

**ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN *MONOCOQUE CHASSIS*
CARBON FIBER HONEYCOMB CORE PADA MOBIL HEMAT
ENERGI URBAN *CONCEPT***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**TRI TIADI WINARTO
NIM. 145060201111036**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN *MONOCOQUE CHASSIS* *CARBON FIBER HONEYCOMB CORE* PADA MOBIL HEMAT ENERGI URBAN *CONCEPT*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



TRI TIADI WINARTO
NIM. 145060201111036

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 18 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
NIP. 19720817 200003 1 001

Dr. Eng. Anindito Furnowidodo, ST., M.Eng.
NIP. 19710310 199802 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 18 Juli 2018

Mahasiswa



Tri Tiadi Winarto

NIM. 145060201111036

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



JUDUL SKRIPSI :

Analisis Distribusi Tegangan *Monocoque Chassis Carbon Fiber Honeycomb Core* Pada Mobil Hemat Energi Urban *Concept*

Nama Mahasiswa : Tri Tiadi Winarto
NIM : 145060201111036
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Konstruksi

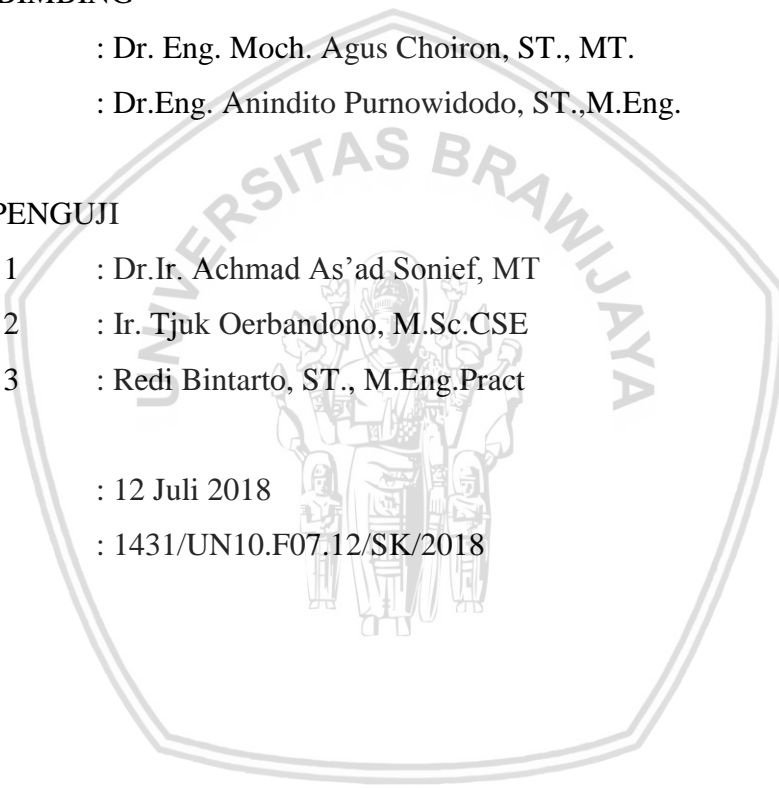
KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
Pembimbing 2 : Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST.,M.Eng.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr.Ir. Achmad As'ad Sonief, MT
Dosen Penguji 2 : Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.CSE
Dosen Penguji 3 : Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract

Tanggal Ujian : 12 Juli 2018
SK Penguji : 1431/UN10.F07.12/SK/2018



Jadikan karya mu sebagai duta mu

-tritiadi



*Teruntuk keluarga tercinta:
Kedua orang tua yang tak mengenal lelah.*

Trimakasih.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, “**Analisis Distribusi Tegangan *Monocoque Chassis Fiber Carbon Honeycomb Core* Pada Mobil Hemat Energi Urban Concept**” ini dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu, membimbing, memberi petunjuk, dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Darwinarto dan Ibu Muhiya yang tiada henti mendoakan, memberi motivasi, dan teladan kepada penulis.
2. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan dan Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
3. Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Konstruksi.
5. Dr. Eng. Moch Agus Choiron, ST., MT., selaku dosen pembimbing I yang telah memberi banyak pengetahuan, bimbingan, dan motivasi selama penyusunan skripsi.
6. Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan arahan demi kesempurnaan penulisan skripsi.
7. Eko Siswanto, ST.,MT.,Dr.Eng, Denny Widhiyanuriyawan, ST.,MT., Dr.Eng, Mega Nur Sasongko, ST.,MT.,Dr.Eng dan Bayu Satria Wardana, ST., M.Eng telah memberi motivasi untuk saya dan tim Apatte 62 Brawijaya.
8. Dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Mesin.
9. Kedua kakak kandung, Eko Fujisyah Maulwanto dan Dwi Septian Erwinsyah yang tiada henti memotivasi dan telah menjadi panutan bagi penulis selama ini.
10. Adik kandung tercinta Catur Noer Herdiansyah, yang membuat penulis selalu mengingatkan penulis pada masa kecilnya.
11. Keluarga Besar Tim Apatte 62 Brawijaya.
12. Ikatan Alumni Tim Apatte 62 Brawijaya LRMM.

13. Kawan Konstruksi: Pangestu Purna Ilham, Isfan Apra adha, Fadillah, Mutia, M. Amir Saifudin, Muhammad Ilyas, Natael Ardi, Tary. Terima kasih telah menemani berjuang di konsentrasi Teknik Konstruksi.
14. Tim Project Kendaraan Roda Tiga Bosh UB Happy: Isfan Apra Adha, Ariaz Panji, Mido, Pangestu Purna, Prayoga Bintang, Shanda Ismaya, Shofwan, Syifaudin, M.Ainul Yaqin dan Dimas Yosa.
15. Kawan Body and Frame ITS Team Sapuangin dan Semar Tim UGM.
16. Dharu Feby Shamaradhana (M10), yang membuat penulis termotivasi selalu meluangkan waktunya untuk sharing ilmu komposit.
17. Pembimbing Project Body and Frame dengan PT Dirgantara Indonesia : Pak Irman, Pak Syamsul, Pak Agus Maruf'i, Pak Iqbal, Pak Malik, Pak Bangkit, Pak Sukat, Aa Jajang, Aa Redi. Terimakasih telah mengajarkan dan mengenalkan lebih dalam tentang komposit di dalam Industri Dirgantara.
18. Saudara seperjuangan M14, terima kasih atas doa, kebersamaan, dan solidaritas selama masa kuliah.
19. Teman teman ngopi 2 hari sekali. Terima kasih canda tawa dan inspirasinya.
20. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
21. Teman-teman Kertosentono Jazz Festival
22. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang baik karena penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk kemajuan kita bersama.

Malang, 10 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	ix
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Analisis Tegangan dan Regangan	6
2.2.1 Tegangan dan Regangan	6
2.2.2 Hukum Hooke (<i>Hooke's Law</i>)	7
2.2.3 Hubungan Tegangan dan Regangan	8
2.3 Teori Deformasi	11
2.4 Teori Bending	13
2.5 <i>Strength of Material</i>	13
2.6 <i>Chassis</i>	14
2.6.1 Jenis-Jenis <i>Chassis</i>	14
2.7 Pengertian Material Komposit	16
2.7.1 Jenis-Jenis dan Klasifikasi Komposit	17
2.7.2 Komposit Struktur	18
2.7.3 Komposit Serat	19
2.7.3.1 Serat Aramid (Kevlar)	21
2.7.3.2 Serat Glass	22
2.7.3.3 Serat Carbon (Carbon Fiber)	23
2.7.4 Komposit <i>Sandwich</i>	23



2.7.5 Pengikat (Matrix)	25
2.7.5.1 Definisi Pengikat (Matrix).....	25
2.7.5.2 Jenis-Jenis Pengikat (Matrix)	26
2.8 Material <i>Orthotropic</i>	27
2.9 Pembebanan pada <i>Chassis</i>	30
2.9.1 Uji Pembebanan Secara Global.....	30
2.9.1.1 Torsional.....	30
2.9.1.2 <i>Vertical Bending</i>	31
2.10 Metode Elemen Hingga.....	32
2.11 <i>Software</i> Berbasis Metode Elemen Hingga.....	33
2.12 Failure Analysis Composite	34
2.13 Hipotesis.....	35
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Metode Penelitian	37
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	37
3.3 Variabel Penelitian.....	37
3.4 Pemodelan.....	39
3.4.1 Pemodelan Geometri.....	39
3.4.2 Pemodelan Material	39
3.4.3 Pemodelan Pembebanan	40
3.4.3.1 Pembebanan <i>Vertical Bending</i>	41
3.4.3.1 Pembebanan Torsional	41
3.5 Meshing	42
3.6 Prosedur Penelitian	43
3.7 Langkah Simulasi pada Software FEA	43
3.8 Diagram Alir Penelitian	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Analisis Total Deformasi <i>Chassis</i>	47
4.1.1 Analisis Total Deformasi pada Variasi Tebal Skin dan Tebal Honeycomb Core Pengujian <i>Vertical Bending</i>	47
4.1.2 Analisis Total Deformasi pada Variasi Tebal Skin dan Tebal Honeycomb Core Pengujian Torsional	50
4.2 Analisis Distribusi Tegangan Pada <i>Chassis</i>	55
4.2.1 Analisis Tegangan Pada Variasi Tebal Skin dan Tebal Honeycomb Core	



Pengujian Vertical Bending	55
4.2.2 Analisis Tegangan Pada Variasi Tebal Skin dan Tebal Honeycomb Core Uji Torsional	58
4.3 Hasil Evaluasi Pada Chassis	64
4.3.1 Validasi Pemodelan Material Komposit	64
4.3.2 Prediksi Massa <i>Chassis</i>	67
4.3.3 Evaluasi Kegagalan Struktur Sandwich Pada <i>Chassis</i>	68
BAB V PENUTUP	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Material <i>Skin Fiber</i>	15
Tabel 2.2	Properti Mekanik <i>Face Material</i>	16
Tabel 2.3	Properti Mekanik <i>Honeycomb Core</i>	17
Tabel 2.4	Nilai Temperatur <i>Continuous-use Matrix</i>	18
Tabel 2.5	Karakteristik <i>Thermoset Resin</i>	19
Tabel 2.6	Karakteristik <i>Thermoplastic Resin</i>	19
Tabel 2.7	Material Properties <i>Epoxy Carbon HS Carbon (60% carbon) Woven</i>	31
Tabel 2.8	Material Properties <i>Honeycomb Core Nomex</i>	31
Tabel 3.1	Variasi Tebal <i>Skins</i> dan Tebal <i>Core Honeycomb</i>	38
Tabel 3.2	Material Properties <i>Epoxy Prerpeg HS Carbon (60% carbon) Woven</i>	39
Tabel 3.3	Material Properties <i>Core Honeycomb Nomex</i>	40
Tabel 4.1	Total Deformasi Variasi Tebal <i>Skin</i> dan Tebal <i>Honeycomb Core</i> pada Pengujian <i>Vertical Bending</i>	47
Tabel 4.2	Total Deformasi Variasi Tebal <i>Skin</i> dan Tebal <i>Honeycomb Core</i> pada Pengujian <i>Torsional</i>	50
Tabel 4.3	Regangan Per Ply Model 1 [45/45/ <i>core</i> 10 mm]s.....	54
Tabel 4.4	Regangan Per Ply Model 2 [45/45/ <i>core</i> 15 mm]s	54
Tabel 4.5	Regangan Per Ply Model 1 [45/45/ <i>core</i> 10 mm]s.....	54
Tabel 4.6	Regangan Per Ply Model 5 [45/45/45/ <i>core</i> 10 mm]s	55
Tabel 4.7	Tegangan pada Variasi Tebal <i>Skin</i> dan Tebal <i>Honeycomb Core</i> pada Pengujian <i>Vertical Bending</i>	56
Tabel 4.8	Tegangan pada Variasi Tebal <i>Skin</i> dan Tebal <i>Honeycomb Core</i> pada Pengujian <i>Torisonal</i>	59
Tabel 4.9	Tegangan Per Ply Model 1 [45/45/ <i>core</i> 10 mm]s.....	62
Tabel 4.10	Tegangan Per Ply Model 2 [45/45/ <i>core</i> 15 mm]s	63
Tabel 4.11	Tegangan Per Ply Model 1 [45/45/ <i>core</i> 10 mm]s.....	63
Tabel 4.12	Tegangan Per Ply Model 5 [45/45/45/ <i>core</i> 10 mm]s.....	63
Tabel 4.13	Inverse Reserve Factor	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva tegangan dan regangan.....	7
Gambar 2.2	Tegangan akibat gaya pada material.....	8
Gambar 2.3	Tegangan geser pada material.....	8
Gambar 2.4	Regangan akibat pembebanan.....	9
Gambar 2.5	Regangan geser pada elemen material.....	11
Gambar 2.6	Grafik hubungan tegangan dan regangan	11
Gambar 2.7	Struktur <i>simple beam</i> (a) dan <i>cantilever</i> (b)	13
Gambar 2.8	Grafik <i>continous fiber composite</i> dengan <i>matrix</i>	13
Gambar 2.9	<i>Ladder frame chassis</i>	13
Gambar 2.10	<i>Chassis tubular</i>	14
Gambar 2.11	<i>Monocoque chassis</i>	16
Gambar 2.12	<i>Backbone</i>	21
Gambar 2.13	Klasifikasi material komposit	22
Gambar 2.14	<i>Sandwich</i> struktur.....	23
Gambar 2.15	<i>Continuous fiber composite</i>	24
Gambar 2.16	<i>Woven fiber composite</i>	24
Gambar 2.17	<i>Randomly oriented discontinuous fiber</i>	25
Gambar 2.18	<i>Diagram tegangan – regangan perbandingan kevlar</i>	25
Gambar 2.19	Struktur datar dan melengkung pada struktur <i>sandwich</i>	26
Gambar 2.20	Arah resultan gaya dan momen.....	28
Gambar 2.21	Uji <i>torsional</i>	39
Gambar 2.22	Uji <i>verical bending</i>	30
Gambar 2.23	Macam-macam elemen	33
Gambar 3.1	Variasi tebal <i>skins</i> dan tebal <i>core honeycomb nomex</i>	37
Gambar 3.2	Dimensi model urban <i>concept</i>	39
Gambar 3.3	Pemodelan pembebanan <i>vertical bending</i>	41
Gambar 3.4	Pemodelan pembebanan torisonal.....	42
Gambar 3.5	Meshing pada model urban <i>concept</i>	42
Gambar 3.6	<i>Flowchart</i>	45
Gambar 4.1	Grafik perbandingan total deformasi pengujian <i>vertical bending</i>	49
Gambar 4.2	Grafik perbandingan total deformasi pengujian torsional	52
Gambar 4.3	Grafik perbandingan distribusi tegangan pengujian <i>vertical bending</i>	58



Gambar 4.4 Grafik perbandingan distribusi tegangan pengujian torsional 61

Gambar 4.5 Sistem kordinat lamina 64

Gambar 4.6 Geometri laminate persamaan (4-19),(4-20) dan (4-21) (a) dan geometri laminate model *chassis* 1 (b)..... 66

Gambar 4.7 Stifness matrix [a] pada laminate model 1 [45/45/*core* 10 mm]s 66

Gambar 4.8 Stiffness matrix [d] pada model 1 [45/45/*core* 10 mm]s 67

Gambar 4.9 Grafik perbandingan massa chassis dengan variasi tebal *skin* dan tebal *honeycomb core* 68



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Langkah-Langkah Pemodelan Geometri
Lampiran 2	Langkah-Langkah Pemodelan Material (<i>material selection</i>)
Lampiran 3	Pemodelan Material Komposit di Software <i>CAE ACP (pre)</i>
Lampiran 4	Melakukan Pengujian Menggunakan <i>Static Struktural</i>



RINGKASAN

Tri Tiadi Winarto, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2018, Analisis Distribusi Tegangan *Monocoque Chassis Carbon Fiber Honeycomb Core* Pada Mobil Hemat Energi Urban *Concept*, Dosen Pembimbing: Moch. Agus Choiron dan Anindito Purnowidodo.

Merancang kendaraan hemat energi merupakan salah satu upaya untuk menurunkan konsumsi energi di sektor transportasi. Faktor-faktor yang diperhatikan dalam merancang kendaraan hemat energi yaitu mengurangi bobot kendaraan, mereduksi gaya hambat udara, memaksimalkan efisiensi motor atau engine dan transmisi serta mengoptimalkan operasi kendaraan. Faktor bobot pada kendaraan yang dapat direkayasa lebih mudah, memberikan hasil signifikan serta menjadi langkah awal mengoptimalkan faktor lainnya. Pemilihan jenis chassis monocoque dikarenakan chassis merupakan jenis chassis yang paling ringan dibandingkan jenis chassis lain serta penggunaan material komposit pada chassis ini dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurangi berat pada kendaraan. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi komputer memanfaatkan *software Ansys 18.2*. Menggunakan model tim Apatte 62 Brawijaya model urban *concept* sebanyak 12 model dengan variasi tebal top dan bottom *skin* 4 *plies*, 6 *plies*, dan 8 *plies* sudut orientasi 45° dan tebal *honeycomb core* 10mm, 15mm, 20mm, 25mm. Material *skin* menggunakan *epoxy carbon fiber prepreg* jenis *woven* (60% carbon). Pemodelan material yang digunakan adalah *orthotropic*. Pengujian yang dibuat menggunakan model pengujian statik dengan pembebanan *vertical bending* dan *torsional*. Berat *driver* 70 kg dan berat *powertrain* 30 kg. Analisis deformasi dan distribusi tegangan menggunakan *Classical Lamination Theory (CLT) Laminat Stiffness Matrix*. Hasil deformasi terbesar pada pembebanan *vertical bending* 2,75 mm pembebanan torsional 3,49 mm terjadi pada model 1 [45/45/*core* 10mm]s. Deformasi terkecil pada pembebanan *vertical bending* 0,54 mm pembebanan torsional 0,75 mm terjadi pada model 12 [45/45/45/45/*core* 25mm]s. Tegangan terbesar pada pembebanan *vertical bending* 97,40 MPa pembebanan torsional 134,39 MPa terjadi pada model 1 [45/45/*core* 10mm]s. Tegangan terkecil pada pembebanan *vertical bending* 32,06 MPa dan pembebanan torsional 39,02 MPa terjadi pada model 12 [45/45/45/45/*core* 25mm]s. Hasil tersebut didapatkan pengaruh ketebalan *skin* dan *core* terhadap nilai deformasi dan distribusi tegangan.

Kata Kunci: *Composite Sandwich, Classical Lamination Theory (CLT), Deformasi, Distribusi Tegangan, Monocoque Chassis,*

SUMMARY

Tri Tiadi Winarto, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, Mei 2018, Honeycomb Core Carbon Fibre Monocoque Chassis Stress Distribution Analysis on Urban Concept Fuel Efficient Vehicle, Academic Supervisor : Moch. Agus Choiron and Anindito Purnowidodo.

Designing energy efficient vehicle is one of the way to decrease energy consumption in transportation sector. Reducing weight, reducing drag force, optimizing the engine and transmission, and changing driving style are important factors of designing energy efficient car. Reducing weight of the vehicles is easier than other factors, because it delivers significant results and becomes a beginning step to optimize other factors. The choice of monocoque chassis type is because it is the lightest type of chassis compared to other types and the use of composite materials on the chassis can be one solution to reduce the weight of the vehicle. The method used in this research is computational simulation using Ansys 18.2. Using 12 models of Apatte 62 Brawijaya urban concept design with variation of top and bottom skin thickness 4 plies, 6 plies, and 8 plies, orientation angle 45° and honeycomb core thickness 10mm, 15mm, 20mm and 25mm. The skin material used is epoxy carbon fiber prepreg type woven (60% carbon). The material modeling used is orthotropic. The test were made using a static test model with vertical bending and torsional loading. The driver weights 70 is Kg and the powertrain weights is 30 Kg. Analysis of deformation and stress distribution using Classical Lamination Theory (CLT) in Laminate Stiffness Matrix. The largest deformation result in vertical bending loading of 2.75 mm torsional loading of 3.49 mm occurred in the 1 [45/45/core10 mm]s model. The smallest deformation of vertical bending loading of 0.54 mm of 0.75 mm torsional loading occurred on the 12 [45/45/45/45/core 25 mm]s model. The largest stress on vertical bending loading of 97.40 MPa torsional loading of 134.39 MPa occurs on the model 1 [45/45/core10 mm]s. The smallest stress at 32.06 MPa vertical bending loading and 39.02 MPa torsional loading occurs on the 12 [45/45/45/45/core/25 mm]s model. The result showed the effect of skin thickness and cores on deformation value and stress distribution

Keywords: Composite Sandwich, Classical Lamination Theory (CLT), Deformation, Monocoque Chassis, Stress Distribution



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman modern saat ini meningkatnya kebutuhan manusia akan sistem transportasi. Seiring perkembangannya, konsumsi energi pada sektor transportasi terus meningkat. Berdasarkan data Kementerian ESDM RI, konsumsi energi di Indonesia tahun 2015, sektor transportasi sebesar 45,51%, Industri sebesar 31,79%, Rumah tangga sebesar 15,27%, Komersial sebesar 5,09% dan lain-lain sebesar 2,34%. Sedangkan konsumsi energi di Indonesia hampir 95% bahan bakar fosil, dari total tersebut hampir 50%nya merupakan Bahan Bakar Minyak (BBM). Perkembangan produksi minyak bumi kurun 10 tahun terakhir ini menunjukkan kecenderungan menurun, yaitu dari 800 ribu barel perhari pada tahun 2006 menjadi sekitar 690 ribu barel perhari di tahun 2015 (ESDM, 2016). Sehingga perlu upaya meningkatkan sistem transportasi yang hemat energi.

Permasalahan ini dapat dimilimalisir dengan merancang jenis kendaraan yang hemat energi dan ramah lingkungan. Mendukung upaya tersebut, DIKTI mengadakan kompetisi Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) nasional. Kegiatan ini bertujuan untuk mewadahi kreativitas mahasiswa seluruh Indonesia untuk merancang, membangun, menguji, dan mengkompetisikan mobil yang hemat energi, aman, dan ramah lingkungan. Serta mendorong mahasiswa untuk berperan aktif dalam menjaga kesinambungan dan ketahanan energi nasional dengan kendaraan hemat energi yang diciptakannya. Dilingkup dunia kompetisi ini bernama *Shell Eco Marathon*, hampir diikuti oleh seluruh negara didunia berkompetisi merancang mobil hemat energi.

Konsep kendaraan hemat energi yaitu mereduksi gaya hambat udara, memaksimalkan efisiensi motor atau *engine* serta transmisi, pengoptimalkan operasi kendaraan, serta mengurangi bobot kendaraan (Sutantra, 2011). Mengurangi bobot pada kendaraan merupakan langkah awal untuk mengoptimal *engine*, transmisi serta pengoperasian kendaraan. *Body* dan *chassis* merupakan komponen terberat pada kendaraan. *body* dan *chassis* dapat direkayasa dengan menggunakan material yang kuat dan ringan serta mempertimbangkan tipe *chassis* yang paling ringan.

Chassis merupakan struktur internal yang menopang semua komponen dan penumpang, dengan seimbang dan efektif. *Rigid* terhadap pembebanan *bending* dan torsional, efektif

menyerap beban, serta memiliki bobot yang ringan adalah kunci untuk kinerja *chassis* yang ideal (Costin et.al,1966). Menurut Chad Louis Bickel (2017) Konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan berat kendaraan. Komponen penyumbang berat terbesar pada mobil merupakan *chassis* dan *body*. Fungsi utama *chassis* dan *body* yaitu menopang seluruh komponen mobil serta melindungi penumpang dan komponen mobil. Dibutuhkan material yang bersifat kaku, kuat serta ringan agar mobil mengkonsumsi bahan bakar yang sedikit serta aman untuk digunakan. Untuk itu diperlukan pertimbangan pemilihan jenis *chassis* yang tepat. *Monocoque* adalah jenis *chassis* yang paling ringan dibandingkan dengan jenis *chassis* lainnya, karena *body* dan *frame* sudah menjadi satu bagian (*unibody*).

Material komposit sandwich dapat dijadikan alternatif material yang kaku, kuat serta ringan. Berdasarkan penelitian oleh Grimes (2010) mengenai distribusi tegangan dilakukan secara simulasi pada *chassis vehicle car* berbahan komposit dengan variasi laminate composite dan *sandwich panel*. Carl Anderson et.al (2013), meneliti tentang analisa simulasi struktur *monocoque chassis FSAE* dengan variasi ketebalan core honeycomb dan skin untuk mendapatkan nilai *torsional stiffness* dan *torsional stiffness to weight ratio*. Selanjutnya Firman Nasdian (2017), meneliti deformasi dan distribusi tegangan pada *chassis monocoque* mobil hemat energi jenis *prototype* berbahan *carbon fiber* komposit dengan variasi sudut orientasi *woven laminate fiber* dan tebal *laminate*, untuk mendapatkan nilai distribusi tegangan dan deformasi pada *chassis*.

Dari latar belakang diatas penting untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai *chassis* berbahan dasar komposit *sandwich* guna mendapatkan deformasi dan distribusi tegangan yang sekecil mungkin serta menghasilkan bobot *chassis* yang ringan dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini menggunakan model mobil hemat energi Tim Apatte 62 Brawijaya tipe urban *concept*. Variasi yang digunakan pengaruh ketebalan *core honeycomb* dan ketebalan skin untuk mendapatkan analisis distribusi tegangan dan deformasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh tebal lapisan *Skin* dan tebal *Core Honeycomb* terhadap deformasi dan distribusi tegangan yang terjadi pada *chassis urban concept* dengan pembebanan *vertical bending* dan torsional.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempersempit ruang lingkup permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut.

1. Pengujian pada *chassis* dengan pembebanan *vertical bending* dan torsional
2. Pengujian dilakukan dengan pengujian statik
3. Material yang digunakan diasumsikan *orthotropic*
4. Penelitian difokuskan pada distribusi tegangan dan deformasi pada *chassis*
5. Model CAD urban *concept* Apatte 62 Brawijaya

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposit *sandwich* dengan variasi ketebalan *Skin carbon fiber prepreg* dan ketebalan *Core Honeycomb* terhadap deformasi dan distribusi tegangan yang terjadi ketika diberikan beban *vertical bending* dan *torsional* pada *chassis monocoque*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan analisis deformasi dan distribusi tegangan pada *chassis* dengan variasi ketebalan *Skin Carbon Fiber* dan ketebalan *Core Honeycomb Nomex*
2. Mengurangi *trial and error* saat akan dilakukan penelitian eksperimental dan realisasi model sehingga dapat mengurangi *cost*.
3. Memberikan alternatif solusi material yang ringan dan kuat pada *chassis urban concept* tim Apatte 62 Brawijaya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Nasdian (2017) meneliti deformasi dan distribusi tegangan pada *chassis* monocoque *vehicle car* berbahan *carbon fiber* komposit dengan variasi sudut orientasi *woven laminate* fiber dan tebal *laminate*. Tipe pembebanan pada *chassis* yaitu beban torsional, *vertical bending*, *lateral* dan *Horizontal*. Pada *chassis* dengan tebal 1,4 mm dan sudut orientasi *woven laminate* $0^0,90^0$ memiliki deformasi total paling rendah diantara semua model dengan defomasi torsional 108,27 mm, *vertical bending* 0,22791 mm, *horizontal bending* 0,20675 mm, dan *lateral bending* 0,79909 mm. Semakin tebal *chassis* maka kekakuan pada *chassis* meningkat sehingga deformasi total yang terjadi pada *chassis* kecil. Semakin tebal *chassis* maka tegangan yang dialami *chassis* semakin kecil karena kekakuan pada *chassis* meningkat. Sedangkan sudut orientasi *woven laminate* $0^0,90^0$ memiliki tegangan maksimum lebih besar dibandingkan dengan sudut orientasi *woven laminate* $45^0,-45^0$ *chassis* dengan tebal 1,4 mm dan sudut orientasi *woven laminate* $45^0,-45^0$ memiliki tegangan terendah dengan nilai torsional 79,721 MPa, *vertical bending* 2,3589 MPa, *Horizontal bending* 2,074 MPa dan *lateral bending* 18,058 MPa. Pada semua model struktur *chassis* dinyatakan bisa diterima dan dikategorikan aman, dikarenakan nilai deformasi yang relatif kecil dan tegangan yang masih dibawah *tensile strength* material.

Eurenius (2013) meneliti kekakuan torsional pada *chassis moconoque FSAE* berbahan komposit *sandwich carbon fiber honeycomb core*. Variasi penelitian ini yaitu ketebalan *core* dan ketebalan *skin* terhadap beban torisonal. Variasi ketebalan *core* 10 mm, 15 mm, 20 mm, dan 25 mm. Variasi ketebalan *skin* yaitu 3 plies, 5 plies, dan 7 plies. Pada *chassis* dengan ketebalan *skin* 3 plies dan ketebalan *honeycomb core* 10 mm memiliki nilai torsional *stiffness* terendah sebesar 2362 Nm/deg. pada *chassis* dengan ketebalan *skin* 7 plies dan ketebalan *honeycomb core* 25 mm memilliki nilai torsional *stiffness* tertinggi sebesar 8158 Nm/deg. Dalam penelitian ini juga menjelaskan hubungan bobot terhadap ketebalan *skin* dan *honeycomb core*. *Chassis* yang menggunakan ketebalan *skin* 3 plies dan ketebalan *honeycomb core* 10 mm memiliki bobot terendah, sebesar 7,9 kg. *Chassis* yang menggunakan ketebalan *skin* 7 plies dan ketebalan *honeycomb core* 25 mm memiliki bobot tertinggi, sebesar 18.79 kg. Penelitian ini juga membahas hubungan torsional *stiffness* per *weight* dimana hasil nya akan dibandingkan dengan teori lapisan *sandwich* yang optimum.

Pada variasi ketebalan *skin* 3 plies dan ketebalan *core* 15 mm sudah termasuk lapisan sandwich yang optimum.

Wirawan et.al (2013) meneliti tegangan bending dan tegangan geser pada core. Pada penelitian ini standar spesimen dan metode pengujian mengacu pada standar ASTM C393. Variasi ketebalan *core* pada komposit *sandwich* serat cantula dengan *core honeycomb* tipe kombinasi C-Flute dan A-Flute menghasilkan tegangan bending yang berbeda, dengan nilai yaitu ketebalan core 10 mm. Sebesar 14,800 MPa, ketebalan *core* 20 mm sebesar 10,084 MPa, ketebalan *core* 30 mm sebesar 7,77 MPa dan ketebalan *core* 40 mm sebesar 4,256 MPa. Variasi ketebalan *core* pada komposit *sandwich* serat cantula dengan *core honeycomb* kombinasi C-Flute dan A-Flute menghasilkan *core shear stress* yang berbeda, dengan nilai yaitu ketebalan *core* 10 mm sebesar 0,634 MPa, ketebalan *core* 20 mm sebesar 0,610 MPa, ketebalan *core* 30 mm sebesar 0,572 MPa dan ketebalan *core* 40 mm sebesar 0,413 MPa. Tipe kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich* serat cantula dengan *core honeycomb* tipe C-Flute dan A-Flute adalah karakteristik kegagalan *core*, kegagalan skin, deformasi core dan delaminasi.

Wu et al. (2013) meneliti tentang mendesain, menganalisis dan mensimulasi *chassis monocoque* menggunakan *software FEM*. Pada penelitian tersebut terdapat bagian optimasi material pada kabin penumpang. Material yang digunakan adalah *sandwich* structure dengan T300 *weaves carbon fiber* and 5250 *aluminum core*. Terdapat berturut - turut 7 lapisan *carbon fiber* dan 1 lapisan *aluminum core*. Sudut orientasi *carbon fiber* divariasikan dengan 7 model berbeda. Model tersebut adalah [0/45/0/45/0/45/0/core], [0/0/0/0/45/45/45/core], [0/0/0/45/45/45/45/core], [0/0/45/45/45/45/45/core], [45/0/45/45/45/45/45/core], [0/45/45/45/45/45/45/core] dan [45/45/45/45/45/45/45/core]. Hasil penelitian tersebut adalah model dari [45/45/45/45/45/45/core] memiliki *torsional stiffness* paling tinggi di antara ke 7 model. *Torsional stiffness* Model 7 memiliki nilai *torsional stiffness* 15% lebih tinggi dibandingkan dengan model 1 81.6 kNm/deg.

2.2 Analisis Tegangan dan Regangan

2.2.1 Tegangan dan Regangan

Prinsip analisis tegangan selalu berhubungan dengan perilaku benda dalam kondisi mengalami pembebanan atau disebut juga mekanika bahan. Tujuan utama dari analisis tegangan adalah untuk menentukan tegangan dan regangan internal material, mengetahui deformasi dan defleksi yang terjadi serta untuk mempertoleh solusi dari permasalahan dinamika dari stuktur. Beberapa prinsip dari analisis tegangan antara lain:

1. Kesetimbangan gaya dan momen

Persamaan dasar dalam permasalahan statika berlaku dalam analisis tegangan yaitu:

$$\sum F=0 ; \sum M=0 \quad (2-1)$$

2. Kompatibilitas perpindahan (*strain-displacement relation*)

Bagian yang mengalami perpindahan dalam suatu struktur kontinu akibat deformasi mempunyai hubungan antara satu bagian dengan bagian lainnya.

3. Hubungan Konstitusif (*stress-strain-displacement*)

Terdapat hubungan yang erat antara tegangan, regangan dan perpindahan. Dimana perlu memperhitungkan kondisi batas yaitu gaya dan perpindahan pada batas dari komponen.

2.2.2 Hukum Hooke (*Hooke's Law*)

Untuk hampir semua logam, pada tahap sangat awal dari uji tarik, hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linear zone*. Di daerah ini, kurva pertambahan panjang dengan beban mengikuti aturan Hooke yang berbunyi, rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *Strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

$$\sigma = F/A \quad (2-2)$$

Sumber: Gere & Timoshenko:1996

$$\varepsilon = \Delta L/L \quad (2-3)$$

Sumber: Gere & Timoshenko:1996

Keterangan:

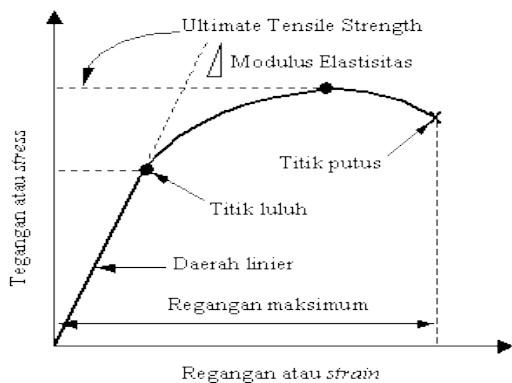
F = Gaya tarikan

A = Luas penampang

ΔL = Pertambahan panjang

L = Panjang awal

Grafik hubungan antara tegangan dan regangan merupakan kurva standar ketika melakukan eksperimen uji tarik. *E* adalah gradien kurva dalam daerah linier, dimana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ε) selalu tetap. *E* diberi nama *Modulus Elastisitas*. Gambar 2.14 merupakan grafik hubungan antara tegangan dan regangan (*stress vs strain*).

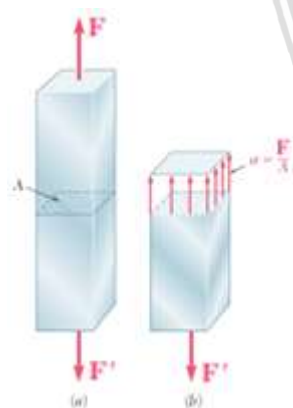


Gambar 2.1 Kurva tegangan dan regangan
 Sumber: Sastranegara (2009)

Perubahan panjang dari spesimen dideteksi lewat pengukur regangan (*strain gage*) yang ditempelkan pada spesimen. Bila pengukur regangan ini mengalami perubahan panjang dan penampang, terjadi perubahan nilai hambatan listrik yang dibaca oleh detektor dan kemudian dikonversi menjadi perubahan regangan.

2.2.3 Hubungan Tegangan dan Regangan

Tegangan didefinisikan sebagai intensitas gaya persatuan luas permukaan dimana gaya bekerja (Gere,1996,p.12). Secara umum tegangan dibagi menjadi dua yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya yang bekerja secara tegak lurus luas permukaan benda pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tegangan Akibat Gaya pada Material
 Sumber: Beer (2012:7)

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2-4}$$

Sumber: Gere & Timoshenko (1996)

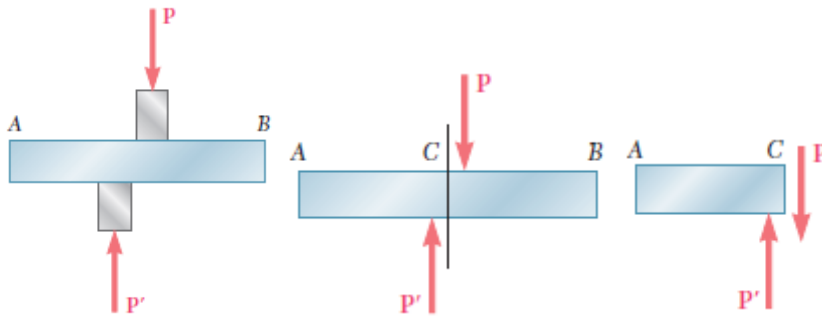
Keterangan:

σ = Tegangan normal (N/m²)

F = Gaya normal (N)

A = Luas permukaan dimana gaya bekerja tegak lurus permukaan (m²)

Sedangkan tegangan geser adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya geser yang bekerja sejajar dengan luas permukaan benda. Tegangan geser dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tegangan geser pada material
Sumber: Beer (2012:11)

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2-5)$$

Sumber: Gere & Timoshenko (1996)

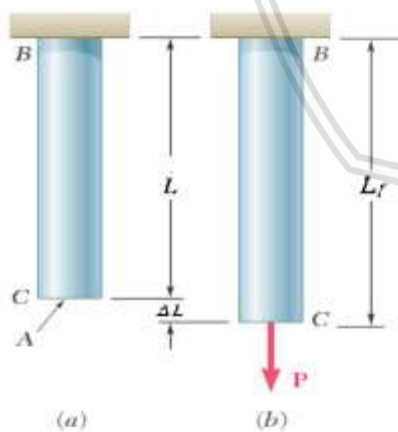
Keterangan:

τ = Tegangan geser (N/m^2)

F = Gaya geser (N)

A = Luas permukaan benda dimana gaya yang bekerja sejajar permukaan benda (m^2)

Bila suatu benda diberi gaya maka akan terjadi tegangan pada elemen-elemen benda tersebut. Tegangan yang terjadi akan menimbulkan regangan. Regangan didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan panjang dengan panjang awal suatu benda.



Gambar 2.4 Regangan akibat pembebanan
Sumber: Beer (20112:55)

Regangan dibagi menjadi dua, yaitu regangan normal dan regangan geser.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2-6)$$

Sumber: Ramses (2014)

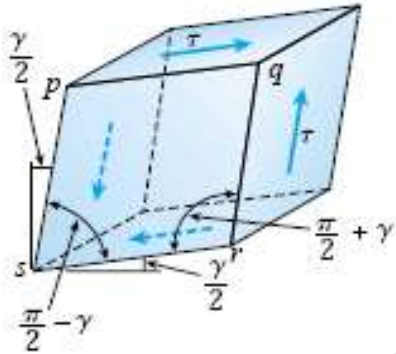
Keterangan:

ε = Regangan

ΔL = Perubahan panjang (m)

L_0 = Panjang awal (m)

Sedangkan regangan geser adalah perubahan sudut antara dua permukaan tegak lurus dari elemen diferensial benda.



Gambar 2.5 Regangan geser pada elemen material

Sumber: Gere (2004:32)

$$\gamma = \frac{S_s}{S_0}$$

Sumber:

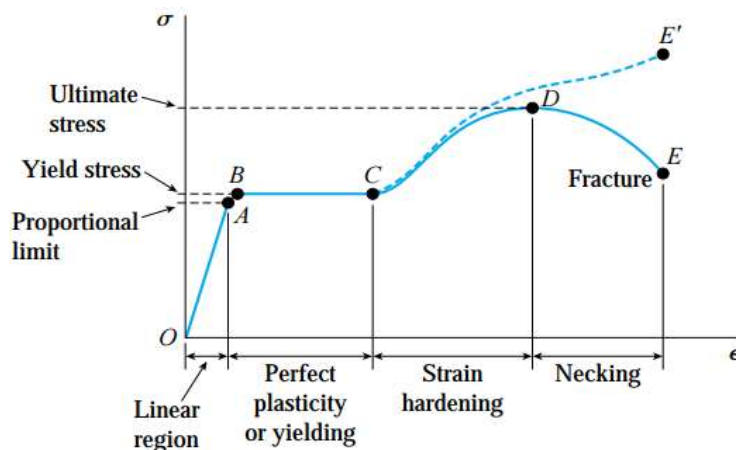
Keterangan:

γ = Regangan geser

S_s = Perubahan sudut ($^\circ$)

S_0 = Sudut awal ($^\circ$)

Rasio antara tegangan normal dan regangan normal disebut Modulus Elastisitas atau Modulus Young. Modulus ini berlaku pada garis lurus sebelum batas proporsional atau daerah elastis material. Rasio antara tegangan geser dan regangan geser disebut Modulus Geser. Hubungan antara tegangan dan regangan ditampilkan dalam kurva tegangan dan regangan seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik hubungan tegangan dan regangan

Sumber: Gere (2004:15)

Modulus Elastisitas dan Modulus Geser dari suatu bahan ditulis dengan rumusan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2-8)$$

Sumber: Beer (2011:55)

Keterangan:

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

Σ = Tegangan (N/m^2)

ε = Regangan

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2-9)$$

Sumber: Beer (2011:55)

Keterangan:

G = Modulus geser (N/m^2)

τ = Tegangan geser (N/m^2)

γ = Regangan geser

Material yang mengalami pembebanan secara aksial akan mengalami regangan searah maupun tegak lurus arah pembebanan. Konstanta yang menyatakan hubungan regangan tegak lurus arah pembebanan (*lateral*) ini dengan regangan aksial disebut rasio Poisson (*Poisson's ratio*).

$$\nu = - \frac{\text{regangan lateral}}{\text{regangan aksial}} \quad (2-10)$$

Sumber: Gere & Timoshenko (1996)

Sehingga dapat diperoleh hubungan antara Modulus Elastisitas, Modulus Geser, dan *Poisson's Ratio*:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2-11)$$

Sumber: Gere & Timoshenko (1996)

2.3. Teori Deformasi

Deformasi pada mekanika struktur dapat dipresentasikan sebagai suatu perubahan bentuk struktur dari keadaan awal ke keadaan akhir. Konfigurasi berisi semua posisi partikel dari suatu struktur.

Deformasi terjadi disebabkan oleh suatu pembebanan terhadap struktur akibat beban dari gaya, beban dari *body force* (menopang beban berat struktur, beban dari luar struktur, dan lain-lain) pengaruh kelembapan, pengaruh temperatur, pengaruh reaksi kimiawi.

Area dari deformasi pada struktur berasal dari distribusi tegangan yang diakibatkan oleh pembebanan dari gaya atau pembebanan yang berasal dari perubahan temperatur di struktur

tersebut. Persamaan hubungan antara tegangan dengan regangan dijelaskan oleh Hukum *Hooke* khusus untuk material linear statis pada persamaan (2-12).

Terdapat dua jenis deformasi, yaitu deformasi secara elastis dan deformasi secara plastis. Deformasi elastis bekerja pada daerah elastis material, pada saat setelah beban dihilangkan struktur dapat kembali ke bentuk semula. Sedangkan deformasi plastis bekerja pada daerah plastis material, ketika beban dihilangkan struktur tidak akan bisa kembali ke bentuk semula.

Pada daerah elastis persamaan hubungan antara tegangan dan regangan dari hukum hooke dapat diaplikasikan terhadap struktur:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2-12)$$

Sumber: Gere & Timoshenko (1996)

Keterangan:

σ = Tegangan dibebankan (Pa)

E = Modulus young (Pa)

ε = Regangan yang terjadi

Sedangkan persamaan hubungan antara regangan dan deformasi adalah:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad (2-13)$$

Sumber: Gere & Timoshenko (1996)

Keterangan:

ε = Regangan yang terjadi

δ = Deformasi elastis (mm)

L_0 = Panjang semula dari material (mm)

Berdasarkan persamaan 2-10 dan 2-11 maka didapatkan hubungan antara deformasi dengan modulus young material sebagai berikut.

$$\delta = \frac{F \cdot L_0}{A \cdot E} \quad (2-14)$$

Sumber: Gere & Timoshenko (1996)

Keterangan:

δ = Deformasi elastis (mm)

F = Gaya dari pembebanan (N)

L_0 = Panjang semula material (mm)

A = Luas yang terkena pembebanan (mm²)

E = Modulus young (MPa)

2.4. Teori Bending

Bending terjadi pada saat pembebanan gaya ataupun momen pada suatu struktur *beam* memiliki arah yang tegak lurus terhadap sumbu dari struktur tersebut (Gere, 2004). Dalam perencanaan *beam* gaya geser dan momen bending menjadi suatu hal yang penting. Biasanya kita hanya perlu tahu nilai terbesar dari gaya dan momen untuk mencari tegangan, defleksi dan *slope*. Untuk mencari nilai tegangan pada *beam* digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (2-15)$$

Sumber: Gere & Timoshenko (1996)

Keterangan:

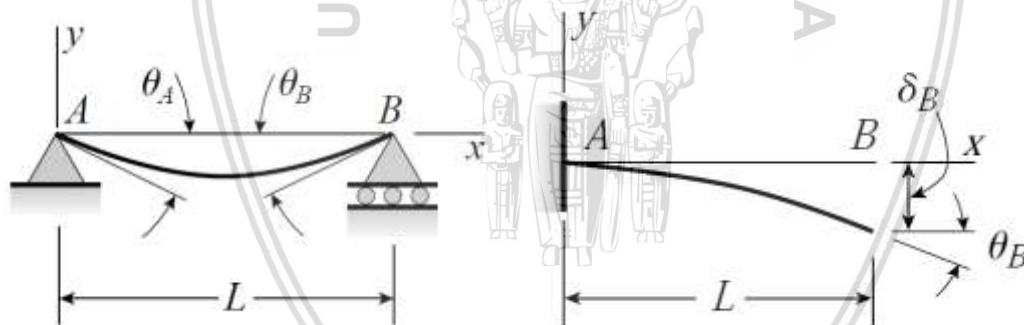
σ = Tegangan

y = Jarak terhadap sumbu netral

M = Momen

I = Momen inersia penampang

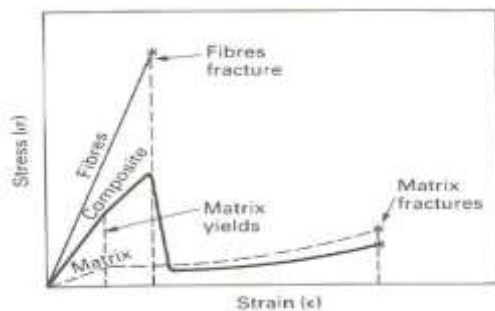
Terdapat beberapa cara untuk mencari gaya dan momen maksimal salah satunya adalah metode superposisi. Defleksi terbesar dari struktur *simple beam* terdapat diantara tumpuan dan untuk struktur *cantilever* terdapat pada ujung batang yang tidak terkena gaya.



Gambar 2.7 Struktur *simple beam* (a) dan *cantilever* (b)

Sumber: Gere (2012)

2.5 Strength of Material



Gambar 2.8 Grafik *Continuous Fiber Composite* dengan *Matrix*

Sumber: Ashby (1986:245)

Tegangan *Yield* dan tegangan ultimate disebut juga kekuatan *yield* dan kekuatan ultimate. Kekuatan (*strength*) biasanya digunakan untuk merujuk kapasitas struktur dalam menahan beban. Kekuatan *yield* batang adalah besarnya beban yang diperlukan untuk menyebabkan *yield* pada batang, dan kekuatan *ultimate* adalah beban maksimum yang dapat di-support sebelum material gagal/patah (gere, 2004,p.16).

Properti yang harus diperhatikan dalam memilih material adalah nilai tegangan *yield* dan tegangan *ultimate*. Jika ingin memiliki struktur yang tidak berdeformasi, tegangan kerja yang diberikan harus dibawah nilai tegangan *yield*. Jika tegangan yang bekerja melewati nilai tegangan *yield* maka material akan mengalami deformasi plastis. Namun jika tegangan yang terjadi melewati *ultimate* maka struktur bisa mengalami kegagalan atau patah. Daerah dimana patah akan terjadi harus melalui penelitian lebih dahulu karena sangat banyak faktor yang mempengaruhi seperti letak gaya, letak sambungan (las, keling, dan sebagainya), lubang, dimensi, dan masih banyak lagi. Untuk itu nilai yang menjadi acuan kekuatan material dalam penelitian ini adalah kekuatan *ultimate*, karena struktur akan berdeformasi plastis dan tidak akan mengalami perubahan atau pergerakan lagi setelah gaya dihilangkan.

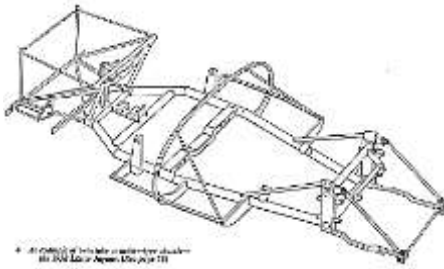
2.6 Chassis

Chassis adalah kerangka yang berfungsi sebagai penopang berat, beban kendaraan, mesin, serta penumpang. Biasanya terbuat dari kerangka baja, alumunium serta komposit. Yang berfungsi memegang *body* dan mesin dari sebuah kendaraan. Syarat utama yang harus dipenuhi material tersebut harus memiliki kekuatan untuk menopang beban dari kendaraan. Chassis juga berfungsi untuk menjaga agar mobil tetap rigid, kaku dan tidak mengalami *bending*.

2.6.1 Jenis–Jenis Chassis

1. *Ladder Frame*

Ladder Frame adalah bentuk *Chassis* yang mirip tangga. Ini merupakan *chassis* tertua dalam sejarah otomotif. *Ladder Chassis* banyak digunakan untuk kendaraan yang memiliki beban berat (*heavy duty*), Seperti Bis, *Truck* dan kendaraan pengangkut. Bahan material yang paling umum untuk jenis *ladder frame* ini adalah material baja ringan.



Gambar 2.9 Ladder frame chassis

Sumber: Racing & Sports Cars Chassis Design (1961)

2. Tubular Space Frame

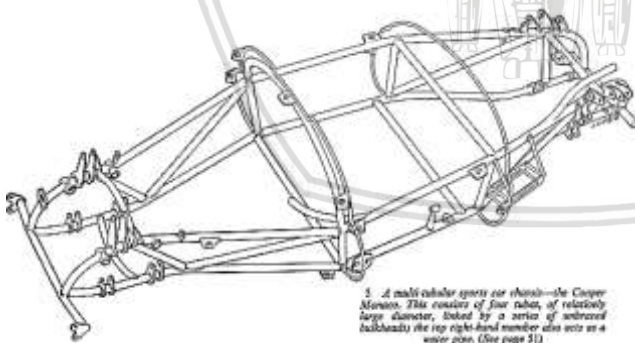
Chassis jenis ini didesain menggunakan campuran dari jenis balok atau pipa yang dirangkai menjadi satu dan hampir menyerupai dari konstruksi kendaraan tersebut. Chassis ini biasanya banyak diaplikasikan dalam dunia balap mobil, jenis chassis ini sangat mudah ditambah atau di desain dan diberi perkuatan tambahan.

Keuntungan dari rangka jenis ini adalah:

- Lebih sedikit *part* yang digunakan dan bobot lebih ringan
- Efek *body roll* dapat dieliminir
- Memiliki ruang roda yang besar, sehingga pemilihan ukuran lebih variatif

Kelemahan dari rangka jenis ini adalah:

- Getaran lebih besar
- Tingkat ketahanan lebih rendah dibandingkan *chassis ladder*
- Sulit diperbaiki



Gambar 2.10 Chassis Tubular

Sumber: Racing & Sports Cars Chassis Design (1961)

3. Monocoque

Chassis ini merupakan satu kesatuan dengan body. Rangka tipe ini sudah tidak menggunakan chassis batang lagi, melainkan mengabungkan setiap komponen *body* mobil sehingga dapat menopang mesin, kompling, transmisi, diferensial.

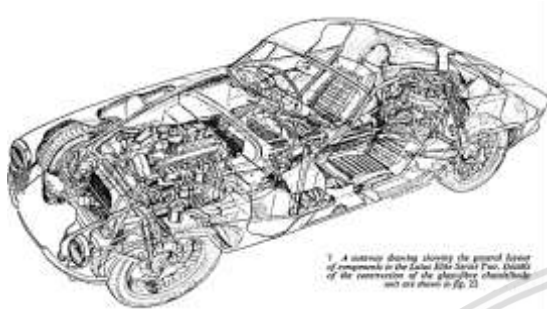
Keuntungan dari rangka ini adalah:

- Bobot paling ringan

- b. Handling lebih lembut
- c. Ground clearance lebih rendah

Kekurangan dari rangka ini adalah:

- a. Sangat sulit diperbaiki
- b. Sulit untuk dilakukan perombakan



Gambar 2.11 Monocoque Chassis

Sumber: Racing & Sports Cars Chassis Design (1961)

4. Backbone

Jenis rangka ini termasuk dengan rangka pres. Rangka mesin ini tergantung pada sebuah bagian *back bone* yang besar. Seluruh beban disangga oleh bagian utama ini. Rangka *back bone* ini adalah rangka yang besar pengganti struktur tangga. Keuntungan dari rangka seperti ini adalah memiliki bobot yang lebih ringan dibanding dengan rangka pipa. Memiliki *center of gravity* yang baik dilintasan sirkuit. Kelemahan dari rangka jenis ini adalah karena hanya memiliki satu tulang punggung, maka jenis chassis ini tidak dapat mengangkut beban berat. *Chassis* jenis ini dijumpai oleh mobil *sport compact*.



Gambar 2.12 Backbone

Sumber: Julian Happian Smith (2003:141)

2.7 Pengertian Material Komposit

Komposisi adalah gabungan dua material atau lebih yang memiliki sifat makrostruktur ataupun mikrostruktur yang berbeda. Unsur material yang digabungkan akan memiliki sifat baru yang berbeda dengan sifat asalnya, tetapi material yang dipadukan tersebut tetap berada dalam bentuk awalnya (Mazumdar, 2002).

Secara umum, material komposit dapat diartikan sebagai material penguat (*reinforcement*) yang terikat pada material pengikat (*Matrix/resin*). Masing-masing material penguat dan pengikat tersebut memiliki fungsi dan tujuan khusus sebagai komponen penyusun material komposit. Salah satu keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya adalah penggabungan unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya.

Sifat-sifat yang dapat diperbaharui antara lain:

1. Kekuatan (*Strength*)
2. Kekakuan (*Stiffness*)
3. Ketahanan Korosi (*Corrosion Resistance*)
4. Ketahanan gesek/aus (*Wear Resistance*)
5. Berat (*Weight*)
6. Ketahanan Lelah (*fatigue lift*)
7. Meningkatkan Konduktivitas panas
8. Tahan lama

Secara alami kemampuan tersebut tidak ada semua dalam satu material. Perlu dikombinasikan sifat-sifat dua material atau lebih untuk mendapatkan kemampuan tersebut. Sekarang ini perkembangan teknologi komposit sangatlah pesat. Komposit banyak digunakan berbagai variasi komponen antara lain untuk otomotif, bidang aerospace, kapal, alat-alat hobi dan alat-alat olahraga.

2.7.1 Jenis-Jenis dan Klasifikasi Komposit

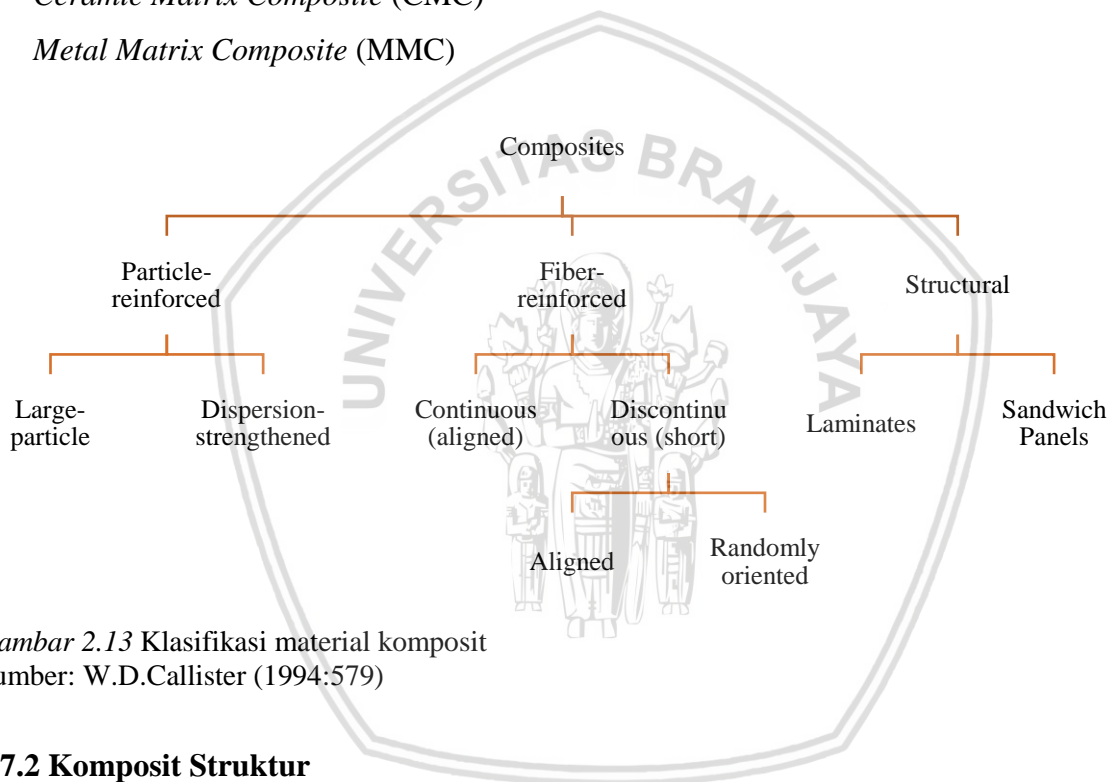
Secara umum material komposit terdiri dari komponen penguat dan pengikat. Fungsi dari penguat (*reinforcement*) diantaranya adalah untuk penambah kekuatan, kekakuan dan keliatan material komposit. Sedangkan fungsi dari pengikat (*Matrix*) adalah untuk mentransfer gaya yang terjadi pada material komposit dan sebagai pelindung komponen penguat (*reinforcement*). Jenis penguat (*reinforcement*) pada material komposit berupa serat-serat yang nantinya akan diikat oleh matriks. Berikut adalah jenis-jenis komposit berdasarkan komponen penguat (*reinforcements*) dan pengikat (*Matrix*).

Penguat (*Reinforcement*)

1. *Glass*
2. *Carbon*
3. *Kevlar (Polymer)*
4. *Ceramic (SiC)*

5. *Metallic* (Titanium)Pengikat (*Matrix*)1. *Polymeric*a. *Thermoset*b. *Thermoplastic*2. *Ceramic*3. *Metallic*

Jenis-jenis Komposit

1. *Polymer Matrix Composite* (PMC)2. *Ceramic Matrix Composite* (CMC)3. *Metal Matrix Composite* (MMC)

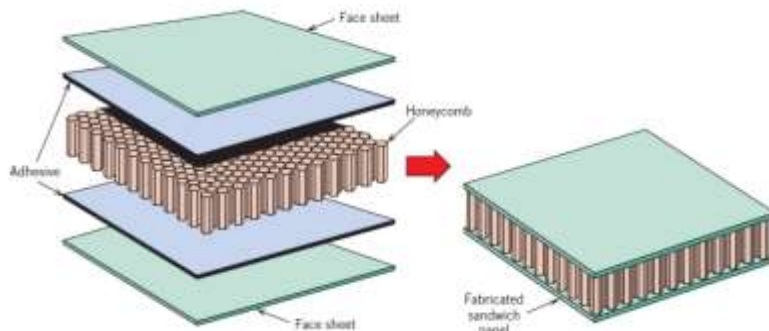
Gambar 2.13 Klasifikasi material komposit
 Sumber: W.D.Callister (1994:579)

2.7.2 Komposit Struktur

Berdasarkan Gambar 2.5 komposit struktur terbagi menjadi dua struktur, yaitu *Laminates* dan *Sandwich*.

1. Struktur *Sandwich*

Struktur ini terdiri dari lapisan pada bagian atas dan bawah disebut *Skins* dan Bagian inti (*Core*) pada bagian tengah. Material bagian inti seringkali berbentuk *Honeycomb Nomex*, *Honeycomb Aluminium*, *Balsa*, *Foam*, *RFC* dan *Core Fabric*. Pada bagian Skin memiliki sifat kuat dan kaku, yang berfungsi untuk menahan beban bending. Sedangkan bagian inti atau *core* berfungsi untuk menahan gaya geser. Dijelaskan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.14 Sandwich Struktur
Sumber: Callister (1940:612)

2. Struktur *Laminates*

Proses laminasi adalah proses yang dilakukan dengan tujuan membuat material komposit untuk meningkatkan kekuatan, stabilitas, kekakuan ataupun fleksibilitas dari perbedaan sifat awal material. Proses laminasi biasanya dirakit secara permanen oleh panas, tekanan, pengelasan, atau perekatan. Proses laminasi juga dapat diartikan sebagai proses proteksi kepada material untuk meningkatkan durabilitas material tersebut.

Proses laminasi dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. *Dry Lamination*

Proses ini menggunakan material prepregs (*pre-impregnated fabrics*) yaitu material penguat (*reinforced*) berupa serat atau tenunan yang telah dicampurkan oleh pengikat (*Matrix*) atau resin. *Prepregs* dengan pengikat *Epoxy* merupakan jenis paling umum digunakan pada industri manufaktur dalam bentuk lembaran – lembaran. Ukuran ketebalannya berkisar antara 0,127 mm hingga 0,254. Jenis serat yang biasanya digunakan pembuatan *prepregs* umumnya berupa serat *glass*, serta *carbon*, dan *aramid* (kevlar).

2. *Wet Lamination*

Proses ini merupakan metode laminasi dimana material penguat belum terkandung pengikat dan diaman material pengikat masih dapat larut dan bercampur dengan cairan seperti resin, dan *hardener*.

2.7.3 Komposit Serat

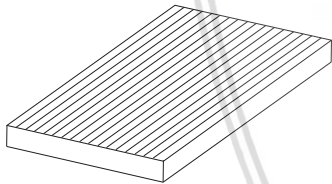
Merupakan komposit yang diperkuat oleh serat. Komponen ini berfungsi sebagai penentu kekuatan dan kekakuan dari suatu material komposit. Hal ini dikarenakan fungsi utama dari komponen penguat adalah sebagai penahan beban dari suatu material. Pada material komposit, komponen penguat menahan sekitar 70% hingga 90% dari beban total yang diterima oleh material (mazumdar, 2002).

Material serat komposit dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu serat alam (*natural fiber*) dan serat buatan (*synthetic fiber*). Serat alam tersebut berasal dari tumbuhan, hewan, maupun sumber-sumber mineral yang terdapat di alam lainnya. Serat alam memiliki massa jenis yang paling rendah diantara serat lainnya dan juga memiliki nilai kekuatan dan kekakuan yang memadai, sehingga serat alam sering diaplikasikan pada berbagai industri. Pada industri otomotif misalnya, serat alam digunakan sebagai pilihan alternatif penggunaan *fiber glass*.

Pada umumnya serat anisotropik seperti carbon dan aramid, pengertian anisotropik itu sendiri adalah sifat permeabilitas suatu material yang tidak seragam pada arah rembesan atau serapan yang berbeda. Serat ini bisa disusun secara acak dengan orientasi tertentu ataupun bisa juga dalam bentuk lebih tersusun seperti anyaman. Terdapat tiga tipe serat pada komposit, yaitu:

1. Komposit Serat Kontinyu (*Continuous Fiber Composite*)

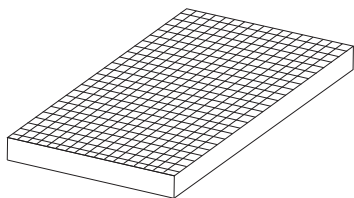
Continuous atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat yang lurus dan panjang, membuat lamina diantara matriknya. Kekurangan komposit jenis ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan, hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriknya.



Gambar 2.15 *Continuous Fiber Composite*
Sumber: Gibson, Ronald F (1994:25)

2. Komposit Serat Anyaman (*Woven Fiber Composite*)

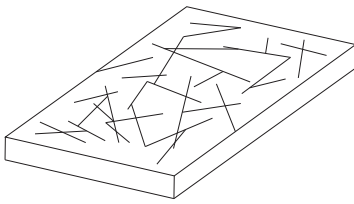
Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan.



Gambar 2.16 *Woven Fiber Composite*
Sumber: Gibson, Ronald F (1994:25)

3. Komposit Serat Acak (*Discontinuous Fiber Composite*)

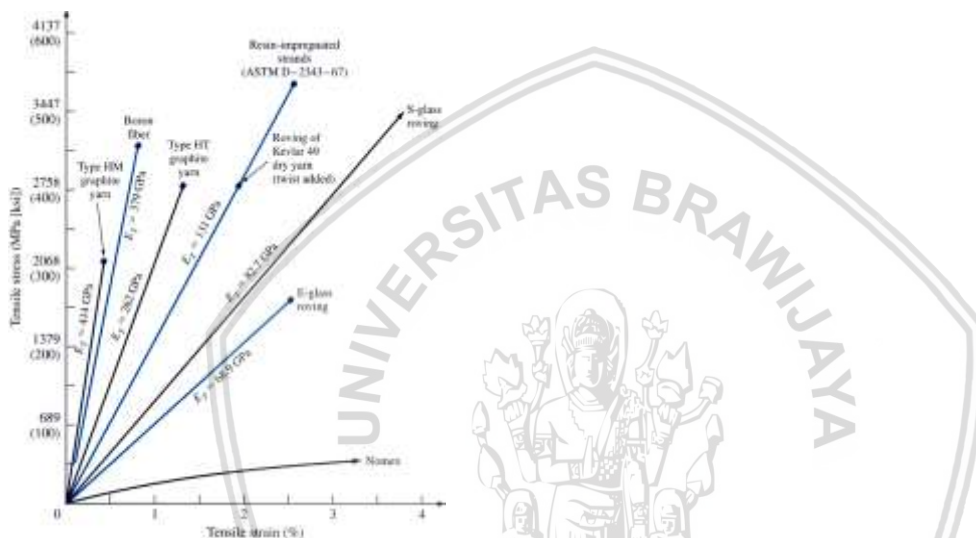
Komposit serat pendek merupakan komposit yang diperkuat oleh serat yang ukurannya dibuat pendek. Komposit serat pendek diperkuat oleh arah orientasinya yang acak. Secara acak biasanya serat penguat mempunyai derajat orientasi.



Gambar 2.17 Randomly Oriented Discontinuous Fiber
Sumber: Gibson, Ronald F (1994:25)

2.7.3.1 Serat Aramid (Kevlar)

Serat aramid atau *aromatic polyimide* adalah serat sintesis yang memiliki kekuatan dan kekakuan serta ketahanan terhadap suhu yang tinggi.



Gambar 2.18 Diagram tegangan – regangan perbandingan kevlar
Sumber: Carlsson (2011:42)

Berdasarkan diagram tegangan–regangan diatas, dapat dilihat bahwa material Kevlar memiliki nilai kekuatan tarik diatas 3477 MPa dengan kurva linear. Adapun modulus elastisitas yang dimilikinya tergolong rendah dibandingkan material komposit lain. Hal ini dikarenakan elongasi atau regangan yang dialami oleh material Kevlar cukup besar. Kevlar memiliki nilai ketangguhan (*toughness*) yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya elongasi atau regangan yang terjadi pada material sebelum benda tersebut mengalami patah. Kevlar memiliki sifat resistansi terhadap asam dan basa yang baik, memiliki sifat tahan panas yang baik hingga temperatur 370⁰C, dan memiliki sifat peredam yang baik (*vibration damping*). Sehingga serat Kevlar banyak digunakan sebagai baju anti peluru. Prinsip kerjanya adalah dengan mengurangi sebanyak mungkin lontaran energi kinetik peluru, dengan menggunakan lapisan-lapisan kevlar untuk menyerap energi laju tersebut dan memecahnya ke kenampang baju yang luas, sehingga energi tersebut tidak cukup lagi untuk membuat peluru menembus baju.

Kevlar mempunyai keunggulan sebagai berikut.

1. Tahan temperatur tinggi dan rendah, yaitu antara -196°C sampai 450°C
2. *High tensile strength*, yaitu senilai 3.62 GPa
3. Massa jenis rendah, 1.44 g/cm^3
4. Inert, tidak mudah bereaksi dengan bahan kimia lain
5. Tahan api

Kekurangan dari Kevlar yaitu:

- a. *Compressive strength* yang rendah
- b. Sulit dipotong/dibor
- c. Harga sangat mahal
- d. Mudah menyerap kelembaban (air)

2.7.3.2 Serat Glass

Secara kimia, komponen utama penyusun serat gelas ini adalah Silica atau *Quartz*. Karakteristik serat gelas atau *fiber glas* sangat bergantung pada komposisi penyusunnya. Secara umum, serat gelas atau *fiber glass* dibagi menjadi dua jenis yaitu *low-cost-general-purpose fiber* dan *premium special-purpose fiber* (ASM Handbook, 2001).

Pada industri pesawat terbang dan otomotif, serat gelas yang umum digunakan adalah *low-cost-general-purpose fiber* dengan berbagai jenis diantaranya yaitu *E-Glass*, *S-Glass* dan *C-Glass*.

1. *E-Glass*

Merupakan jenis *Fiber Glass* yang paling umum digunakan karena biaya produksinya yang tergolong rendah. Huruf kapital "E" berarti *electrical insulator*.

2. *S-Glass*

Merupakan jenis *fiber glass* yang paling umum digunakan pada industri militer dan industri pesawat terbang karena sifatnya yang tergolong kuat. Huruf kapital "S" berarti *Strength* sehingga nama lain *S-Glass* adalah *High-Strength Glass*. *S-Glass* memiliki nama lain seperti *R-Glass* yang digunakan di wilayah Eropa, dan *T-Glass* di negara Jepang.

3. *C-Glass*

Merupakan jenis *fiber glass* yang umumnya digunakan pada pembuatan tank penyimpanan, pipa, atau komponen lainnya yang membutuhkan ketahanan terhadap bahan kimia. Huruf kapital "C" berarti *chemical resistance*.

2.7.3.3 Carbon Fiber (Serat Karbon)

Serat karbon merupakan bahan yang sangat tipis yang terdiri dari serat sekitar 0,005-0,010 mm yang sebagian besar berbahan atom carbon. *Carbon fiber* memiliki pola yang berbeda dan dapat dikombinasikan dengan resin *polymer* dan dan melalui proses *curing* dibentuk untuk material seperti *carbon fiber reinforced polymer* untuk menjadikan bahan dengan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi.

Densitas serat *carbon* ini jauh lebih rendah dari baja, sehingga ideal untuk aplikasi yang memerlukan berat rendah. Sifat serat carbon adalah kekuatan tarik tinggi, berat rendah dan ekspansi termal rendah.

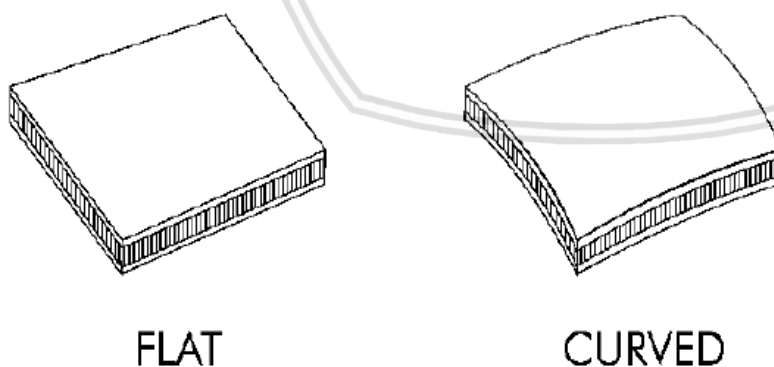
Tabel 2.1
Perbandingan Material Skin

	<i>Carbon fiber Woven</i>	<i>Fiberglass</i>	Aluminum
UTS	584 MPa	422 MPa	414 MPa
Modulus Young	59.6 GPa	26.6 GPa	73 GPa
Massa Jenis	1630 kg/m ³	2000 kg/m ³	2800 kg/m ³

Sumber: L.A. Carlsson (2011:16)

2.7.4 Komposit Sandwich

Komposit *sandwich* merupakan komposit yang terdiri dari dua lapisan “Face Sheet” yang memiliki kekakuan dan kekuatan seperti material logam. Kekuatan face dipisahkan dari suatu ketebalan bersifat ringan yang disebut inti (*Core*). Konsep ini menyerupai I-Beam. Tetapi dalam dua dimensi, dimana *Face Sheets* menahan beban bending dan *Core* mentransfer gaya geser antara *Faces* dalam panel *sandwich* jika diberikan beban.



Gambar 2.19 Struktur datar dan melengkung pada struktur sandwich

Sumber: Carlsson (2011:2)

1. Face

Kekakuan dan kekuatan sandwich telah diidentifikasi beberapa sifat penting dari face dan Core. Face harus kaku dan kuat dalam tarikan dan kompresi untuk menahan *Bending* dan beban *Wringling*. sifat mekanik *face* laminasi bervariasi tergantung pada

jenis serat, orientasi *ply*, dan fraksi volume serat dan matriks. Jenis material matriks juga akan mempengaruhi sifat mekanik komposit. Berikut ini tabel *density* dan *properties* material *face*.

Tabel 2.2

Properti Mekanik *Face Material* $p = \text{density}$, $E = \text{modulus young}$, $G = \text{shear modulus}$, $\nu = \text{poisson ratio}$, $X = \text{strength}$, $T = \text{tension}$, $C = \text{compression}$

Materials	P g/cm ³	E Gpa	G Gpa	ν	X_T MPa	X_C MPa
Aluminium (2024-T3)	2.80	73	27.4	0.33	414	414
Steel (AISI 1025)	7.80	207	80.0	0.30	394	394
Titanium	4.40	108	42.2	0.30	550	475
S-Glass/EP ¹	1.73	20.6	3.10	0.12	261	177
E-Glass/EP ¹	2.00	26.6	4.63	0.144	422	410
AS4-Carbon/EP ¹	1.63	59.5	4.96	0.047	584	491

Sumber: Carlsson (2011:16)

2. Core

Core harus kaku dan kuat terhadap tegangan geser dan ekstensi dalam arah ketebalan untuk memberikan ketahanan terhadap *Wrinkling* dan kegagalan indentasi lokal, pada saat yang bersamaan. *Core* harus memiliki kepadatan rendah untuk meminimalkan berat struktur. Hal itu bertentangan karena, secara umum, bahan yang *density* rendah cenderung kurang kaku dan cenderung kuat ketika material memiliki *density* besar. *core* yang biasa digunakan untuk panel sandwich yaitu *core web*, *Honeycomb*, *foam*, dan kayu balsa. Metode manufaktur inti *honeycomb* menyediakan struktur dengan dinding ganda dalam satu arah dan dinding tunggal di sisi lainnya. Akibatnya, sifat mekaniknya berbeda dalam dua arah utama (lebar W dan panjang L). Sifat mekanis inti *honeycomb* dianggap sangat detail oleh Gibson & Ashby (1997). Literatur produk kadang-kadang melaporkan modulus dan kekuatan dalam kompresi dan geser lihat informasi produk Hexcel, sedangkan sumber data lain, misalnya Vinson (1999) menjelaskan hanya moduli geser. Beberapa data khas yang disediakan oleh Zenkert (1997) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3

Properti Mekanik Honeycomb core. $P = \text{Density}$, $G = \text{shear modulus}$, $S = \text{shear strength}$, $W = \text{width direction}$, $L = \text{length direction}$. Zenkert (1997)

Materials	P g/cm ³	E_L Gpa	G_w Gpa	S_L MPa	S_w MPa
Paper	0.056	141	38	1.3	0.48
Aluminum	0.070	460	200	2.2	1.50
Nomex	0.080	69	44	2.2	1.00
Nomex aramid	0.129	112	64	3.2	1.70

Sumber: L.A.Carlsson (2011:16)

Pemilihan yang tepat *Face* dan *Core* membutuhkan pemahaman tentang mekanika struktur *sandwich*. Pembebanan dan tipe kegagalan pada struktur sandwich serta fungsi dari *Face* dan *Core* dalam struktur sandwich menjadi pertimbangan desainer agar menghasilkan struktur yang kaku, kuat serta bobot yang ringan. Adapun hal yang perlu diperhatikan dalam merancang struktur sandwich yaitu:

1. *Bending Stiffness* pada struktur *Sandwich Beam*
2. Tegangan pada *Face* dan *Core*
3. Kegagalan *Face* dan *Core*

2.7.5 Pengikat (*Matrix*)

2.7.5.1 Definisi Pengikat (*Matrix*)

Material komposit dapat diartikan sebagai material penguat (*reinforcement*) yang terikat pada material pengikat (*matrix*). *Matrix* atau resin ini akan mengelilingi serat juga dapat melindungi serat dari gangguan secara kimiawi ataupun gangguan lingkungan.

Material pengikat atau *matrix* ini memiliki juga fungsi khusus sebagai komponen penyusun material *matrix* diantaranya adalah,

1. Material *Matrix* merekatkan serat-serat pada komponen komposit dan menyampaikan gaya yang diterima oleh material menuju serat, sehingga *matrix* merupakan salah satu komponen pendukung dalam penentuan bentuk dan kekakuan material komposit.
2. Material *matrix* mencegah atau memperlambat terjadinya *crack* dengan cara mengisolasi serat-serat, sehingga masing-masing serat dapat bekerja secara terpisah dalam menahan gaya.
3. Material *Matrix* melindungi serat gangguan kimiawi dan mekanis (*wear resistance*)
4. Material *Matrix* mempengaruhi karakteristik material komposit secara keseluruhan, seperti keuletan, ketangguhan, dan kekuatan tariknya.

Parameter acuan untuk menentukan material *matrix* yang akan digunakan diantaranya adalah karakteristik material seperti ketangguhan, kelembaban (ketahanan terhadap lingkungan), konduktivitas thermal dan listrik serta biaya produksi yang dibutuhkan. Material *matrix* yang digunakan juga akan menentukan *service operating temperatures* dari material komposit yang akan dihasilkan. *Service operating temperatures* adalah temperatur batas kestabilan suatu material ketika beroperasi atau digunakan.

Tabel 2.4
 Nilai Temperatur *Continuous-use* Matrix

Materials	Maximum Continuous-use Temperature (°C)
Thermosets	
Vinilester	60-150
Polyester	60-150
Phenolics	70-150
Epoxy	80-215
Bismaleimide	230-320
Thermoplastics	
Polyethylene	50-80
Polypropylene	50-75
Acetal	70-95
Nylon	75-100
Polyester	70-120
PPS	120-220
PEEK	120-250
Teflon	200-260

Sumber: Sanjay K.Mazumdar (2002:11)

2.7.5.2 Jenis-Jenis Pengikat (*Matrix*)

1. Thermoset Resin

Resin thermoset memiliki karakteristik apabila telah diawetkan maka *matrix* tidak dapat dicairkan ataupun dibentuk kembali. Ketika proses pengawetan *thermoset* resin akan membentuk ikatan molekul. Ikatan molekul inilah yang akan menyebabkan material komposit menjadi tidak elastis, tidak dapat dicairkan ataupun dilakukan pembentukan kembali. *Thermoset* resin juga memiliki beberapa keunggulan, diantaranya sifat yang baik untuk proses impregnasi serat. Hal ini disebabkan oleh *thermoset* resin dapat bersifat cair pada temperatur ruangan. Keunggulan lain yang dimiliki *thermoset* resin diantaranya kestabilan bentuk dan thermal yang baik, kekakuan yang baik, ketahanan terhadap lingkungan sekitar yang lebih baik. *Thermoset resin* yang paling umum digunakan adalah *epoxy*, *polyester*, *vinylester*, *phenolics*, *cyanate ester*, *bismaleimids*, dan *polymides*.

Tabel 2.5
 Karakteristik Thermoset Resin

Resin Material	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus Gpa (10 ⁶ psi)	Tensile Strength MPa (10 ³ psi)
Epoxy	1.2-1.4	2.5-5.0 (0.36-0.72)	50-110 (7.2-1.6)
Phenolic	1.2-1.4	2.7-4.1 (0.4-0.6)	35-60 (5-9)
Polyester	1.1-1.4	1.6-4.1 (0.23-0.6)	35-95 (5.0-13.8)

Sumber: Sanjay K. Mazumdar (2002:29)

2. Thermoplastic Resin

Secara umum resin *thermoplastic* bersifat ulet dan memiliki ketangguhan yang lebih tinggi jika dibanding dengan resin *thermoset*. Resin *thermoplastic* dapat dicairkan pada suhu tinggi dan kembali membeku ketika didinginkan. Jika dibandingkan dengan resin *thermoset*, resin *thermoplastic* memiliki sifat mekanik lebih mudah terjadi mulur pada suhu tinggi. Berikut adalah beberapa jenis resin *thermoplastic* beserta sifatnya.

Tabel 2.6
Karakteristik Resin Thermoplastic

Resin Material	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus Gpa (10 ⁶ psi)	Tensile Strength MPa (10 ³ psi)
Nylon	1.1	1.3-3.5 (0.2-0.5)	55-90 (78-13)
PEEK	1.3-1.35	3.5-4.4 (0.5-0.6)	100 (14.5)
PPS	1.3-1.4	3.4 (0.49)	80 (11.6)
Polyester	1.3-1.4	2.1-2.8 (0.3-0.4)	55-60 (8-8.7)
Polycarbonate	1.2	2.1-3.5 (0.3-0.5)	55-70 (8-10)
Acetal	1.4	3.5 (0.5)	70 (10)
Polyethylene	0.9-1.0	0.7-1.4 (0.1-0.2)	20-35 (2.9-5)
Teflon	2.1-2.3	-	10-35 (1.5-50)

Sumber: Sanjay K.Mazumdar (2002:52)

2.8 Material Orthotropic

Pada material *orthotropic* terdapat tiga bidang orthogonal simetri, memiliki perbedaan sifat material pada tiap sumbu. Komposit, secara umum memiliki sifat material berbeda pada setiap arah. Berikut hubungan tegangan dan regangan pada material komposit dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\{\sigma\}_k = [\bar{Q}]_k (\{\epsilon^0\} + z\{\kappa\}) \quad (2-16)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

Keterangan:

$\{\sigma\}_k$ = Tegangan pada lamina k

$[\bar{Q}]_k$ = Transformasi *matrix* kekakuan lamina

$\{\epsilon^0\}$ = Regangan

z = Koordinat terluar lamina terhadap sumbu tengah

$\{\kappa\}$ = Kelengkungan

Pada material *orthotropic* sifat material didasarkan terhadap tiga arah principle. Hukum *specialy orthotropic* pada material berlaku.

Matrix kekakuan lamina dari *carbon fiber* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \quad (2-17)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

Keterangan:

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} \quad (2-18)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$Q_{12} = Q_{21} = \frac{\nu_{12}E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} \quad (2-19)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$Q_{22} = \frac{E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} \quad (2-20)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$Q_{66} = E_{12} \quad (2-21)$$

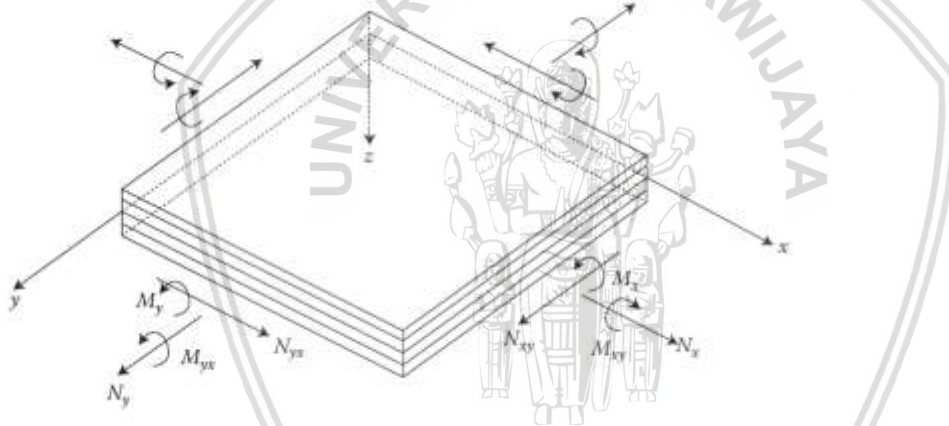
Sumber: P.K.Mallick (2008)

E_1 = Modulus Young *Longitudinal*

E_2 = *Modulus young transverse*

ν_{12} = *Poisson ratio* bidang 1-2

G_{12} = Modulus geser bidang 1-2



Gambar 2.20 Arah resultan gaya dan momen

Sumber: Gibson (2012:298)

Pengaruh sudut orientasi *ply* terhadap matriks kekakuan dijelaskan pada persamaan dibawah:

$$[\bar{Q}] = [T]^{-1} [Q] [T] \quad (2-22)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$[T] = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2cs \\ s^2 & c^2 & -2sc \\ -cs & cs & c^2-s^2 \end{bmatrix} \quad (2-23)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$c = \cos(\theta), \quad s = \sin(\theta) \quad (2-24)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

Matriks ABD adalah matriks 6x6 yang menghubungkan hubungan regangan dan gaya yang diberikan pada laminasi. Matriks tersebut menjelaskan kekakuan dari seluruh laminasi komposit.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k - z_{k-1}) \quad (2-25)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^2 - z_{k-1}^2) \quad (2-26)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) \quad (2-27)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

Berikut adalah matrix gabungan [A], [B] dan [D], atau disebut dengan matriks [ABD]:

$$[ABD] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \quad (2-28)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

Hubungan matriks ABD dengan regangan dijelaskan pada persamaan berikut:

$$\begin{Bmatrix} N \\ M \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon^0 \\ \kappa^0 \end{Bmatrix} \quad (2-29)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon^0 \\ \kappa^0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} N \\ M \end{Bmatrix} \quad (2-30)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

Berikut adalah *material properties* dari *material carbon fiber prepreg* dan *Honeycomb*

Composite:

Tabel 2.7

Material Properties Epoxy Carbon High Strength Woven 60% carbon

Material Properties Chassis

<i>Modulus Young (MPa) X Direction</i>	70000
<i>Modulus Young (MPa) Y Direction</i>	65000
<i>Modulus Young (MPa) Z Direction</i>	60000
<i>Poisson's Ratio XY</i>	0,05
<i>Poisson's Ratio YZ</i>	0,03
<i>Poisson's Ratio XZ</i>	0,03
<i>Tensile Strength X Direction (MPa)</i>	800
<i>Tensile Strength Y Direction (MPa)</i>	750
<i>Tensile Strength Z Direction (MPa)</i>	50
<i>Shear Modulus XY (MPa)</i>	19500
<i>Shear Modulus YZ (MPa)</i>	3000
<i>Shear Modulus XZ (MPa)</i>	3000

Sumber: *Hexcel Composite*

Tabel 2.8

Material Properties Honeycomb Core Nomex

<i>Material Properties Chassis</i>	
<i>Modulus Young (MPa) X Direction</i>	1
<i>Modulus Young (MPa) Y Direction</i>	1
<i>Modulus Young (MPa) Z Direction</i>	255
<i>Poisson's Ratio XY</i>	0,049
<i>Poisson's Ratio YZ</i>	0,001
<i>Poisson's Ratio XZ</i>	0,001
<i>Tensile Strength X Direction (MPa)</i>	0
<i>Tensile Strength Y Direction (MPa)</i>	0
<i>Tensile Strength Z Direction (MPa)</i>	5,31
<i>Shear Modulus XY (MPa)</i>	$1 \cdot 10^{-6}$
<i>Shear Modulus YZ (MPa)</i>	193,05
<i>Shear Modulus XZ (MPa)</i>	482,63

Sumber: *Hexcel Composite*

2.9 Pembebanan Pada *Chassis*

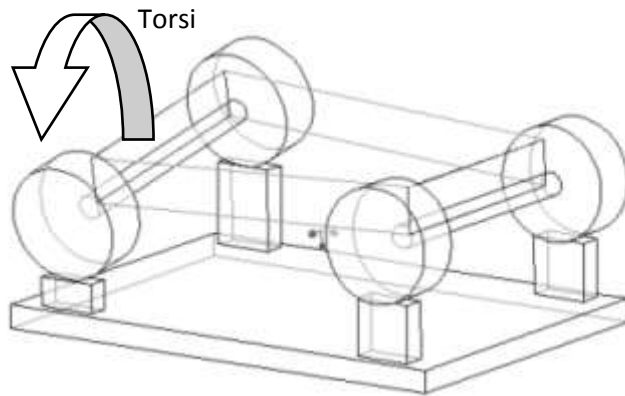
Ketika mendesain sebuah *chassis* kita harus mengetahui kemungkinan pembebanan yang dapat terjadi pada *chassis* ketika dikendarai, kasus kemungkinan pembebanan ini akan dijelaskan dalam bagian berikut.

2.9.1 Uji Pembebanan Secara Global

Uji Pembebanan dapat dibagi menjadi global dan lokal, Dimana pada kasus global akan difokuskan kepada pembebanan yang mempengaruhi keseluruhan *chassis* sedangkan pembebanan yang mempengaruhi lokal difokuskan pada pembebanan pada *mounting point* dan *brackets*. Uji pembebanan global terdiri dari kasus yang akan dijelaskan dalam bagian berikut.

2.9.1.1 *Torsional*

Torsional biasanya dipandang sebagai pertimbangan yang paling penting dalam pembuatan *chassis*. Beban *torsional* akan berupaya untuk memuntir satu ujung *chassis* dengan berhubungan terhadap ujung satunya, dan akan berakibat negatif pada kestabilan mobil. *Chassis* dapat disederhanakan dengan pemodelan spring yang menghubungkan unit suspensi depan dan belakang. Fungsi suspensi adalah untuk memsatakan bahwa keempat roda tetap rata terhadap jalan, tetapi apabila pergas *torsional* dari *chassis* terlalu lemah, maka *chassis* akan mengambil alih transfer pembebanan lateral dan akan menghambat kemungkinan optimasi performa suspensi. Cara paling mudah untuk mengatasi permasalahan ini adalah membuat *chassis* dengan kekakuan *torsional* tinggi.



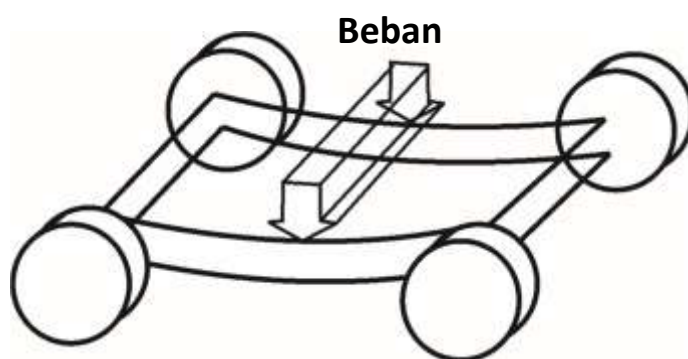
Terjadi perbedaan ketinggian pada posisi roda sehingga terjadi beban *torsional* pada *chassis*

Gambar 2.21 Uji Torsional
Sumber: Eurenus (2013:12)

Beban torsional akan terjadi dalam situasi yang berbeda-beda. Kasus pembebanan torsional yang paling umum adalah ketika satu roda menghantam sebuah tanjakan ketika ketiga roda lainnya tetap dalam orientasi vertikalnya masing-masing. Hal ini akan memberikan torsi kepada *chassis* karena gerakan maju roda yang menghantam tanjakan. Kasus pembebanan ini juga menjadi cara standar untuk mengukur kekakuan torsional *chassis* secara real maupun melalui simulasi komputer.

2.9.1.2 Vertical Bending

Vertical bending adalah pembebanan untuk menunjukkan ketahanan *chassis* terhadap berat komponen mobil seperti powertrain, body, penumpang dan pengemudi dibawah pengaruh gravitasi atau sering disebut gaya berat untuk memnetukan apakah *chassis* cukup kuat untuk menahan beban tersebut. Menurut Hazimi et al (2018) saat perencanaan *chassis* pembebanan *vertical bending* bukan merupakan pembebanan terbesar sehingga memerlukan pembebanan lain untuk pertimbangan keamanan. *Chassis* yang memiliki ketahanan puntir atau *torsional* yang tinggi biasanya juga dapat menahan pembebanan dari *vertical bending* (Milliken, 1995).



Terjadi pembebanan *bending* akibat berat dari komponen kendaraan sehingga terjadi lendutan pada *chassis*

Gambar 2.22 Uji verical bending
Sumber: Hazimi (2013:13)

Ketika mendesain sebuah chassis, *vertical bending* bukanlah prioritas utama untuk dipertimbangkan, karena defleksi *vertical* tidak akan mempengaruhi pembebanan pada roda. Telah dirunjukkan juga bahwa chassis dengan kekakuan *tosional* yang baik akan memiliki kekakuan bending yang baik.

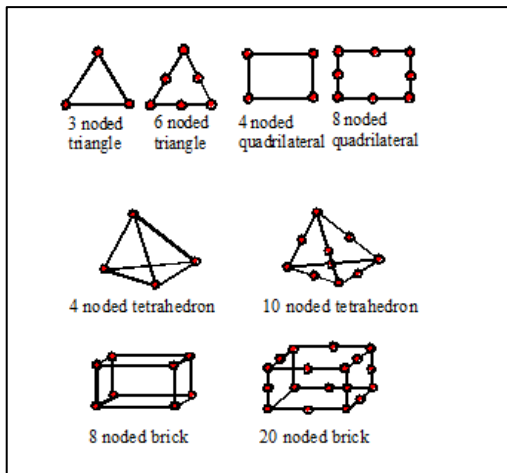
2.10 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan suatu prosedur numerik dengan konsep dasar adalah pembagian (Diskretisasi) suatu kontinum menjadi elemen-elemen kecil yang berhingga dan memiliki bentuk geometri yang lebih sederhana dari kontinumnya yang disebut elemen hingga. Analisa metode elemen hingga dilakukan untuk mendapatkan suatu nilai pendekatan (bukan eksak) berdasarkan asumsi perpindahan atau asumsi tegangan atau dapat juga berdasarkan kombinasi keduanya.

1. Diskretisasi (*meshing*) dan pemilihan elemen

Diskretisasi adalah proses membagi suatu struktur menjadi elemen-elemen kecil yang berhingga dan memiliki geometri yang lebih sederhana. Elemen-elemen ini berhubungan pada titik simpul (*node*) membentuk rangkaian yang secara bersama dan keseluruhan mendekati bentuk struktur sebenarnya. Jadi bentuk geometri struktur yang kompleks dapat disederhanakan dengan diskretisasi untuk lebih mempermudah penganalisaan.

Untuk pemilihan jenis dan bentuk elemen yang digunakan bergantung pada karakteristik suatu benda yang akan dianalisa. Secara umum terdapat 3 jenis elemen berdasarkan analisa dimensinya yaitu *line element* untuk satu dimensi, *planar element* untuk dua dimensi dan *solid element* untuk tiga dimensi. Dalam penelitian ini digunakan element "shell 181" yang masuk dalam jenis *planar element*. Jenis *planar element* cocok untuk analisa suatu permukaan yang memiliki ketebalan (ANSYS 18.2). Terdapat beberapa bentuk elemen berdasarkan dimensinya untuk dua dimensi dapat menggunakan elemen segitiga dan *quadrilateral*, sedangkan struktur tiga dimensi dapat menggunakan elemen *heksahedron* dan *tetrahedron*.



Gambar 2.23 Macam-macam elemen
Sumber: Nath (2015)

2. Memilih Fungsi Pendekatan
3. Menurunkan Persamaan Matrik Kekakuan
4. Menghitung Matrik Beban Total
5. Merakit Elemen Menjadi Struktur
6. Mendapatkan Perpindahan Global
7. Mendapatkan Besaran Sekunder dan Interpretasi Hasil

2.11 Software Berbasis *Finite Element Analysis* (FEA)

Software yang berbasis elemen hingga ini mempunyai kelebihan yaitu kemampuan untuk mendiskritisasi model dengan sangat halus, mampu bekerja dengan elemen lebih banyak dan menghasilkan output dengan ketelitian tinggi. *Software* ini biasa digunakan memperhitungkan faktor keamanan, lokasi tegangan kritis maupun displacemen yang terjadi ketika pembebanan berlangsung. Salah satu contohnya yaitu ANSYS, *software* ini dapat digunakan untuk menganalisa antara lain : struktural, termal, elektrik, magnetis dan fluida.

Secara umum langkah-langkah analisis dengan menggunakan *software FEM* dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. *Preprocessing* (proses awal)

Tahap-tahap penting dalam *Preprocessing*:

- a. Pemodelan geometri: dilakukan proses modeling geometri baik 1D, 2D, maupun 3D
- b. Pemilihan tipe elemen: digunakan untuk mendiskritisasikan model yang dibuat.
- c. *Material properties*: *input* data material yang digunakan
- d. *Meshing*: pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil/elemen diskrit

- e. *ACP Pre*: mengatur boundary untuk *carbon fiber prepreg* dan *Core Honeycomb composite*
 - f. Mendefinisikan analisis solusi yang dipakai (*analysis type*)
 - g. Memasukan kondisi batas (*constrain*)
 - h. Menerapkan pembebanan
2. *Solution (Proses Solusi)*
- Tahap–tahap penting dalam solusi:
- a. *Penyelesaian (solving)*
- Tahap ini hanya terjadi proses solving, dimana beban komputasi akan digunakan untuk menyelesaikan *load case* dengan *boundary condition* yang ada.
3. *General Postprocessing* (proses pembacaan hasil)
- a. *Plot result*
- Dengan menggunakan contour plot akan tampak distribusi tegangan atau variabel lain pada model sehingga mudah dalam menginterpretasikan informasi yang disajikan. Disini model digambarkan dengan sebaran warna yang menunjukkan besarnya tegangan yang terjadi.
- b. *List result*
- Hasil analisis dalam bentuk *list result* berupa tabel yang memberikan informasi secara detail mengenai perpindahan, tegangan dan regangan yang terjadi pada tiap node maupun elemennya.

2.12 Failure Analysis Composite

Reserve Factor (RF) merupakan nilai perbandingan dari beban kegagalan material dan beban yang diberikan pada material. *Inverse reserve factor* (IRF) adalah kebalikan dari RF, nilai dari IRF dapat menunjukkan kegagalan material. Material dikatakan gagal apabila nilai dari IRF lebih dari 1. Nilai IRF diambil dari perhitungan pada elemen dengan membandingkan nilai terbesar dari perbandingan beban prinsipal dan beban maksimal komposit.

$$RF = \frac{\sigma_f}{\sigma_{applied}} \quad (3-31)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

$$IRF = \frac{1}{RF} \quad (3-32)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

Keterangan:

σ_f = Tegangan maksimal material

$\sigma_{applied}$ = Tegangan yang diberikan

1. *Maximum stresss criterion*

Dalam kriteria kegagalan *maximum stresss* (tegangan maksimum), rasio tegangan aktual terhadap tegangan kegagalan dibandingkan dalam sistem koordinat utama *ply*.

Dengan demikian, fungsi kriteria kegagalan ditulis sebagai berikut :

$$f = \max \left(\left| \frac{\sigma_1}{X} \right|, \left| \frac{\sigma_2}{Y} \right|, \left| \frac{\sigma_3}{Z} \right|, \left| \frac{\tau_{12}}{S} \right|, \left| \frac{\tau_{13}}{R} \right|, \left| \frac{\tau_{23}}{Q} \right| \right) \quad (2-33)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

Maximum strain criterion

Dalam kriteria kegagalan *maximum strain* (regangan maksimum), rasio strain aktual terhadap regangan kegagalan dibandingkan dalam sistem koordinat utama *ply*. Fungsi kriteria kegagalan ditulis sebagai berikut :

$$f = \max \left(\left| \frac{\varepsilon_1}{X_e} \right|, \left| \frac{\varepsilon_2}{Y_e} \right|, \left| \frac{\varepsilon_3}{Z_e} \right|, \left| \frac{\gamma_{12}}{S_e} \right|, \left| \frac{\gamma_{13}}{R_e} \right|, \left| \frac{\gamma_{23}}{Q_e} \right| \right) \quad (2-34)$$

Sumber: P.K.Mallick (2008)

2.13 Hipotesis

Setelah melakukan tinjauan pustaka, dapat diambil hipotesis bahwa semakin tebal struktur *chassis* maka nilai tegangan dan deformasi yang dialami struktur akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan penambahan ketebalan *Core Honeycomb* dan *Skin* akan menambah dimensi dari struktur sandwich pada *chassis*. Hal itu menyebabkan menurunkan tegangan menyebabkan nilai deformasi pada *chassis* menurun.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi komputer menggunakan *software* berbasis *Finite Element Analysis (FEA)*. Yaitu pengamatan dan untuk mencari sebab dan akibat dalam suatu proses melalui simulasi menggunakan *software* Ansys 18.2. Metode ini bertujuan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan sebagai acuan maupun perkiraan dalam melaksanakan eksperimen secara nyata. Informasi tambahan yang diperlukan dalam penelitian ini didapatkan melalui studi literatur dari buku pustaka, jurnal penelitian, dan internet.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

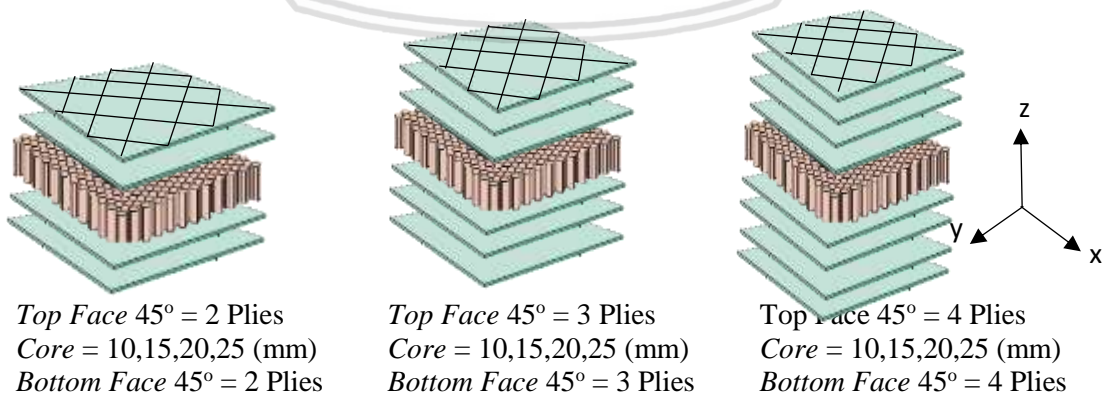
Penelitian dilakukan di Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Januari 2018 sampai dengan selesai.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah ketebalan *Skins Carbon Fiber Prepreg* dan ketebalan *Core Honeycomb Nomex*.



Gambar 3.1 Variasi tebal *Skins* dan Tebal *Core Honeycomb Nomex*

Tabel 3.1
Variasi Tebal *Skins* dan Tebal *Core Honeycomb Nomex*

No.	Chassis	Tebal <i>Skins</i> (mm)	Tebal <i>Core Honeycomb</i> (mm)	Tebal <i>Sandwich</i> (mm)
1	Model 1		10	10,8
2	Model 2	0.8 mm	15	15,8
3	Model 3	(4 <i>Plies</i>)	20	20,8
4	Model 4		25	25,8
5	Model 5		10	11,2
6	Model 6	1.2 mm	15	16,2
7	Model 7	(6 <i>Plies</i>)	20	21,2
8	Model 8		25	26,2
9	Model 9		10	11,6
10	Model 10	1.6 mm	15	16,6
11	Model 11	(8 <i>Plies</i>)	20	21,6
12	Model 12		25	26,6

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung pada variabel bebas yang telah ditentukan dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah deformasi dan distribusi tegangan yang terjadi pada *chassis* akibat beban statis secara simulasi.

3. Variabel Terkontrol

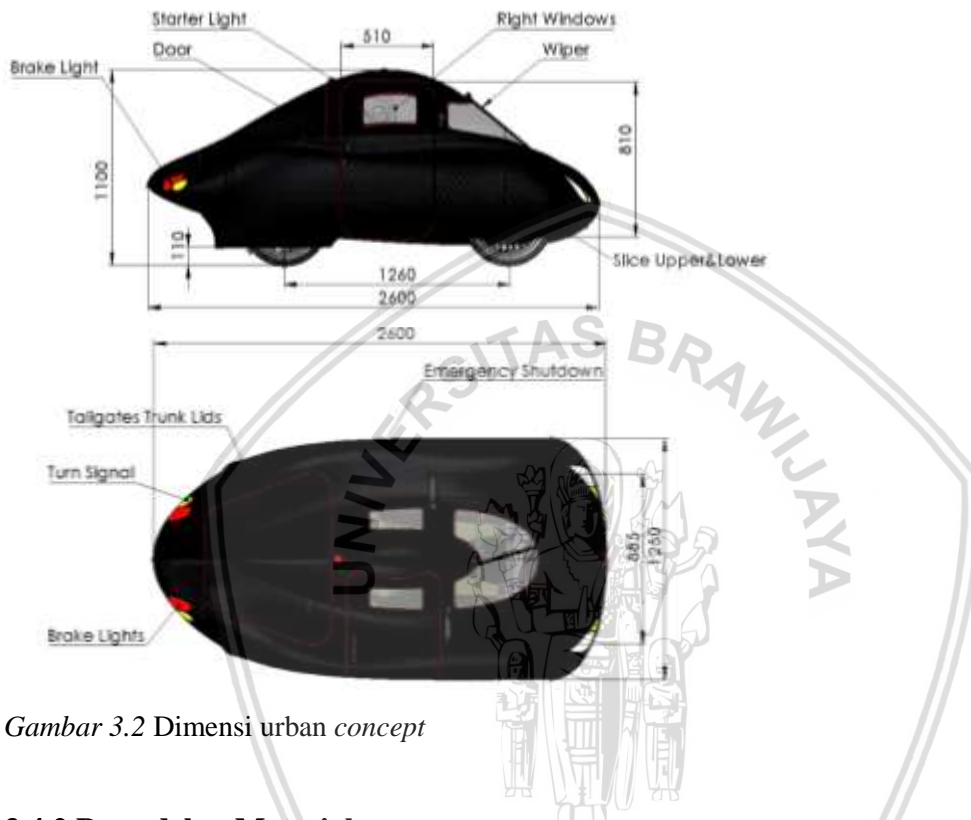
Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini yaitu:

- a. Material *orthotropic* menggunakan *carbon fiber prepreg* dengan *core honeycomb nomex*.
- b. Sudut orientasi *carbon fiber* 45°
- c. Menggunakan komposit *sandwich dry lamination (prepreg)*
- d. Ketebalan Lamina 0.2 mm
- e. Pembebanan yang digunakan yaitu *occupant force* 70 kg dan *powertrain force* 30kg
- f. Safety Factor = 1.5
- g. Standart pengujian mengacu pada penelitian sebelumnya dengan analisis *static structural* dengan pembebanan *torsional* dan *vertical bending*
- h. Pengamatan fokus terhadap distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada *chassis*.
- i. Model menggunakan metode *surface modeling* tim Apatte 62 Brawijaya.

3.4 Pemodelan

3.4.1 Pemodelan Geometri

Modeling menggunakan software *CAD SolidWork 2015* berdasarkan ukuran sebenarnya yang sudah dimanufaktur tim Apatte 62 Brawijaya. Pemodelan dalam penelitian ini merupakan satu komponen yang tidak terpisah antara lain *fixed support* dan *chassis*. Dimensi model uji pada Gambar 3.2 (dalam satuan mm).



Gambar 3.2 Dimensi urban concept

3.4.2 Pemodelan Material

Material *chassis* yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan *engineering data* Ansys 18.2 Berikut *material properties* pada Tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 3.2

Material Properties Epoxy Prepreg High Strength Carbon (60% carbon) Woven

<i>Material Properties Chassis</i>	
<i>Modulus Young (MPa) X Direction</i>	70000
<i>Modulus Young (MPa) Y Direction</i>	65000
<i>Modulus Young (MPa) Z Direction</i>	60000
<i>Poisson's Ratio XY</i>	0,05
<i>Poisson's Ratio YZ</i>	0,03
<i>Poisson's Ratio XZ</i>	0,03
<i>Tensile Strength X Direction (MPa)</i>	800
<i>Tensile Strength Y Direction (MPa)</i>	750
<i>Tensile Strength Z Direction (MPa)</i>	50
<i>Shear Modulus XY (MPa)</i>	19500
<i>Shear Modulus YZ (MPa)</i>	3000
<i>Shear Modulus XZ (MPa)</i>	3000

Sumber: *Hexcell Composite datasheet*

Tabel 3.3
Material Properties Core Honeycomb

<i>Material Properties Chassis</i>	
<i>Modulus Young (MPa) X Direction</i>	1
<i>Modulus Young (MPa) Y Direction</i>	1
<i>Modulus Young (MPa) Z Direction</i>	255
<i>Poisson's Ratio XY</i>	0,049
<i>Poisson's Ratio YZ</i>	0,001
<i>Poisson's Ratio XZ</i>	0,001
<i>Tensile Strength X Direction (MPa)</i>	0
<i>Tensile Strength Y Direction (MPa)</i>	0
<i>Tensile Strength Z Direction (MPa)</i>	5,31
<i>Shear Modulus XY (MPa)</i>	$1 \cdot 10^{-6}$
<i>Shear Modulus YZ (MPa)</i>	193,05
<i>Shear Modulus XZ (MPa)</i>	482,63

Sumber: *Hexcell Composite datasheet*

4.4.3 Pemodelan Pembebanan

Pemodelan pembebanan adalah pengaturan gaya yang akan bekerja saat simulasi berlangsung. Gaya yang digunakan disini adalah gaya berat komponen yang menempel pada chassis (*external load*) dan gaya chassis sendiri (*internal load*). Dalam hal ini perhitungan gaya berat ditentukan dengan rumus:

$$w = m \cdot g \quad (3-1)$$

Sumber: Y.Surya (2010)

Keterangan:

W = Gaya Berat (Newton)

m = Massa (Kg)

g = Gravitasi (m/s^2)

Berikut adalah perhitungan gaya berat pada tiap variabel terkontrol yang digunakan pada penelitian ini:

1. *Occupant Force*

$$W_{Occupant} = m_{Occupant} \cdot g \cdot SF$$

$$W_{Occupant} = 100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 2$$

$$W_{Occupant} = 1962 \text{ N.}$$

2. *Powertrain Force*

$$W_{Powertrain} = m_{Powertrain} \cdot g \cdot SF$$

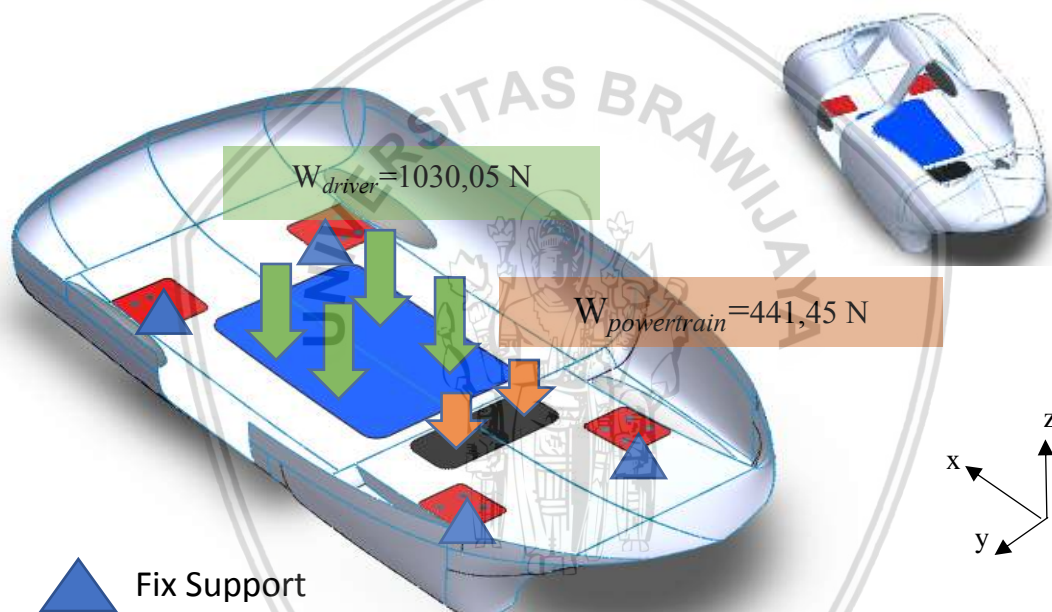
$$W_{Powertrain} = 30 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 2$$

$$W_{Powertrain} = 588,8 \text{ N}$$

Pembebanan pada chassis dilakukan secara statis. *Chassis* dimodelkan sebagai *flexible body* yaitu objek yang mengalami deformasi, sedangkan *fixed support* dimodelkan sebagai *rigid body* atau objek yang tidak mengalami deformasi seperti tumpuan poros pada *chassis*. Jenis koneksi pada masing-masing komponen pada simulasi ini digunakan adalah *bonded*. Koneksi *bonded* digunakan untuk menyambung antara *fixed support* dan *chassis*. Pemodelan pembebanan yang diberikan pada penelitian ini yaitu *vertical bending* dan torsional.

4.4.3.1 Pembebanan *Vertical Bending*

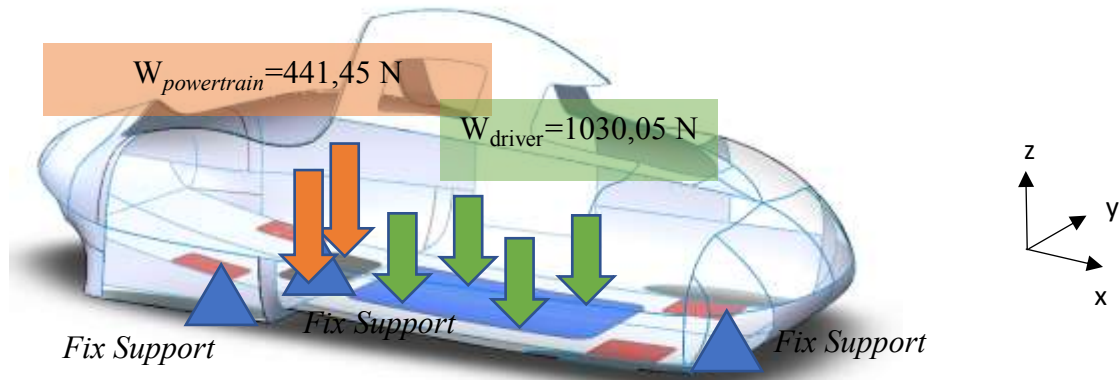
Gaya yang terjadi akibat *vertical bending* berasal dari komponen dan pengemudi pada kendaraan. Penempatan gaya dan tumpuan dijelaskan pada gambar 3.3 dan gambar 3.4



Gambar 3.3 Pemodelan pembebanan *vertical bending*

4.4.3.1 Pembebanan Torsional

Gaya yang terjadi akibat gaya *Torsional* berasal dari salah satu roda pada kendaraan ketika melewati permukaan yang tidak sejajar. Maka dalam kasus ini salah satu tumpuan poros roda depan masuk kedalam lubang secara bebas sehingga memberikan gaya torsi pada arah *longitudinal* kendaraan. Penempatan gaya dan tumpuan dijelaskan pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.

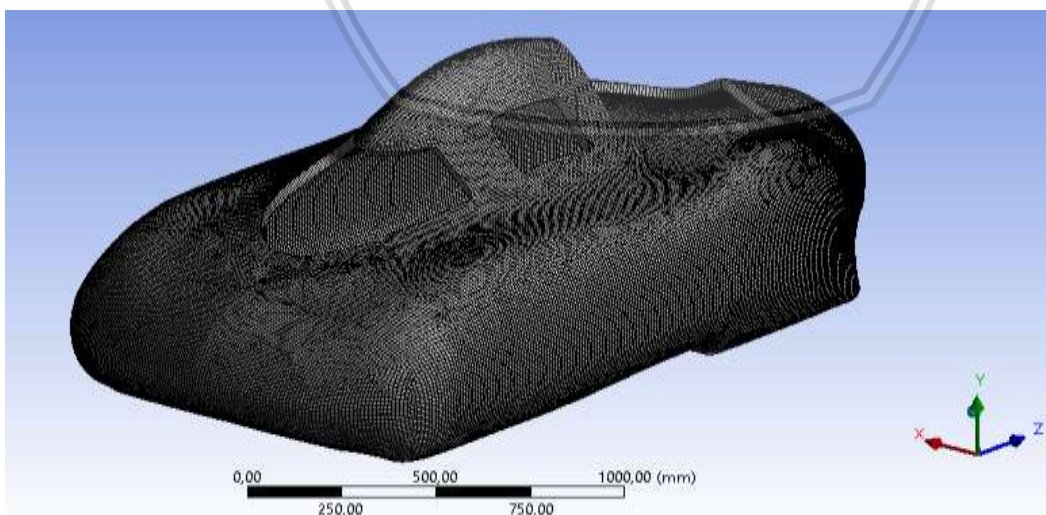


Gambar 3.4 Pemodelan pembebanan torsional

3.5 Meshing

Meshing merupakan proses pembagian elemen tak berhingga menjadi elemen dengan jumlah yang berhingga (terhitung). Setiap elemen tersusun atas simpul-simpul (*node*). Proses perhitungan numerik dilakukan pada setiap *node*. Semakin banyak pembagian elemen maka akan semakin banyak *node* yang terbentuk sehingga diperoleh hasil analisis yang semakin akurat namun kinerja komputer semakin berat karena lebih banyak persamaan matematis yang harus diselesaikan.

Pada penelitian ini dilakukan proses *meshing* secara manual dengan ukuran *mesh* untuk *chassis* sebesar 10 mm dengan metode *all triangles* (elemen bentuk segitiga) berjumlah 76734 dan *node* 64656 dengan jenis element yang digunakan adalah *shell 181* dikarenakan cocok untuk struktur cangkang yang memiliki ketebalan. Hasil *meshing* pada *software ANSYS* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Meshing pada model urban concept

3.6 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, prosedur penelitian yang dilakukan mempunyai urutan sebagai berikut.

1. Proses pembuatan model menggunakan software *CAD SolidWork 2015*. Desain model mengacu kepada regulasi KMHE 2017 dan SEM-A 2018. Model yang memiliki aerodinamika terbaik yang dipakai dan dilanjutkan ke tahap simulasi struktur *chassis*.
2. Sistem analisis yang digunakan pada *software* berbasis metode elemen hingga adalah *static structural*. Pendefinisian material *chassis* sesuai dengan Tabel 3.2. Langkah yang pertama adalah *import* geometri dari SolidWork ke ANSYS menggunakan file berformat *IGS*. Selanjutnya pengaturan *mesh* dilanjutkan dengan pengaturan *boundary condition* sesuai Gambar 3.2. Setelah selesai menentukan kondisi batas yang dibutuhkan untuk proses simulasi, maka dilakukan proses pengaturan sudut ketebalan *Skins* dan *Honeycomb Nomex* pada masing – masing model dengan ACP(pre) 18.2. Setelah itu dilakukan proses pembebanan dengan *Static Structural*. setelah itu menggunakan *Parametric* agar mempermudah proses simulasi untuk 12 model. Setelah itu pembacaan *result*.
3. Data hasil simulasi berupa distribusi tegangan serta deformasi pada pengujian *chassis* diolah menggunakan *Microsoft Excel 2016* untuk selanjutnya mendapatkan grafik deformasi dan tegangan. Perhitungan distribusi tegangan oleh *chassis* didapatkan dari nilai tegangan di masing–masing permodelan dan dapat diamati secara visual. Sedangkan deformasi dari *chassis* dapat diamati secara visual baik dalam kondisi model utuh maupun potongan.
4. Analisis dan pembahasan hasil pengujian pada masing-masing model dilakukan berdasarkan perhitungan distribusi tegangan serta analisa deformasi.
5. Hasil analisis *equivalent stress*, *total deformation*, dan kegagalan yang telah di proses oleh *software* dianalisa dan diolah untuk mendapatkan tujuan penelitian.

3.6 Langkah Simulasi pada Software FEA

Proses simulasi dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap, yakni:

1. *Pre-processing* (Proses Awal)
 - a. Pendefinisian Masalah dengan menentukan tipe analisis dalam penelitian ini menggunakan *Static Structural*.
 - b. Memasukkan data material untuk komponen *chassis*.
 - c. Pembuatan geomteri pada *Design Modeler*.

- d. Melakukan *meshing* pada masing-masing komponen model.
 - e. Mengatur variasi sudut *orientasi woven* masing – masing model dengan ACP 18.2
 - f. Menentukan *boundary condition*.
2. *Solution* (Proses Solusi)

Pada proses *solution* menentukan data perhitungan yang ingin ditampilkan pada hasil setelah dilakukan proses simulasi. Pada penelitian ini hasil yang ingin dihitung oleh komputer adalah *equivalent stress* dan *directional deformation*. Pada tahap ini juga diberikan informasi mengenai estimasi waktu pada proses perhitungan (*running*).

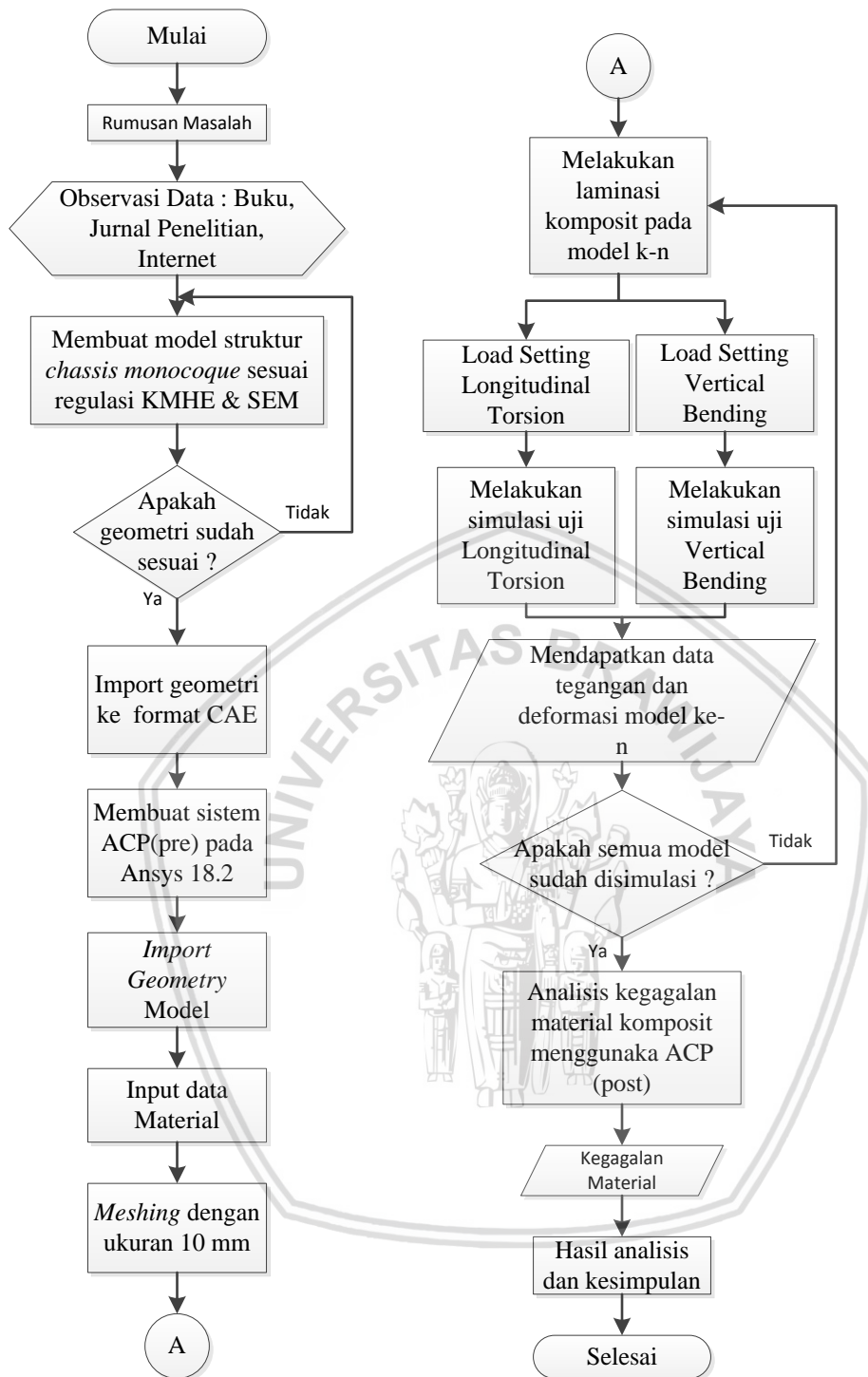
3. *Post-processing*

Merupakan tahap pembacaan hasil berupa visualisasi hasil perhitungan berupa *contour plot*, grafik, dan tabel. Pada penelitian ini didapatkan data *directional deformation*, dan *equivalent stress* untuk selanjutnya diolah menggunakan *Microsoft Excel* 2016.

3.8 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan dibawah ini.





Gambar 3.6 Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Total Deformasi Chassis

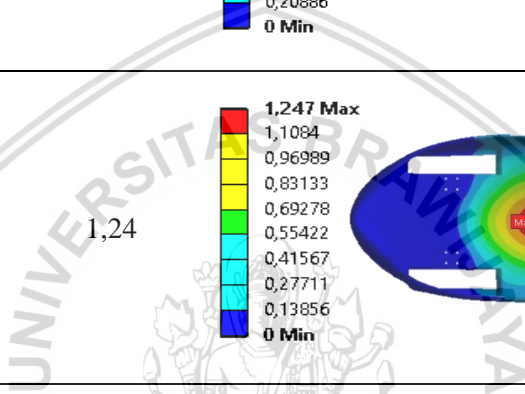
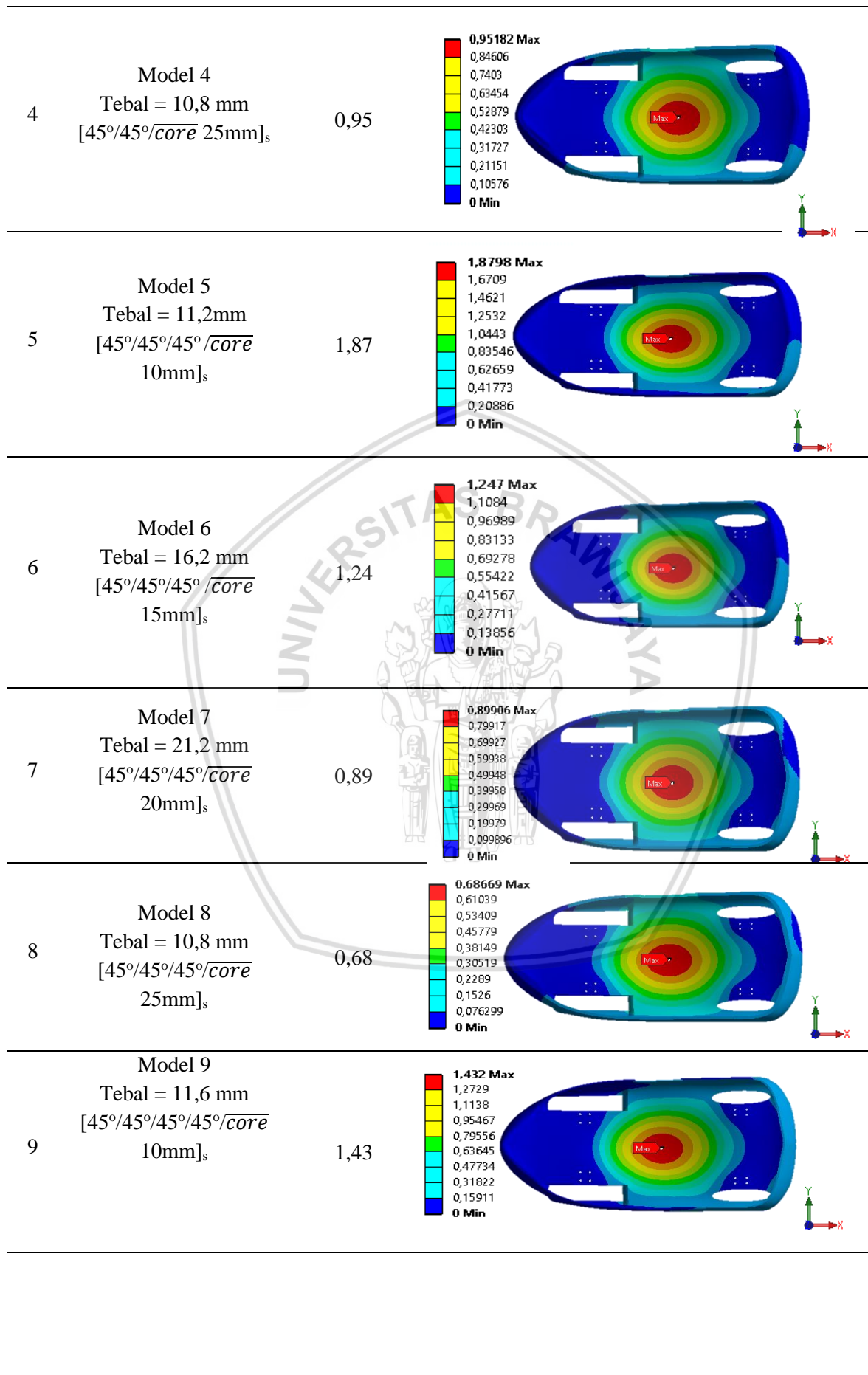
4.1.1 Analisis Total Deformasi Pada Variasi Tebal Skin dan Tebal Honeycomb Core Pengujian Vertical Bending

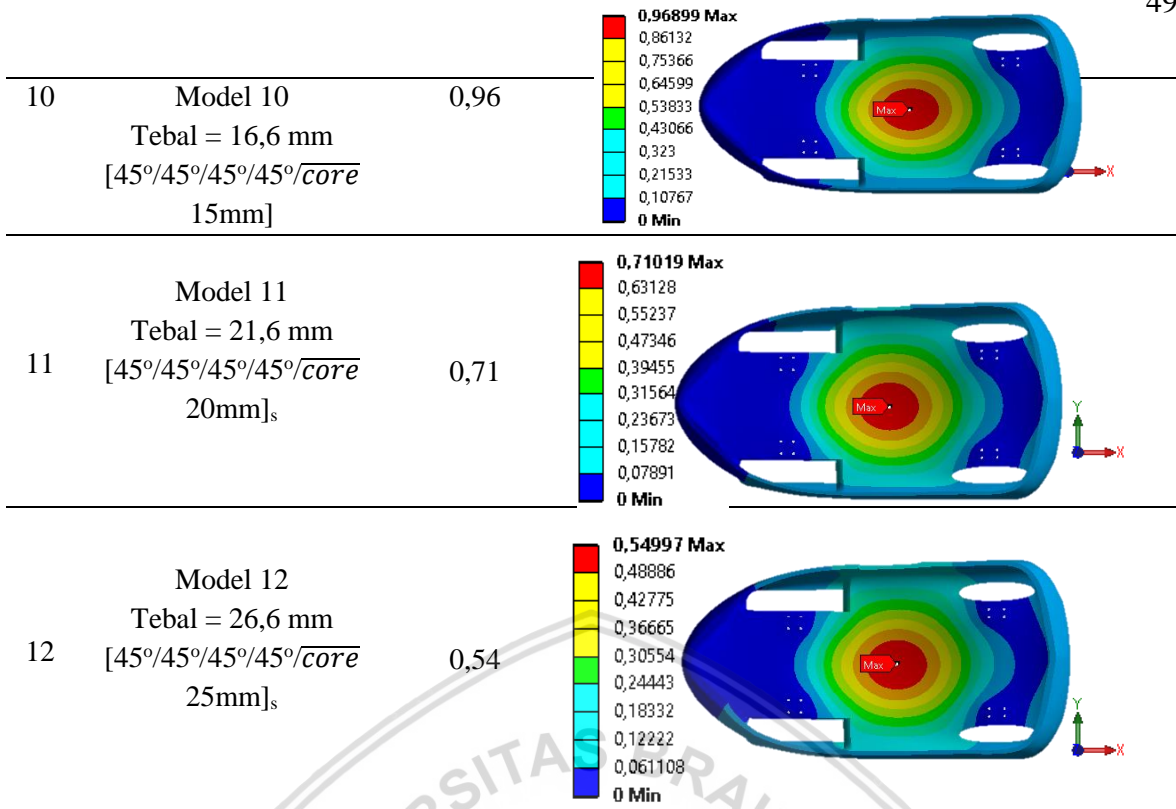
Pengujian *vertical bending* dilakukan pada 12 model chassis dengan variasi tebal *skin* dan tebal *honeycomb core*. Peletakan sebaran deformasi tiap model kurang lebih sama tiap model, yaitu deformasi maksimum tiap model tersebar didaerah permukaan yang terkena beban *vertical* dari berat *driver*. Total deformasi maksimal tiap model berada pada peletakan beban *driver*. Deformasi tidak terlihat tersebar ke bagian atas struktur mobil, terlihat berwarna biru membuktikan deformasi yang terjadi sangatlah kecil. Sebaran total deformasi tiap model ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1
Total Deformasi Variasi Tebal *Skin* dan Tebal *Honeycomb Core* pada Pengujian *Vertical Bending*

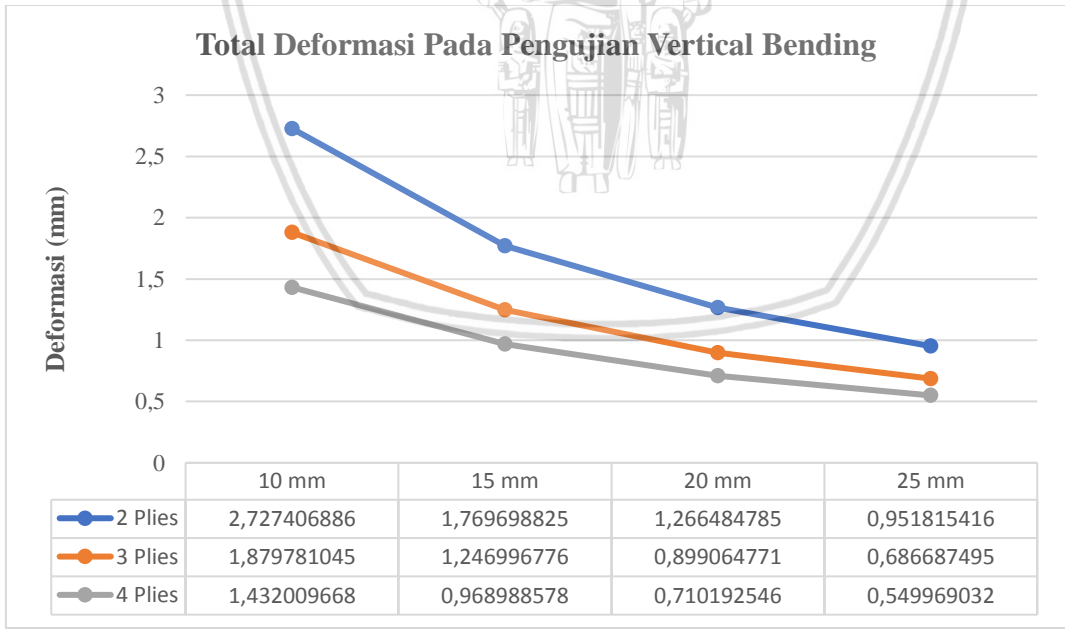
No	Chassis	Deformasi (mm)		Visual	Sumbu Kordinat
		Maksimum	Legend		
1	Model 1 Tebal = 10,8 mm [45°/45°/core 10mm] _s	2,75			
2	Model 2 Tebal = 15,8 mm [45°/45°/core 15mm] _s	1,76			
3	Model 3 Tebal = 20,8 mm [45°/45°/core 20mm] _s	1,26			







Pengujian *vertical bending* dilakukan untuk mengetahui lendutan atau defleksi pada chassis saat diberi beban driver dan seluruh komponen. Hal ini juga terjadi ketika kendaraan mengalami akselerasi atau deselerasi secara tiba-tiba. Lendutan atau defleksi dapat dilihat melalui total deformasi.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan total deformasi pengujian *vertical bending*

Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan total deformasi tiap model pada pembebanan *vertical bending*. Nilai deformasi tertinggi dari semua model terjadi pada model ke-1 sebesar 2,72 mm dan nilai deformasi terendah dari semua terjadi pada model ke-12 sebesar 0,54 mm. Ini dikarenakan pada model ke-1 memiliki struktur *sandwich* paling tipis dari semua model.



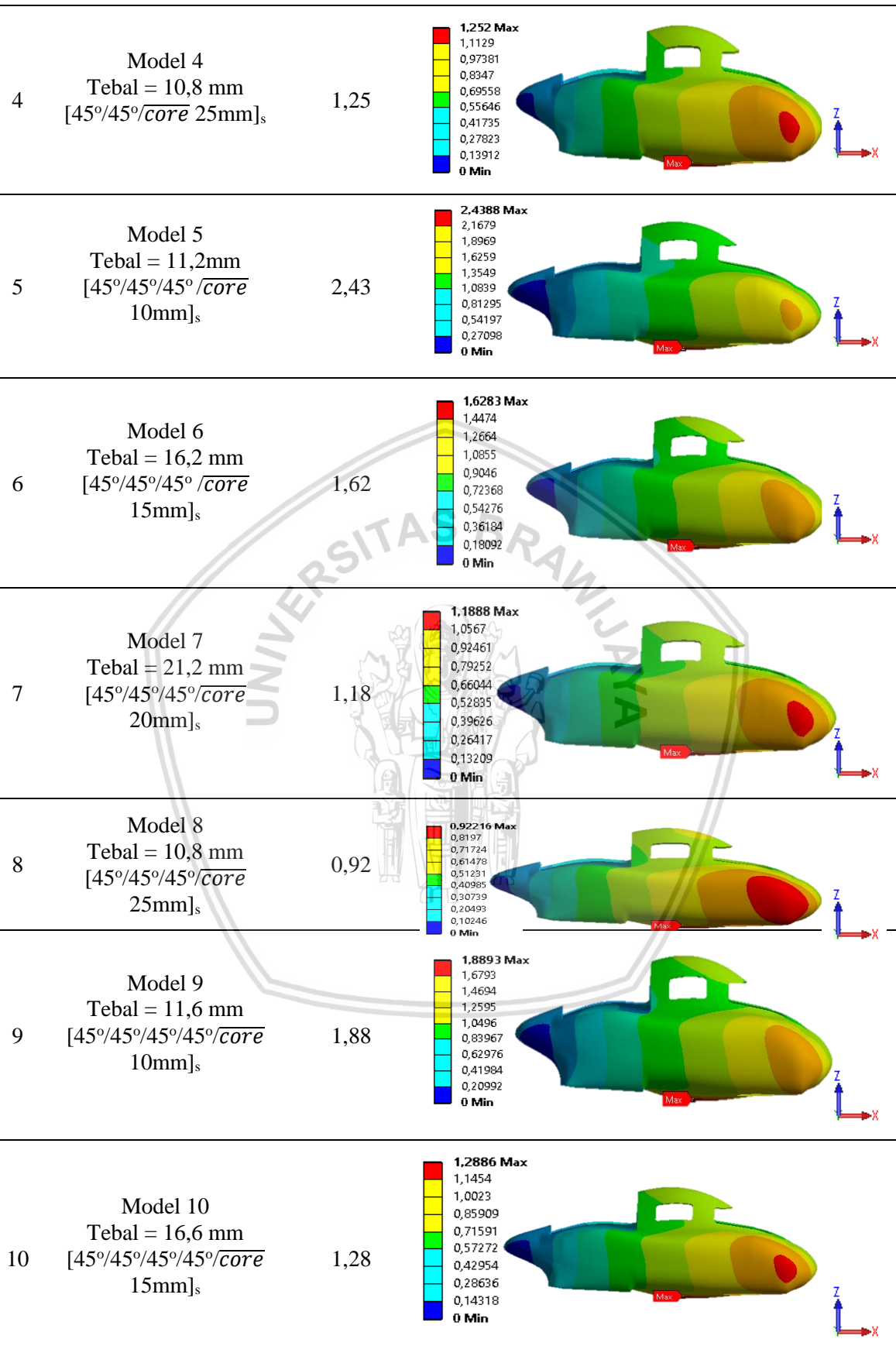
Sedangkan model ke-12 memiliki struktur paling tebal dari semua model. Semakin tebal *core* dan *skin* pada struktur *sandwich* akan meningkat kekakuan pada *sandwich* semakin besar, sehingga nilai deformasi yang dialami *chassis* semakin kecil.

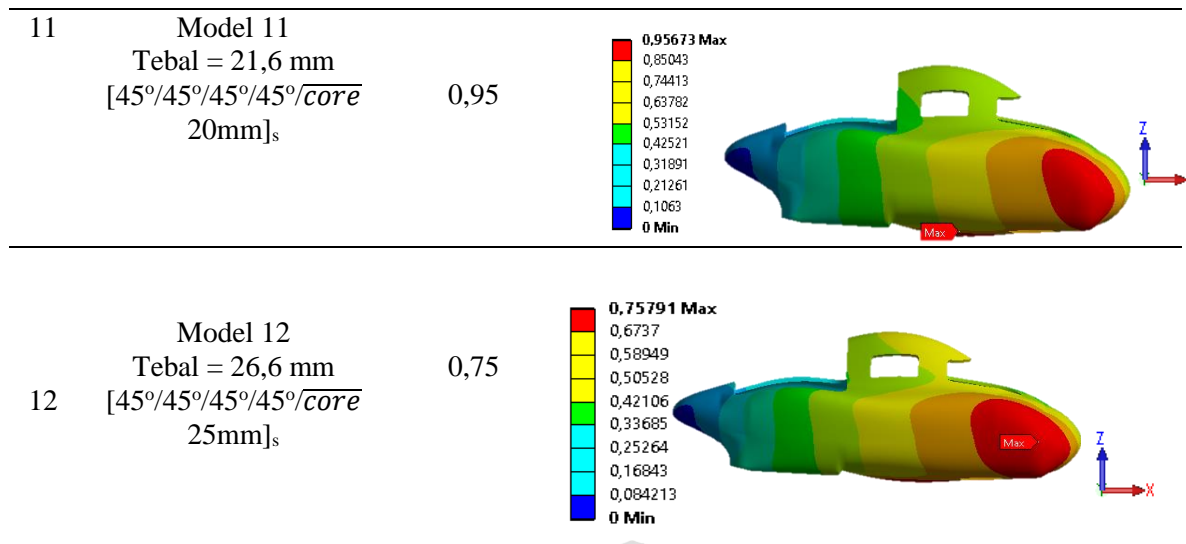
4.1.2 Analisis Total Deformasi Pada Variasi Tebal *Skin* dan Tebal *Honeycomb Core* Pengujian Torsional

Pengujian Torsional dilakukan pada 12 model *chassis* dengan variasi tebal *Skin* dan tebal *honeycomb core*. Peletakan sebaran deformasi tiap model kurang lebih sama, yaitu deformasi maksimum tiap model tersebar didaerah permukaan yang terkena beban *vertical* dari berat *driver*. deformasi maksimum tiap model berada di peletakan beban *driver*. Deformasi akibat beban torsional tersebar hingga struktus atas mobil, tetapi nilainya tidak terlalu besar. Sebaran deformasi tiap model ditampilkan pada Tabel 4.2

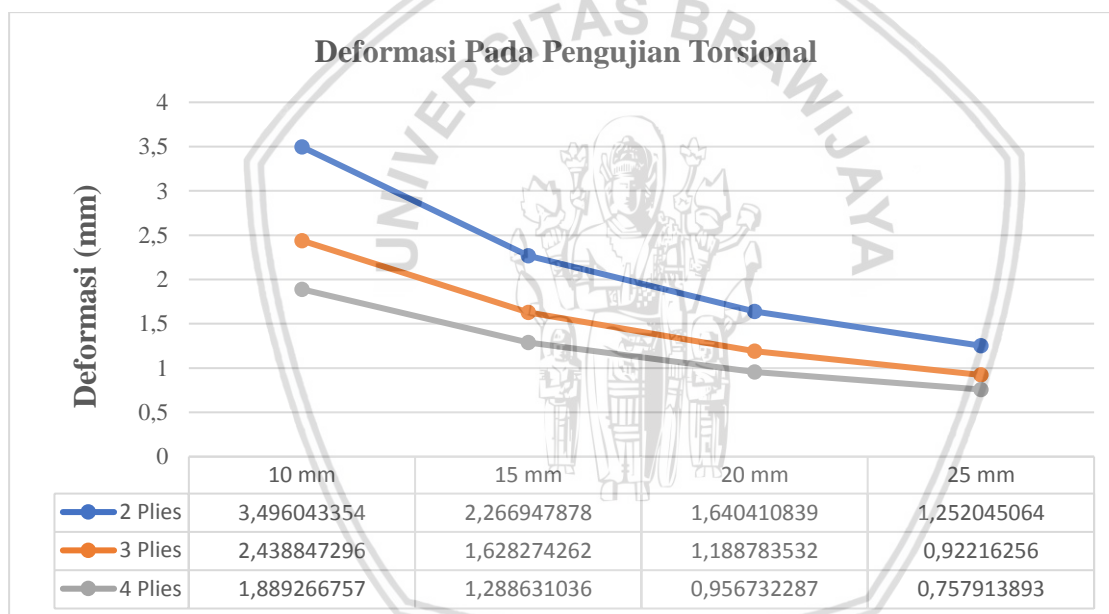
Tabel 4.2
Total Deformasi Variasi Tebal *Skin* dan Tebal *Honeycomb Core* pada Pengujian Torsional

No	Chassis	Deformasi (mm)		Visual	Sumbu Koordinat
		Maksimum	Legend		
1	Model 1 Tebal = 10,8 mm [45°/45°/core 10mm] _s	3,49	<p>3,496 Max 3,1076 2,7191 2,3307 1,9422 1,5538 1,1653 0,7769 0,38845 0 Min</p>		
2	Model 2 Tebal = 15,8 mm [45°/45°/core 15mm] _s	2,26	<p>2,2669 Max 2,0151 1,7632 1,5113 1,2594 1,0075 0,75565 0,50377 0,25188 0 Min</p>		
3	Model 3 Tebal = 20,8 mm [45°/45°/core 20mm] _s	1,64	<p>1,6404 Max 1,4581 1,2759 1,0936 0,91134 0,72907 0,5468 0,36454 0,18227 0 Min</p>		





Pengujian torsional dilakukan untuk mengetahui kekakuan *chassis* untuk menahan kecenderungan terpuntir saat kendaraan berjalan pada kondisi jalan yang tidak rata.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan total deformasi pada pengujian torsional

Grafik pada Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan total deformasi tiap model pada pembebanan torsional. Nilai deformasi tertinggi dari semua model terjadi pada model ke-1 sebesar 3,49 mm dan nilai deformasi terendah dari semua terjadi pada model ke-12 sebesar 0,75 mm. Ini dikarenakan pada model ke-1 memiliki struktur *sandwich* paling tipis dari semua model. Sedangkan model ke-12 memiliki struktur paling tebal dari semua model. Semakin tebal *core* dan *skin* pada struktur *sandwich* akan meningkat kekakuan pada *sandwich*, sehingga nilai deformasi yang dialami *chassis* semakin kecil. Hal ini sesuai dengan dasar teori. Pada rumus hubungan regangan terhadap matrik kekakuan [ABD] berikut.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon^{\circ} \text{ xx} \\ \varepsilon^{\circ} \text{ yy} \\ \gamma^{\circ} \text{ xy} \end{bmatrix} = [A^{-1}] \begin{bmatrix} N \text{ xx} \\ N \text{ yy} \\ N \text{ xy} \end{bmatrix}. \quad (4-1)$$

$$\begin{bmatrix} k \text{ xx} \\ k \text{ yy} \\ k \text{ xy} \end{bmatrix} = [D^{-1}] \begin{bmatrix} M \text{ xx} \\ M \text{ yy} \\ M \text{ xy} \end{bmatrix} \quad (4-2)$$

Maka regangan didapatkan

$$\begin{bmatrix} \varepsilon \text{ xx} \\ \varepsilon \text{ yy} \\ \gamma \text{ xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon^{\circ} \text{ xx} \\ \varepsilon^{\circ} \text{ yy} \\ \gamma^{\circ} \text{ xy} \end{bmatrix} + Z \begin{bmatrix} k \text{ xx} \\ k \text{ yy} \\ k \text{ xy} \end{bmatrix} \quad (4-3)$$

Dimana:

$\varepsilon^{\circ} \text{ xx}, \varepsilon^{\circ} \text{ yy}$ = Regangan normal pada *midplane*

$\gamma^{\circ} \text{ xy}$ = Regangan geser pada *midplane xy*.

$k \text{ xx}, k \text{ yy}$ = Kelengkungan *bending*

$k \text{ xy}$ = Kelengkungan puntir

$N \text{ xx}, N \text{ yy}$ = Gaya normal arah x dan y

$N \text{ xy}$ = Resultan gaya geser

$M \text{ xx}$ = Bending momen di plane YZ

$M \text{ yy}$ = Bending momen di plane XZ

$M \text{ xy}$ = Momen Torsi

Z = Kordinat titik terluar lamina dari *midplane*

Meningkatnya tebal *skin* dan *core* akan meningkatkan matrik kekakuan [A] dan [D], dimana [B] = 0 pada *laminata balance* simetri. meningkatnya matrik kekakuan [A] akan menurunkan regangan normal $\varepsilon^{\circ} \text{ xx}, \varepsilon^{\circ} \text{ yy}$ dan regangan geser $\gamma^{\circ} \text{ xy}$ pada *midplane*. Sedangkan meningkatnya matrik kekakuan [D] akan menurunkan kelengkungan bending $k \text{ xx}, k \text{ yy}$ dan puntir $k \text{ xy}$. Dengan mengasumsikan nilai gaya normal (N_{xx} dan N_{yy}), resultan gaya geser N_{xy} , momen bending (M_{xx} dan M_{yy}) dan momen torsi (M_{xy}) konstan. Nilai regangan akan menurun seiring meningkatnya matrik kekakuan [A] dan [D]. Hal ini akan mengakibatkan tegangan yang terjadi pada *laminata sandwich* cenderung menurun.

Hal ini dapat dibuktikan dengan membandingkan regangan per *ply* menggunakan perhitungan manual.

Regangan Per Ply terhadap Ketebalan Core

Tabel 4.3

Regangan Per Ply Model 1 [45/45/core 10mm]s

Lapisan	Z (mm)	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	γ_{xy}
Ply 1	-5,4	1,35702E-05	1,35702E-05	523,814E-05
	-5,2	1,36956E-05	1,36956E-05	523,841E-05
Ply 2	-5,2	1,36956E-05	1,36956E-05	523,841E-05
	-5,0	1,38209E-05	1,38209E-05	523,869E-05
Core	-5,0	1,38209E-05	1,38209E-05	523,869E-05
	0	1,69554E-05	1,69554E-05	524,562E-05
	5	2,00898E-05	2,00898E-05	525,255E-05
Ply 3	5	2,00898E-05	2,00898E-05	525,255E-05
	5,2	2,02152E-05	2,02152E-05	525,283E-05
Ply 4	5,2	2,02152E-05	2,02152E-05	525,283E-05
	5,4	2,03406E-05	2,03406E-05	525,310E-05

Tabel 4.4

Regangan Per Ply Model 2 [45/45/core 15mm]s

Lapisan	Z (mm)	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	γ_{xy}
Ply 1	-7,9	1,19959E-05	1,19959E-05	2,65456E-05
	-7,7	1,21213E-05	1,21213E-05	2,68228E-05
Ply 2	-7,7	1,21213E-05	1,21213E-05	2,68228E-05
	-7,5	1,22466E-05	1,22466E-05	2,71E-05
Core	-7,5	1,22466E-05	1,22466E-05	2,71E-05
	0	1,69466E-05	1,69466E-05	3,74944E-05
	7,5	2,16466E-05	2,16466E-05	4,78889E-05
Ply 3	7,5	2,16466E-05	2,16466E-05	4,78889E-05
	7,7	2,17719E-05	2,17719E-05	4,81661E-05
Ply 4	7,7	2,17719E-05	2,17719E-05	4,81661E-05
	7,9	2,18972E-05	2,18972E-05	4,84432E-05

Hal ini di buktikan pada model 1 [45/45/core 10mm]s dan model 2 [45/45/core 15mm]s. Model 1 dan 2 memiliki ketebalan *skin* yang sama yaitu 4 *plies* dengan perbedaan tebal core 10mm dan 15mm. Dari hasil perhitungan dengan persamaan (4-3) didapatkan perbandingan regangan yang terjadi pada model 1 dan model 2 mengalami penurunan regangan tiap lapisnya. Pada model 1 [45/45/core 10mm]s dan model 2 [45/45/core 15mm]s penurunan yang signifikan terjadi pada regangan geser arah xy tiap lapisnya. Hal ini dikarenakan ketebalan core akan mempengaruhi kekakuan dari struktur *sandwich*, sehingga regangan yang terjadi cenderung menurun.

Regangan Per Ply Terhadap Ketebalan Skin

Tabel 4.5

Regangan Per Ply Model 1 [45/45/core 10 mm]s

Lapisan	Z (mm)	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	γ_{xy}
Ply 1	-5,4	1,35702E-05	1,35702E-05	523,814E-05
	-5,2	1,36956E-05	1,36956E-05	523,841E-05
Ply 2	-5,2	1,36956E-05	1,36956E-05	523,841E-05
	-5,0	1,38209E-05	1,38209E-05	523,869E-05
Core	-5,0	1,38209E-05	1,38209E-05	523,869E-05

Lapisan	Z (mm)	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	γ_{xy}
	0	1,69554E-05	1,69554E-05	524,562E-05
	5	2,00898E-05	2,00898E-05	525,255E-05
Ply 3	5	2,00898E-05	2,00898E-05	525,255E-05
	5,2	2,02152E-05	2,02152E-05	525,283E-05
Ply 4	5,2	2,02152E-05	2,02152E-05	525,283E-05
	5,4	2,03406E-05	2,03406E-05	525,310E-05

Tabel 4.6

Regangan Per Ply Model 5 [45/45/45/core 10 mm]s

Lapisan	Z (mm)	ϵ_{xx}	ϵ_{yy}	γ_{xy}
Ply 1	-5,6	8,99403E-06	8,99403E-06	1,98871E-05
	-5,4	9,07656E-06	9,07656E-06	2,00696E-05
Ply 2	-5,4	9,07656E-06	9,07656E-06	2,00696E-05
	-5,2	9,15909E-06	9,15909E-06	2,0252E-05
Ply 3	-5,2	9,15909E-06	9,15909E-06	2,0252E-05
	-5	9,24162E-06	9,24162E-06	2,04345E-05
Core	-5	9,24162E-06	9,24162E-06	2,04345E-05
	0	1,13049E-05	1,13049E-05	2,49957E-05
	5	1,33682E-05	1,33682E-05	2,9557E-05
Ply 4	5	1,33682E-05	1,33682E-05	2,9557E-05
	5,2	1,34507E-05	1,34507E-05	2,97394E-05
Ply 5	5,2	1,34507E-05	1,34507E-05	2,97394E-05
	5,4	1,35332E-05	1,35332E-05	2,99219E-05
Ply 6	5,4	1,35332E-05	1,35332E-05	2,99219E-05
	5,6	1,36158E-05	1,36158E-05	3,01043E-05

Hal ini di buktikan pada model 1 [45/45/core 10mm]s dan model 5 [45/45/45/core 10mm]s. Model 1 dan model 5 memiliki ketebalan *core* yang sama yaitu 10 mm dengan perbedaan ketebalan *skin*. Dari hasil perhitungan dengan persamaan (4-3) didapatkan perbandingan regangan pada model 1 dan model 5. Regangan arah x, y serta regangan geser xy mengalami kecenderungan menurun setelah penambahan skin. Hal ini dikarenakan ketebalan skin akan mempengaruhi kekakuan dari struktur *sandwich*, sehingga regangan yang terjadi cenderung menurun.

4.2 Analisis Distribusi Tegangan Pada Chassis

4.2.1 Analisis Tegangan Pada Variasi Tebal Skin dan Tebal *Honeycomb Core*

Pengujian *Vertical Bending*

Uji *vertical bending* digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan dan lendutan atau defleksi pada *chassis* saat kendaraan mengalami akselerasi atau deselerasi secara tiba-tiba dan saat diberikan beban seluruh komponen kendaraan.

Distribusi tegangan pada pengujian *vertical bending* dapat dilihat pada Tabel 4.1 Distribusi tegangan pada tiap model hampir berada di area yang sama, yaitu sekitar kursi

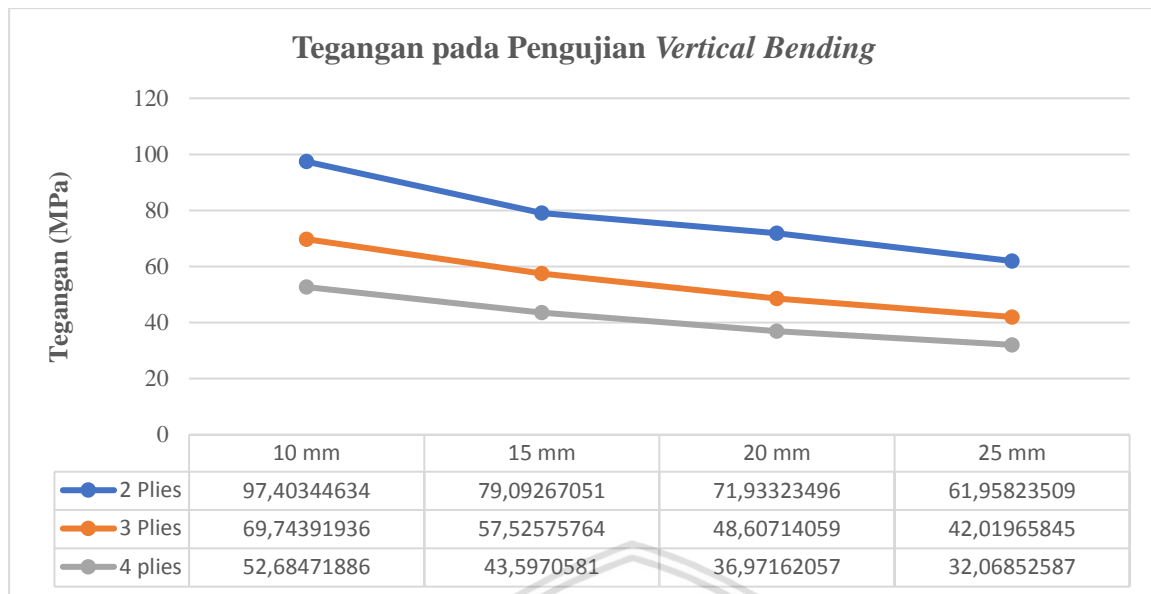
driver dan lubang-lubang joint tumpuan poros depan maupun belakang. Pada semua model dapat dilihat pada Tabel 4.1, distribusi tegangan hampir tidak terlihat pada struktur bagian atas mobil, ini dikarenakan beban hanya terjadi di bagian floor, dan menghasilkan tegangan maksimum yang sangat kecil. Dibuktikan dari warna biru pada permukaan. Sehingga tegangan tidak tersebar ke bagian atas struktur. Letak tegangan maksimum berada pada joint tumpuan poros belakang.

Tabel 4.7
Tegangan Pada Variasi Tebal Skin Dan Tebal Honeycomb Core Pada Pengujian Vertical Bending

No	Chassis	Tegangan (MPa)		Visual	Sumbu Kordinat
		Maksimum	Legend		
1	Model 1 Tebal = 10,8 mm [45°/45°/core 10mm] _s	97,40			
2	Model 2 Tebal = 15,8 mm [45°/45°/core 15mm] _s	79,09			
3	Model 3 Tebal = 20,8 mm [45°/45°/core 20mm] _s	71,93			
4	Model 4 Tebal = 10,8 mm [45°/45°/core 25mm] _s	61,95			
5	Model 5 Tebal = 11,2mm [45°/45°/45°/core 10mm] _s	69,74			



6	Model 6 Tebal = 16,2 mm [45°/45°/45°/core 15mm] _s	57,52	<p>57,526 Max 51,134 44,743 38,351 31,959 25,568 19,176 12,784 6,3927 0,0011187 Min</p>
7	Model 7 Tebal = 21,2 mm [45°/45°/45°/core 20mm] _s	48,60	<p>48,607 Max 43,206 37,806 32,405 27,004 21,604 16,203 10,802 5,4017 0,0009796 Min</p>
8	Model 8 Tebal = 10,8 mm [45°/45°/45°/core 25mm] _s	42,02	<p>42,02 Max 37,351 32,682 28,013 23,345 18,676 14,007 9,3382 4,6694 0,00058291 Min</p>
9	Model 9 Tebal = 11,6 mm [45°/45°/45°/45°/core 10mm] _s	52,68	<p>52,685 Max 46,831 40,977 35,123 29,27 23,416 17,562 11,708 5,8547 0,00094688 Min</p>
10	Model 10 Tebal = 16,6 mm [45°/45°/45°/45°/core 15mm] _s	43,59	<p>43,597 Max 38,753 33,909 29,065 24,221 19,377 14,533 9,6885 4,8444 0,00036426 Min</p>
11	Model 11 Tebal = 21,6 mm [45°/45°/45°/45°/core 20mm] _s	36,97	<p>36,972 Max 32,864 28,756 24,648 20,54 16,432 12,324 8,2166 4,1087 0,00086862 Min</p>
12	Model 12 Tebal = 26,6 mm [45°/45°/45°/45°/core 25mm] _s	32,06	<p>32,069 Max 28,505 24,942 21,379 17,816 14,253 10,69 7,1268 3,5637 0,00058508 Min</p>



Gambar 4.3 Grafik perbandingan distribusi tegangan pada pengujian *vertical bending*

Grafik pada Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan tegangan maksimum pada tiap model dengan pengujian *vertical bending*. Tegangan maksimum terjadi pada model ke-1 [45/45/ \overline{core} 10mm]s sebesar 97,40 MPa, merupakan model yang memiliki nilai tegangan tertinggi dari semua model. Sedangkan tegangan terkecil dari semua model yaitu model ke-12 [45/45/45/ \overline{core} 25mm]s sebesar 32,06 MPa. Tebal sandwich akan mempengaruhi nilai tegangan maksimum. Hal ini dikarenakan semakin tebal core dan skin dari struktur sandwich akan menurunkan nilai tegangan pada *core* dan skin.

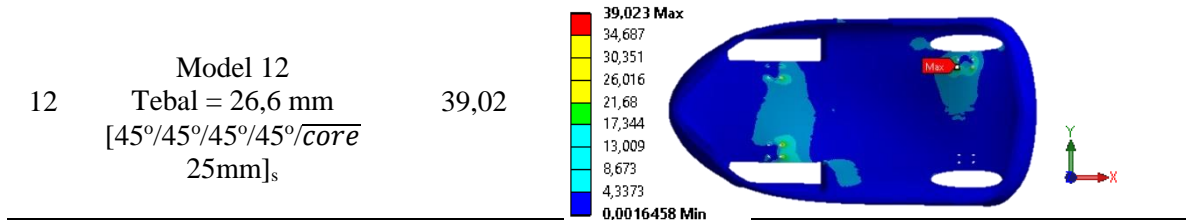
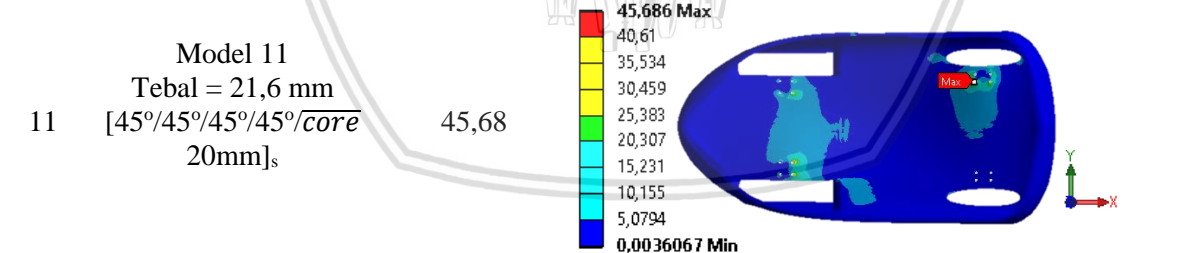
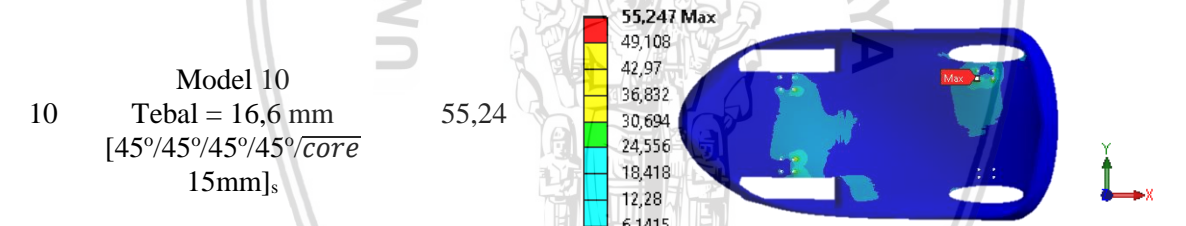
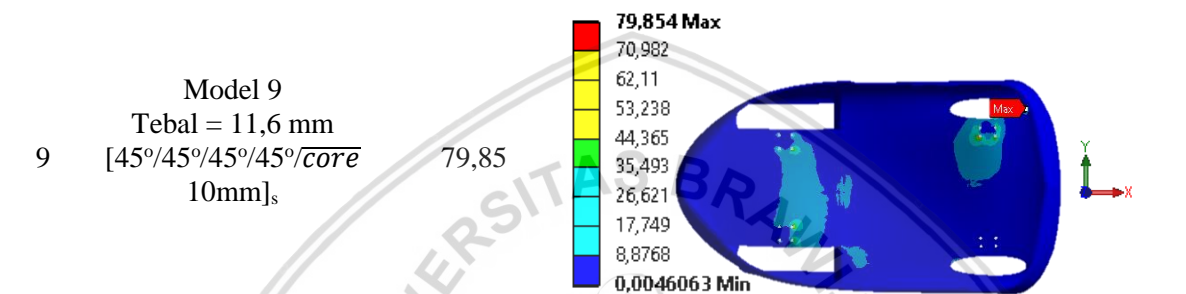
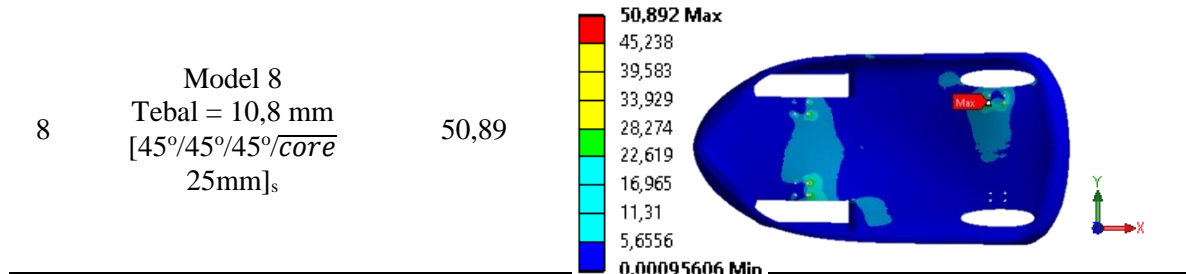
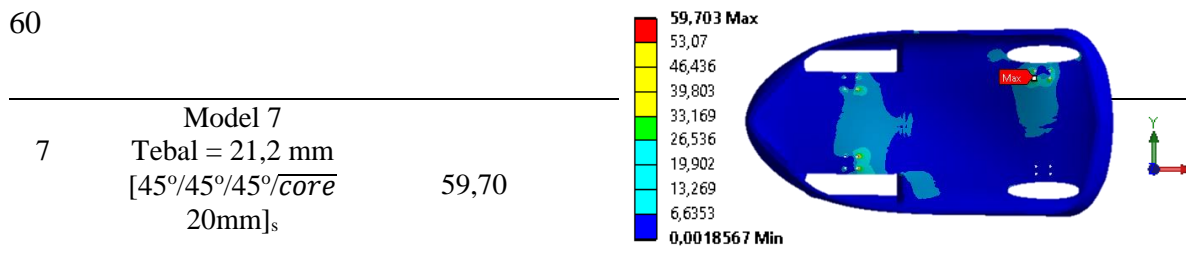
4.2.2 Analisis Tegangan Pada Variasi Tebal *Skin* dan Tebal *Honeycomb Core* Uji Torsional

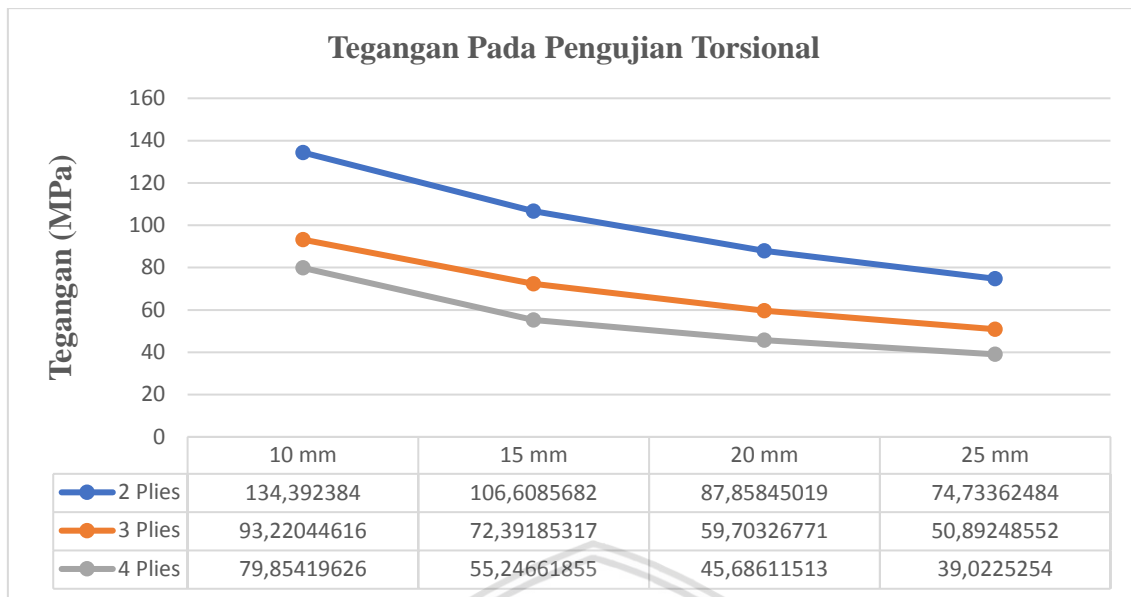
Distribusi tegangan pada pengujian *Vertical bending* dapat dilihat pada tabel 4.2 Distribusi tegangan pada tiap model hampir berada di area yang sama, yaitu sekitar joint tumpuan poros depan kanan dimana sisi tersebut adalah sisi *joint* yang tidak di *fix support* sedangkan 3 sisi join lainnya di *fix support*. Sehingga terjadi defleksi di sisi *joint* yang tidak dikenakan *fix support*. Pada semua model dapat dilihat pada tabel 4.8 distribusi tegangan hampir tidak terlihat pada struktur bagian atas mobil, ini dikarenakan tegangan maksimum sangat kecil dibuktikan dari warna biru pada permukaan atas dan bawah mobil.

Tabel 4.8

Tegangan pada Variasi Ketebalan *Skin* dan Ketebalan *Honeycomb Core* pada pengujian Torsional

No	Chassis	Tegangan (MPa)		Visual	Sumbu Kordinat
		Maksimum	Legend		
1	Model 1 Tebal = 10,8 mm [45°/45°/core 10mm] _s	134,39			
2	Model 2 Tebal = 15,8 mm [45°/45°/core 15mm] _s	106,61			
3	Model 3 Tebal = 20,8 mm [45°/45°/core 20mm] _s	87,85			
4	Model 4 Tebal = 10,8 mm [45°/45°/core 25mm] _s	74,73			
5	Model 5 Tebal = 11,2mm [45°/45°/45°/core 10mm] _s	93,22			
6	Model 6 Tebal = 16,2 mm [45°/45°/45°/core 15mm] _s	73,39			





Gambar 4.4 Grafik perbandingan distribusi tegangan pada pengujian torsional

Grafik pada Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan tegangan maksimum pada tiap model dengan pengujian torsional. Tegangan maksimum terjadi pada model ke-1 [45/45/ \overline{core}] sebesar 134,39 MPa, merupakan model yang memiliki nilai tegangan tertinggi dari 12 model. Sedangkan tegangan terkecil dari 12 model yaitu model ke-12 sebesar 39,02 MPa. Tebal *sandwich* akan mempengaruhi nilai tegangan maksimum. Hal ini dikarenakan semakin tebal *core* dan *skin* dari struktur *sandwich* akan meningkatkan matrik kekakuan [ABD] sehingga tegangan cenderung menurun. Hal ini sesuai dengan landasar teori tentang rumus tegangan pada *core* dan *skin*:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [\overline{Q}_{mn}]_j \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (4-4)$$

Regangan akan mempengaruhi nilai tegangan pada *laminated sandwich*. regangan akan dijabarkan dengan rumus dibawah ini.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon^{\circ}_{xx} \\ \varepsilon^{\circ}_{yy} \\ \gamma^{\circ}_{xy} \end{bmatrix} = [A^{-1}] \begin{bmatrix} N_{xx} \\ N_{yy} \\ N_{xy} \end{bmatrix} \quad (4-5)$$

$$\begin{bmatrix} k_{xx} \\ k_{yy} \\ k_{xy} \end{bmatrix} = [D^{-1}] \begin{bmatrix} M_{xx} \\ M_{yy} \\ M_{xy} \end{bmatrix} \quad (4-6)$$

Regangan didapatkan

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon^{\circ}_{xx} \\ \varepsilon^{\circ}_{yy} \\ \gamma^{\circ}_{xy} \end{bmatrix} + Z \begin{bmatrix} k_{xx} \\ k_{yy} \\ k_{xy} \end{bmatrix} \quad (4-7)$$

Dimana:

ε°_{xx} , ε°_{yy} = Regangan normal pada *midplane*

$\gamma^{\circ} xy$	= Regangan Geser pada midplane xy.
K_{xx}, k_{yy}	= Kelengkungan Bending
k_{xy}	= Kelengkungan puntir
N_{xx}, N_{yy}	= Gaya Normal arah x dan y
N_{xy}	= Resultan gaya geser
M_{xx}	= Bending momen di plane YZ
M_{yy}	= Bending momen di plane XZ
M_{xy}	= Momen Torsi
Z	= Kordinat titik terluar lamina dari <i>midplane</i>

Meningkatnya tebal *skin* dan *core* akan meningkatkan matrik kekakuan [ABD]. meningkatnya matrik kekakuan [A] akan menurunkan regangan normal midplane $\epsilon^{\circ} xx$, $\epsilon^{\circ} yy$ dan regangan geser $\gamma^{\circ} xy$ pada *midplane*. Sedangkan meningkatnya matrik kekakuan [D] akan menurunkan kelengkungan bending k_{xx} , k_{yy} dan puntir k_{xy} . Dengan mengasumsikan nilai gaya normal (N_{xx} dan N_{yy}), resultan gaya geser (N_{xy}), momen bending (M_{xx} dan M_{yy}) dan momen torsi (M_{xy}) konstan.

Nilai tegangan akan menurun seiring meningkatnya matrik kekakuan [A] dan [D]. Hal ini akan mengakibatkan tegangan yang terjadi pada *laminat sandwich* cenderung menurun. Hal ini dapat dibuktikan dengan membandingkan tegangan yang terjadi tiap ply menggunakan perhitungan manual.

Tegangan Per Ply Terhadap Ketebalan Core

Tabel 4.9

Tegangan Per Ply Model 1 [45/45/ \overline{core} 10mm]s

Lapisan	Z (mm)	σ_{xx} (MPa)	σ_{yy} (MPa)	τ_{xy} (MPa)
Ply 1	-5,4	7,526582914	7,526582914	168,7310308
	-5,2	7,535822973	7,535822973	168,7402718
Ply 2	-5,2	7,535822973	7,535822973	168,7402718
	-5,0	7,545063031	7,545063031	168,7495128
Core	-5,0	2,70999E-05	2,70999E-05	5,2387E-09
	0	3,32458E-05	3,32458E-05	5,24562E-09
	5	3,93918E-05	3,93918E-05	5,25255E-09
Ply 3	5	8,007065973	8,007065973	169,2115631
	5,2	8,016306032	8,016306032	169,2208041
Ply 4	5,2	8,016306032	8,016306032	169,2208041
	5,4	8,025546091	8,025546091	169,2300451

Tabel 4.10

Tegangan Per Ply Model 2 [45/45/core 15 mm]s

Lapisan	Z (mm)	σ_{xx} (MPa)	σ_{yy} (MPa)	τ_{xy} (MPa)
Ply 1	-7,9	0,884105414	0,884105414	0,884980285
	-7,7	0,89334228	0,89334228	0,89422129
Ply 2	-7,7	0,89334228	0,89334228	0,89422129
	-7,5	0,902579146	0,902579146	0,903462296
Core	-7,5	2,4013E-05	2,4013E-05	2,71E-11
	0	3,32286E-05	3,32286E-05	3,74944E-11
	7,5	4,24442E-05	4,24442E-05	4,78889E-11
Ply 3	7,5	1,595344066	1,595344066	1,596537702
	7,7	1,604580932	1,604580932	1,605778707
Ply 4	7,7	1,604580932	1,604580932	1,605778707
	7,9	1,613817798	1,613817798	1,615019713

Hal ini di buktikan pada model 1 [45/45/core 10mm]s dan model 2 [45/45/core 15mm]s. Model 1 dan model 2 memiliki ketebalan *skin* yang sama yaitu 4 *plies* dengan perbedaan tebal *core* 10mm dan 15mm. Dari hasil perhitungan dengan persamaan (4-4) didapatkan perbandingan regangan yang terjadi pada model 1 dan model 2 mengalami penurunan tegangan arah x, y dan tegangan geser xy tiap lapisnya. Hal ini dikarenakan ketebalan core akan mempengaruhi kekakuan dari struktur *sandwich*, sehingga tegangan yang terjadi cenderung menurun.

Tegangan Per Ply Terhadap Tebal Skin

Tabel 4.11

Tegangan Per Ply Model 1 [45/45/core 10 mm]s

Lapisan	Z (mm)	σ_{xx} (MPa)	σ_{yy} (MPa)	τ_{xy} (MPa)
Ply 1	-5,4	7,526582914	7,526582914	168,7310308
	-5,2	7,535822973	7,535822973	168,7402718
Ply 2	-5,2	7,535822973	7,535822973	168,7402718
	-5,0	7,545063031	7,545063031	168,7495128
Core	-5,0	2,70999E-05	2,70999E-05	5,2387E-09
	0	3,32458E-05	3,32458E-05	5,24562E-09
	5	3,93918E-05	3,93918E-05	5,25255E-09
Ply 3	5	8,007065973	8,007065973	169,2115631
	5,2	8,016306032	8,016306032	169,2208041
Ply 4	5,2	8,016306032	8,016306032	169,2208041
	5,4	8,025546091	8,025546091	169,2300451

Tabel 4.12

Tegangan Per Ply Model 5 [45/45/45/core 10 mm]s

Lapisan	Z (mm)	σ_{xx} (MPa)	σ_{yy} (MPa)	τ_{xy} (MPa)
Ply 1	-5,6	0,662843795	0,662843795	0,663017031
	-5,4	0,66892611	0,66892611	0,669099756
Ply 2	-5,4	0,66892611	0,66892611	0,669099756
	-5,2	0,675008425	0,675008425	0,675182482
Ply 3	-5,2	0,675008425	0,675008425	0,675182482
	-5	0,68109074	0,68109074	0,681265207
Core	-5	1,81208E-05	1,81208E-05	2,04345E-11
	0	2,21665E-05	2,21665E-05	2,49957E-11
	5	2,62121E-05	2,62121E-05	2,9557E-11

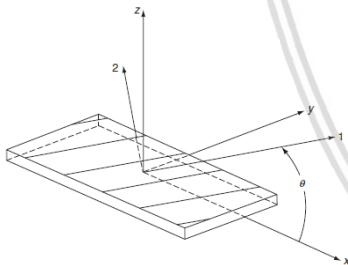
Lapisan	Z (mm)	σ_{xx} (MPa)	σ_{yy} (MPa)	τ_{xy} (MPa)
Ply 4	5	0,985206486	0,985206486	0,98540146
	5,2	0,991288801	0,991288801	0,991484185
Ply 5	5,2	0,991288801	0,991288801	0,991484185
	5,4	0,997371116	0,997371116	0,99756691
Ply 6	5,4	0,997371116	0,997371116	0,99756691
	5,6	1,003453431	1,003453431	1,003649635

Hal ini di buktikan pada model 1 [45/45/*core* 10mm]s dan model 5 [45/45/45/*core* 10mm]s. Model 1 dan model 5 memiliki ketebalan *core* yang sama yaitu 10 mm dengan perbedaan ketebalan *skin*. Dari hasil perhitungan dengan persamaan (4-4) didapatkan perbandingan tegangan arah x, y dan geser xy pada model 1 dan model 5. Tegangan arah x, y serta regangan geser xy mengalami kecenderungan menurun setelah penambahan skin. Hal ini dikarenakan ketebalan skin akan mempengaruhi kekakuan dari struktur *sandwich*, sehingga tegangan yang terjadi cenderung menurun.

4.3 Hasil Evaluasi Pada Chassis

4.3.1 Validasi Pemodelan Material Komposit

Validasi pemodelan material diperlukan untuk mengecek kebenaran data yang didapatkan dari perhitungan manual dan *software ansys* mengenai data stiffness matrik [ABD]. Matrik [ABD] akan berpengaruh terhadap regangan dan tegangan dengan penambahan tebal *skin* dan *core*.



Gambar 4.5 Sistem kordinat lamina

Matrix kekakuan lamina [Q] merupakan fungsi dari sifat elastisitas dari masing-masing lamina. Matrix kekakuan lamina [Q] dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \text{MPa} \quad (4-8)$$

Dimana:

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \quad (4-9)$$

$$Q_{12} = Q_{21} = \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \quad (4-10)$$

$$Q_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \quad (4-11)$$

$$Q_{66}=G_{12} \quad (4-12)$$

Dimana:

E_1 = Modulus Young *Longitudinal*

E_2 = Modulus Young *Transverse*

ν_{12} = Poisson Ratio bidang 1-2

G_{12} = Modulus Geser Bidang 1-2

Dalam struktur *sandwich* terdiri dari skin dan core. *Skin* menggunakan material fiber *carbon woven* dengan sudut 45° jenis *prepreg*. *Prepreg* adalah material matrik polimer *termoset* seperti epoxy sudah tercampur oleh serat fiber seperti *carbon*. Sehingga struktur *sandwich* terdiri dari 2 matrik kekakuan yaitu kekakuan *core* dan *skin*.

$$[Q]_{cf} = \begin{bmatrix} 70707.07 & 7070.71 & 0 \\ 7070.71 & 70707.07 & 0 \\ 0 & 0 & 5000.00 \end{bmatrix} \text{MPa} \quad (4-13)$$

$$[Q]_{H.core} = \begin{bmatrix} 1.316 & 0.645 & 0 \\ 0.645 & 1.316 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{MPa} \quad (4-14)$$

Dimana:

$[Q]_f$ = Matrik kekakuan *carbon fiber*

$[Q]_c$ = Matrik kekakuan *core*

Dikarenakan dalam penelitian menggunakan *skin carbon fiber* dengan sudut orientasi 45° . Maka matrik kekakuan material *carbon fiber* $[Q]_{cf}$ di transformasi sebesar 45° (θ) seperti gambar 12. Maka persamaan matrik kekakuan lamina $[\bar{Q}]$ sebagai berikut.

$$[\bar{Q}] = [T1]^{-1} [Q] [T2] \quad (4-15)$$

Nilai $[T1]$ dan $[T2]$ sebagai berikut

$$[T1] = \begin{bmatrix} m^2 & n^2 & 2mn \\ n^2 & m^2 & -2mn \\ -mn & mn & m^2 - n^2 \end{bmatrix} \quad (4-16)$$

$$[T2] = \begin{bmatrix} m^2 & n^2 & mn \\ m^2 & n^2 & -mn \\ -2mn & 2mn & m^2 - n^2 \end{bmatrix} \quad (4-17)$$

Dimana:

m = $\cos \theta$

n = $\sin \theta$

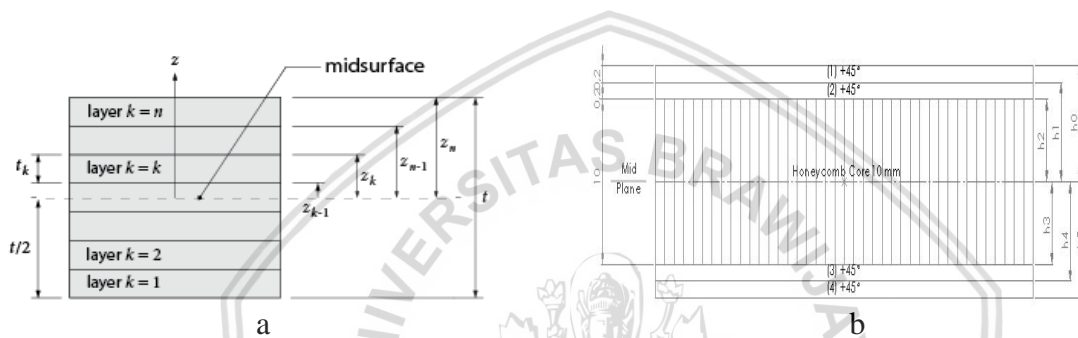
$$[\bar{Q}]_{f45^\circ} = \begin{bmatrix} 43888.89 & 33888.89 & 0 \\ 33888.89 & 43888.89 & 0 \\ 0 & 0 & 31818.18 \end{bmatrix} \quad (4-18)$$

Laminate terdiri dari lapisan lapisan (lamina) yang tersusun dan terikat. Kekakuan *laminate* dapat dihitung dengan matrik [ABD]. Matrik [A] mendeskripsikan kekakuan ekstensional, matrik [B] mendeskripsikan kekakuan ekstensional dan bending. Matrik [D] mendeskripsikan kekakuan laminate terhadap bending. Nilai tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k - z_{k-1}) \quad (4-19)$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^2 - z_{k-1}^2) \quad (4-20)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) \quad (4-21)$$



Gambar 4.6 geometri laminate persamaan (4-19), (4-20) dan (4-21) (a) dan geometri laminate model *chassis* 1 (b)

Matrik [ABD] adalah gabungan dari matrik [A], [B] dan [D]. penjelasan matrik [ABD] sebagai berikut:

$$[ABD] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \text{MPa} \quad (4-22)$$

Hasil dari perhitungan matrik kekakuan [ABD] model 1 [45/45/core 10mm]s secara manual dibandingkan dengan *Classical Lamination Theory (CLT) Stiffness Matrix* analisis menggunakan *software Ansys 18.2 ACP (pre)* sebagai berikut:

Matrik [A] perhitungan manual didapatkan sebagai berikut:

$$[A]_{[45/45/\text{Core } 10\text{mm}]} = \begin{bmatrix} 72660 & -15565,9 & 1203 \\ -15565,9 & 72518,8 & 1203 \\ 1203 & 1203 & 25583,9 \end{bmatrix} \text{MPa} \quad (4-23)$$

Matrik [A] dari CLT *Stiffness Matrik Ansys*

72664	-15694	1202.7
-15694	72475	1202.7
1202.7	1202.7	25578

Gambar 4.7 *Stiffness matrix* [A] pada laminate model 1 [45/45/core 10mm]s

Matrik [B] = 0, Karena *laminate* simetri

Matrik [D] perhitungan manual didapatkan sebagai berikut:

$$[D]_{[45/45/\text{Core } 10\text{mm}]} = \begin{bmatrix} 1,9\text{e}+6 & -4,3\text{e}+5 & 3,2\text{e}+4 \\ -42642,8 & 1,5\text{E}+6 & 3,2\text{e}+4 \\ 32545,36 & 3,2\text{e}+4 & 9,4\text{e}+05 \end{bmatrix} \text{MPa} \quad (4-24)$$

Matrik [D] dari CLT *Stiffness Matrix* Ansys

1.9561e+06	-4.276...	32538
-4.276e+05	1.9545...	32538
32538	32538	6.9198...

Gambar 4.8 *Stiffness matrix* [D] pada laminate model 1 [45/45/*core* 10mm]s

Perhitungan diatas dibandingkan dengan analisis *CLT Laminate Stiffness* pada *Ansys Composite pre* dan didapatkan hasil yang mendekati. Sehingga pemodelan material ini dapat digunakan untuk mensimulasikan struktur komposit.

4.3.2 Prediksi Massa *Chassis*

Prediksi massa *chassis* diperlukan untuk melakukan perbandingan dengan *chassis* sebelumnya. *Chassis* yang ringan dan kuat adalah salah satu tujuan penelitian ini. Harapannya dapat mereduksi massa *chassis* dari *chassis* sebelumnya sehingga massa mobil akan tereduksi. Semakin ringan bobot mobil akan menurunkan konsumsi energinya. Prediksi massa *chassis* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Area Surface} = 6,32 \text{ m}^2$$

$$\text{Density Carbon Fiber} = 1480 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Density Honeycomb Core Nomex} = 80 \text{ kg/m}^3$$

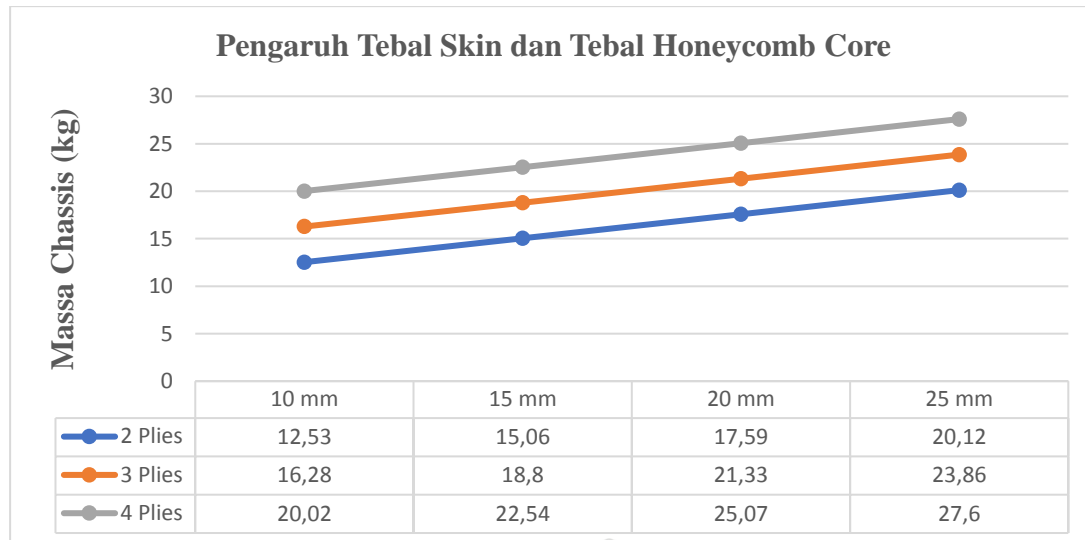
$$\text{Tebal ply} = 0,0002 \text{ m}$$

Prediksi massa *chassis* dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Bobot Skin (kg)} = A(\text{m}^2) \times \text{jumlah plies} \times \text{tebal ply} \times \rho_{c.fiber}$$

$$\text{Bobot Honeycomb Core (kg)} = A(\text{m}^2) \times \text{tebal ply} \times \rho_{honeycomb core}$$

$$\text{Bobot total chassis (kg)} = \text{Bobot Skin} + \text{Honeycomb Core}$$



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Massa *chassis* dengan variasi tebal *skin* dan tebal *honeycomb core*.

Grafik pada Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan massa *chassis* tiap model. Massa paling ringan pada model ke-1 [45/45/ \overline{core} 10mm]s sebesar 12,53 kg. Sedangkan massa paling besar pada model ke-12 [45/45/45/ \overline{core} 25mm]s sebesar 27,6 kg. Sedangkan bobot *body* 9 kg dan *frame* 21 kg urban concept tahun 2017 sebesar 30 kg. Dalam penelitian ini estimasi model 1- 12 akan mereduksi bobot 10% hingga 40% dari bobot *body* dan *frame* sebelumnya.

4.3.2 Evaluasi Kegagalan Struktur Sandwich Pada Chassis

IRF adalah nilai yang menunjukkan kegagalan suatu material. Material dikatakan gagal apabila nilai $IRF > 1$. Nilai IRF didapatkan dari perbandingan nilai terbesar dari tegangan prinsipal dan tegangan maksimal komposit (*maximum stress*).

$$RF = \frac{\sigma_f}{\sigma_{applied}} \quad (4-25)$$

$$RF = \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_{applied}} \quad (4-26)$$

$$IRF = \frac{1}{RF} \quad (4-27)$$

Dimana:

σ_f = Tegangan maksimal material

$\sigma_{applied}$ = Tegangan yang diberikan

ε_f = Regangan maksimal material

$\varepsilon_{applied}$ = Regangan yang diberikan

Dari hasil tersebut diambil nilai terbesar diantara dua kriteria tegangan maksimal atau regangan maksimal. Hasil perhitungan tersebut dijelaskan Tabel 4.13.

Tabel 4.13

Inverse Reserve Factor

Model-n	<i>Inverse Reserve Factor</i>	
	<i>Torsional</i>	<i>Vertical Bending</i>
1	0,99	0,67
2	0,86	0,59
3	0,67	0,49
4	0,59	0,43
5	0,67	0,48
6	0,54	0,39
7	0,46	0,37
8	0,40	0,29
9	0,51	0,37
10	0,41	0,30
11	0,35	0,25
12	0,30	0,21

Dari data hasil pengujian dengan pembebanan *vertical bending* dan torsional bahwa model yang mempunyai nilai IRF dibawah 1 hal ini tegangan dan regangan yang dibebankan pada *chassis* tidak mencapai nilai tegangan dan regangan maksimal material sehingga seluruh model chassis mempunyai kriteria aman untuk digunakan.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisis pembahasan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. *Chassis* model 12 [45/45/45/core 25mm] nilai tegangan dan total deformasi paling rendah dari semua model, dengan nilai tegangan *vertical bending* 32,06 MPa, Torsional 39,02 MPa dan Deformasi *vertical Bending* 0,54 mm, torsional 0,75 mm. Semakin tebal *skin* dan *core* dan tebal *honeycomb core* maka tegangan yang dialami *chassis* semakin kecil dikarenakan kekakuan *laminat* matrik [ABD] *sandwich* meningkat akibat penambahan tebal *skin* dan *core*.
2. *Chassis* model 1 [45/45/core 10mm]s memiliki massa 12,53 kg merupakan paling ringan dari semua model. Sedangkan *massa* terbesar pada model 12 [45/45/45/core 25mm]s sebesar 27,6 kg. Semakin tebal *skin* dan *honeycomb core* akan meningkatkan massa struktur *sandwich* sehingga meningkatkan massa *chassis*.
3. Seluruh model memiliki nilai IRF < 1 sehingga tidak terjadi kegagalan dan aman untuk direalisasikan.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang karakteristik material komposit *sandwich skin carbon fiber* dan *honeycomb core nomex* secara ekperimental
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang pemodelan ACP dengan desain perpotongan *surface* tegal lurus. Serta analisis kegagalan pada *sandwich* yang berlubang.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang karakteristik material prepreg lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- P.K.Mallick. 2007. *Fiber Reinforced Composite*. Dearborn Michigan: CRC Press
- Hyer, M.W. 1998. *Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Material*. Singapore: McGraw-Hill.
- Costin, M & Phipps, D. 1961. *Racing and Sport Car Chassis Design*. London: B.T. Batsford LTD.
- Callister, W.D. 2007. *Materials Science and Engineering*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Eurenius, C. A., Danielsson, N., Khokar, A., Krane, E., Olofsson, M., Wass, J. 2013. *Analysis of Composite Chassis*. Bachelor Thesis. Unpublished. Sweden: Chalmers University Of Technology.
- Carlsson, L.A & Kardomateas, G.A. 2011. *Structural and Failure Mechanics of Sandwich Composite*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Gere & Timosenko. 1984. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Hutahean, Ramses 2014. *Mekanika Kekuatan Material*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Pau Goma Golano. 2014. *Design of a Carbon Fibre Rim For a Fuel Efficient Competition Vehicle*. Thesis for Bachelor of Science in Mechanical engineering. Sweden. University of Gavle.
- Ferdinand P. Beer, Russel Johnston, dan Jhon T. De Wolf. 2013. *Mechanics of Materials 6th Edition*. Singapore: McGraw Hill.
- Hexcel. 2013. *Prepreg Technology*. Hexcel Composite. Duxford
- Wu, J., Badu, O. A., Tai, Y., George, A. R. 2014. Design, Analysis, and Simulation of an Automotive Carbon fiber Monocoque Chassis. *Jurnal SAE Int.* 7(2): 838-861.
- Gibson, R.F. 2011. *Principles Of Composite Material Mechanics*. New York: McGraw-Hill.
- Sutantra, I. N. & Sampurno, B. 2010. *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Surabaya: Guna Widya.
- Wang, Jianfeng. Shia, Chengyang. Yanga, Na. Suna, Haonan. Liub, Yiqun. Songa, Baoyu. 2018. Strength, stiffness, and panel peeling strength of carbon fiber-reinforced composite sandwich structures with aluminum honeycomb cores for vehicle body. Cambridge: Elsevier Ltd.

