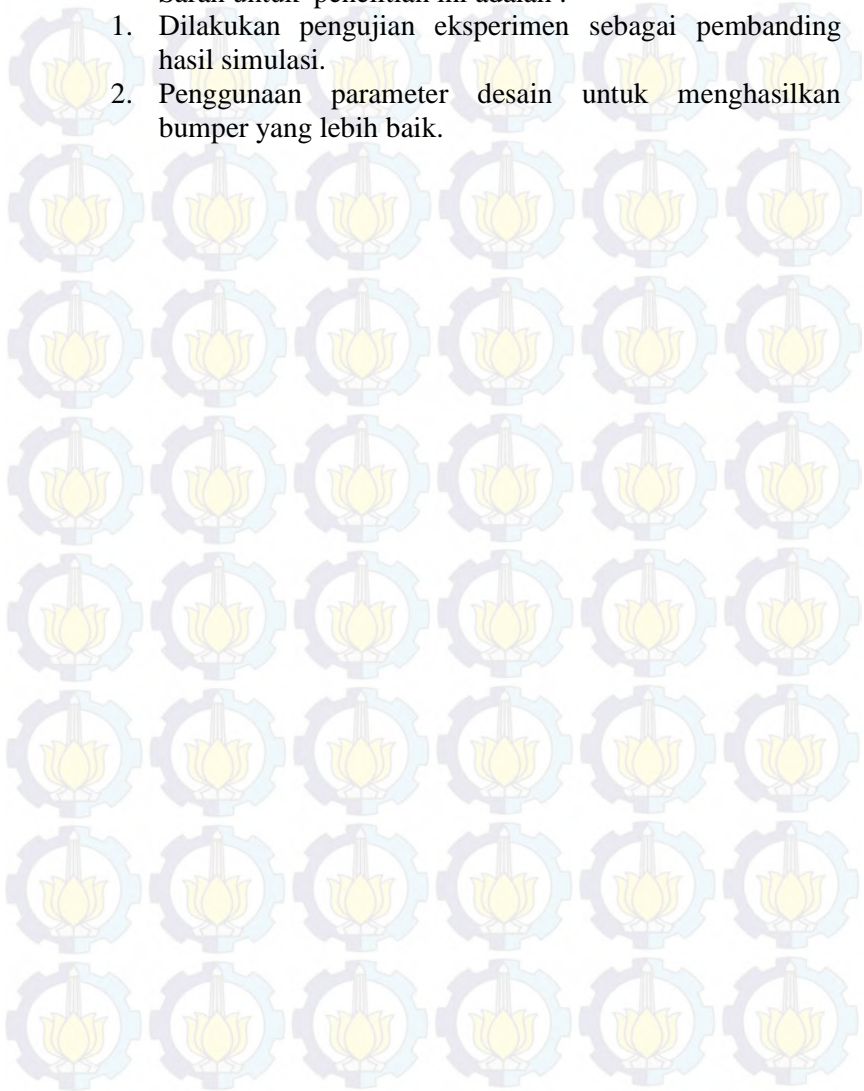
1. Energi kinetik dari *impactor* yang mampu ditransfer menjadi energi internal untuk masing masing bumper adalah : bumper 4 mm sebesar 124,59 Joule, bumper 5 mm sebesar 123,25 Joule, bumper 6 mm sebesar 124,56 Joule, bumper 7 mm sebesar 124,69 Joule, dan bumper 8 mm sebesar 125,84 Joule.
2. Kemampuan material bumper untuk masing masing ketebalan berurutan mulai dari 4 mm hingga 8 mm adalah : 86,4%, 85,4%, 86,39%, 86,48%, dan 87,28%. Rata rata penyerapan energi untuk material epoxy HGM ini adalah 86,39%
3. Nilai deformasi bumper berdasarkan ketebalan berturut turut dari ketebalan 8 mm ke 4 mm adalah 0,0313 m, 0,0339 m, 0,0358 m, 0,0391 m dan 0,04 m, dengan nilai paling rendah untuk ketebalan 8 mm dan nilai paling tinggi untuk ketebalan 4 mm.
4. Nilai tegangan pada bumper mengalami penurunan dengan adanya peningkatan ketebalan bumper. Bumper dengan ketebalan 4 mm hingga 8 mm berada dibawah tegangan kompresi maksimal material sehingga aman digunakan
5. Bumper komposit dengan ketebalan 8 mm memiliki massa yang lebih ringan dibandingkan dengan bumper aluminium ketebalan 7 mm. Berat bumper komposit 42% berat bumper aluminium.



5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini adalah :

1. Dilakukan pengujian eksperimen sebagai pembandingan hasil simulasi.
2. Penggunaan parameter desain untuk menghasilkan bumper yang lebih baik.



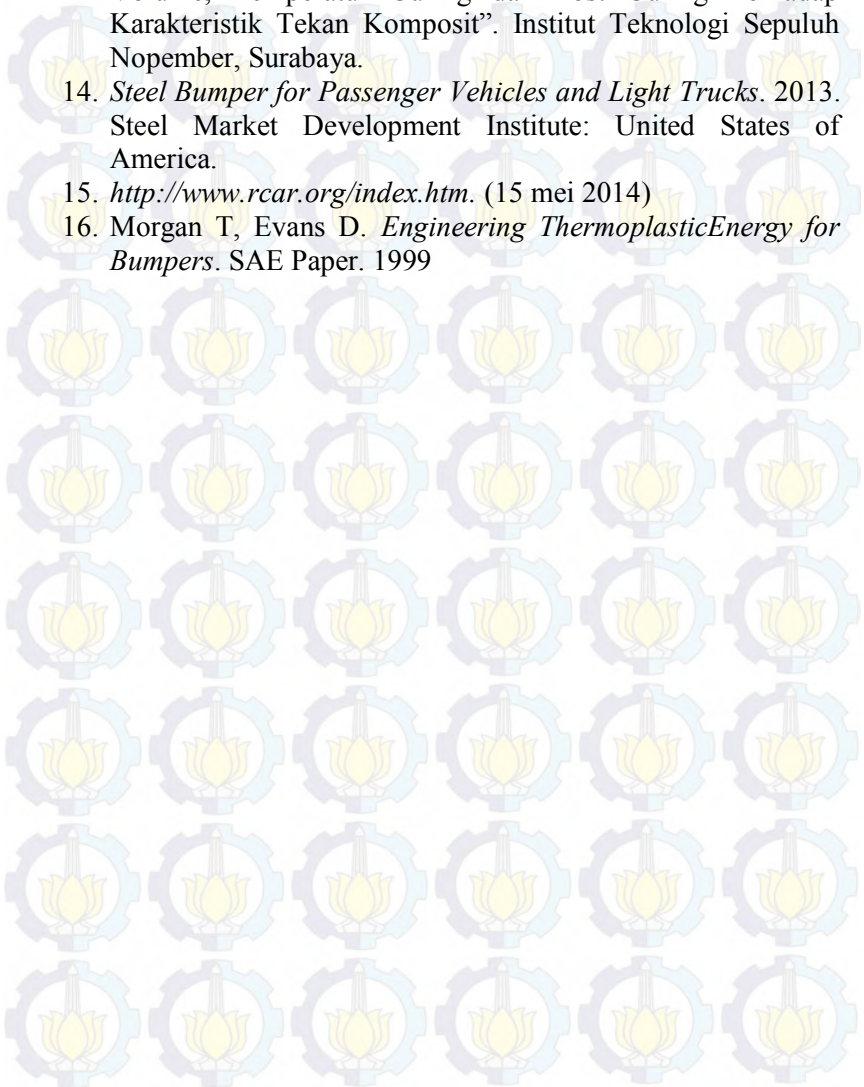


DAFTAR PUSTAKA

1. Fahmi Yuni, Sutikno. 2013. “Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Temperatur Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Parikel Epoxy-Hollow Glass”. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
2. Javad Marzbanrad, Masoud Alijanpour, Mahdi Saeid Kiasat. 2009. “*Design and analysis of an automotive bumper beam in low-speed frontal crashes*”. Iran.
3. S. Prabhakaran, K. Chinnarasu, M. Senthil Kumar. 2012. “*Design and Fabrication of Composite Bumper for Light Passenger Vehicles*”. India.
4. United Nations Economic Commission for Europe, *ECE Regulation No. 42 – Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with regard to Their Front and Rear Protective Devices (Bumpers, etc.)*, Addendum 41, Corrigendum 1, Amendment 1, June 12, 2001
5. Heru Purnomo, Djoeli Satrijo. 2011. “Desain dan Analisa *Impact* pada Struktur Bumper Belakang Kendaraan SUV dengan Metode Elemen Hingga”. Universitas Diponegoro.
6. Chung, Deborah D.L. 2010. “*Composite Materials, Science and Applications*”. Springer: United Kingdom.
7. Mazumdar, Sanjay K. “*Composites Manufacturing*” CRC Press: United Kingdom.
8. P.C Pandey. Composite Materials, Web Based Course. Dept. of Civil Engineering IISc Bangalore: India.
9. [En.wikipedia.org/polymer.htm](http://en.wikipedia.org/polymer.htm) (10 mei 2014)
10. Callister, Jr. William.D, 2007, “*Material Sciene And Engineering An Introduction.*” John Wiley & Sons Inc: United States of America.
11. SP System. Composite Engineering Material
12. Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., *Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*, Alchemie Technology 50 (2007) 44-46, 48-50.



13. Wahyu W, Widiensyah. 2013. “Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
14. *Steel Bumper for Passenger Vehicles and Light Trucks*. 2013. Steel Market Development Institute: United States of America.
15. <http://www.rcar.org/index.htm>. (15 mei 2014)
16. Morgan T, Evans D. *Engineering Thermoplastic Energy for Bumpers*. SAE Paper. 1999





BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Hindun Amalia lahir di Malang, pada tanggal 1 November 1993. Dia merupakan anak ke empat dari lima bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SDN Talok 1, SMP Negeri 1 Turen dan SMA Negeri 3 Malang. Penulis menempuh pendidikan S1 di Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis memiliki hobi membaca dan menggambar.. Penulis mengikuti kegiatan kemahasiswaan (Himpunan Mahasiswa Mesin) dan memilih bidang studi Metalurgi. Penulis ingin terus mengembangkan cita-cita untuk membanggakan orang tua dan bangsa.