



TUGAS AKHIR - VM 180629

**ANALISA PERBANDINGAN ANTARA SIMULASI  
DAN PENGUJIAN TERHADAP *STIFFNESS*  
*THREE POINT BENDING* PADA KOMPOSIT  
*SANDWICH CARBON FIBER PREPEG* DAN  
*ALUMUNIUM HONEYCOMB CORE*  
MENGUNAKAN METODE *OUT-OF-  
AUTOCLAVE.***

**MOCHAMMAD CHOIRUL ANAM  
NRP. 1021150000068**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Eddy Widiyono, M. Sc  
NIP. 19601025 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019**





**TUGAS AKHIR - VM 180629**

**ANALISA PERBANDINGAN ANTARA SIMULASI DAN PENGUJIAN TERHADAP *STIFFNESS THREE POINT BENDING* PADA KOMPOSIT *SANDWICH CARBON FIBER PREPREG* DAN *ALUMINIUM HONEYCOMB CORE* MENGGUNAKAN METODE *OUT-OF-AUTOCLAVE*.**

**MOCHAMMAD CHOIRUL ANAM  
NRP. 1021150000068**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc  
NIP. 19601025 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019**



**FINAL PROJECT - VM 180629**

***COMPERATIVE ANALYSIS BETWEEN SIMULATION AND TESTING OF STIFFNESS THREE POINT BENDING ON CARBON FIBER PREPREG SANDWICH COMPOSITES AND ALUMINUM HONEYCOMB CORE USING THE OUT OF AUTOCLAVE METHOD***

**MOCHAMMAD CHOIRUL ANAM  
NRP. 10211500000068**

**Consellor Lecture :  
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc  
NIP. 19601025 198701 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Vocation  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2019**

**ANALISA PERBANDINGAN ANTARA SIMULASI DAN  
PENGUJIAN TERHADAP *STIFFNESS THREE POINT  
BENDING* PADA KOMPOSIT *SANDWICH CARBON  
FIBER PREPREG* DAN *ALUMINIUM HONEYCOMB CORE*  
MENGGUNAKAN METODE *OUT-OF-AUTOCLAVE***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada  
Bidang Studi Manufaktur  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
SURABAYA

Oleh :

**Mochammad Choirul Anam**

NRP. 10211500000068



Mengarahui dan Menyetujui:  
**Dosen Pembimbing**

**Ir. Eddy Widiyono, M. Sc.**  
NIP. 19601025 198701 1 001

SURABAYA  
JANUARI 2019

# **ANALISA PERBANDINGAN ANTARA SIMULASI DAN PENGUJIAN TERHADAP *STIFFNESS THREE POINT BENDING* PADA KOMPOSIT *SANDWICH CARBON FIBER PREPREG* DAN *ALUMINIUM HONEYCOMB CORE* MENGGUNAKAN METODE *OUT-OF-AUTOCLAVE***

**Nama Mahasiswa : Mochammad Choirul Anam**  
**NRP : 10211500000068**  
**Jurusan : Teknik Mesin Industri FV ITS**  
**Dosen Pembimbing: Ir. Eddy Widiyono, M.Sc**

## **Abstrak**

Komposit sandwich dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural bagian internal dan eksternal, salah satunya pada mobil. Nogogeni adalah salah satu jenis kendaraan yang dirancang untuk mengikuti lomba kendaraan hemat energi, ramah lingkungan, efisiensi tinggi yang akan menghadapi perlombaan nasional dan internasional. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh arah sudut serat terhadap karakteristik bending komposit sandwich dan menggunakan simulasi untuk membandingkannya.

Penelitian diawali dengan proses pembuatan komposit sandwich dengan susunan pada bagian kulit terdiri dari 2 lapisan fiber karbon prepreg, diantara 2 lapisan tersebut digunakan honeycombe sebagai core. Setelah komposit sandwich tersusun lalu dilanjut dengan proses out of autoclave dengan divakum dan dioven dengan temperatur tertentu selama 10 jam. Hasil cetakan dipotong menggunakan gerinda tangan dengan variasi sudut 0°, 30°, 45° dan mengacu pada ukuran untuk spesimen

bending ASTM C393. Setelah pemotongan selesai dilakukan pengujian bending dengan menggunakan metode three point bending untuk mendapatkan hasil yang nantinya akan di bandingkan dengan simulasi *ANSYS*.

Dengan menggunakan variasi arah sudut serat didapat hasil bahwa nilai kekuatan *stiffness* mengalami ketidakstabilan, untuk kekuatan *stiffness* maksimalnya pada arah sudut serat 0° sebesar 1.394,56 N/mm untuk metode simulasi dan 549.203 N/mm untuk metode pengujian. Pada metode pengujian juga didapat data nilai tegangan bending maksimalnya pada arah sudut serat 0° sebesar 40.416 Mpa, Tegangan geser rata-rata pada komposit *sandwich* dengan hasil maksimal sudut serat 0° adalah 1.057 Mpa dan Bending *stiffness* rata-rata pada komposit *sandwich* dengan hasil maksimal sudut serat 0° adalah  $58,044 \times 10^3$  Nmm<sup>2</sup>.

**Kata kunci : Komposit Sandwich, Bagging Vacuum, Out-Of-Autoclave (OOA), Uji 3 Point Bending, ANSYS Composite Prepost, Stiffnes.**

**COMPERATIVE ANALYSIS BETWEEN SIMULATION AND TESTING OF STIFFNESS THREE POINT BENDING ON CARBON FIBER PREPREG SANDWICH COMPOSITES AND ALUMINUM HONEYCOMB CORE USING THE OUT OF AUTOCLAVE METHOD**

**Name** : Mochammad Choirul Anam  
**ID** : 10211500000068  
**Departement** : Teknik Mesin Industri FV ITS  
**Advisor Lecturer** : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

**Abstract**

Composite sandwiches can be applied as structural and non-structural internal and external parts, one of which is on the car. Nogogeni is one type of vehicle designed to participate in energy-efficient, environmentally friendly, high-efficiency vehicle competitions that will face national and international competitions. This study aims to investigate the effect of angular direction of fibers on carasteristic bending of composite sandwiches and using simulations to compare them.

The research begins with the process of making sandwich composites with a composition on the skin consisting of 2 layers of carbon prepreg fiber, between which 2 layers are used honeycombe as the core. After the sandwich composite is arranged and then proceed with the out of autoclave process by vacuuming and oven with a certain temperature for 10 hours. The molds are cut using hand grinding with angle variations of 0 °, 30 °, 45 ° and refer to

the size for bending specimens of ASTM C393. After cutting the bending test is done by using the three point bending method to get the results which will be compared with the ANSYS simulation.

By using variations in the direction of fiber angles obtained results that the value of stiffness strength experienced instability, for the maximum stiffness strength in the direction of the  $0^\circ$  fiber angle of 1.394,56 N/mm for the simulation method and 549,203 N / mm for the testing method. In the test method also obtained the maximum bending stress value data at the direction of the fiber angle of  $0^\circ$  by 40.416 MPa, the average shear stress in the sandwich composite with the maximum fiber angle of  $0^\circ$  is 1.057 Mpa and the average Bending stiffness in the sandwich composite with maximum results  $0^\circ$  fiber angle is  $58,044 \times 10^3$  Nmm<sup>2</sup>.

**Kata kunci :** *Sandwich Composite, Bagging Vacuum, Out-Of-Autoclave (OOA), 3 Point Bending Test, ANSYS Composite Prepost, Stiffnes.*

## KATA PENGANTAR

Rasa syukur penulis haturkan kepada Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan banyak nikmat sehingga dalam penulisan tugas akhir ini yang berjudul “**Analisa Perbandingan antara Simulasi dan Pengujian terhadap *Stiffness Three Point Bending* pada Komposit *Sandwich Carbon Fiber Prepreg* dan *Alumunium Honeycomb Core* Menggunakan Metode *Out-of-Autoclave*” dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa selama berlangsungnya penyusunan sampai pada tahap penyelesaian penulisan ini tidak lepas dari dukungan serta bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:**

1. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M. Sc. selaku dosen pembimbing yang telah menyempatkan waktunya untuk memberikan bimbingan, nasihat, arahan, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Suharianto, MT selaku koordinator tugas akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT. selaku dosen wali penulis.
5. Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT., Ph. D selaku pembimbing Nogogeni ITS Team.
6. Para Dosen Penguji selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

7. Seluruh Dosen dan Karyawan yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
8. Kedua orang tua dan saudara yang telah memberikan nasihat, do'a, dan dukungan moriil maupun materil untuk penulis.
9. Nogogeni ITS Team 2016/2017 yang telah memberikan semangat dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Formula Electric Team ITS yang telah membantu dan memberikan fasilitas dalam mengerjakan tugas akhir ini.
11. Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Departemen Teknik Sipil FTI-ITS yang telah memfasilitasi pengujian dalam tugas akhir ini.
12. Ismail Maydiyanto, A. Md., ST, Febri Atikah Wulandari dan Nindya Sari yang telah membantu penulis mengerjakan tugas akhir ini hingga selesai.
13. Teman angkatan 2015 yang belum menyelesaikan belajarnya di Teknik Mesin Industri ITS dan Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas dukungannya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih banyak kesalahan dalam penulisan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun sebagai bahan evaluasi. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga dapat bermanfaat khususnya bagi penulis, serta bagi para pembaca sekalian.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>

### **BAB I**

<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4

### **BAB II DASAR TEORI** .....

2.1. Tinjauan Pustaka .....	7
2.2. Komposit .....	8
2.2.1. Penguat ( <i>Reinforcement</i> ).....	9
2.2.2. <i>Matrix</i> .....	11
2.3. Struktur Komposit.....	13
2.3.1. <i>Laminate</i> .....	13
2.3.2. Komposit <i>sandwich</i> .....	14
2.4. <i>Carbon Fiber</i> .....	17
2.5. <i>Honeycomb Core</i> .....	18
2.5.1. <i>Alumunium honeycomb</i> .....	19

2.6. <i>Prepreg</i> .....	19
2.6.1. <i>XPREG XC110 Prepreg Carbon 3K, 220g, 2/2 Twill</i> .....	20
2.7. Macam-macam Pembuatan Komposit menggunakan <i>Prepreg</i> .....	22
2.7.1. Proses <i>autoclave</i> .....	22
2.7.2. Proses <i>out-of-autoclave</i> .....	24
2.8. Pengujian Bending berdasarkan Standar ASTM C393 .....	25
2.8.1. Geometri spesimen .....	26
2.8.2. Perhitungan ASTM C393-00 .....	26
2.9. Simulasi ANSYS .....	28
2.9.1. <i>Engineering data</i> .....	29
2.9.2. Geometri .....	30
2.9.3. Model .....	30
2.9.4. <i>Setup</i> .....	31
2.9.5. <i>Static structural</i> .....	31
2.10. Perhitungan <i>Stiffness</i> .....	32
2.10.1. Perhitungan <i>stiffness</i> metode simulasi .....	32
2.10.2. Perhitungan <i>stiffness</i> metode pengujian .....	33

### **BAB III**

<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>35</b>
3.1. Studi Literatur .....	35
3.2. Metode Simulasi .....	36
3.2.1. Ukuran spesimen .....	36
3.2.2. <i>Meshing</i> .....	37
3.2.3. <i>ANSYS composite preparation (ACP)</i> .....	38
3.2.4. Pemodelan .....	41
3.3. Metode Eksperimen .....	43
3.3.1. Persiapan bahan .....	43
3.3.2. Bahan pendukung .....	44

3.3.3. Cetakan .....	45
3.3.4. Alat yang digunakan .....	45
3.3.5. Proses pembuatan <i>composite sandwich</i> .....	47
3.3.6. Pembuatan spesimen .....	51
3.3.7. Pengujian .....	52
3.4. Verifikasi .....	53

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN ..... 55**

4.1. Hasil Metode Simulasi Komposit <i>Sandwich</i> .....	55
4.2. Hasil Metode Pengujian <i>3 Point Bending</i> Komposit <i>Sandwich</i> .....	57
4.2.1. Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap <i>facing</i> <i>bending stress</i> komposit <i>sandwich</i> .....	58
4.2.2. Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap tegangan geser <i>core</i> komposit <i>sandwich</i> .....	59
4.2.3. Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap panel <i>bending stiffness</i> komposit <i>sandwich</i> .....	61
4.2.4. Pengaruh arah variasi sudut serat terhadap <i>stiffness</i> komposit <i>sandwich</i> .....	62
4.3. Verifikasi .....	63

## **BAB V**

### **PENUTUP ..... 67**

5.1. Kesimpulan .....	67
5.2. Saran .....	68

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **BIODATA**

## **LAMPIRAN**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	<i>Particulate</i> .....	9
Gambar 2.2.	Komposit <i>flake</i> .....	10
Gambar 2.3.	<i>Fiber composite</i> .....	11
Gambar 2.4.	<i>Laminate</i> .....	13
Gambar 2.5.	(a) <i>unidirectional</i> (b) <i>cross-ply</i> (c) <i>angle-ply</i> (d) <i>quasi-isotropic laminate</i> .....	14
Gambar 2.6.	Komposit <i>sandwich</i> .....	16
Gambar 2.7.	(a) <i>plain wave</i> (b) <i>cross-ply</i> (c) <i>angle-ply</i> ...	18
Gambar 2.8.	(a) Alumunium (b) <i>nomex aramid</i> (c) kertas .....	18
Gambar 2.9.	Siklus suhu oven .....	21
Gambar 2.10.	<i>Vacuum Bagging</i> .....	23
Gambar 2.11.	<i>Autoclave</i> .....	23
Gambar 2.12.	Oven <i>autoclave</i> .....	24
Gambar 2.13.	Proses <i>out-of-autoclave</i> .....	25
Gambar 2.14.	<i>Three point bending method</i> .....	25
Gambar 2.15.	Geometri Spesimen.....	26
Gambar 2.16.	<i>ANSYS</i> .....	28
Gambar 2.17.	<i>ANSYS composite prepost</i> .....	29
Gambar 2.18.	<i>Engineering data</i> .....	29
Gambar 2.19.	Geometri .....	30
Gambar 2.20.	Model.....	30
Gambar 2.21.	<i>Setup</i> . .....	31
Gambar 2.22.	<i>Static structural</i> .....	31
Gambar 2.23.	Hubungan <i>ACP</i> dan <i>static structural</i> .....	32
Gambar 2.24.	Nilai Deformasi .....	32
Gambar 2.25.	Grafik Spesimen .....	33
Gambar 2.26.	Pemilihan titik.....	33

Gambar 3.1.	<i>Flowchart</i> metodologi penelitian.....	35
Gambar 3.2.	<i>Flowchart</i> metode simulasi.....	36
Gambar 3.3.	Geometri ANSYS.....	37
Gambar 3.4.	<i>Sizing</i> .....	37
Gambar 3.5.	<i>Meshing type</i> .....	37
Gambar 3.6.	ANSYS composite preparation (ACP).....	38
Gambar 3.7.	<i>Fabrics</i> .....	38
Gambar 3.8.	<i>Rosette</i> .....	39
Gambar 3.9.	<i>Oriented selection sets</i> .....	39
Gambar 3.10.	<i>Modeling groups</i> .....	40
Gambar 3.11.	<i>Solid model</i> .....	40
Gambar 3.12.	Penempatan <i>support</i> .....	41
Gambar 3.13.	Pembebanan.....	41
Gambar 3.14.	Defleksi.....	42
Gambar 3.15.	<i>Flowchart</i> metode eksperimen.....	43
Gambar 3.16.	XPREG XC110 prepreg carbon 3K, 220g, 2/2 <i>Twill</i> .....	44
Gambar 3.17.	Aluminum honeycomb core.....	44
Gambar 3.18.	<i>Port</i> .....	45
Gambar 3.19.	<i>Catchpot</i> .....	46
Gambar 3.20.	Pompa vakum.....	46
Gambar 3.21.	Oven.....	47
Gambar 3.22.	Composite sandwich sebelum proses <i>out-of- autoclave</i> .....	50
Gambar 3.23.	Composite sandwich sudah jadi.....	51
Gambar 3.24.	Dimensi spesimen pengujian <i>three point bending</i> .....	51
Gambar 3.25.	Spesimen <i>3 point bending</i> (a) tampak atas (b) tampak depan (c) tampak samping.....	52
Gambar 3.26.	Variasi sudut untuk pengujian.....	52

Gambar 3.27.	<i>Setup 3 point bending</i> .....	53
Gambar 3.28.	Pengujian (a) sudut 0° (b) sudut 30° .....	53
Gambar 4.1.	Hasil simulasi ANSYS .....	55
Gambar 4.2.	Perbandingan <i>stiffness</i> komposit sandwich terhadap arah sudut serat .....	56
Gambar 4.3.	(a) spesimen 0° setelah pengujian bending, (b) spesimen 30° setelah pengujian bending, (c) spesimen 45° setelah pengujian bending ....	57
Gambar 4.4.	Perbandingan rata-rata terhadap <i>facing bending stress</i> komposit sandwich terhadap arah sudut serat.....	58
Gambar 4.5.	Perbandingan tegangan geser core komposit sandwich terhadap variasi arah sudut serat.	59
Gambar 4.6.	Perbandingan terhadap arah sudut serat terhadap panel bending <i>stiffness</i> komposit sandwich	61
Gambar 4.7.	Perbandingan terhadap arah sudut serat terhadap <i>stiffness</i> komposit sandwich .....	62
Gambar 4.8.	Perbedaan hasil <i>stiffness</i> komposit sandwich dari metode simulasi dan pengujian.....	64

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat fisis Alumunium .....	19
Tabel 2.2. Waktu Oven OOA.....	21
Tabel 2.3. Sifat mekanik karbon fiber prepreg.....	21
Tabel 4.1. Hasil <i>stiffness</i> metode simulasi.....	56
Tabel 4.2. Hasil <i>facing bending stress</i> .....	59
Tabel 4.3. Hasil <i>tegangan geser core</i> .....	60
Tabel 4.4. Hasil <i>panel Bending stiffness</i> . .....	62
Tabel 4.5. Hasil <i>stiffness</i> metode simulasi.....	63
Tabel 4.6. Verifikasi.....	65

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nogogeni adalah mobil riset ramah lingkungan dari mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri yang dirancang untuk mengikuti kompetisi kendaraan hemat energi, ramah lingkungan, dan efisiensi tinggi yang akan menghadapi perlombaan nasional dan internasional. Dalam kompetisi ini, Nogogeni ikut dalam kelas *Urban Concept* yang berarti mobil yang dibuat menyerupai mobil pada umumnya. Untuk dapat bersaing dengan peserta-peserta lain yang menggunakan teknologi dari perkembangan industri otomotif untuk umum atau dunia balap, maka tim dituntut untuk berinovasi dalam meningkatkan efisiensi dengan cara mereduksi berat mobil. Mereduksi berat mobil dilakukan karena semakin ringan berat mobil maka kinerja motor penggerak akan semakin ringan pula. Salah satu bagian mobil yang masih dapat direduksi massanya adalah bodi mobil.

Pada bodi mobil Nogogeni 3 evo sudah menggunakan struktur komposit sandwich dengan bahan serat keklar sebagai skin dan *honeycomb paper* sebagai inti core menggunakan proses vacuum bagging dan autoclave. Komposit sandwich merupakan jenis komposit yang cocok digunakan untuk menahan beban lentur, kejutan dan meredam getaran dan suara. Komposit sandwich dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Pada prinsipnya komposit sandwich terdiri dari dua kulit (skin) permukaan dengan material inti (core) yang berada diantaranya. Dengan berkembangnya bahan komposit terdapat karbon fiber yang merupakan salah satu serat komposit yang memiliki *density* yang lebih ringan dan kekakuan yang lebih baik dari pada *aramid*

maupun *fiberglass* [10] sehingga dalam tugas akhir ini digunakan bahan karbon fiber untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Pada penelitian ini menggunakan material *XPREG XC110 Prepreg Carbon fiber* yang diproduksi oleh *easycomposite*. *XPREG XC110* menggunakan formula resin XC110 yang dapat menghasilkan struktur komposit dengan proses out-of-autoclave (OOA). Proses OOA adalah proses pembuatan struktur komposit dengan menggunakan *vacuum bagging* dan *oven curing* yang tidak membutuhkan peralatan autoclave (bejana tekan). Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan dilakukan pengujian dengan menggunakan metode *3-point-bending* serta dilakukan simulasi *ANSYS* untuk mendapatkan data kekuatan material yang optimum berdasarkan variasi sudut. Sehingga dalam orientasi sudut *laminate* dalam pembuatan bodi mobil Nogogeni selanjutnya dapat memaksimalkan berat guna peningkatan efisiensi.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana mendapatkan *stiffness* spesimen *3-point bending* secara simulasi.
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut karbon fiber *prepreg* terhadap *facing bending stress, core shear stress, panel bending stiffness dan stiffness* secara pengujian *3-point bending*.
3. Bagaimana perbedaan *stiffness* spesimen *3-point bending* secara simulasi dan pengujian.

### 1.3. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan *stiffness* spesimen *3-point bending* secara simulasi.
2. Mendapatkan *facing bending stress, core shear stress, panel bending stiffness dan stiffness* secara pengujian *3-point bending*.
3. Mengetahui perbedaan hasil dari metode simulasi dan metode eksperimen.

### 1.4. Batasan Masalah

Agar masalah tidak melebar dari pembahasan utama, maka permasalahan hanya dibatasi pada :

1. Pengujian komposit sandwich dengan paduan :
  - *XPREG XC110 Prepreg Carbon 3K, 220g, 2/2 Twill.*
  - *Aluminium Honeycomb Core*
2. Variasi arah komposit sebagai berikut :
  - arah serat  $0^0$
  - arah serat  $30^0$
  - arah serat  $45^0$
  - *Aluminium Honeycomb Core* tebal 10 mm untuk semua komposisi komposit
3. Pengujian komposit berupa uji *bending* (standard ASTM C 393-00)
4. Pada metode pengujian bonding antara skin dan core dianggap sempurna.
5. Void diabaikan
6. Metode simulasi hanya mendapatkan *stiffness*

## **1.5. Manfaat**

Manfaat yang dapat diambil dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan data *stiffnes* pada komposit sandwich
2. Mengetahui komposisi yang paling optimal dari variasi sudut dan arah dari komposit karbon fiber.
3. Sebagai referensi untuk membuat bodi mobil Nogogeni.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang penulisan, perumusan masalah yang dipilih, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan permasalahan dan sistematika penulisan.

### **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini dibahas mengenai beberapa teori penunjang yang mendukung dalam pembuatan dan penuntun dalam memecahkan masalah.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang diagram alur pengujian dan simulasi dengan *ANSYS* dengan menggunakan *uji 3-point-bending*.

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi data yang diperoleh saat simulasi dan eksperimen. Data yang diperoleh dari simulasi adalah

stiffness dan dari metode eksperimen uji 3 *point bending*.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memaparkan kesimpulan yang diperoleh selama pembuatan tugas akhir ini yang merupakan ringkasan jawaban dari permasalahan yang dipilih. Dan berisikan saran-saran dari penulis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Kata komposit dalam pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis. Bahan komposit sangat efisien dalam menerima beban, karena tugas tersebut dilimpahkan ke serat. Seratlah yang terutama bertugas menerima beban. Karena itu bahan komposit sangat kuat dan kaku bila dibebani searah serat, sebaliknya sangat lemah bila dibebani dalam arah tegak lurus serat (Hadi, 2000).

Menurut Diharjo (2011), pengujian kekuatan bending komposit sandwich serat gelas dengan core divinycell-pvc H-60 (pengaruh orientasi serat, jumlah laminate dan tebal core terhadap kekuatan bending) diperoleh hasil tegangan bending terbesar terdapat pada orientasi serat ( $0^\circ/90^\circ$ ). Sedangkan kekuatan bending yang rendah terdapat pada orientasi serat  $30^\circ$  dan  $45^\circ$  yang disebabkan lemahnya daerah yang mentransferkan tegangan (beban) dari serat-matrik-serat, khususnya di sepanjang indenter penekan.

Proses pembuatan komposit sandwich dengan metode *out-of-autoclave* adalah proses pembuatan komposit dengan tingkat cacat rendah dan sifat mekanik yang lebih baik tanpa memerlukan peralatan autoclave (Hubert, 2012). Pada penelitian ini mengadaptasi metode simulasi dan pengujian yang dilakukan oleh Robert D. Story untuk mencari *stiffness* pada spesimen *3-point bending*.

## 2.2 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih material yang berbeda digabungkan secara makroskopis. Pada komposit sifat-sifat unsur pembentukannya masih terlihat jelas. ini berbeda dengan paduan atau *alloy*, sudah tidak lagi nampak secara nyata disebut penggabungan mikroskopis. Komposit ini merangkumi semua bahan termasuk plastik yang diperkuat dengan serat, logam *alloy*, keramik, kopolimer, plastik berpengisi atau apa saja campuran dua bahan atau lebih untuk mendapatkan suatu bahan yang baru.

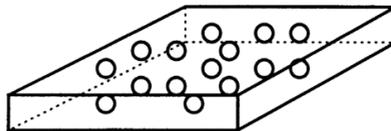
Pada umumnya, bahan komposit terdiri dari dua unsur yaitu serat disebut *reinforcement* dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut *matriks*. Bahan komposit menggabungkan keunggulan kekuatan dan kekakuan serat dengan massa jenis matriks yang rendah. Hasilnya adalah sebuah bahan yang ringan tetapi kuat dan kaku. Bahan ini mempunyai spesifik modulus dan spesifik strength yang lebih besar dibanding bahan konvensional [5]. Sifat-sifat komposit yang dapat diperbaharui [9] antara lain :

- (1) Kekuatannya (*strength*)
- (2) Kekakuannya (*stiffness*)
- (3) Ketahanan terhadap korosi (*corrosion resistance*)
- (4) Pengurangan berat material (*weight*)
- (5) Ketahanan gesek/aus (*wear resistance*)
- (6) Ketahanan lelah (*fatigue life*)
- (7) Meningkatkan konduktivitas panas
- (8) Tahan lama

### 2.2.1 Penguat (*Reinforcement*)

Penguat (*reinforcement*) memiliki fungsi utama dalam hal pembentukan sifat – sifat mekanik yang nantinya akan dimiliki oleh komposit tersebut. Karena *reinforcement* (penguat) yang sebagai penanggung beban utama pada struktur komposit. Terdapat banyak jenis penguat yang dapat digunakan dalam membuat komposit. klasifikasi komposit berdasarkan geometri penguat [9] yaitu :

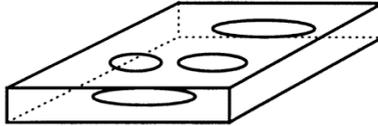
- *Particulate composites* merupakan komposit yang mengandung bahan penguat berbentuk serbuk. Sifat-sifat komposit partikel dipengaruhi beberapa faktor yaitu ukuran dan bentuk partikel, bahan partikel, rasio perbandingan antara partikel, dan jenis matrik. Komposit partikular memiliki kelebihan seperti kekuatan yang ditingkatkan, suhu operasi yang meningkat dan ketahanan oksidasi. *Particulate composites* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Particulate* [8].

- Komposit *flake* terdiri dari penguat matriks yang datar. Bahan-bahan standar yang umum digunakan adalah kaca, mika, aluminium, dan perak. Komposit *flake* memberikan keuntungan seperti kekuatan yang lebih tinggi, dan biaya rendah. Namun tidak dapat digunakan dengan

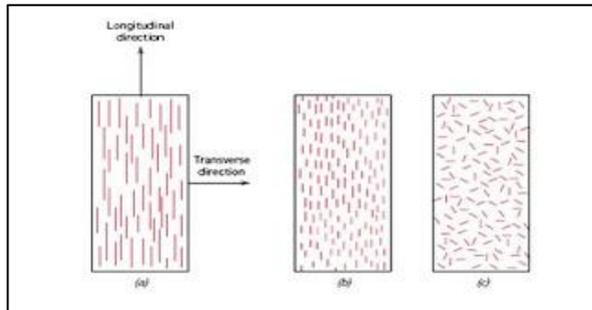
mudah dan hanya sejumlah bahan terbatas yang tersedia. Komposit *flake* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2 Komposit *flake* [8].**

- *fiber composite*, penguat yang digunakan berbentuk serat. Ada dua jenis yaitu *continuous* (serat panjang) dan *discontinuous* (serat pendek), kedua jenis ini dibedakan berdasarkan bentuk susunan seratnya. Pada *discontinuous* ada dua jenis yaitu *aligned* (lurus) dan *random orientation* (acak). Untuk serat *continuous* ada laminasi satu arah atau (woven) serat tenunan. Interaksi antara matriks dan penguat memegang peranan penting. Penguat cenderung menahan pergeseran matrix di sepanjang serat dan menerima distribusi tegangan dari matriks. Peningkatan kualitas sifat-sifat mekaniknya tergantung pada ikatan *interface* matriks dan seratnya. *Fiber reinforced* memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi jika menerima gaya searah dengan arah serat, akan tetapi jika gaya yang diterima tegak lurus dengan arah serat maka kekuatan dan kekakuannya akan sangat lemah. Komposit serat berkelanjutan ditekankan dalam jenis-jenis matriks: polimer, logam,

keramik, dan karbon. *Fiber composite* ditunjukkan seperti Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** *Fiber Composite* [].

- Nanokomposit terdiri dari material yang berskala nanometer ( $10^{-9}$  m). Dengan memiliki bahan pada skala nanometer, sebagian besar dari sifat-sifat material komposit yang dihasilkan lebih baik dari pada yang di skala mikro. Tetapi tidak semua properti nanokomposit lebih baik. Dalam beberapa kasus ketangguhan dan kekuatan impak dapat berkurang.

### 2.2.2 *Matrix*

Matrix adalah bagian komposit yang mempunyai fungsi sebagai berikut :

- Mentransfer tegangan ke serat secara merata
- Melindungi serat dari gesekan mekanik
- Mempertahankan serat pada posisinya
- Mengikat antar serat pada lamina atau beberapa lembar komposit

Dan matrix mempunyai sifat sebagai berikut :

- Sifat mekanis yang baik
- Kekuatan *bonding* yang baik
- Ketangguhan yang baik
- Tahan terhadap temperature

Berikut adalah matrix yang sering digunakan dalam pembuatan struktur komposit [10].

(1) Vinylester *Resins*

Resin ini dapat memiliki kekuatan kurang dari resin *epoxy*. Mereka dapat melekat buruk pada *Carbon Fiber* dan Aramid (Kevlar), tetapi itu tergantung pada finish atau ukuran pada serat komposit. Resin ini kebanyakan digunakan untuk *fiber glass*.

(2) *Epoxy Resins*

Resin *epoxy* biasanya sekitar tiga kali lebih kuat dari jenis resin vinylester *resins* dan *Polyester resins*. Resin *epoxy* melekat pada *Carbon Fiber*, *Fiber glass*, dan Aramid (Kevlar), sangat baik dan membentuk penghalang yang hampir tidak bocor. Adapun beberapa kelebihan dari *epoxy* yaitu :

- Cocok untuk material matriks karena penyusutan material rendah.
- Sifat adhesif material baik.
- Ketahanan kimia material yang baik.
- Material memiliki sifat mekanik, seperti ketangguhan yang baik.
- Temperatur *curing* 120<sup>0</sup>-170<sup>0</sup> C.
- *Flame resistance* yang baik

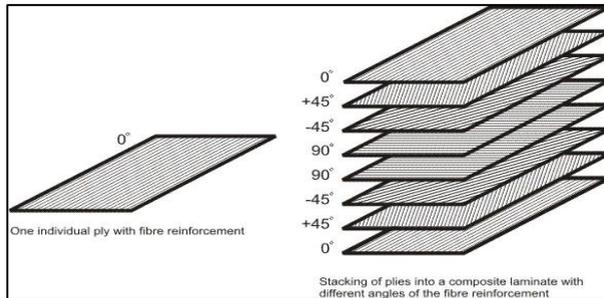
(3) *Polyester Resins*

*Polyester resins* memiliki kemampuan ikatan yang buruk dan tidak boleh digunakan untuk digunakan pada karbon

atau aramid struktural. Biasanya dapat digunakan dengan baik hanya di *fiberglass*.

## 2.3. Struktur Komposit

### 2.3.1 *Laminate*

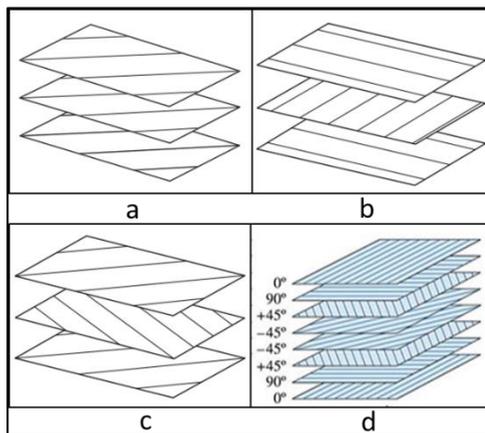


Gambar 2.4 *Laminate* [15].

*Laminate* adalah gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) atau lapisan ditumpuk bersama pada berbagai arah sudut yang membentuk elemen struktur komposit. lapisan *laminate* dapat memiliki berbagai ketebalan dan terdiri dari bahan yang berbeda. Lamina yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminate* yang terdiri dari beberapa macam lamina yang diorientasikan dalam arah serat yang berbeda dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur. Terdapat beberapa jenis *laminate* yaitu:

- (1) *Unidirectional, laminate* dengan tiap *lamina* mempunyai arah serat yang sama. kekuatan terbesar dari jenis *laminate* ini adalah searah seratnya.

- (2) *Cross-ply, laminate* ini mempunyai susunan lamina dengan serat yang saling tegak lurus satu sama lain.
- (3) *Angle-ply, laminate* ini mempunyai susunan lamina yang bersudut dan bukan  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ .
- (4) *Quasi-isotropic, laminate* sangat kompleks karena orientasi lamina di dalamnya mengandung *cross-ply* dan *angle-ply* seperti pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** (a) *unidirectional* (b) *cross-ply* (c) *angle-ply* (d) *quasi-isotropic laminate* □

### 2.3.2 Komposit *sandwich*

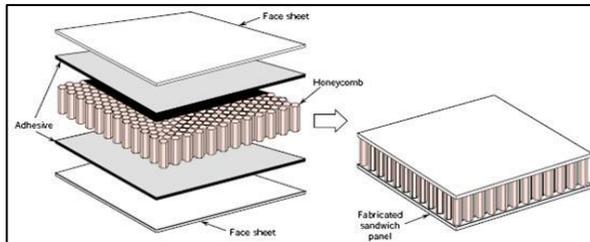
Komposit *sandwich* atau disebut juga dengan panel *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan, yaitu *flat composite* (*metal sheet*) sebagai 2 lapisan luar (*skin*) dan 1 lapisan inti (*core*). Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal namun, mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang cocok digunakan untuk menahan beban lentur, kejutan dan meredam getaran dan suara.

Komposit *sandwich* adalah struktur komposit yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Untuk mendapatkan komposit *sandwich* dengan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi diperlukan pemilihan material *skin* dan inti yang sangat ringan. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural dari bagian internal maupun eksternal pada pesawat, kendaraan darat dan bangunan.

Menurut [10] keuntungan utama dari material komposit konstruksi *sandwich* dibandingkan dengan material lainnya adalah sebagai berikut:

- Mempunyai berat ringan.
- Kekuatan dan kekakuannya tinggi.
- Mempunyai ketahanan korosi yang baik.
- Insulasi listrik.
- Dapat meredam getaran dan suara dengan baik.
- Lebih mudah dirancang dalam bentuk yang kompleks.
- Pemeliharaan yang cukup mudah.

Komponen penyusun komposit *sandwich* minimal terdiri dari 2 yaitu *skin* dan *core*. Untuk mendapatkan kekuatan *bonding* yang lebih baik ditambahkan satu komponen yaitu *adhesive film*. Berikut penjelasan lebih lengkap dari ketiga komponen tersebut, seperti pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6 Komposit Sandwich [11]**

(1) *Skin*

*Skin* adalah bagian terluar dari komposit *sandwich*. *Skin* dibagi menjadi dua yaitu serat alam dan buatan. Serat alam adalah serat yang didapat dari alam seperti serat daun nanas, kapas, wol, sutra atau serat alam lainnya. Sedangkan serat buatan seperti material terbuat dari *reinforcement* komposit yang telah dijelaskan. *Carbon fiber*, *Aramid* dan *glass fiber* adalah material yang sering digunakan dalam struktur komposit *sandwich*.

(2) *Core*

*Core* adalah pengisi dari komposit *sandwich* yang berfungsi membuat struktur komposit menjadi kaku dan tidak mudah terdeformasi. *Core* komposit *sandwich* harus mempunyai massa yang rendah, ringan, mempunyai *flexural strength* yang baik. Tujuan dari penambahan *core* adalah agar terjadi penambahan ketebalan tanpa adanya peningkatan massa yang signifikan. Contoh dari material *core* yang digunakan adalah *honeycomb*, *foam*, kayu balsa, *lantor soric* dan *diviny cell*.

(3) *Adhesive Film*

*Adhesive film* adalah zat perekat yang digunakan untuk mengikat *skin* dan *core* berguna meningkatkan kekuatan

bonding. *Adhesive* juga harus tahan terhadap bahan kimia dan panas supaya ketika dalam keadaan tersebut daya rekatnya tidak berkurang.

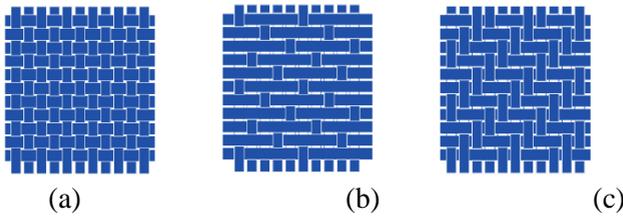
#### **2.4. Carbon Fiber**

Serat karbon termasuk dalam *fiber composite*. Karbon *fiber* secara komersial tersedia dengan berbagai nilai modulus tarik mulai dari 207 GPa (303106 psi) pada sisi rendah hingga 1035 GPa (1503106 psi) pada sisi yang tinggi. Ukuran serat *carbon fiber* berdiameter 5-10  $\mu\text{m}$  dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon dengan struktur berbentuk kristal. Ukuran *tow* pada *carbon fiber* terdiri dari 3k, 6k, 12k, 24k, 40k, 48k, 80k, 160k, 320k, 400k dan 410k. Untuk 1 *tow* yang terdiri dari 3k maksudnya adalah terdiri dari 3000 serat.

*Carbon fiber* dibuat dari dua *precursors*, yaitu *precursors* tekstil dan *precursors pitch*. *Precursors* tekstil yang paling umum digunakan adalah material *polyacrylonitril* (PAN) dan Rayon. Dilakukan proses stabilisasi kemudian proses karbonisasi dan proses grafitisasi pada temperatur tinggi serta dilanjutkan dengan proses penggulungan serat-serat karbon atau ditenun menjadi bentuk anyaman. *Carbon fiber* dapat diaplikasikan pada industri penerbangan, otomotif, konstruksi, militer, dan peralatan olahraga. *Carbon fiber* memiliki kelebihan, massa jenis rendah, kekakuan dan kekuatan tinggi, koefisien ekspansi termal linear sangat rendah (yang memberikan stabilitas dimensi dalam aplikasi seperti antena antariksa), *high fatigue strengths*, konduktivitas termal, Memiliki *chemical resistance* yang tinggi, *temperature tolerance* yang tinggi and *thermal expansion* yang rendah sehingga biasanya dijadikan *filler* untuk material komposit. Namun juga memiliki kelemahan seperti resistensi tegangan kegagalan, konduktivitas listrik yang

rendah dimana bisa menyebabkan *shorting* pada mesin listrik yang tidak terlindungi, serta biaya manufaktur dan material yang mahal.

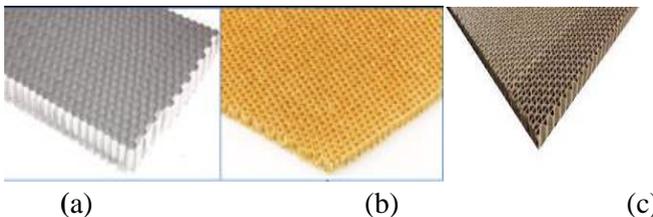
Pada *Carbon fiber* terdapat beberapa model tenunan seperti *plain weave*, *satin weave*, *twill weave*. Pada bentuk *twill weave*, pola yang dibentuk adalah pola selang - seling dengan 1 *tow* melewati 2 *tow* diatas atau dibawah, pola ini cukup baik karena anyamannya cukup rekat. Pola tenun ditunjukkan seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 (a) *plain weave* (b) *cross-ply* (c) *angle-ply* [5].

## 2.5 Honeycomb Core

*Honeycomb core* adalah material dengan susunan *cell* berbentuk heksagonal seperti sarang lebah. Geometri Heksagonal adalah geometri yang mampu disusun tanpa terputus dan bentuknya yang segienam dapat mentransferkan beban yang diterima. Ada 3 jenis *honeycomb core* yaitu aluminium, *nomex aramid* dan kertas seperti pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 (a) *Aluminium* (b) *nomex aramid* [2] (c) kertas [].

Penggunaan *honeycomb core* pada konstruksi *sandwich* memiliki kelebihan seperti tegangan tarik dan kompresi didukung oleh kulit, tegangan geser didukung oleh sarang lebah (*honeycomb core*), *skin* atau kulit stabil di seluruh panjang dan penghematan berat yang sangat baik menurut *Hexcel Corporation*.

### 2.5.1 Aluminium Honeycomb

Aluminium *Honeycomb* berbahan aluminium *alloy*. Merupakan core yang sering digunakan sebagai bahan inti struktural dalam bahan komposit untuk motor sport, laut, energi terbarukan, peredam benturan dan terowongan udara (*wind tunnel*). Aluminium *Honeycomb* memiliki karakteristik kekuatan geser tinggi, kekuatan tekan tinggi, korosi dan tahan suhu. Properti dari aluminium *honeycomb* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Sifat Fisis Aluminium [2].**

PROPERTIES			
	1/8" (3.2mm)	1/4" (6.4mm)	3/4" (19.1mm)
Nominal Density (pcf)	4.5 (72.1kg/m <sup>3</sup> )	5.2 (83.3kg/m <sup>3</sup> )	1.8 (28.8kg/m <sup>3</sup> )
Aluminium Series	5052	3003	3003
Foil Thickness (micron)	35	70	50
Perforated?	No	Yes	Yes
Corrosion Treated	No	Yes	Yes
Compressive Strength - Bare (psi)	539	625	115
Compressive Strength - Stabilised (psi)	559	655	125
Crush Strength (psi)	255	235	40
Plate Shear (L direction) Strength (psi)	340	360	95
Plate Shear (L direction) Modulus (ksi)	70	65	22
Plate Shear (W direction) Strength (psi)	220	210	60
Plate Shear (W direction) Modulus (ksi)	31	35	10

### 2.6 Prepreg

*Prepreg* adalah lembaran tipis dari serat yang diresapi dengan sejumlah matriks polimer terdistribusi secara beraturan yang telah ditentukan sebelumnya. Serat yang diperkuat adalah serat buatan seperti serat karbon fiber dan *aramid* atau kevlar.

*Prepreg* menggunakan matriks dengan cairan resin termoset pada suhu tinggi. Sehingga mengalami reaksi kimia yang mengubah *prepreg* menjadi bahan struktural padat yang sangat kaku dan ringan. Lebar dari lembaran *prepreg* dapat bervariasi seperti kurang dari 25 mm (1 inci) hingga lebih dari 457 mm (18 inci). Lembaran lebih lebar dari 457 mm disebut *broadgoods*. Ketebalan lapisan dari lembaran *prepreg* biasanya dalam kisaran 0,13-0,25 mm (0,005-0,01 inci). Kandungan resin dalam *prepreg* yang tersedia secara komersial adalah antara 30% dan 45% dari berat keseluruhan material. Kelebihan penggunaan material *prepreg* adalah dapat mengoptimalkan berat, kekakuan (*stiffness*) yang baik dan proses manufaktur yang mudah untuk dibentuk. Namun, material *prepreg* juga memiliki kekurangan seperti biaya yang mahal untuk material dan peralatan untuk membuat struktur komposit. Dalam pembuatan struktur komposit menggunakan material *prepreg* terdapat dua metode manufaktur yaitu *autoclave* dan *out-of-autoclave*.

### **2.6.1      *XPREG XC110 Prepreg Carbon 3K, 220g, 2/2***

#### ***Twill***

*XPREG XC110* adalah serat *prepreg* canggih yang diproduksi oleh *easycomposite*. *Prepreg* karbon memiliki ukuran satu 1 tow dengan model tenun *twill weave*. *XPREG XC110* dirancang khusus untuk proses *out-of-autoclave*. Formula resin *XC110* dapat menghasilkan struktur komposit ketika panas oven dibawah tekanan vakum. Struktur komposit yang dibuat dengan menggunakan sistem resin *XC110* menawarkan sifat mekanik yang sebanding dengan sistem *autoclave* tanpa memerlukan peralatan *autoclave* yang mahal. Properti dari *XPREG XC110 Prepreg Carbon 3K, 220g, 2/2 Twill*, dtunjukkan pada Tabel 2.2.[3]

**Tabel 2.2 Waktu Oven OOA [2].**

Step	Start Temp	Ramp Rate	Duration	End Temp	Elapsed Time
1	~ 20°C	1°C /min	00:50	70°C	00:50
2	70°C	Soak	04:00	70°C	04:50
3	70°C	2°C /min	00:25	120°C	05:15
4	120°C	Soak	01:00	120°C	06:15
5	120°C	Natural Cool	--	~20°C	07:15

Pada serat *prepreg* ini, dijelaskan juga standar siklus oven untuk mendapatkan hasil terbaik dari struktur komposit pada tekanan vakum minimum 10 bar, ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan gambar siklus suhu oven pada Gambar 2.9.

**Tabel 2.3 Sifat Mekanik Karbon Fiber Prepeg [2].**

Property	Test Standard	Units	Result
Compressive strength	BS EN ISO 14126 : 1999	MPa	483
Tensile strength	BS EN ISO 527-4 : 1997	MPa	521
Tensile modulus	BS EN ISO 527-4 : 1997	GPa	55.1
Flexural strength	BS EN ISO 14125 : 1998	MPa	777
Flexural modulus	BS EN ISO 14125 : 1998	GPa	46.7
Interlaminar shear strength	BS EN 2563 : 1997	MPa	64.7
Tg Onset (DMA)	ASTM 1-0003 Issue 3	°C	121
Tg Peak (DMA)	ASTM 1-0003 Issue 3	°C	135



**Gambar 2.9 Siklus suhu oven [2].**

## 2.7 Macam – macam Pembuatan Komposit menggunakan *Prepreg*.

Dewasa ini proses pembuatan komposit dengan *prepreg* sudah ada dua cara, mulai dari yang sederhana hingga yang paling canggih. Berikut adalah macam – macam pembuatan komposit dengan material *prepreg*, antara lain :

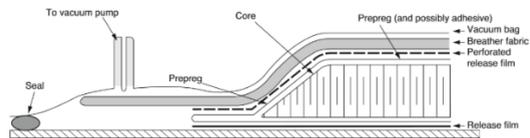
### 2.7.1 Proses *autoclave*

Metode *autoclave* digunakan untuk proses pembuatan struktural komposit dengan material komposit *prepreg*. Proses *autoclave* merupakan metode pilihan untuk memproduksi serat komponen komposit plastik yang diperkuat untuk aplikasi berkinerja tinggi. Dengan menggunakan metode *autoclave* dapat dihasilkan struktural komposit seperti orientasi serat yang sesuai dengan kebutuhan, jumlah resin pada semua struktur komposit sama dan merata, menghilangkan porositas untuk memastikan sifat mekanik pada semua bagian yang disebabkan *void*, mendapatkan ketebalan merata. Namun, pada *autoclave* terdapat kelemahan seperti kontrol suhu pemanas, sistem tekanan, sistem hampa udara, pengaturan gas iner dan kekurangan terbesar proses *autoclave* biaya untuk peralatan *autoclave* serta biaya operasional pemanas selama 10 jam [7].

Secara umum langkah-langkah metode *autoclave* sebagai berikut :

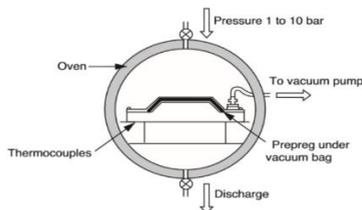
- (1) Dalam proses *autoclave*, material *prepreg* dikeluarkan dari *freezer* untuk dibiarkan pada suhu ruangan. *Prepreg* kemudian dipotong sesuai orientasi sudut dan lebar yang dibutuhkan dalam proses *lay-up* pada cetakan. Sebelumnya cetakan sudah beri cairan anti lengket untuk mencegah ikatan dengan permukaan cetakan. Selanjutnya *prepreg* ditumpuk untuk mendapatkan ketebalan pada struktur komposit. Setelah itu struktur komposit ditutupi dengan

berbagai lapisan seperti *unperforated realese film* sebagai anti lengket. Struktur komposit dengan *breather cloth* yang berfungsi meratakan tekanan skin pada inti core dan menyediakan jalur menghilangkan udara. Kemudian struktur komposit ditutup dengan *bagging film* yang tempel ke cetakan menggunakan *seal*. Penataan struktur komposit dan bahan pendukungnya pada vacuum bagging, ditunjukkan pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10 Vacuum Bagging [5].**

- (2) Proses *autoclave* dilanjutkan dengan memasukan struktur komposit kedalam oven *autoclave* dimana tekanan dan suhu diterapkan selama waktu yang ditentukan untuk mengubah lapisan lamina yang ditumpuk untuk menempel dengan *core*. Letak komposit *sandwich* didalam *autoclave* ditunjukkan seperti Gambar 2.11 dan 2.12 untuk oven *autoclave*.



**Gambar 2.11 Autoclave [5].**

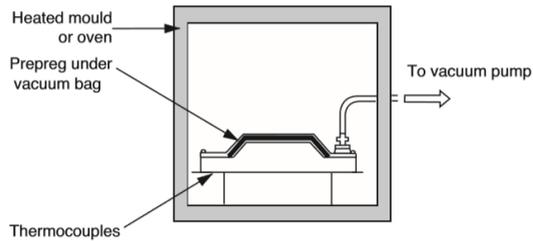


**Gambar 2.12 Oven autoclave [3].**

### 2.7.2 Proses *out-of-autoclave*

Metode *out-of-autoclave* (OOA) adalah proses pembuatan komposit dengan tingkat cacat rendah dan sifat mekanik yang tinggi tanpa peralatan *autoclave*. Proses OOA menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan dengan *autoclave* tradisional yang membutuhkan oven khusus *autoclave*, termasuk modal yang lebih rendah untuk peralatan dan biaya operasional. Namun, proses OOA juga memiliki kekurangan seperti timbulnya *void* bisa terjadi bila pengaturan tekanan vakum dan uap air dari proses penyimpanan tidak dihilangkan dahulu.

Pada proses OOA memiliki kesamaan proses persiapan struktur komposit sama dengan *autoclave*, ditunjukkan pada gambar 2.10 yang membedakan adalah proses oven yang tidak membutuhkan oven *autoclave* atau tabung bertekanan tapi menggunakan oven biasa yang memiliki kontrol pengatur waktu dan suhu ditunjukkan pada Gambar 2.13.[7]

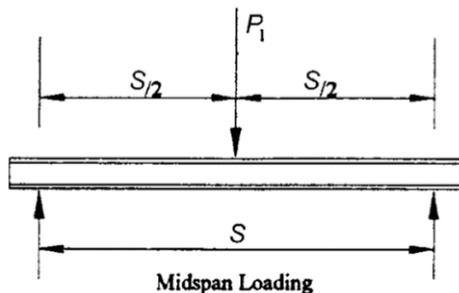


**Gambar 2.13** Proses *out-of-autoclave* [5].

## 2.8 Pengujian Bending berdasarkan Standar ASTM C393

Dalam aplikasinya komposit *sandwich* tak pernah lepas dari proses pembebanan mekanik terutama beban *bending*. Pada umumnya kelemahan komposit *sandwich* terhadap beban *bending* terletak bonding antara serat dan matrik pada bagian *skin* atas dan *core*, kerusakan *indentation* yang disebabkan *load nose*. Dua kerusakan diatas sangat mempengaruhi hasil dari pengujian *bending*.

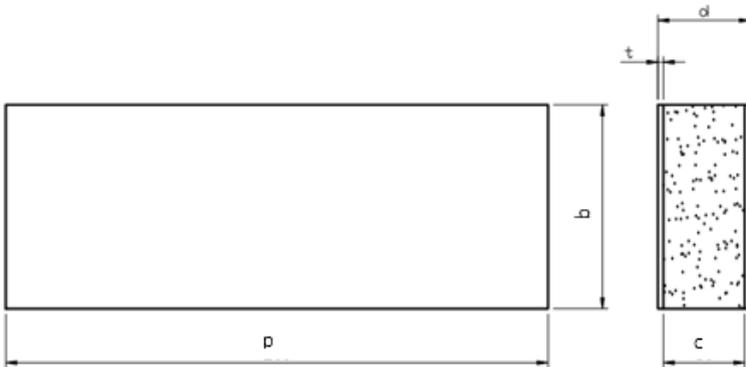
Pengujian *bending* dilakukan dengan *three point bending method*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Spesimen dan metode pengujiannya mengacu pada standar ASTM C393 – 00 [1].



**Gambar 2.14** *Three point bending method* [1].

### 2.8.1 Geometri spesimen

Pada penentuan geometri spesimen ASTM C393-00 dijelaskan seperti lebar tidak boleh kurang dari tiga kali ketebalan *core* dan tidak boleh lebih dari satu setengah *span length* . Untuk panjang spesimen (*span length*) ditentukan sendiri tetapi ditambahkan 25 mm pada kedua sisi sebagai letak dari *supported* [1]. Geometri spesimen ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Geometri spesimen [1].

Keterangan :

- |                      |      |
|----------------------|------|
| b = lebar spesimen   | (mm) |
| c = tebal core       | (mm) |
| d = tebal spesimen   | (mm) |
| t = tebal skin       | (mm) |
| p = panjang spesimen | (mm) |

### 2.8.2 Perhitungan ASTM C393-00

Uji *bending* dilakukan dengan metode *three point bending*, maka *facing bending stress*, *core shear stress* dan *panel bending stiffness* komposit *sandwich* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini [1].

- *Core Shear Stress* pada komposit *sandwich* [1]

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan catatan :

- $\tau$  = *Core Shear Stress* (MPa)
- d = tebal *sandwich* (mm)
- c = tebal *core* (mm)
- b = lebar *sandwich* (mm)

- *facing bending stress* [1]

$$\sigma = \frac{PS}{2t(d+c)b} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan catatan :

- $\sigma$  = *facing bending stress*(MPa)
- P = beban (N)
- d = tebal *sandwich* (mm)
- c = tebal *core* (mm)
- t = tebal *skin* (mm)
- b = lebar *sandwich* (mm)
- s = span length (mm)

- *Panel Bending stiffness* [1]

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)}{12} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan catatan :

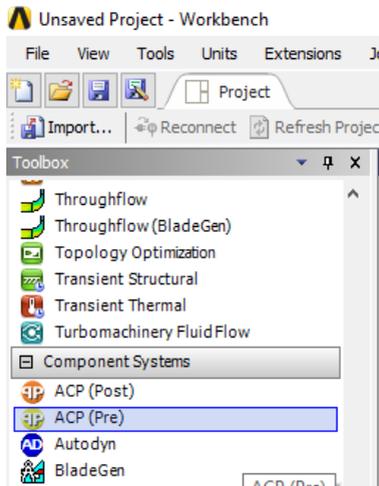
- D = *Panel bending stiffness* (MPa)
- E = *facing modulus* (N)

$d$  = tebal *sandwich* (mm)  
 $c$  = tebal *core* (mm)

## 2.9 Simulasi ANSYS

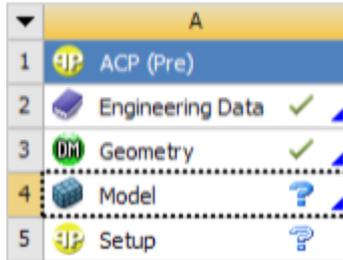
Pada simulasi *three point bending* menggunakan ANSYS Composite Prepost (ACP). ACP adalah fitur tambahan yang digunakan untuk pemodelan struktur komposite berlapis seperti struktural komposite *laminite* atau *sandwich*. ACP menyediakan fitur seperti:

- Tipe serat  
Bahan, model tenun dan ketebalan
- Struktur Komposite  
*Laminate, sandwich*, menentukan orientasi *laminite* dan menentukan urutan lapisan komposit.



Gambar 2.16 ANSYS

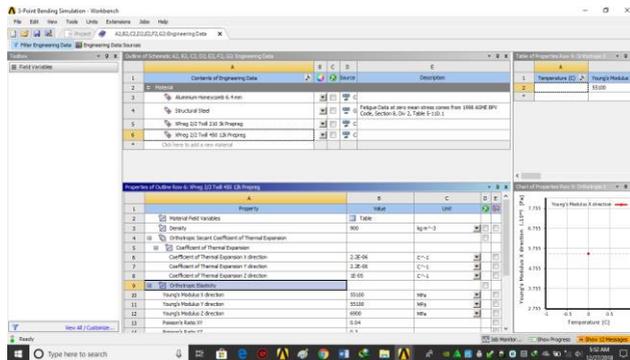
Untuk ACP terdapat beberapa fitur seperti *Engineering Data*, Geometri, Model dan *setup* seperti pada Gambar 2.17.



**Gambar 2.17 ANSYS Composite Prepost**

### 2.9.1 *Engineering data*

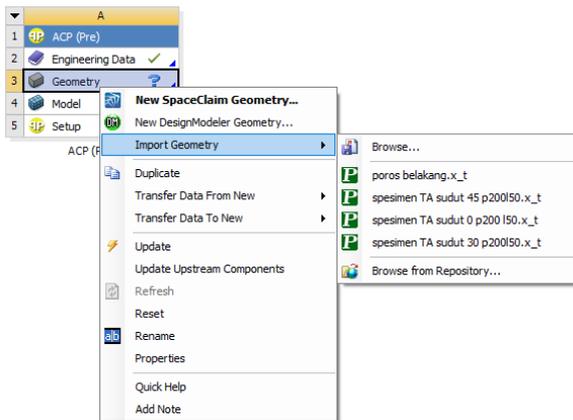
Pada ACP terdapat *Engineering Data*, Geometri, Model dan *setup*. *Engineering Data* digunakan untuk memasukan data material yang digunakan.



**Gambar 2.18 Engineering Data**

## 2.9.2 Geometri

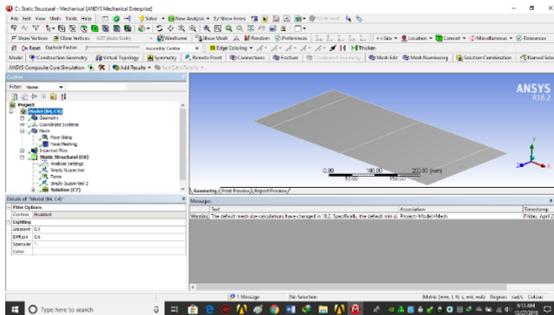
Geometri digunakan untuk memasukkan gambar bentuk spesimen yang akan dilakukan simulasi, berupa panjang dan lebar bisa dikerjakan dengan *solidword* atau aplikasi gambar dari *ANSYS*. Jika mengerjakan dari *solidwork* disimpan dengan format *parasolid* (x\_t).



Gambar 2.19 Geometri

## 2.9.3 Model

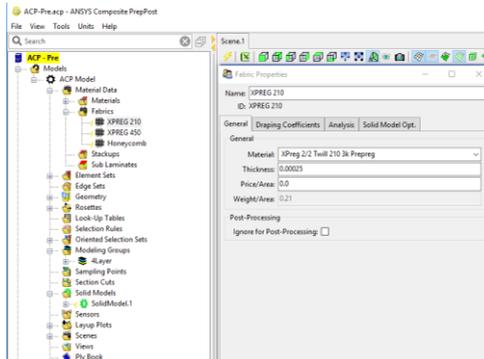
Pada model digunakan untuk mengatur geometri yang dikerjakan, *tipe mesing* dan *setting three point bending*. *Setting three point bending* yang dimaksud 1 penekan dan dua penumpu.



Gambar 2.20 Model

### 2.9.4 Setup

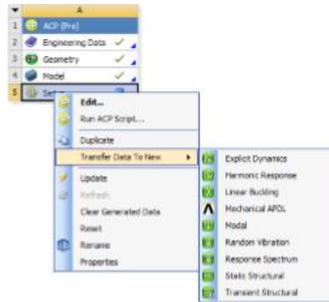
Setup digunakan untuk mengatur tipe serat, urutan serat, orientasi serat dan core. Pada setup ini ketebalan bahan serat dimasukkan.



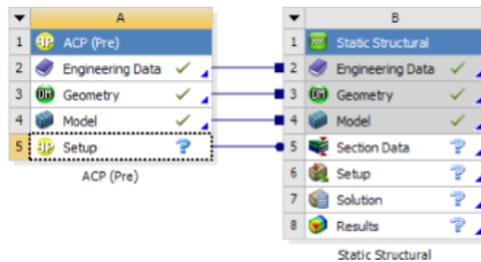
Gambar 2.21 Setup

### 2.9.5 Static structural

Pada Static structural digunakan untuk memecahkan analisa yang dibutuhkan dengan cara dihubungkan dengan ACP.



Gambar 2.22 *Static Structural*

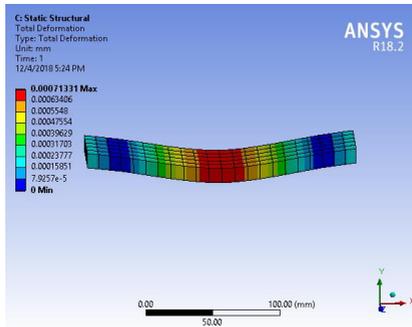


Gambar 2.23 Hubungan ACP dan *Static Structural*

## 2.10 Perhitungan Stiffness

### 2.10.1 Perhitungan *stiffness* metode simulasi.

Hasil yang dibutuhkan dari simulasi ini adalah deformasi. Nilai deformasi digunakan untuk mengetahui nilai *stiffness* dari spesimen dan nilai tegangan digunakan untuk mengetahui beban maksimal yang dapat diterima spesimen. Nilai dari deformasi, seperti terdapat pada gambar 2.24.

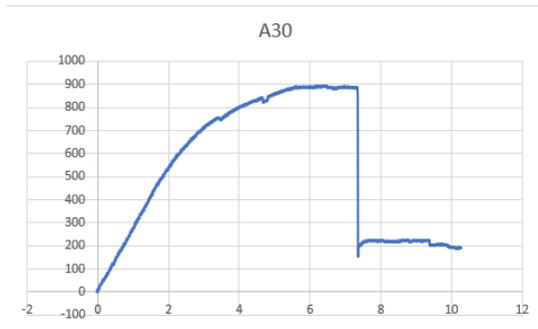


Gambar 2.24 Nilai Deformasi

Pada Thesis yang dibuat oleh Robert D. Story, perhitungan untuk mencari *stiffness* dari adalah sebagai berikut.

$$\frac{W}{\Delta} = \frac{\text{Pembebanan}}{\text{Defleksi}} \dots\dots\dots(2.4)$$

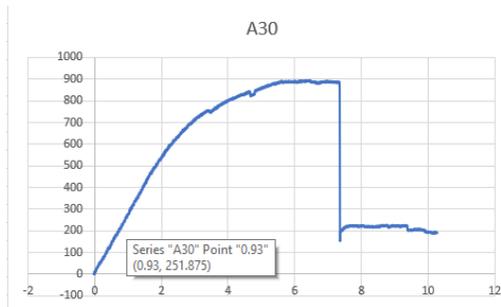
**2.10.2 Perhitungan *stiffness* metode pengujian**



Gambar 2.25 Grafik Spesimen

Pada grafik gambar 2.25 dapat dilihat bahwa beban maksimal yang dapat diterima oleh spesimen adalah 895.313 N. Untuk mencari *stiffness* dibutuhkan nilai *force* dan *displacement*

pada daerah elastis pada grafik hasil pengujian. Pada Gambar 2.25 garis kemiringan konstan di mulai dari 200 N sampai 400 N, maka kita akan melihat data yang didapat dari mesin untuk memilih titik untuk dilakukan perhitungan seperti gambar 2.26.



**Gambar 2.26 Pemilihan titik**

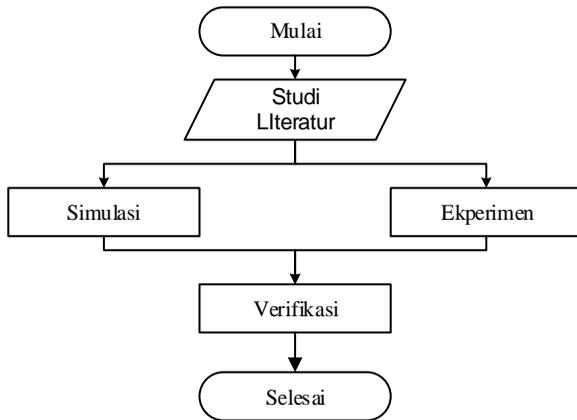
Untuk perhitungan *stiffness* dari simulasi ini menggunakan seperti berikut :

$$\frac{y^2+y^1}{y^2+y^1} \dots\dots\dots(2.5)$$

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini mengadaptasi metode simulasi dan eksperimen pada spesimen *three point bending* untuk mencari *stiffnes*. Untuk metode eksperimen menggunakan sembilan spesimen. Spesimen-spesimen tersebut memiliki jumlah empat layer dan satu inti *core*, mempunyai tiga variasi sudut arah komposit nol derajat, tiga puluh derajat dan empat puluh lima derajat. Metode simulasi menggunakan *ANSYS 18.2*

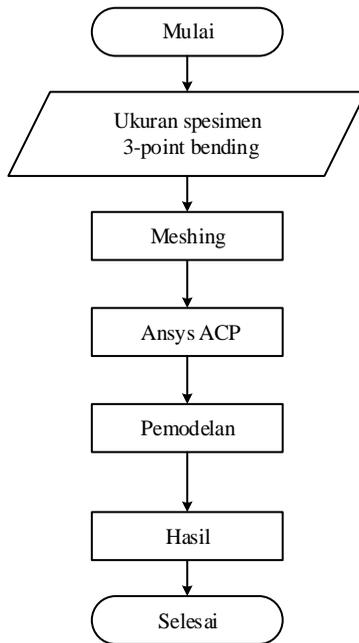


**Gambar 3.1** *Flowchart metodologi penelitian*

### 3.1 Studi literatur

Studi Literatur ini meliputi kegiatan mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai proses fabrikasi karbon fiber *prepreg* melalui proses *Out of Autoclave Prepreg Carbon Fibre* dan simulasi menggunakan *ANSYS* serta pengujian *3 point bending* menggunakan *ASTM C 393*. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber diantaranya buku/*text book*, publikasi-publikasi ilmiah, tugas akhir dan penelitian yang berkaitan dan media internet.

## 3.2 Metode Simulasi



**Gambar 3.2** *Flowchart* metode simulasi

### 3.2.1 Ukuran Spesimen

Dalam metode simulasi ukuran panjang dan lebar spesimen dibuat pada *solidwork* dan tebal diatur dalam *ANSYS*. Spesimen dibuat sesuai dengan ASTM C393-00, setelah itu disimpan dengan format *parasolid* (*x\_t*). hanya satu jenis pengujian yang disimulasi yaitu pengujian *three point bending* dengan geometri seperti Gambar 3.3



**Gambar 3.3 Geometri ANSYS**

### 3.2.2 Meshing

Untuk pembuatan *meshing* pada file ukuran spesimen dengan format *parasolid (x\_t)* dimasukkan ke geometri. Berikut adalah tahap-tahap membuat *meshing* pada ANSYS.

(1) *Sizing*

*Sizing* berfungsi mengatur ukuran *meshing* yang ingin kita buat. Penelitian ini digunakan jenis *face sizing* seperti Gambar 3.4.

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	4 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	10.0 mm
Advanced	
Defeature Size	Default (0.11588 mm)
Size Function	Uniform
Behavior	Soft
Growth Rate	Default (1.85)

**Gambar 3.4 Sizing**

(2) *Meshing Type*

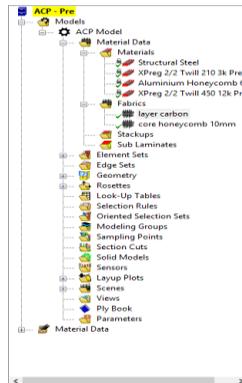
Ada 2 jenis *meshing* pada ANSYS yaitu *quadrilateral* dan *triangles*. Penelitian ini digunakan jenis *meshing quadrilateral* seperti Gambar 3.5.

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	4 Faces
Definition	
Suppressed	No
Mapped Mesh	Yes
Method	Quadrilaterals
Constrain Boundary	No
Advanced	
Specified Sides	No Selection
Specified Corners	No Selection
Specified Edges	No Selection

**Gambar 3.5 Meshing type**

### 3.2.3 ANSYS Composite Preparation (ACP)

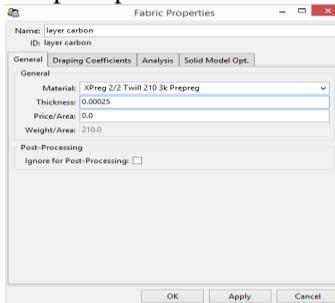
ANSYS ACP adalah *software* yang digunakan untuk membuat material *laminata* untuk simulasi. Berikut adalah tahap-tahap untuk membuat *laminata* pada ANSYS ACP, ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Ansys Composite Preparation (ACP)

#### (1) *Fabrics*

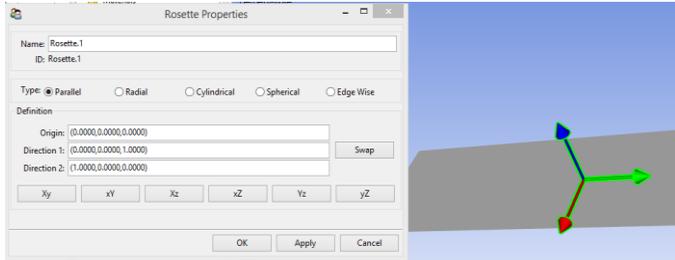
*Fabrics* digunakan untuk membuat *layer carbon fiber* sesuai material yang diinginkan. Meliputi ketebalan dan jenis material. Cara membuat *fabrics* dan *mapping* pada ANSYS adalah seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Fabrics*

(2) *Rosette*

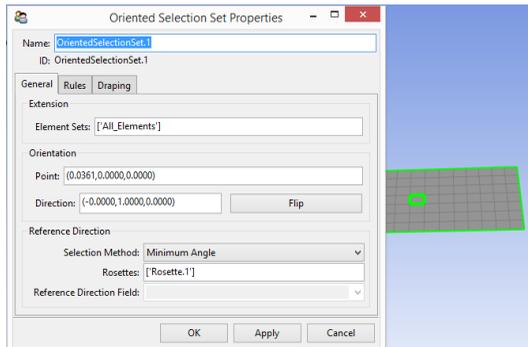
*Rosette* digunakan untuk menentukan arah penebalan komposit dan arah orientasi yang diinginkan. Ditunjukkan seperti pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8 Rosette**

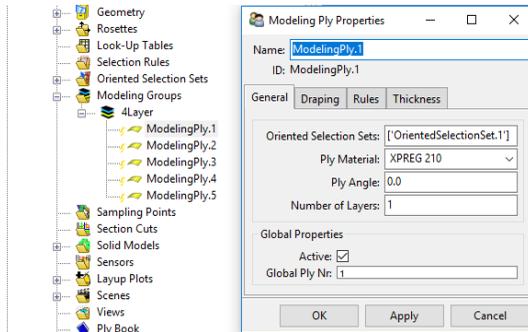
(3) *Oriented selection sets*

*Oriented selection sets* digunakan untuk menentukan *part* yang akan dibuat menjadi satu seperti *sandwich* yang menjadi satu kesatuan jika terdapat dua *part* yang berbeda dalam satu gambar. Ditunjukkan seperti Gambar 3.9.



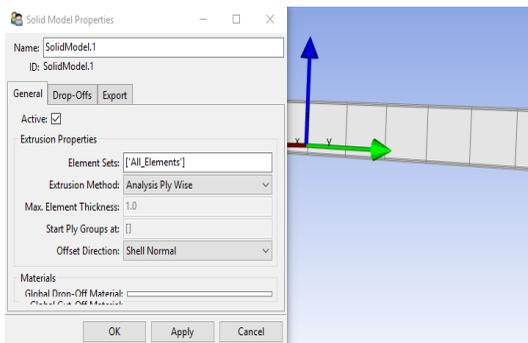
**Gambar 3.9 Oriented selection sets**

- (4) *Modeling groups*  
*Modeling groups* digunakan untuk membuat *layer karbon* menjadi *sandwich* beserta arah sudut pada tiap *layer* pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** *Medeling groups*

- (5) *Solid model*  
*Solid model* digunakan untuk memvisualkan bentuk dari *composite sandwich* yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.11.



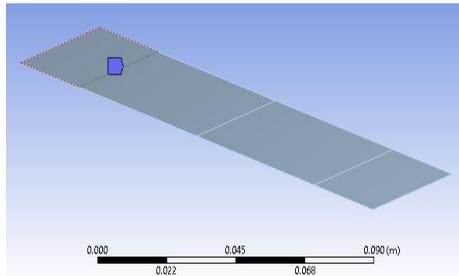
**Gambar 3.11** *Solid model*

### 3.2.4 Pemodelan

Berikut adalah tahap-tahap pemodelan yang digunakan dalam penelitian.

(1) Penempatan *Support*

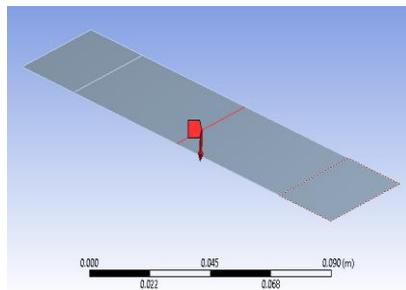
Dalam penelitian ini digunakan tipe *simply supported* pada jarak 25 mm dari masing-masing sisi terluar dari spesimen. Ditunjukkan pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12** Penempatan *support*

(2) Pembebanan

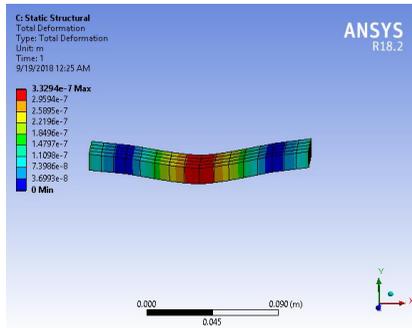
Beban yang diberikan pada simulasi ini adalah sebesar 1 N karena pada beban 1 N dapat dipastikan bahwa kondisi material masih berada pada deformasi elastis. Ditunjukkan pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13** Pembebanan

(3) Tujuan yang diinginkan

Tujuan yang ingin didapatkan dari simulasi ini adalah defleksi yang terjadi akibat dari pembebanan, seperti pada Gambar 3.14.



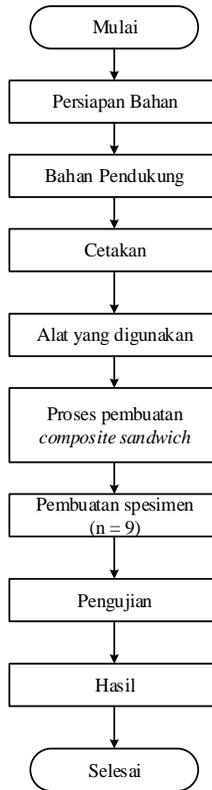
Gambar 3.14 Defleksi

(4) Perhitungan *stiffness*

Setelah didapatkan nilai defleksi akibat pembebanan yang diberikan pada test *setup* simulasi maka besarnya kekakuan dari *composite sandwich* adalah

$$\frac{W}{\Delta} = \frac{\text{Pembebanan}}{\text{Defleksi}}$$

### 3.3 Metode Eksperimen

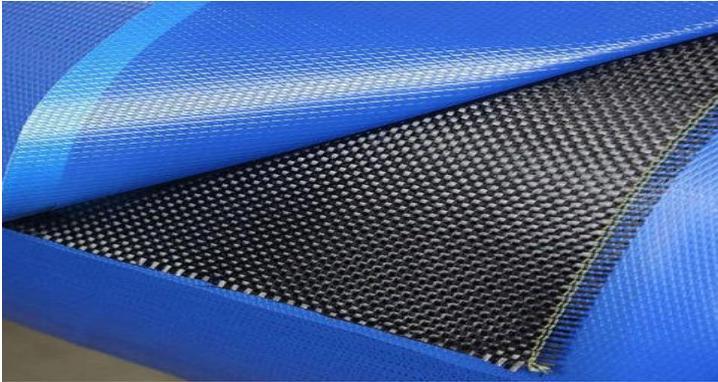


**Gambar 3.15** *Flowchart* metode eksperimen

#### 3.3.1 Persiapan bahan

(1) Serat dan matrik

Material yang digunakan pada pengujian kali ini menggunakan *XPREG XC110 Prepreg Carbon 3K*, 220g, *2/2 Twill* Seperti pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.16** Menggunakan *XPREG XC110 Prepreg Carbon 3K, 220g, 2/2 Twill*

(2) *Aluminium Honeycomb Core*



**Gambar 3.17** *Aluminium honeycomb core*

### **3.3.2 Bahan pendukung**

- (1) *Easy-Release Chemical Release Agent*  
Bahan kimia yang berguna untuk melapisi cetakan agar produk tidak menempel pada cetakan.
- (2) *Unperforated Release Film*  
Plastik khusus yang digunakan untuk membatasi kain *breather* dengan spesimen agar tidak menempel.
- (3) *Breather Cloth*

Kain yang digunakan untuk menekan permukaan karbon fiber ke cetakan, berguna untuk meratakan.

(4) *Bagging Film*

Plastik yang berguna untuk menahan udara masuk pada proses vacuum dan oven.

(5) *Gum Tape*

Berguna untuk menempelkan plastik dan cetakan guna menahan udara masuk.

### 3.3.3 Cetakan

Cetakan untuk membuat spesimen kali ini menggunakan alumunium sebagai media cetakan karena ingin mendapatkan permukaan yang rata.

### 3.3.4 Alat yang digunakan

(1) *Port*

Karet silinder yang memiliki lubang ditengah yang berguna untuk menepatkan pipa karet dari mesin yang ditunjukkan pada Gambar 3.18



**Gambar 3.18 Port**

(2) *Catchpot*

Tempat menampung sisa resin yang terbawa proses vacum. Bentuk dari *catchpot* dapat ditunjukkan seperti Gambar 3.19.



**Gambar 3.19** *Cacthpot*

(3) Pompa Vakum

Pompa vakum berguna untuk menghisap udara agar plastik *bagging* berguna menekan komposit menempel ke cetakan seperti pada Gambar 3.20.



**Gambar 3.20** Pompa Vakum

(4) Oven

Oven disini berguna untuk melakukan proses pengerasan pada resin yang menempel karbon fiber *prepreg* dengan

menggunakan temperatur. Oven ditunjukkan seperti Gambar 3.21



**Gambar 3.21 Oven**

- (5) Alat-alat Penunjang  
Alat-alat yang digunakan untuk mempermudah proses pembuatan material ini adalah:
- a. Gunting besi
  - b. Penggaris
  - c. Jangka sorong
  - d. Sarung tangan
  - e. Kain perca
  - f. Selang pvc 8 mm
  - g. Gerinda tangan

### **3.3.5 Proses pembuatan *composite sandwich***

- (1) Karbon fiber *prepreg* harus dikeluarkan dari *freezer* setelah itu ditaruh pada suhu ruang ber-Ac kisaran suhu pada setting ac 23<sup>0</sup> agar karbon fiber *prepreg* tidak lengket ke sarung tangan. Segera untuk dilakukan pemotongan sesuai dengan dimensi yang dibutuhkan diberi lebih 10 mm pada semua arah.

- (2) Setelah itu potong aluminium *honeycomb* sesuai dengan dimensi yang diinginkan.
- (3) Bahan pendukung juga segera dipotong, seperti *Unperforted Realese Film*, *Breather Cloth* dan *Bagging Film*.
- (4) Lapis kaca yang digunakan sebagai cetakan dengan menggunakan *Easy-Lease Chemical Realease Agent* bergantian secara merata
- (5) Menyiapkan peralatan vacuum seperti *port*, selang, *catch pot*, pompa vakum dan selotip kertas.
- (6) Buka plastik pelindung pada satu sisi karbon fiber dan tempelkan layer pertama pada kaca diikuti menempel pada layer kedua
- (7) Tempelkan *core aluminium honeycomb*. Posisikan ditengah.
- (8) Setelah itu tempelkan *carbon fiber* untuk layer ke tiga dan keempat. Dan pastikan tidak ada aluminium *honeycomb* yang tidak tertutup oleh *carbon fiber* karena dapat merusak plastik.
- (9) Proses selanjutnya pasang *Unperforted Realese Film*. Usahakan menutupi semua karbon fiber pada bagian atas yang tidak menempel pada cetakan agar *Breather Cloth* tidak menempel pada karbon fiber.
- (10) Selanjutnya tutup dengan *Breather Cloth* yang berguna untuk meratakan dan menekan karbon fiber agar menempel ke *honeycomb* dan cetakan. Sehingga *carbon fiber* dengan *core aluminium* bisa menempel dengan merata.
- (11) Agar tidak ad pergeseran *Unperforted Realese Film* dan *Breather Cloth* yang menyebabkan ada bagian dari karbon fiber yang tidak tertutup, maka diberi selotip kertas berguna manahan pergeseran dari *Unperforted Realese Film* dan *Breather Cloth*.
- (12) Setelah lapisan sandwich tertata rapi, tempelkan *port*. Usahakan ditengah cetakan agar tidak berpindah saat

- proses pemasangan *bagging film*. Gunakan selotip kertas untuk menahan agar tetap pada posisi yang diinginkan.
- (13) Selanjutnya tempelkan *sealant tape* (penyekat udara) di sisi luar cetakan.
  - (14) Kemudian pemasangan *bagging film* sebagai lapisan terakhir yang berfungsi untuk menahan udara luar agar tidak masuk ke daerah vakum. Cara pemasangan ini dilakukan dengan merekatkan bagian pinggir *bagging film* yang sudah dipotong tadi dengan *sealant tape* yang sudah ditata rapi mengelilingi lapisan *sandwich*.
  - (15) Masukkan kedalam oven terlebih dahulu.
  - (16) Bila sudah didalam oven rapikan plastik dan melubangi plastik sesuai dengan *port* tadi dan masukkan selang.
  - (17) Selanjutnya adalah menghubungkan spesimen yang siap untuk divakum tadi dengan selang yang terhubung oleh *catchpot* dan pompa vakum. Setelah selang terhubung, bungkus pinggiran selang dengan *sealant tape* hingga tidak ada rongga yang bisa menyebabkan kebocoran ruang vakum.
  - (18) Setelah selang instalasi terpasang dengan *catchpot* kemudian hidupkan pompa vakum. Saat proses vakum mulai terjadi, atur lipatan plastik dengan memastikan plastik menempel pada *composite sandwich* seperti Gambar 3.22



**Gambar 3.22** *composite sandwich* sebelum proses *out-of-autoclave*

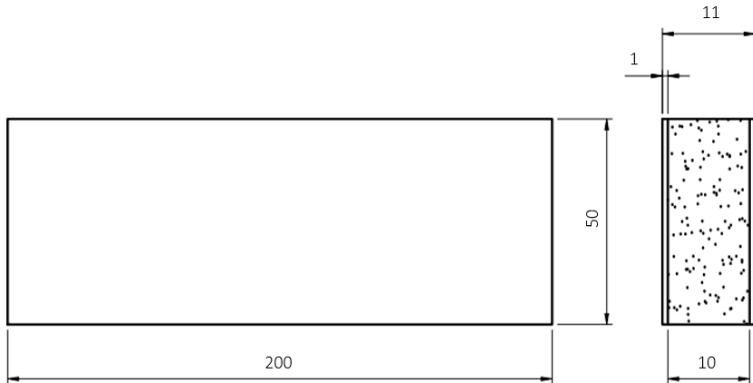
- (19) Kemudian cek pada semua instalasi yang dipasang dengan cara melihat angka tekanan pada *vacuum gauge* yang ada pada *catchpot* apakah ada kebocoran atau tidak.
- (20) Jika tidak ada kebocoran maka biarkan pompa vakum bekerja selama sepuluh jam untuk menyedot resin yang berlebihan pada spesimen dan menekan *composite sandwich*.
- (21) Proses terakhir hidupkan oven dan atur suhu oven sesuai dengan Gambar 2.9.
- (22) Setelah 10 jam proses oven matikan vakum dan oven. Gunakan penjepit ditengah selang yang terhubung dengan *catchpot* agar tekanan tidak turun dengan cepat.
- (23) Biarkan selama 5 jam proses pendinginan, baru dibuka dan lepaskan dari cetakan. Proses manufaktur *composite sandwich* telah selesai yang ditunjukkan seperti pada Gambar 3.23.



**Gambar 3.23** *composite sandwich* sudah jadi

### 3.3.6 Pembuatan spesimen

Proses *composite sandwich* yang telah selesai dilakukan pemotongan dengan menggunakan gerinda untuk dibuat spesimen yang berukuran sesuai standar ASTM C-393 untuk pengujian bending dengan variasi arah sudut  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ .



**Gambar 3.24** Dimensi spesimen pengujian *3 point Bending*



**(a)**



**(b)**



**(c)**

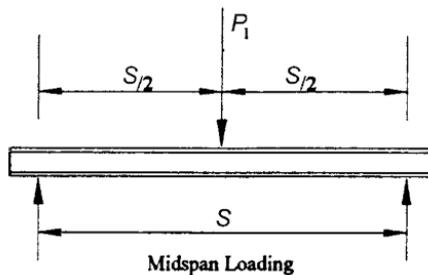
**Gambar 3.25** *Spesimen 3 point bending* (a) tampak atas (b) tampak depan (c) tampak samping



**Gambar 3.26 Variasi sudut untuk pengujian.**

### 3.3.7 Pengujian

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan bending dari bahan komposit. Proses pengujian bending dilakukan di laboratorium Beton dan Bahan Bangunan di Departemen Teknik Sipil ITS dengan menggunakan mesin uji “Universal Testing Machine” SHIMADZU CORPORATION. Standar yang digunakan pada pengujian yaitu ASTM C-393.



**Gambar 3.27 Setup 3 point bending**



(a) (b)  
**Gambar 3.28 Pengujian (a) sudut  $0^\circ$ , (b) sudut  $30^\circ$ ,**

### **3.4 Verifikasi**

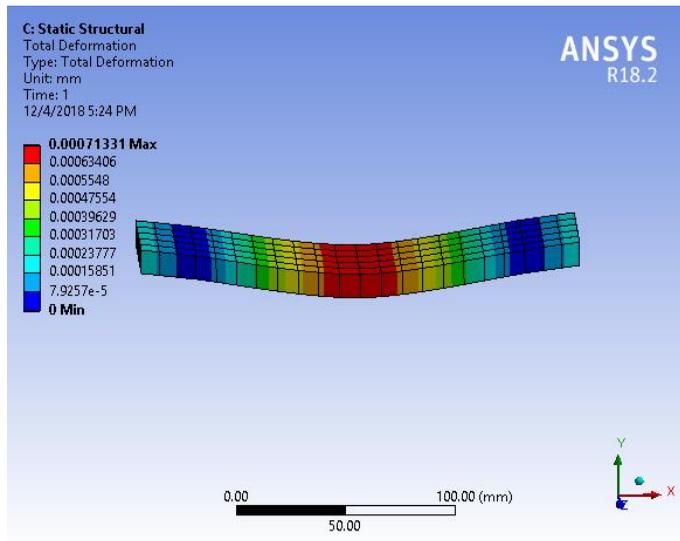
Pemeriksaan data dalam simulasi *ANSYS* dan pembuatan spesimen telah sesuai dengan data sifat mekanik untuk di *input* ke *ANSYS* dan ukuran spesimen ASTM C393-00 agar bisa didapatkan kesimpulan dari perbedaan hasil pada kedua metode tersebut.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Metode Simulasi Komposit Sandwich

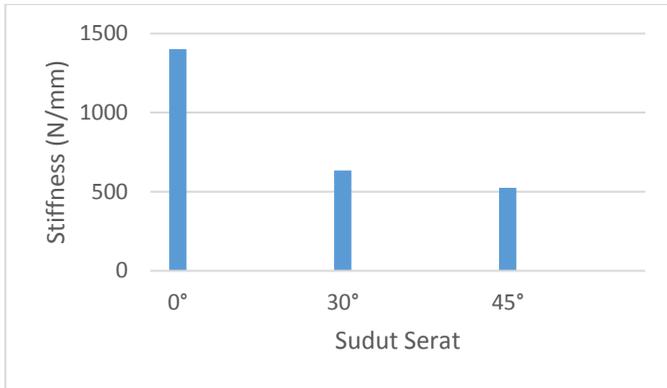
Pada metode simulasi ini digunakan pembebanan 1 N dan hasil yang didapatkan nilai deformasi. Nilai deformasi digunakan untuk mengetahui nilai *stiffness* dari spesimen. Nilai dari deformasi terdapat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1 Hasil simulasi ANSYS.**

Untuk contoh perhitungan *stiffness* digunakan dari spesimen pada metode simulasi adalah sebagai berikut.

$$\frac{W}{\Delta} = \frac{\text{Pembebanan}}{\text{Deformasi}}$$



**Gambar 4.2 Perbandingan *stiffness* komposit sandwich terhadap arah sudut serat.**

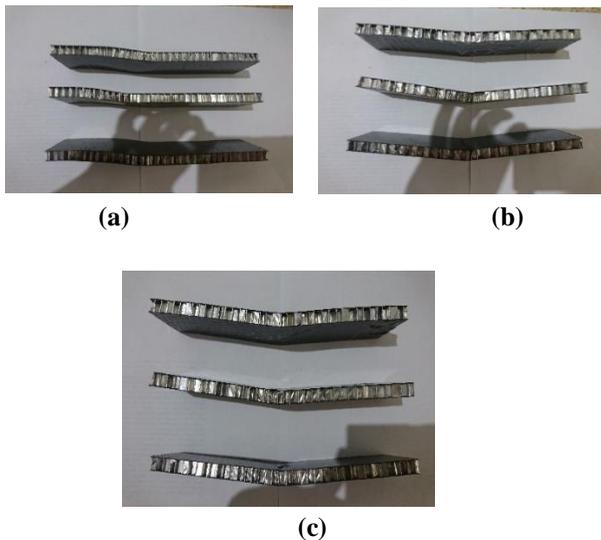
Dari Gambar 4.2 didapat adanya ketidakstabilan kekakuan komposit akibat pengaruh arah sudut *laminate*. *Stiffness* pada komposit *sandwich* dengan sudut serat 0° adalah 1.394,56 N/mm, sedangkan pada komposit *sandwich* dengan sudut serat 30° adalah 619,42 N/mm atau lebih rendah 54,7% dari sudut serat 0°. Pada komposit *sandwich* sudut serat 45° tegangan bending rata-ratanya adalah 456,30N/mm atau turun sebesar 62,5% dari sudut serat 0°. Jadi *stiffness* yang tertinggi adalah pada sudut serat 0° dan *stiffness* yang terendah adalah pada sudut serat 45°.

**Tabel 4.1 Hasil *stiffness* metode simulasi.**

No	Spesimen	$\Delta$ (mm)	<i>stiffness</i> (N/mm)
1	Sandwich 0°	0,00071707	1.394,56
2	Sandwich 30°	0,0016144	619,42
3	Sandwich 45°	0,0021915	456,30

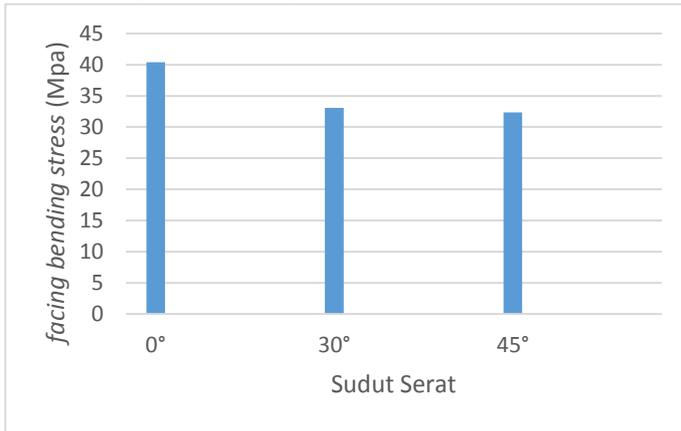
## 4.2 Hasil Metode Pengujian 3 Point Bending Komposit Sandwich

Pengujian *3 point bending* dilakukan berdasarkan pada standar ASTM C 393-00 dengan indektor 25 mm dan panjang penunpu (*span length*) pada pengujian sebesar 150 mm dengan beban maksimal yang digunakan sebesar 100000 N. Hasil pengujian bending terhadap masing-masing tiga spesimen uji komposit *sandwich* tiap variasi arah serat pada komposit sandwich ditampilkan pada spesimen hasil uji *3 point bending* seperti Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** (a) spesimen  $0^\circ$  setelah pengujian bending, (b) spesimen  $30^\circ$  setelah pengujian bending, (c) spesimen  $45^\circ$  setelah pengujian bending.

#### 4.2.1 Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap *facing bending stress* komposit *sandwich*



**Gambar 4.4** Perbandingan rata-rata *facing bending stress* komposit *sandwich* terhadap arah sudut serat

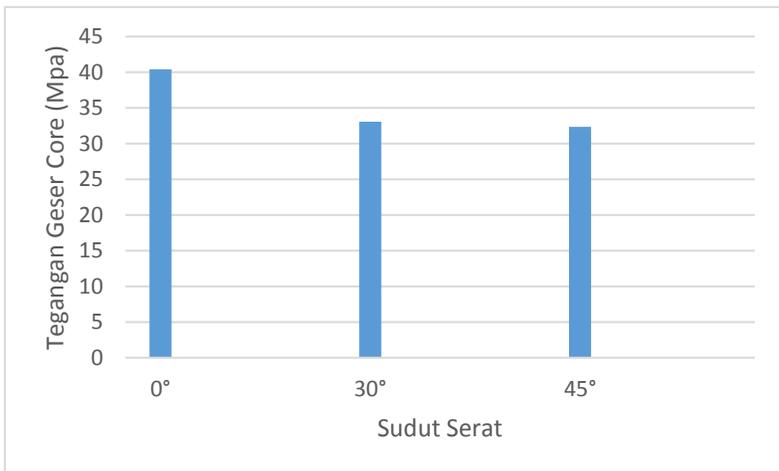
Dari Gambar 4.4 dapat dilihat grafik *facing bending stress* komposit *sandwich* yang menunjukkan bahwa adanya ketidakstabilan tegangan bending komposit akibat pengaruh perubahan arah sudut *laminat*. Pernyataan tersebut berdasarkan pada persamaan ASTM C 393-00 mengenai *facing bending stress*.

*facing bending stress* rata-rata pada komposit *sandwich* dengan sudut serat 0° adalah 40.416 Mpa, sedangkan pada komposit *sandwich* dengan sudut serat 30° adalah 33.068 Mpa atau lebih rendah 18,1% dari sudut serat 0°. Pada komposit *sandwich* sudut serat 45° tegangan bending rata-ratanya adalah 32.352 Mpa atau turun sebesar 19,9% dari sudut serat 0°. Jadi tegangan bending rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat 0° dan tegangan bending yang terendah adalah pada sudut serat 45°.

**Tabel 4.2 Hasil *facing bending stress*.**

No	Spesimen	Kode	$\sigma$ (Mpa)	
1	Sandwich 0°	SBU-1	41.528	40.416
2		SBU-2	39.676	
3		SBU-3	40.044	
4	Sandwich 30°	SBU-4	31.975	33.068
5		SBU-5	31.171	
6		SBU-6	36.06	
7	Sandwich 45°	SBU-7	33.276	32.352
8		SBU-8	32.142	
9		SBU-9	31.64	

#### 4.2.2 Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap tegangan geser *core* komposit *sandwich*



**Gambar 4.5 Perbandingan tegangan geser *core* komposit *sandwich* terhadap variasi arah sudut serat**

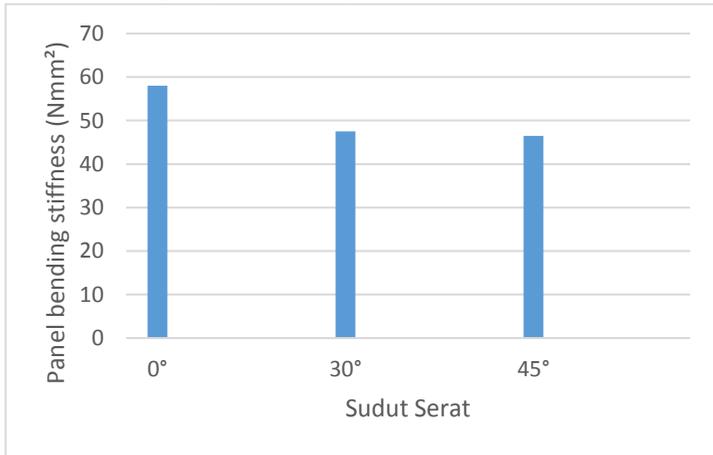
Dari Gambar 4.5 dapat dilihat grafik tegangan geser *core* terhadap variasi arah sudut serat menunjukkan bahwa pada penambahan tebal inti *honeycomb aluminium* pada komposit *sandwich* mengalami ketidakstabilan nilai tegangan geser *core* dengan *skin* komposit *sandwich* seiring dengan arah sudut serat. Pernyataan tersebut berdasarkan ASTM C 393-00 mengenai *core shear stress*.

Tegangan geser *core* rata-rata pada komposit *sandwich* dengan sudut serat  $0^\circ$  adalah 1.057 Mpa, sedangkan pada komposit *sandwich* dengan sudut serat  $30^\circ$  adalah 0.881 Mpa atau lebih rendah 16,6% dari sudut serat  $0^\circ$ . Pada komposit *sandwich* sudut serat  $45^\circ$  tegangan bending rata-ratanya adalah 0.862 Mpa atau turun sebesar 18,4% dari sudut serat  $0^\circ$ . Jadi tegangan geser *core* rata-rata yang tertinggi adalah pada sudut serat  $0^\circ$  dan tegangan geser *core* yang terendah adalah pada sudut serat  $45^\circ$ .

**Tabel 4.3 Hasil tegangan geser *core***

No	Spesimen	$\tau$ (Mpa)	
1	Sandwich $0^\circ$	1.107	1.057
2		1.058	
3		1.067	
4	Sandwich $30^\circ$	0.852	0.881
5		0.831	
6		0.961	
7	Sandwich $45^\circ$	0.887	0.862
8		0.857	
9		0.843	

### 4.2.3 Pengaruh variasi arah sudut serat terhadap panel bending *stiffness* komposit *sandwich*



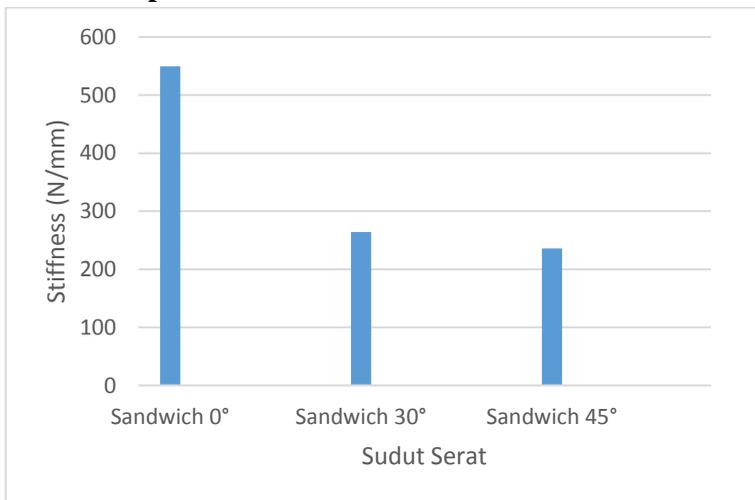
**Gambar 4.6** Perbandingan terhadap arah sudut serat terhadap panel bending *stiffness* komposit *sandwich*.

Dari Gambar 4.6 didapat adanya ketidakstabilan panel bending *stiffness* komposit akibat pengaruh arah sudut *laminate*. Perhitungan ini didasarkan pada persamaan ASTM C 393-00. Dari spesimen komposit *sandwich* dengan sudut serat 0° adalah  $58,044 \times 10^3$  Nmm<sup>2</sup> dan bending *stiffness* komposit *sandwich* sudut serat 30° dengan nilai kekakuan turun sebesar 18,1% atau sebesar  $47,492 \times 10^3$  Nmm<sup>2</sup>. Pada komposit *sandwich* sudut serat 45° kekakuannya sebesar  $46,461 \times 10^3$  atau turun sebesar 19,9% dari sudut 0°.

**Tabel 4.4 Hasil panel Bending stiffness.**

No	Spesimen	Kode	$D \times 10^3$ (N-mm <sup>2</sup> )	
1	Sandwich 0°	SBU-1	59.642	58.044
2		SBU-2	56.981	
3		SBU-3	57.51	
4	Sandwich 30°	SBU-4	45.921	47.492
5		SBU-5	44.767	
6		SBU-6	51.788	
7	Sandwich 45°	SBU-7	47.781	46.461
8		SBU-8	46.162	
9		SBU-9	45.44	

**4.2.4 Pengaruh arah variasi sudut serat terhadap *stiffness* komposit *sandwich***



**Gambar 4.7 Perbandingan terhadap arah sudut serat terhadap *stiffness* komposit *sandwich*.**

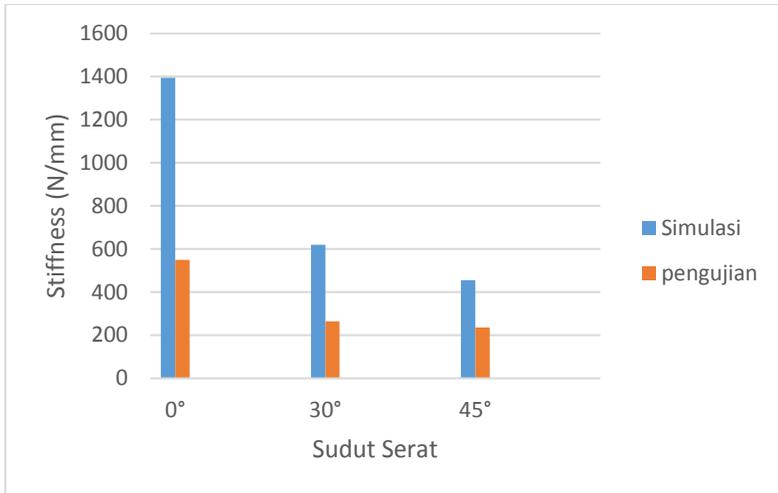
Dari Gambar 4.7 didapat adanya ketidakstabilann *stiffness* komposit akibat pengaruh arah sudut serat. Perhitungan ini didasarkan pada persamaan SAE. Dari spesimen komposit *sandwich* dengan sudut serat 0° adalah 549,203 N/mm dan kekakuan komposit *sandwich* sudut serat 30° dengan nilai *stiffness* turun sebesar 51,8% atau sebesar 264.333 N/mm. Pada komposit *sandwich* sudut serat 45° nilai *stiffness* sebesar 235,713 N/mm atau turun sebesar 19,9% dari sudut 0°.

**Tabel 4.5 Hasil *stiffness* metode simulasi.**

No	Spesimen	Kode	stiffness (N/mm)	
1	Sandwich 0°	SBU-1	593.75	549.20 3
2		SBU-2	542.27	
3		SBU-3	511.59	
4	Sandwich 30°	SBU-4	278.98	264.33 3
5		SBU-5	230.3	
6		SBU-6	285.93	
7	Sandwich 45°	SBU-7	245.44	235.71 3
8		SBU-8	235.55	
9		SBU-9	226.15	

### 4.3 Verifikasi

Setelah didapatkan nilai *stiffness* dari metode simulasi dan pengujian bisa didapatkan perbedaan hasil dari kedua metode tersebut, ditunjukkan pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8 Perbedaan hasil *stiffness* komposit *sandwich* dari metode simulasi dan pengujian.**

Dari Gambar 4.8 didapat adanya perbedaan hasil *stiffness* komposit *sandwich* antara metode simulasi dan pengujian. Dari spesimen komposit *sandwich* dengan sudut serat 0° nilai *stiffness* untuk metode simulasi adalah 1.394,56 N/mm dan metode pengujian nilai *stiffness* adalah 549.203 N/mm. Komposit *sandwich* sudut serat 30° dengan nilai *stiffness* untuk metode simulasi adalah 619.42 N/mm dan nilai *stiffness* metode pengujian adalah 264.333 N/mm. Untuk komposit *sandwich* sudut serat 45° nilai *stiffness* metode simulasi adalah 456.30 N/mm dan metode pengujian nilai *stiffness* adalah 235.713 N/mm. Pada kedua metode tersebut, perbedaan hasil *stiffness* terbesar pada sudut 0° dan perbedaan hasil *stiffness* terkecil pada sudut 45°.

Terjadinya perbedaan hasil *stiffness* pada metode simulasi dan metode pengujian disebabkan oleh bonding antara *skin* dan *core* yang dianggap sempurna. Pada kenyataannya bonding antara

*skin* dan *core* ditentukan oleh presentasi resin yang ada diantara *skin* dan *core*. Presentasi resin tersebut memiliki perbedaan akibat dari proses *vacuum bagging*, dimana beberapa resin berkumpul didekat *port* dan presentasi resin semakin sedikit pada *laminat* yang jauh dari *port*. Perbedaan dari hasil *stiffness* pada metode simulasi dengan metode pengujian dapat disebabkan oleh luasan indenter. Pada metode pengujian *three point bending*, permukaan indenter memiliki diameter 25 mm sedangkan pada metode simulasi pembeban indenter hanya didistribusikan segaris seperti pada Gambar 3.13. Dalam metode simulasi juga dapat diketahui material yang dianggap sempurna dengan presentasi resin tetap semua bagian sama.

**Tabel 4.6 Verifikasi.**

No	Spesimen	Kode	stiffnesss pengujian (N/mm)		stiffness simulasi (N/mm)
1	Sandwich 0°	SBU-1	593.75	549.203	1394.56
2		SBU-2	542.27		
3		SBU-3	511.59		
4	Sandwich 30°	SBU-4	278.98	264.333	619.42
5		SBU-5	230.3		
6		SBU-6	285.93		
7	Sandwich 45°	SBU-7	245.44	235.713	456.3
8		SBU-8	235.55		
9		SBU-9	226.15		

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian eksperimen dengan metode *three point bending* dan simulasi *ANSYS* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- (1). Variasi arah serat pada komposit *sandwich* serat karbon fiber *prepreg* dengan *core honeycomb aluminium* untuk metode simulasi menghasilkan *stiffness* tertinggi yang terdapat pada arah serat  $0^0$  sebesar 1394.56N/mm
- (2). Variasi arah serat pada komposit *sandwich* serat karbon fiber *prepreg* dengan *core honeycomb aluminium* pada metode pengujian menghasilkan *facing bending stress* sebesar 40.416 MPa, untuk *core shear ultimate stress* sebesar 1.057 MPa, dan *panel bending stiffness* sebesar 58.044 MPA serta *stiffness* sebesar 549.203 N/mm dimana tertinggi terdapat pada arah serat  $0^0$ . Pada karbon fiber yang termasuk dalam *fiber reinforced* memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi jika menerima gaya yang searah dengan arah serat.
- (3). Pada verifikasi dapat dilihat perbedaan *stiffness* hasil metode simulasi dengan pengujian. Perbedaan nilai *stiffness* kedua metode ditunjukkan pada Gambar 4.7 dengan perbedaan terbesar terjadi pada variasi sudut  $0^0$  dan perbedaan terkecil pada sudut  $30^0$ .

## 5.2 Saran

Penulis menyadari bahwa hasil pengujian ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun demi kesempurnaan hasil pengujian ini. Selain itu penulis juga menyarankan beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan komposit, antara lain:

- (1). Dapat dikembangkan dengan variasi-variasi *angle-ply* untuk *lamine* atau menggabungkan model tenun karbon fiber yang berbeda.
- (2). Dapat dikembangkan dengan variasi-variasi *core* lain seperti *honeycomb paper* atau *honeycomb nomex* untuk mendapatkan komposit *sandwich* dengan massa yang lebih ringan.
- (3). Dengan adanya pelemahan komposit *sandwich* pada bagian bonding antara inti dengan kulitnya, maka untuk penelitian lebih lanjut diperlukan bahan seperti *adhesive film*.
- (4). Berdasarkan hasil data dari pengujian dan simulasi dapat dijadikan referensi untuk pembuatan bodi mobil nogogeni selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

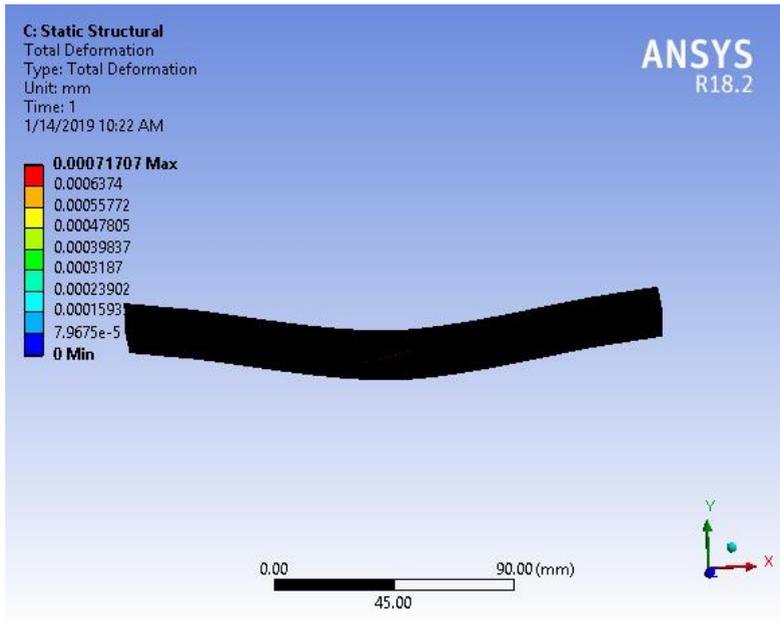
- [1] ASTM C393-00. 2000. **Standard Test Methode for Flexural Properties of Sandwich Construction**. United States: Annual Book of ASTM Standars.
- [2] Diharjo, K. 2011. “Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Gelas dengan Core Divinycell-PVC H-60 (Pengaruh Orientasi Serat, Jumlah Laminat dan Tebal Core terhadap Kekuatan Bending)”. **Mekanika**. 9 (2) : 313-319.
- [3] **Easy Composites**, <URL:<http://www.easycomposites.co.uk/>>
- [4] Fernlund, G., Mobuchon, C., Zobelry, N., 2018. “Autoclave Processing”. **Comprehensive Composite Materials II**. 2: 42-62.
- [5] Hadi, B.K. 2000. **PN-336 Mekanika Struktur Komposit**. Bandung: ITB.
- [6] **Hexcel**, <URL:<http://www.hexcel.com/>>
- [7] Hubert, P., Centea, T., Grunefelder, L., Nutt, S., Kratz, J., Levy, A., 2018. “Out-of-Autoclave Prepreg Processing”. **Comprehensive Composite Materials II**. 2: 62-94.
- [8] Hubert, P., Fernlund, G., Poursartip, A. 2012. **Autoclave Processing for Composites**. Canada: Woodhead Publishing Limited.
- [9] Jones, R.M. 1999. **Mechanics of Composite Materials Second Edition**. London: Taylor and Francis Group.
- [10] Kaw, K.A. 2006. **Mechanics of Composite Materials Second Edition**. London: Taylor and Francis Group.

- [11] Lu, C., Zhao, M., Jie, L., Wang, J., Gao, Y., Cui, X., Chen, P., 2015. "Stress Distribution on Composite Honeycomb Sandwich Structure Suffered from Bending Load". **Procedia Engineering**. 99: 405-412.
- [12] Mallick, P.K. 2007. **Fiber Reinforced Composites Material, Manufacturing, and Design Third Edition**. London: Taylor and Francis Group.
- [13] Petras, A., Sutcliffe, M.P.F., 1999. "Failure Mode Maps for Honeycomb Sandwich Panels". **Composite structure**. 44: 237-252.
- [14] Shi, S., Sun, Z., Hu, X., Chen, H., 2014. "Flexural Strength and Energy Absorption of Carbon-fiber aluminum-honeycomb Composite Sandwich Reinforced by Aluminum Grid". **Thin-Walled Structures**. 84: 416-422.
- [15] Story, R.D. 2014. **Design of Composite Sandwich Panels for a Formula SAE Monocoque Chassis**. Oregon: Oregon State University.

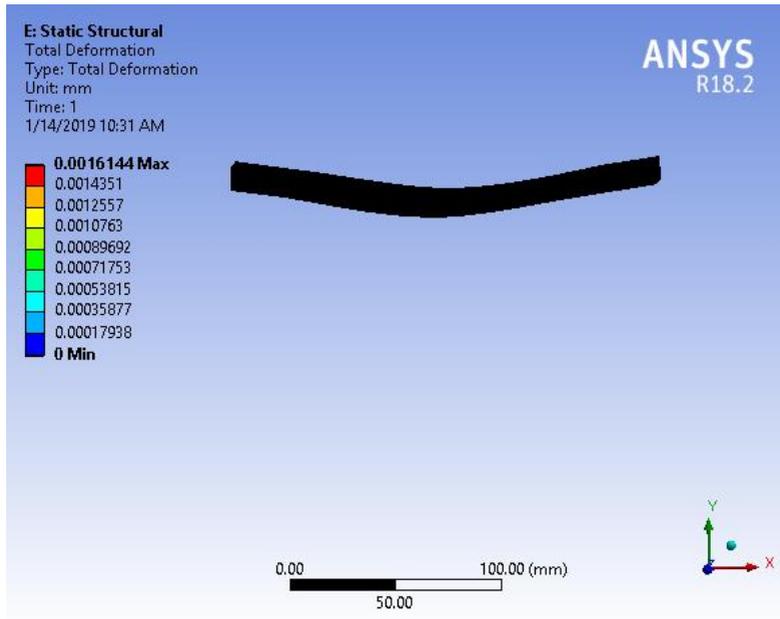
LAMPIRAN 1 : Tabel 4.1 Data Hasil Perhitungan *Stiffness* Komposit *Sandwich* dengan Metode Simulasi

No	Spesimen	$\Delta$ (mm)	stiffness (N/mm)
1	Sandwich 0°	0,00071707	1.394,56
2	Sandwich 30°	0,0016144	619,42
3	Sandwich 45°	0,0021915	456,30

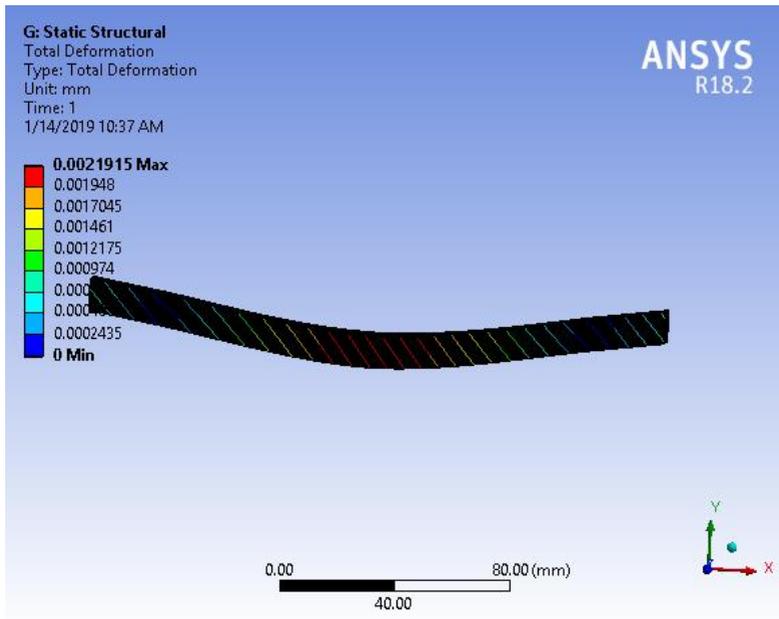
LAMPIRAN 2 : Gambar hasil simulasi ANSYS arah sudut 0°



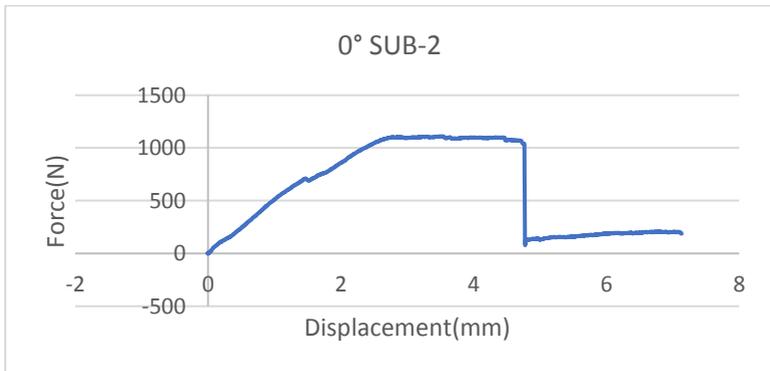
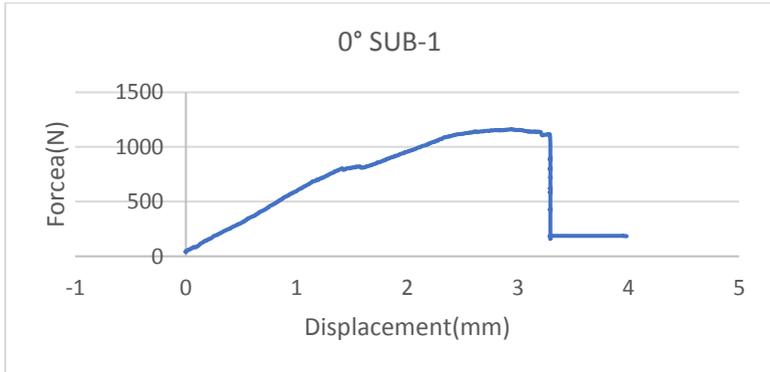
### LAMPIRAN 3 : Gambar hasil simulasi ANSYS arah sudut 30°



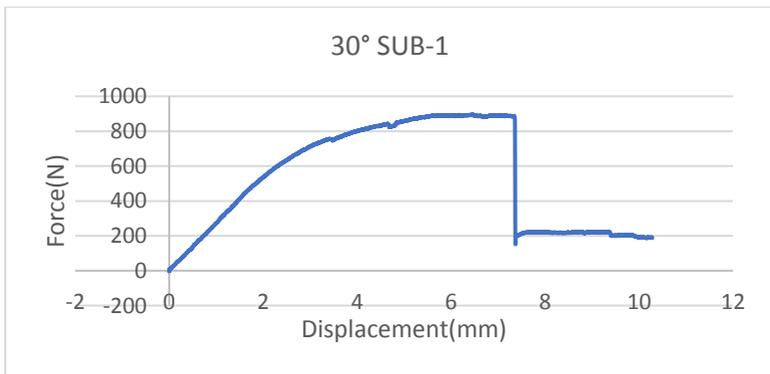
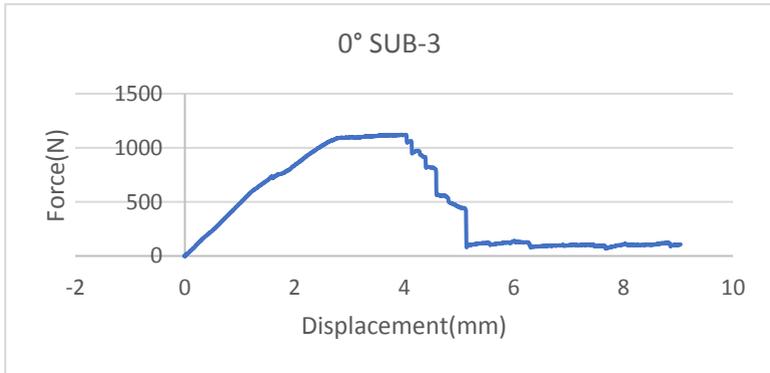
LAMPIRAN 4 : Gambar hasil simulasi ANSYS arah sudut 45°



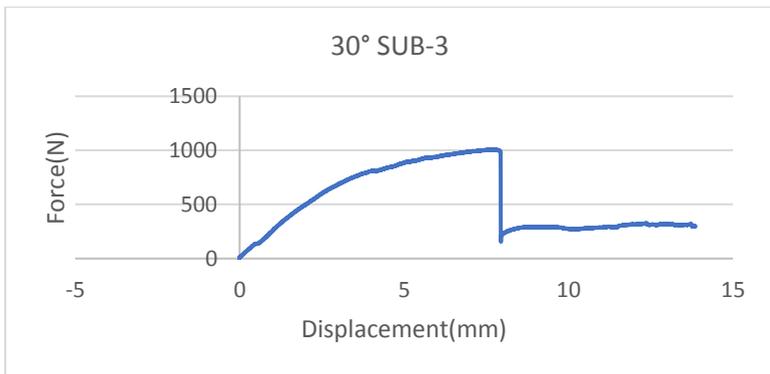
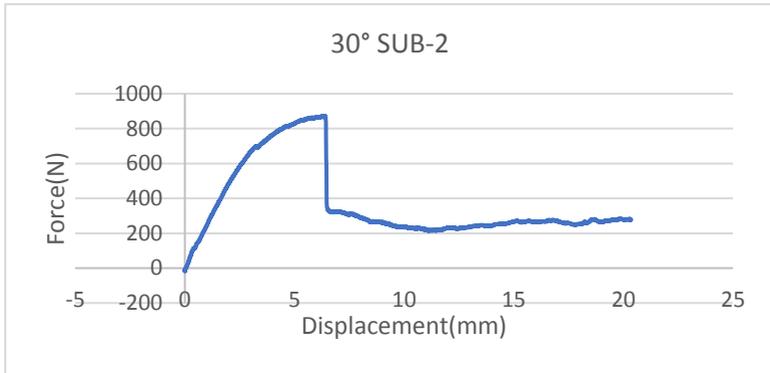
LAMPIRAN 5 : Gambar Grafik Pengujian 3 point bending dengan variasi arah sudut 0° 30° 45°



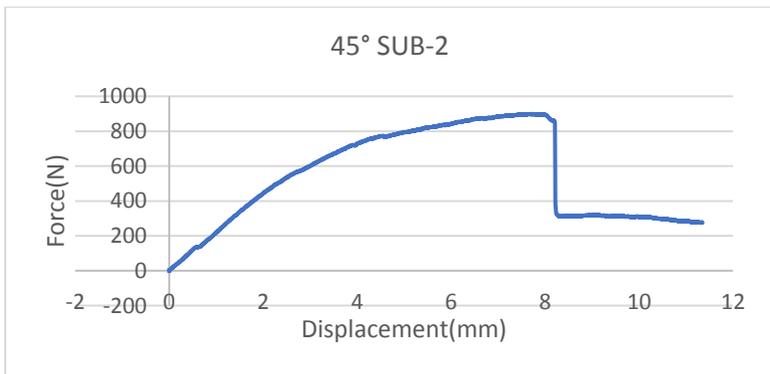
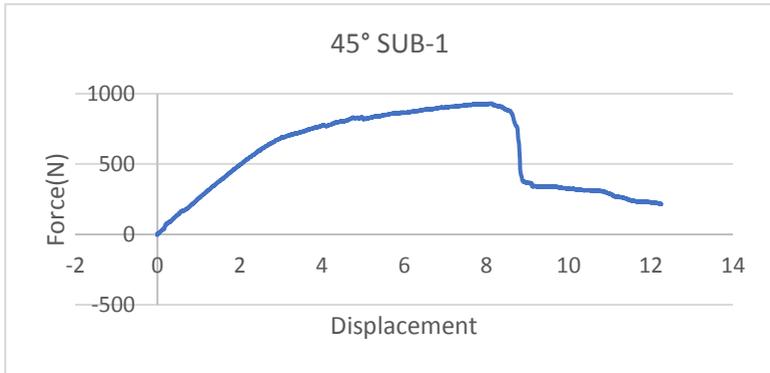
## LAMPIRAN 6 : Lanjutan



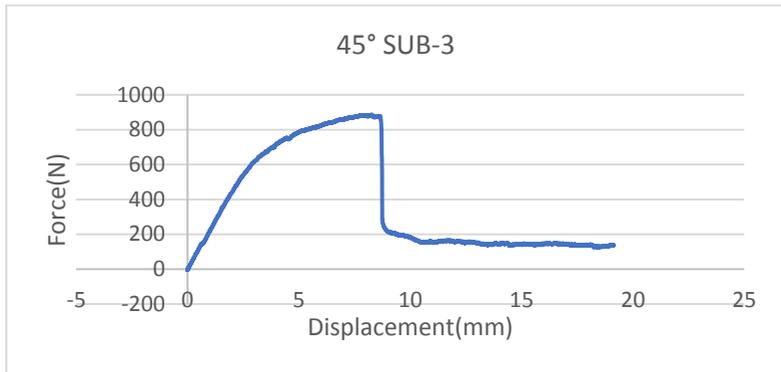
## LAMPIRAN 7 : Lanjutan



## LAMPIRAN 8 : Lanjutan



## LAMPIRAN 9 : Lanjutan



LAMPIRAN 10 : Tabel Data Ukuran Spesimen Komposit Sandwich

Spesimen	Kode	L (mm)	b (mm)	d (mm)	c (mm)	t (mm)
Sandwich 0°	SUB-1	150	50	11	10	1
	SUB-2	150	50	11	10	1
	SUB-3	150	50	11	10	1
Sandwich 30°	SUB-4	150	50	11	10	1
	SUB-5	150	50	18	10	1
	SUB-6	150	50	18	10	1
Sandwich 45°	SUB-7	150	50	18	10	1
	SUB-8	150	50	18	10	1
	SUB-9	150	50	18	10	1

LAMPIRAN 11 : Tabel Data Hasil Perhitungan Spesimen  
Komposit Sandwich

Spesimen	Kode	W (g)	P (N)	E (Mpa)	$\tau$ (Mpa)	
Sandwich 0°	SUB-1	24	1162.81	43.2451	1.107	1.057
	SUB-2	24	1110.94	41.3159	1.058	
	SUB-3	24	1121.25	41.6994	1.067	
Sandwich 30°	SUB-4	24	895.313	33.2967	0.852	0.881
	SUB-5	24	872.813	32.46	0.831	
	SUB-6	24	1009.69	37.5504	0.961	
Sandwich 45°	SUB-7	24	931.563	34.6449	0.887	0.862
	SUB-8	24	900	33.4711	0.857	
	SUB-9	24	885.938	32.9481	0.843	

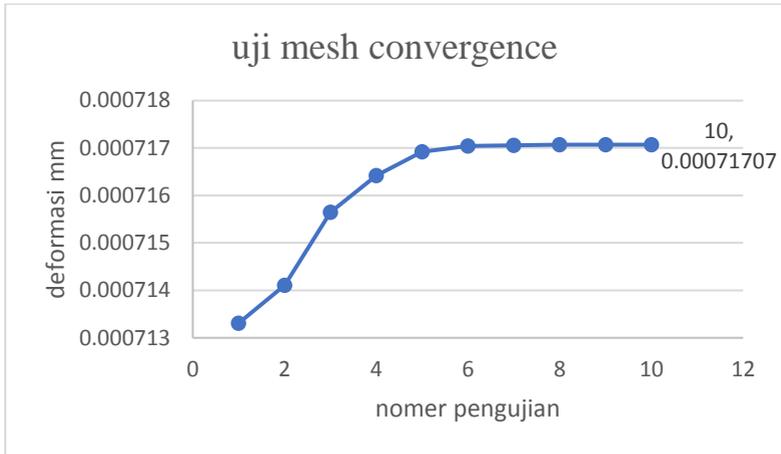
LAMPIRAN 12 : Tabel Data Hasil Perhitungan Spesimen Komposit Sandwich

Spesimen	Kode	D × 10 <sup>3</sup> (N-mm <sup>2</sup> )		σ (Mpa)	
Sandwich 0°	SUB-1	59.642	58.044	41.528	40.416
	SUB-2	56.981		39.676	
	SUB-3	57.51		40.044	
Sandwich 30°	SUB-4	45.921	47.492	31.975	33.068
	SUB-5	44.767		31.171	
	SUB-6	51.788		36.06	
Sandwich 45°	SUB-7	47.781	46.461	33.276	32.352
	SUB-8	46.162		32.142	
	SUB-9	45.44		31.64	

LAMPIRAN 13 : Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan Stiffness  
Spesimen Komposit Sandwich

No	Spesimen	Kode	stiffness (N/mm)	
1	Sandwich 0°	SBU-1	593.75	549.203
2		SBU-2	542.27	
3		SBU-3	511.59	
4	Sandwich 30°	SBU-4	278.98	264.333
5		SBU-5	230.3	
6		SBU-6	285.93	
7	Sandwich 45°	SBU-7	245.44	235.713
8		SBU-8	235.55	
9		SBU-9	226.15	

LAMPIRAN 14 : Tabel dan Grafik Uji Convergence



No	ukuran meshing (mm)	hasil deformasi (mm)
1	10	0.00071331
2	8	0.00071411
3	6	0.00071565
4	4	0.00071642
5	2	0.00071692
6	1	0.00071704
7	0.8	0.00071706
8	0.6	0.00071707
9	0.5	0.00071707
10	0.4	0.00071707



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Mojokerto, 11 September 1995, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, TK Dharmawanita Petak Pacet Mojokerto, SDN 2 Petak Pacet, SMPN 1 Pacet, SMKN 1 Pungging. Pada tahun 2015 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 1021150000068. Pada jurusan D3 Teknik

Mesin Industri ini penulis mengambil bidang studi Manufaktur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi untuk menunjang softskill. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Staff Design & Body Manufacturing Nogogeni ITS Team tahun 2016-2017, Head of Division Body Manufacturing Nogogeni ITS Team 2017-2018, Perlombaan KMHE (Kontes Mobil Hemat Energi) oleh Ristek DIKTI tahun 2017 dan Perlombaan SEM (Shell Eco Marathon) Asia oleh Shell pada tahun 2018 di Singapore.

Pelatihan yang pernah diikuti penulis : Pelatihan LKMM Pra TD di Fakultas Teknik Industri ITS (2015). Penulis Juga pernah melaksanakan pembuatan bodi mobil listrik Nogogeni di Departemen Desain Produk Pada tahun 2017. Selain itu, penulis juga telah melaksanakan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik pada bagian Shopping Engineering.

Email : [mikoirulanam@gmail.com](mailto:mikoirulanam@gmail.com)